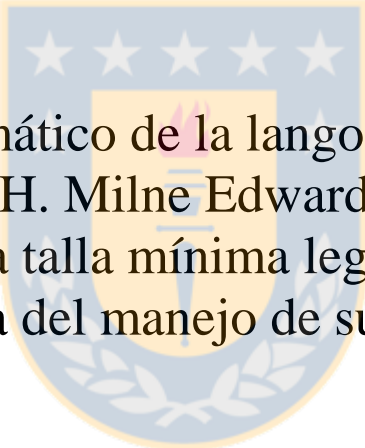




Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Programa de Magister en Ciencias con Mención en Pesquerías



Crecimiento somático de la langosta de Juan Fernández
Jasus frontalis (H. Milne Edwards, 1837) y evaluación
del impacto de la talla mínima legal de extracción como
táctica del manejo de su pesquería.

PABLO MANRIQUEZ ANGULO
CONCEPCIÓN-CHILE
2016

Profesor Guía: Billy Ernst Elizalde
Depto. de Oceanografía
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Universidad de Concepción

La presente tesis se realizó en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción y ha sido aprobada por la siguiente Comisión Evaluadora:

Profesor Guía

Dr. Billy Ernst Elizalde
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

Comisión Evaluadora



Dr. Billy Ernst Elizalde
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

Licenciado en Biología Marco Retamal Rivas
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

M.Sc. Patricio Arana Espina
Escuela de Ciencias del Mar
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Director de Programa

Dr. Luis Cubillos S.
Departamento de Oceanografía
Universidad de Concepción

Dedicada a mi familia Isleña y Porteña... Y a mi Hija que junto a mi pareja estuvieron conmigo estos últimos y difíciles meses...



Agradecimientos

Antes que todo quisiera agradecer esta tesis, a mi esforzada y ejemplar “**Familia Manríquez Angulo**” compuesta por mi **MADRE** y **HERMANO** que descansan en Paz junto a mi **Tata**, a ellos le doy las gracias por esas energías que sentí en aquellos momentos en que ya no daba más... y a mi **PADRE** y **HERMANA**, que junto a mi **Abi** les agradezco por el apoyo incondicional que siempre me han dado ¡¡Los Amo!!.. Y por sobre todo quiero agradecer a mi Hija **Fernanda** quien aparece en una fecha triste alegrando y llenando mi vida y que junto a mi pareja **Paulina** supieron darme el último empujoncito que necesitaba para encaminar este trabajo y terminarlo de la mejor manera junto a ellas acompañándome en Conce! lejos de nuestra Isla amada e inspiradora de nuestras acciones... ¡¡Las Amo!!

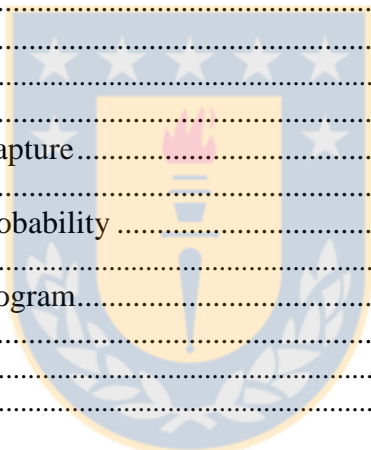
Estas líneas son para dar un agradecimiento muy especial a alguien que es más que un profesor, es un amigo y una excelente persona, el Dr. **Billy Ernst**, de quien estoy muy agradecido por todo el apoyo y experiencia laboral que he recibido de su parte desde el inicio (Sept2006) soñando con los tantos trabajos por hacer y publicar y los que sin duda seguirán a futuro! Agradezco también a mis compañeros y amigos del “Ernst Training”, quienes hemos formado un rico lazo de amistad que espero nunca se termine.

Agradezco a la comunidad pesquera Fernandeziana de la cual también me siento parte de su historia, cuya sangre le los primeros pescadores de langostas corre por mis venas. Agradecer al Dr. Álvaro Palma y Aldo Madrid por la entrega de sus datos que tanto les costó recolectar y que sin duda han sido un importante aporte para esta tesis y al conocimiento biológico de esta especie cuyo estudio de incrementos en un rango tan amplio de tallas no ha sido previamente desarrollado a nivel nacional o internacional.

A todos ellos y a mis ti@s y prim@s les doy mis sinceros agradecimientos y futuro tiempo para compartir y disfrutar!

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	16
CAPÍTULO 1: TIMING AND MOLT FREQUENCY OF JUAN FERNÁNDEZ MALE LOBSTER (<i>JASUS FRONTALIS</i>) IN ALEXANDER SELKIRK ISLAND.....	20
1 ABSTRACT.....	21
2 INTRODUCTION	22
3 MATERIAL AND METHODS	24
The Study System	24
Mark and Recapture Program.....	25
Data Analysis	26
Modal Decomposition	26
4 RESULTS	27
Sighting rate.....	27
Size at tagging and recapture.....	28
Size increment pattern	29
Conditional molting probability	29
5 DISCUSSION	30
The Mark-recapture program.....	30
Molt timing.....	31
6 AKNOWLEDGEMENTS.....	33
7 REFERENCES.....	34



LIST OF TABLES

Table 1. Timing and molt frequency during for one year depending on the condition and size of the individual for the genus <i>Jasus</i>	38
Table 2. Tagging events of the 2008 multi-objective tagging program in the Alejandro Selkirk Island.....	39
Table 3. Parameter estimates of modal decomposition analysis (normal distributions) with their respective standard errors.	40



LIST OF FIGURES

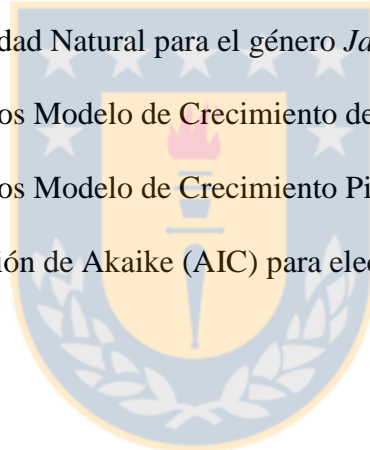
- Figure 1. Geographic distribution of Juan Fernández lobster and fishery. Five islands are arranged in two archipelagos, Juan Fernández and Desventuradas. Selkirk Island, the study system, is depicted by a black box..... 41
- Figure 2. Conceptual model of relevant biological and fishery events associated to the Selkirk Island stock 42
- Figure 3. Dorsal insertion of T-bar tags on Juan Fernández lobster during the 2008/09 tagging program..... 43
- Figure 4. Juan Fernández lobster fishing grounds (grey polygons) in Selkirk Island. Recovery sites of marked lobsters of the first, second and third tagging events are represented by circle, box and triangle, respectively. 44
- Figure 5. Length frequency distribution of tagged lobster of the first (a), second (b) and third (c) tag groups. Colors on vertical bars represent sex or female reproductive condition. 45
- Figure 6. Recapture rate of tagged lobsters for each tag group during 15-day periods from October 2008 to December 2009..... 46
- Figure 7. Carapace lengths from the first event tagging and at recapture during 2008/09 and early 2009/10. 47
- Figure 8. Carapace lengths at the second and third tagging events and at recapture during the end of 2008/09 and 2009/10. 48
- Figure 9. Modal decomposition analysis of size increments. (a) Recaptures from the 1st tag group during October 2008 to April 2009; (b) Recaptures of the 1st tag group during October 2009 to December 2009; c) Recaptures of the combined 2nd and 3rd tag groups October 2009 to December 2009..... 49
- Figure 10. Probability of molt category of recaptured individuals in 15 day periods. a) Recaptures of the 1st tag group (October 2008 – April 2009); b) Recaptures combined between the 2nd and 3rd event (March – December 2009)..... 50
- Figure 11. Schematic representation of molt timing for male lobster in Alexander Selkirk Island. Grey represents timing based on observed data during this study, whereas white represents timing inferred from molt increments. 51

CAPITULO 2: ANÁLISIS DEL PATRÓN DE CRECIMIENTO SOMÁTICO DE LA LANGOSTA DE JUAN FERNÁNDEZ, A TRAVÉS DE PROGRAMAS DE MARCAJE Y RECAPTURA Y EVALUACIÓN DE LA TALLA MÍNIMA LEGAL COMO MEDIDA REGULATORIA..52

1	RESUMEN.....	53
2	INTRODUCCIÓN	55
2.1	Investigación Biológica-Pesquera de la langosta de Juan Fernández.....	55
2.2	Crecimiento.....	56
2.3	Descripción del patrón de crecimiento somático.....	59
2.4	Característica de la pesquería de langosta de Juan Fernández.....	61
2.5	Propuestas históricas de manejo	63
2.6	Evaluación de la talla mínima legal.....	64
3	MATERIALES Y MÉTODOS	66
3.1	Sistema de Estudio.....	66
3.1.1	Isla Alejandro Selkirk	66
3.1.2	Isla Robinson Crusoe	68
3.1.3	Islas Desventuradas.....	69
3.2	Análisis de la Data.....	70
3.3	Modelos de Crecimiento.....	70
3.3.1	Modelo de Fabens.....	70
3.3.2	Modelo de Crecimiento Piece-wise.....	71
3.4	Análisis de la talla mínima de captura.....	73
3.4.1	Modelo basado estructurado por tallas	73
3.4.1.1	Estructuración y condicionamiento	73
3.5	Simulación.....	74
3.6	Etapa de proyección y experimentos	75
3.6.1	Experimentos	75
3.6.1.1	Desempeño de tallas mínimas y máxima de extracción	75
4	RESULTADOS.....	76
4.1	Ordenamiento y estructuración de la data	76
4.2	Estimación de parámetros-Modelos de crecimiento.....	76
4.3	Evaluación talla mínima legal de captura.....	77
5	DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	79
5.1	Programa de Marcaje y Recaptura.....	79
5.2	Patrón de crecimiento somático	79
5.2.1	Modelo de crecimiento lineal de Fabens	80
5.2.2	Modelo de crecimiento Piece wise	80
5.2.3	Relación edad-talla.....	80
5.3	Desempeño del modelo basado estructurado por tallas	81
5.4	Evaluación de la ojiva de selectividad.....	83
6	REFERENCIAS.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Recuento histórico de principales investigaciones científicas biológico-pesquera de la langosta de Juan Fernández <i>Jasus frontalis</i>	93
Tabla 2. Incremento en longitud (mm) y período de muda por sexo para la especie <i>Jasus frontalis</i> , determinadas mediante diversas metodologías (Revisión bibliográfica).	95
Tabla 3. Incremento medio en longitud (mm) por sexo para las demás especies de <i>Jasus</i> , según bibliografía	96
Tabla 4. Regulaciones formales actuales de la pesquería de la langosta de Juan Fernández. ..	97
Tabla 5. Eventos o Grupos de estudios de marcaje en sus subsistemas y de individuos monitoreados en cautiverio.	98
Tabla 6. Parámetros utilizados en el modelo talla estructurado y parámetros estimados.....	99
Tabla 7. Valores de Mortalidad Natural para el género <i>Jasus</i>	100
Tabla 8. Parámetros ajustados Modelo de Crecimiento de Fabens... ..	101
Tabla 9. Parámetros ajustados Modelo de Crecimiento Piece-wise.	102
Tabla 10. Criterio de selección de Akaike (AIC) para elección del Modelo.....	103



LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distribución geográfica del sistema pesquero de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) subdividido en tres subsistemas, dos de ellos se localizan en las islas del archipiélago Juan Fernández (Isla Alejandro Selkirk (AS) e Isla Robinson Crusoe y Santa Clara (RC-SC)) y el tercer grupo está constituido por el Archipiélago de las islas Desventuradas (San Félix y San Ambrosio) (ID). 104
- Figura 2. Dibujo esquemático y el mapa (inserto) del sitio (punto rojo) con las 4 cuevas donde en cada ocasión se realizaron la recolección de langostas. Las cuevas están numeradas de 1-4. Distancia entre cuevas: 1-2 = 2 m, 4,5 m = 2-3, 3-4 = 25m. Las cuatro cuevas están situadas a lo largo de una plataforma rocosa en aprox. 8 m de profundidad (Palma & Gaymer, 2012). 105
- Figura 3. Modelo conceptual de eventos biológicos y pesqueros relevantes del stock. 106
- Figura 4. Marcaje dorsal con anclaje de tipo “T” bar (FD-68B), colores verde-azul..... 107
- Figura 5. Tendencias históricas en la pesquería de langosta de Juan Fernández. **A:** Desembarques (en toneladas métricas, por año calendario); línea continua: media móvil. **B:** Tamaño de la flota; (O) número de botes de pesca de langosta registrados con la autoridad marítima (1970-2004), (□) número de barcos de pesca de langosta que operan en RC / SC en el momento en que varios proyectos de investigación se llevaron a cabo, (▲) *Ibid.*, AS y (●) AD. **C:** CPUE promedio (captura por trampa, compuesta de información de diversas fuentes); (○) datos recopilados por la cooperativa (1970-1980), el departamento de policía (1981-1983) y cinco proyectos de investigación intensiva; (●) datos del proyecto marcas y del programa de bitácoras. Línea discontinua vertical: caída repentina de la CPUE de la serie histórica de la cooperativa (Ernst *et al*, 2013)..... 108
- Figura 6. Ajuste de la data mediante modelos de Crecimiento de Fabens y Piece wise (a) Hembras y (b) Machos..... 109
- Figura 7. Perfil de verosimilitud parámetro L_{∞} del modelo de crecimiento Fabens para hembras y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%. . 110
- Figura 8. Perfil de verosimilitud parámetro X^* del modelo de crecimiento Piece wise para hembras y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%. . 111
- Figura 9. Perfil de verosimilitud parámetro L_{∞} del modelo de crecimiento Fabens para machos y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%. 112
- Figura 10. Perfil de verosimilitud parámetro X^* del modelo de crecimiento Piece wise para machos y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%. ... 113
- Figura 11. Relación talla-edad para las hembras, modelo de crecimiento Pice-wise (línea negra) y Modelo de Fabens (línea segmentada). Proyectada a la talla de CL en (mm) del ejemplar más grande identificado con incremento por muda. Se identifican el rango de la talla mínima legal y la L_{∞} (176.9mm) ajustado en el modelo lineal. 114

Figura 12. Relación talla-edad para machos, modelo de crecimiento Pice-wise (línea negra) y Modelo de Fabens (línea segmentada). Proyectada a la talla de CL en (mm) del ejemplar más grande identificado con incremento por muda. Se identifican el rango de la talla mínima legal y la L_{∞} (173.6mm) ajustado en el modelo lineal. 115

Figura 13. Proyección de los efectos en los cambios de proporciones del potencial reproductivo de la población, evaluados a diferentes escenarios de ojiva de selectividad y a distintos niveles de remoción por pesca en cada uno de los diferentes estados de la naturaleza y en condiciones iniciales del modelo para cada combinación de M y z. (a) M=0.06 y z=0.6; (b) M=0.06 y z=0.8; (c) M=0.12 y z=0.6; (d) M=0.12 y z=0.8..... 116

Figura 14. Proyección de los efectos en los cambios de proporciones de capturas a diferentes escenarios de ojiva de selectividad y a distintos niveles de remoción por pesca en cada uno de los diferentes estados de la naturaleza y en condiciones iniciales del modelo para cada combinación de M y z. (a) M=0.06 y z=0.6; (b) M=0.06 y z=0.8; (c) M=0.12 y z=0.6; (d) M=0.12 y z=0.8..... 117



ANEXO 1: ECUACIONES MODELO	118
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL.....	122
Programa de Marcaje y Recaptura	122
Temporalidad y frecuencia de la muda	122
Patrón de crecimiento.....	123
Evaluación de talla mínima legal	124
REFERENCIAS GENERALES	127



RESUMEN

La langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) es el recurso natural de mayor importancia comercial para los habitantes de las islas oceánicas, comprendidas en 3 subsistemas en que se desarrolla la actividad, (RC_SC) islas Robinson Crusoe-Santa Clara, (AS) isla Alejandro Selkirk e (ID) islas Desventuradas,

El patrón de crecimiento somático de la especie y la evaluación del impacto de la talla mínima legal de extracción de 115 mm de longitud de su caparazón, son los objetivos principales que aborda este trabajo. Por ello, es que a inicios de la temporada 2008/09, se comienza a desarrollar un programa de marcaje y recaptura multiobjetivo y plurianual (6 temporadas y seis eventos de marcaje) en el subsistema (AS), donde el estudio del crecimiento somático ha tenido un rol importante. El análisis de la información de los primeros tres eventos de marcaje y 15 meses de recapturas de este programa, permitió identificar la temporalidad y la frecuencia de la muda de los machos lográndose inferir la existencia de una muda de verano (enero-marzo) y en período de invierno (junio-septiembre). Estos resultados son consistentes con el modelo conceptual de crecimiento para esta especie, pero presentan una fuerte evidencia de una segunda muda (invierno) para individuos entre 90 y 115 mm de longitud de caparazón, mostrando además variabilidad interanual en la sincronización de la muda de invierno. Este estudio permitió reunir y analizar información de incrementos de ejemplares de un amplio rango de tallas (33.1 y 313 mm de longitud cefalotorácica), juveniles de un programa de marcaje y recaptura desarrollado en (RC_SC) e individuos de gran tamaño realizado en acuarios con ejemplares provenientes de las (ID) y de los otros dos subsistemas. El estudio de los incrementos en un rango tan amplio de tallas no ha sido previamente desarrollado a nivel nacional o internacional.

El patrón de crecimiento (incrementos respecto de la talla de marcaje) se modeló a través de una ecuación de Fabens y una de regresión “Piece wise”, tanto para machos como hembras. Utilizando el Criterio de Información de Akaike se estableció que el mejor modelo para ambos sexos es el Piece-wise, mostrando un abrupto cambio en la tasa de crecimiento en torno a los 110.7 mm para machos y 81,9 mm para hembras.

Finalmente con los resultados del patrón de crecimiento se implementó un modelo estructurado por tallas utilizando un esquema de modelación del uso de la matriz de transición por sexo, permitiendo realizar un análisis de reducción del potencial reproductivo y de rendimiento de captura en función de distintas tallas mínimas (TML = 100; 110; 115; <115

mm) todas ellas fueron proyectadas hasta alcanzar un estado de equilibrio (100 años). Estos análisis preliminares abordados en el trabajo, señalan que bajo los supuestos propios de estas simulaciones, no se justificaría reducir la talla mínima legal, dado el riesgo de producir una importante reducción del stock desovante, sin tener un incremento importante en las capturas.



ABSTRACT

Juan Fernandez lobster (*Jasus frontalis*) is the most important natural resource for the inhabitants of the oceanic islands of Robinson Crusoe-Santa Clara (RC_SC), Alejandro Selkirk (AS) and Desventuradas (ID).

Somatic growth pattern of this species and assessing the impact of the minimum legal size of 115 mm (carapace length), are the main objectives addressed in this work. So at the onset of the 2008/09 lobster fishing season, we started a multi-objective and multiple year tagging program (6 seasons and six tagging events) in Alexander Selkirk Island and somatic growth study played an important role. The data analysis of the first three tagging events and 15 months of recaptures allowed us to identify the male timing and frequency of molting, providing strong evidence of a summer (January-March) and a winter molt (June to September). These results are consistent with the growth conceptual model for this species, but showing strong evidence of a second molt (winter) for individuals between 90 and 115 mm carapace length, also showing interannual variability in the timing of the winter molt. This study allowed us to gather and analyze increment data of a wide range of sizes (33.1 and 313 mm carapace length), from young lobsters of a mark-recapture program developed in RC_SC and from large individuals from ID and the other two subsystems maintained in aquariums. The size increment study in such a broad range of sizes has not been previously developed at national or international level.

The growth pattern (increments with respect to size at tagging) was represented through a Fabens model and Piece wise regression, for both males and females. Using the Akaike Information Criteria we established that the best model for both sexes is the Piece-wise regression, showing an abrupt change in the growth rate at around 110.7 mm for males and 81.9 mm for females.

Finally the results of the growth pattern were used to parameterize a size structured model by using a size/sex transition matrix, allowing the implementation of a reproductive potential and catch performance analysis, under different minimum legal sizes (TML = 100; 110; 115; <115 mm), all projected to reach a steady state (100 years). The preliminary analyzes addressed in this work, states that under the assumptions of these simulations, a reduction in the minimum legal size is not justifiable, given the risk of producing a significant reduction in spawning stock, without a significant increase in catches.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Ubicadas aproximadamente a 365 mn de la costa chilena, se encuentran dos grupos de islas oceánicas conocidas como el archipiélago Juan Fernández (AJF) y a una distancia de menos 7 grados de latitud al norte se ubican las islas Desventuradas (AID). La langosta de Juan Fernández [*Jasus fontalis* (Milne-Edwards, 1837)] pertenece al grupo de especies endémicas que son compartidas por este grupo de islas oceánicas del Pacífico sur oriental (Rozbaczylo *et al.*, 1987; Pequeño *et al.*, 2000). La población de *J. frontalis* se distribuye entre estos dos archipiélagos, dividiéndose en tres sub-grupos poblacionales importantes (Porobic *et al.*, 2012).

El sector primario de la economía local se sustenta en torno a la pesquería artesanal de la langosta de Juan Fernández. Aunque la mayoría de las pesquerías artesanales del sur de Sudamérica han pasado por ciclos incontrolados de esfuerzo y posteriores colapsos (Orensanz *et al.*, 2005), sin embargo, la pesquería de este crustáceo ha sido el medio de subsistencia de la mayoría de los isleños, desde los años 1890 de manera ininterrumpida (Ernst *et al.*, 2013). Es una de las más antiguas pesquerías de crustáceos de nuestro país y cuenta con registros de desembarque desde los años 1930 (Segestrel 1931, Arana 1987, Ernst *et al.* 2010a).

La implementación permanentemente de un monitoreo biológico-pesquero, trajo como consecuencia las temporadas siguientes (2008/09-2013/14), el comienzo y seguimiento de un programa de marcaje y recaptura multiobjetivo y plurianual (6 temporadas y seis eventos de marcaje) en el subsistema AS. La calendarización del marcaje respondió al modelo conceptual existente sobre eventos biológicos y pesqueros relevantes de este stock. El método de marcaje y recaptura es a menudo el único método práctico disponible para evaluar *in situ* el crecimiento somático de langostas (Dubula *et al.*, 2005). Programas de marcaje para evaluar crecimiento, se han desarrollado para varias especies del género *Jasus*, incluyendo a *J. edwardsii* (Hutton, 1875), *J. verreauxi* (H. Milne Edwards, 1851) y *J. lalandii* (H. Milne Edwards, 1837) (Dúbula *et al.*, 2005).

Investigaciones anteriores, indican que el principal periodo de muda en los machos de *Jasus frontalis* se produciría a finales de primavera o durante el verano (en tamaños de langostas vulnerables a la pesquería, entre 95-120 mm de longitud cefalotorácica). La caracterización de estos periodos de muda se llevaron a cabo mediante el análisis de la proporción de individuos blandos al total de langostas capturadas por mes, Arana y Martínez

(1985) y Venturini (1993) a partir de marcaje y recaptura, respectivamente. Esta última estimación fue corroborada por Dupré (2000) utilizando individuos en cautiverio, indicando que los machos mudan en febrero y marzo. Estos resultados son muy similares a los reportados para las especies congénéricas, que determinan que los machos mudan a finales de primavera y principios del verano (Booth, 2006).

Algunas hembras inmaduras mudan dos veces al año entre enero y agosto y otras tan solo una vez, mientras que todas las hembras maduras mudan 1 vez al año entre febrero a julio (Annala y Bycroft, 1988) y entre diciembre a julio (Mckoy, 1985). Al llegar a una talla de 50-60 mm CL, la frecuencia de las mudas en las hembras disminuye de 3 a 4 mudas por año, a una muda anual. Sin embargo, los machos mantienen su frecuencia de muda de 3 a 4 veces por año en el rango de tallas comprendido entre 50-80 mm CL (Linnane *et al.* 2012). Para la *J. lalandi* la temporalidad de muda es registrada entre septiembre y noviembre para los machos y entre abril y junio para las hembras (Cockcroft y Goosen, 1995), mientras que para la *J. verreauxi* en ambos sexos sucede entre fines de septiembre y a mediados de noviembre (Montgomery *et al.*, 2009).

El crecimiento en las langostas está muy relacionado con los procesos tales como reproducción, metabolismo, comportamiento y funciones sensoriales, los cuales se ven afectados directa o indirectamente por el ciclo de la muda (García & Kensler, 1980). En el estudio del crecimiento de la especie *Jasus frontalis*, se destaca el crecimiento por muda del tipo geométrico retrogresivo (Pavez y Arana 1982), con una tasa decreciente que varía de 15.81% (70 mm de CL) a 8.04% (100 mm de CL), detectándose 6 grupos de muda que actúan en la pesquería con un incremento de 9 mm entre ellos, Arana y Venturini (1989) establecieron una función de crecimiento para machos y hembras de esta especie, mediante un ajuste estadístico del modelo de von Bertalanffy, con datos provenientes del programa marcaje y recaptura desarrollado entre octubre de 1987 y diciembre de 1988 sobre la población vulnerable de langostas en las islas Robinson Crusoe y Santa Clara del archipiélago Juan Fernández. Venturini (1993) desarrolló un procedimiento analítico que permitió describir el crecimiento de tipo geométrico retrogresivo, con incrementos exuviales cada vez menores en mudas sucesivas. Arana *et al.* (1997) indica que en esta especie los grupos modales o estados de muda corresponderían a clases de edad. Dupré en el 2000, identifica un crecimiento de 1.3 a 3.6 mm de CL, mediante análisis de individuos en cautiverio, sin embargo, a través de la identificación de los estados de las clases anuales de muda, en la fracción vulnerable a la

pesquería, se estimó un incremento por muda entre 6,5 y 10,5 mm (Arana y Olate, 2000). La situación de no poder determinar la edad de los organismos, es un caso no menor en el estudio de sistemas biológicos, con ello se debe caracterizar el patrón de crecimiento somático de la población. Este es uno de los parámetros más importantes en el estudio de la dinámica de las poblaciones sometidos a explotación. Las evaluaciones de stock para muchas especies de crustáceos, no pueden basarse en modelos que dependan estrictamente de la edad. En su lugar se recomiendan modelos talla estructurados, debido a las dificultades de asignación de edades a los individuos.



Interrogantes

De acuerdo a esta investigación y bajo un punto de vista fisiológico, nacen las siguientes interrogantes: (a) ¿En cuánto se incrementa la especie *Jasus frontalis* para cada evento de muda?; (b) ¿Cuál es la frecuencia de muda de la langosta de Juan Fernández?; (c) ¿Cuál es la temporalidad en que ocurre la ecdisis por sexo?. En base a lo resuelto en el primer y segundo capítulo más la información que respalde la ejecución de un modelo clásico de evaluación stocks, se pretenda evaluar si es o no eficaz la actual talla mínima legal, como medida regulatoria conservativa y robusta en el manejo de esta pesquería.

Hipótesis

En relación a las interrogantes planteadas y a los antecedentes generales para el género *Jasus* y en específico para la especie en estudio, se generan las siguientes hipótesis.

H₁: La Temporalidad de la muda de los machos de langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) se evidencia en la época estival y una posible segunda muda durante la temporada de veda.

H₂: El crecimiento de la especie *Jasus frontalis*, presenta un decaimiento lineal en su tasa de crecimiento anual hacia tallas mayores (modelo de Fabens).

H₃: La talla mínima legal de extracción (115 mm de CL) es una medida de regulación conservativa y robusta en el manejo de esta pesquería.

CAPÍTULO 1

TIMING AND MOLT FREQUENCY OF JUAN FERNANDEZ MALE LOBSTER (*Jasus frontalis*) IN ALEXANDER SELKIRK ISLAND.

To submitted to Marine Biology Journal

Pablo Manríquez-Angulo, Billy Ernst, A. Noble Hendrix and Julio Chamorro



Pablo Manríquez-Angulo: Magíster en Ciencias Mención Pesquerías, Cabina 10, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Concepción, P.O. Box 160 – C, Chile.

Billy Ernst: Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, P.O. Box 160 – C, Concepción, Chile.

A. Noble Hendrix: QEDA Consulting, LLC, 4007 Densmore Ave, Seattle, WA, USA.

Julio Chamorro: Sindicato de Trabajadores Independientes Pescadores Artesanales, Isla Robinson, Archipiélago Juan Fernández, Chile.

Correspondance to P. Manríquez-Angulo: e-mail: pmanriquezangulo@udec.cl; tel.: + 56-41-2207029; fax: + 56-41-2256571;

1 ABSTRACT

The molt frequency and timing of male spiny lobster *Jasus frontalis* in Alexander Selkirk Island (south eastern Pacific, off the coast of Chile) was studied using an intensive mark-recapture program. Research started in October of 2008 and lasted 15 month. Three tagging events and monthly recaptures of tagged animals, combined with graphical analysis, allowed us to infer the existence of summer (January-March) and winter (June-September) molting periods. These results are consistent with the existing conceptual growth model for this species, but present strong evidence for a second molt (winter) for male individuals between 90 and 115 mm carapace length, showing interannual variability of winter molt timing.

Keywords: Juan Fernández spiny lobster, molt timing and frequency, mark-recapture program, Alexander Selkirk Island.



2 INTRODUCTION

Most crustaceans spend their lives in a continuous cycle of molting events that leads to growth. Growth is closely tied to reproduction, metabolism, behavior and sensory functions, which are directly or indirectly affected by the molt cycle (Aiken, 1980). In crustaceans, the exoskeleton limits growth of haemocoelic spaces and body can only grow after each molting period, generally increasing in size by approximately 15% (Ford, 1977; García and Kensler, 1980).

In lobsters, as in other decapods, somatic growth is expressed as a discontinuous process, with growth rates being a function of molt frequency and molt increment. For several decades the analysis of somatic growth of lobster has been an important focus of research for fisheries biologists and modelers, mainly because of its relevance for management advice (Breen et al. 2003, Punt et al. 2009). For example, a solid interpretation of mark-recapture data for growth requires understanding of molting frequency and timing, often varying with sex and size (Gardner and Mills, 2013).

One lobster genus that is well represented in the Southern Hemisphere is *Jasus*, with important commercial landings in Australia, New Zealand, South Africa and Chile (Booth, 2006). The spiny lobster, *Jasus frontalis* (H. Milne Edwards, 1837) is endemic to the Juan Fernández and Desventuradas Archipelagos, off the coast of north-central Chile in the southeastern Pacific Ocean (Figure 1). It lives on rocky substrata in commercial densities at depths of 50 to 180 m (Arana, et al. 2006, Ernst et al. 2010) and sustains locally important artisanal trap fisheries, producing roughly 100 tons of rock lobster per year (Ernst et al., 2013). Most of the catches are exported to Asian and European markets. Available basic biological information of *J. frontalis* dates from several past decades, and includes its growth (Pavez and Arana, 1982;

Arana and Martínez, 1985), reproductive cycle (Arana et al. 1985), and the size at which sexual maturity is reached (Ernst et al. 2014).

Several aspects of *Jasus* biology have drawn scientific attention of scientists in past decades (Booth 2006), yet some key elements of somatic growth require further investigation. Most of the work has concentrated on assessing molt increment, probably due to management interest, but accurate studies on molt frequency and timing (by sex and size) are scarce. Linnane *et al.* (2012) indicate that *Jasus edwardsii* does not show growth differences by sex for sizes around 40 mm (carapace length). Nevertheless, at a size range of 50-80 mm, males maintain their annual schedule of 3 - 4 molts; and females, after reaching size-at-sexual maturity, start molting only once per year (between February and July Annala and Bycroft, 1988). In contrast, Cockcroft and Goosen (1995), report molting seasons for males (September to November) and females (April to June) for *J. lalandi*. Finally, in *J. verreauxi*, both sexes molt between September and November (Montgomery et al., 2009) (please see Table 1 for additional information on *Jasus*).

In situ molt timing and frequency of lobsters can be assessed via several methods, including: (i) following the proportion of individuals with and without regenerated clipped pleopods of marked animals (Gardner et al. 2013, Gardner and Musgrove 2004, Musgrove 2000, Musgrove 2001), (ii) measuring shell hardness with a qualitative index (Arana and Martínez 1985) or a durometer (Gardner and Musgrove 2004, Cockcroft and Goosen 1995, Musgrove 2000); and (iii) following size increments of tagged lobsters (Linnane et al., 2012). Each of these approaches has strengths and weaknesses, but all require an intensive sampling program to collect data throughout the year. During our study several of these approaches were used, but data quality and operational constraints lead us to work with increments of tagged lobsters from mark recapture studies.

The aim of this paper is to characterize the timing and frequency of molt of *J. frontalis* in Alexander Selkirk Island (Juan Fernández Archipelago) using data from an intensive mark-recapture program around this island, and analyze the data using analytical and graphical approaches, to obtain frequency and timing of molts for male lobsters of the 90 – 115 mm size range.

3 MATERIAL AND METHODS

The Study System

Alexander Selkirk (AS) is the most oceanic island of Juan Fernández Archipelago with an overall surface of 49 km² (Masoli and Larraín, 2007). The landscape of this volcanic island is shaped by steep hills, high cliffs and pronounced creeks, which combined with rough weather and sea conditions makes it difficult to access from the ocean. The terrestrial component represents entirely a national park, designated as Biosphere Reserve by UNESCO in 1977. Only one small village with basic services (Rada de la Colonia, Figure 1) sustains a temporary settlement during the lobster fishing season (October 1st to May 14th) consisting of 9-13 boats (Ernst et al. 2013) (Figure 2).

The island has a small marine shelf that contains sandy and muddy bottoms, temperate rocky reefs, and a rich diversity of endemic neritic and benthic species (Ahumada and Queirolo, 2014). Among them, Juan Fernández spiny lobster (*J. frontalis*) is an abundant and most precious resource on the entire Archipelago (Ernst et al. 2010). Each year in September, a small group of fishermen, their families, double-ended wooden boats and fishing gear are transported with a large vessel to Alexander Selkirk Island from the permanent settlement on Robinson Crusoe Island to stay throughout the lobster fishing season (Arana et al. 1997, Ernst et al. 2010).

The fishery follows dual management, with formal “SSS” (size, season, sex, Kruse 1993) strategy and a unique sea tenure system developed locally by fishermen, who exert individual control over discrete fishing spots to promote a sustainable and orderly fishing, MSC certified since 2015 (<https://www.msc.org/newsroom/news/artisanal-chilean-lobster-fishery-of-the-juan-fernandez-island-community-gains-msc-certification>). Commitment level of Selkirk fishermen with data collection has been strong since 2008, indeed having been instrumental for this and other biological and fisheries studies.

Mark and Recapture Program

During the 2008 lobster fishing season we implemented a multi-objective mark-recapture program in the Selkirk Island subsystem. The program aimed to study spatial structure, seasonal movement, survival rates and somatic growth of vulnerable sized lobster. We used individually numbered T-bar tags (FD-68B, manufactured by Floy Tag, Seattle USA) that were applied with MARK II guns. Other *Jasus* tagging programs (Pearn 1994, Frusher and Hoenig 2001) have utilized T-bar tags successfully before. Lobsters were dorsally tagged, as we assumed would produce a higher re-sighting rate by observers and fishermen than ventral tagging (Figure 3). The tagging schedule responded to the existing conceptual model on relevant biological and fishery events associated to this stock (Figure 2). A literature review on growth of *Jasus* (Table 1), and particularly the vulnerable-sized Juan Fernández lobster suggests a summer molt for males and an autumn one for females. Therefore we produced the following tagging schedule: (i) a first batch of 3138 lobsters between October 1st and 18th of 2008; (ii) a second batch of 1708 lobsters between February 14th and March 14th of 2009; and (iii) a third batch of 2097 lobsters between April 15th and 30th of 2009. Lobsters were collected in fishing grounds, tagged immediately upon capture and released straight away at the same

site (Figure 4). Artisanal fishing boats during normal fishing operation were the only sampling platform used to capture and recapture lobsters. During tagging, information regarding date, geographical location, size, sex and reproductive condition (female) was recorded. We tagged primarily undersized lobsters of both sexes (minimum legal size is 115 mm of carapace length), and the size distribution by tag group ranged from 73 to 130 mm, but with a main core between 100 and 114 mm (Figure 5). Recapture information originated from biological sampling and fishery logbook programs and included date, location, tag number and size at recovery data, and encompassed a period from October 2008 to May 2009 and from October to December 2009. Workshops were held throughout the season to standardize the use of calipers among fishermen and field assistants.

Data Analysis

The data was filtered and multiple recaptures per study period were consolidated into only one observation. For developing the analysis we divided the data into thirty 15-day periods from 1st October 2008 to 31st December 2009. To compute conditional molting probabilities by time periods, we classified recapture status of each time period into: (i) not grown if size increment is less than 2 mm; and (ii) molted, if recaptured specimen's size increased 2 mm or more.

Modal Decomposition

We analyzed carapace length increment frequency distributions obtained from mark-recapture experiments using modal decomposition analysis, following MacDonald and Pitcher (1979). This method is currently available in R software (Du 2002). The method assumes that the length increment frequency distribution is composed of a finite mixture of density functions, which represents the length increment structure of different molting stage components in the

sample. Probability density function of a random variable (X , in this case length increment) for each component of the mixture (i), was modeled by a normal density function with three parameters: mean length (μ_i), standard deviation (σ_i) and the proportion of the overall density (π_i). The mixture distribution (ρ) is composed of modal-groups and was modeled as:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \pi_i f_i(x | \mu_i, \sigma_i) \quad (1)$$

For the first tag group, we obtained parameter estimates from length increment frequency distribution for the January-May (2009) and October-December (2009) periods, whereas for the second and third tag groups we obtained parameter estimates only for the latter period.

4 RESULTS

Sighting rate

The first tagging group showed a cyclic declining trend of the number of recaptured tags throughout the first 15 time periods, with peaks in periods 4 (November), 8 (January) and 13 (April, Figure 6). The lowest numbers of recaptured tags (0) of the first tagging group occurred in period 10 (February 2009), increasing sharply before a final decline towards the end of the fishing season. The second tagging group showed a similar declining pattern from March through May (Figure 6). At the onset of the following fishing season, the number of recaptured tags increased for the three tagging groups, but again declined significantly toward December 2009.

Size at tagging and recapture

High recapture rates and a well-represented size range of tagged lobsters throughout the study period allowed us to evaluate lobster molt increments by time (month) and tagging group (Figures 7 and 8). In October, November and December 2008 most of the recaptured individuals showed no increments (Figure 7). In January 2009, recaptured individuals of the first tagging group were recaptured at sizes indicating molting was occurring. This pattern continued throughout summer and early fall (Figure 7). After the fall/winter fishery closure all recaptured lobsters of the first tagging group increased in length. Indeed, by comparing size-to-size graphs from April and October 2009 a second group of larger lobster is depicted in the latter (Apr-09 and Oct-09, Figure 8).

The second and third tag groups show no change in size during March and April 2009 (Mar-09 and Apr-09, Figure 8). At the onset of the second fishing season some fraction of tagged lobsters remained the same size (dots on the 1:1 line), whereas another group showed an important change in size (Oct-09 - Dec-09, Figure 8). The molt increment was comparable to the one exhibited by the first tagging group in March/April 2009.

Size increment pattern

The size increment pattern was calculated for the first tagging group in two periods, January to May (2009) and October to December (2009) and for the second and third (combined) only for the latter period. We used a parametric modal decomposition analysis to identify discrete modal groups. Two modal components were obtained for the January-May and October-December 2009 periods of the first and second/third tagging groups, respectively. For the Oct-Dec 2009 period of the first tagging group we obtained four modal components.

In the first time interval we identified a main modal component reflecting an average increase of 4.7 mm (Figure 9a), which can be linked to a summer molting event. Lobsters from the second and third tagging groups do not show any increments before the end of the season. These results suggest that the main summer molting period is January-March. During the second time period (after the fall/winter fishery closure) we identified four modal components for the first tagging group, (Figure 9b), with cut-off points at 5.7 mm, 9.5 mm and 14.7 mm of size increment. During the second time period, tagging groups 2 and 3 showed 2 modal components, with a mean size increase of 3.9 mm and 6.4 mm (Figure 9c, Table 3).

Conditional molting probability

Based on the cut-off points of the four estimated modal components (first tagging group), we grouped the 944 recaptured males into five states: (i) 1: if animal was recaptured but did not grow; (ii) 2: if animal was recaptured and showed an increment between $(1.99 < x < 5.75$ mm); (iii) 3: if animal was recaptured and showed an increment between $(5.75 < x < 9.5$ mm);(iv) 4: if animal was recaptured and showed an increment between $(9.5 < x < 14.75$ mm);(v) 5: if animal was recaptured and showed an increment of more than $(x \geq 14.5$ mm). We then computed conditional multistate probabilities (based on recaptured lobsters in each 15-day period). Results from the first tagging group showed that the probability of molting ($1 - P(\text{being in category 1})$) was low through December 2008 (4%), but increased steadily through April 2009, when it reached about 90% (Figure 10a). During period 10 no tagged lobster was recaptured, probably because it coincides with the summer molting peak. In addition, lobster of tagging groups 2 and 3 do not show molts during April/May 2009, suggesting the summer molting period already finished or took place when they were tagged (Figure 10b).

After the winter fishery closure the proportion of unmolted tagged lobsters of the first tagging group remained at about 8%. There was a conspicuous increase in the proportion of modal groups 2 - 5, with 4% reaching size increments above 14.75 mm (Figure 10b). This change in proportions of the modal groups towards larger accumulated increments was indicative of a second winter molt. Results from tagging groups 2-3 at the onset of the second fishing season showed 38.2% of lobsters had molted. The proportion of molted lobsters continued to increase reaching a 90.3% in December of 2009 (Figure 10b).

5 DISCUSSION

The Mark-recapture program

Sampling lobsters in Juan Fernández Archipelago for biological studies is a difficult task because of their patchy and deep distribution, associated to temperate reefs around the islands (Arana et al. 2006, Ernst et al. 2013). The use of the Selkirk Island artisanal lobster fishing fleet as a working platform to tag and recapture undersized lobsters was essential to access large numbers of lobsters for tagging in each tagging event, and for daily recaptures throughout the October-May 2008/09 and October-December 2009/10 seasons. This working scheme allowed for high frequency sampling, with good sample sizes to facilitate analysis in 15-day periods. The use of undersized lobsters (mainly carapace length of 90-115 mm) allowed us to develop a cost-effective sampling program with 100% participation among fishermen. The drawback of this framework was to restrict our inference to this size range (nevertheless the most interesting for management) and not having samples during the winter (fishery closure).

Molt timing

Previous research states that the main male molting period of *Jasus frontalis* (at size ranges vulnerable to the fishing traps, between 95-120 mm of carapace length) occurs in late spring or during summer. The characterization of these molting periods was carried out by Arana and Martinez (1985), analyzing the proportion of soft individuals to total captured lobsters by month, and Venturini (1993) using mark-recapture data, respectively. This latter estimate was corroborated by Dupré (2000) using individuals in captivity, finding that males molt in February and March (Table 1). These results resemble to those reported for congeneric species, which determined that males molt in late spring and early summer (Booth, 2006). Our study provides the following facts to the male lobster molting time conceptual framework: (i) no molt during spring 2008 (Oct-Dec); (ii) molting period starts in January and extends through March (first tagging group shows molted individuals from January through May, the second and third show virtually no molt from March through May); (iii) a proportion of the second and third tagging groups shows a winter molt (38.2%); and (iv) a fraction of the tagged population molted in Spring 2009 (Oct-Dec) (Figure 10).

Given these results we propose the following new conceptual model for Juan Fernández male molt timing (Figure 11). A summer molt for the males occurs in, and spans from, early January to late March. This is evidenced with increments of tag group 1 (January, Figure 10a) and no molts in tag groups 2 and 3 during early autumn (April –May 2009, Figure 10b). This is also supported by Venturini (1993) for the same species in Robinson Crusoe Island (Figure 1) and congeneric species (Table 1). The winter molt develops sometime between June and October. Support for this statement comes from the lack of molting of the first tag group in spring (October-December 2008) and of tag groups 2 and 3 in April-May 2009. Nevertheless,

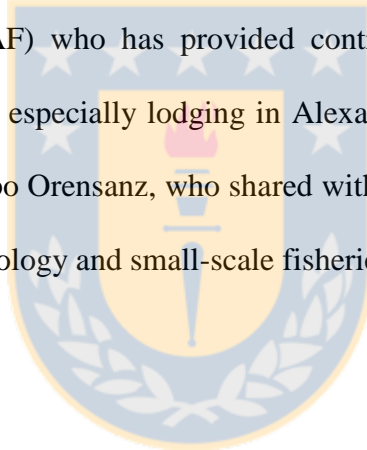
at the onset of spring 2009, tag groups 2 and 3 contained only a 38.2% of lobsters with increments and a steady increase of molted individuals throughout December 2009 (Figure 10b). We think that the winter molt timing can experience some temporal variability (Figure 11), probably depending on several unknown covariates (e.g. temperature, timing of reproductive season, movement). A spring molt is coincident with Arana and Martinez (1985), and probably also corresponds to a late winter molt.

During this study we used a threshold increment of 2 mm to define growth (molt) of individuals, because the detected measurement errors on board of fishing boats were about 1.5 mm. By spring of 2009 a 10% remnant of unmolted lobsters (all tag groups) corresponded to individuals showing minor growth (less than 2 mm). This point is particularly important because we have not found any evidence of skip molting behavior in lobsters (Wahle and Fogarty 2006; Booth 2006).

The four modal components observed in Figure 9b are probably a mixture of accumulated molting events and differences in growth (mean increments at molt). The main summer molt mean increment (Figure 9a) is 0.8 mm larger than the first modal components of Figure 9b and 9c, which represents an insignificant difference. The second modal component of Figure 10b can represent a second molt, and the third and fourth components could represent either a third or a fourth molt or increment distributions of individuals with larger scope for growth. Nevertheless individuals of congeneric species at equivalent size ranges are molting one and two (at the most) times per year (Table 1).

6 ACKNOWLEDGEMENTS

Pablo Manríquez is thankful to CONICYT scholarships. We acknowledge and are deeply thankful to lobster fishermen of Alexander Selkirk Island, whose contribution was essential to the success of the mark recapture program. We appreciate the help and enthusiasm of Pablo Retamal for participating in the sampling program. We are grateful to CREO (Conservation, Research and Education Opportunities) for funding part of this study, to Michelle Wainstein for providing initial impetus and enthusiastic support, to the Fondo de Investigación Pesquera (grant FIP 2008-24) and Mr. Alejandro Karstegl (Subpesca) for funding most of this work, and to Mr. Iván Leiva (CONAF) who has provided continuous support for research in Juan Fernández Archipelago and especially lodging in Alexander Selkirk Island. We dedicate this contribution to Dr. Jose Lobo Orensanz, who shared with us his profound genuine interest and knowledge on crustacean biology and small-scale fisheries.



7 REFERENCES

- Aiken D. 1980. Molting and growth. *In: The biology and management of lobsters*. J. Cobb and B. Phillips (Eds.), Academic Press, Vol. 1.
- Annala J. H., & Bycroft B. L., 1988. Growth of rock lobsters (*Jasus edwardsii*) in Fiordland, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 22, 29-41.
- Ahumada Mauricio & Queirolo Dante., 2014. Explotación de peces asociada a la pesquería artesanal de langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). *Lat. Am. J. Aquat. Res.* [online]. 2014, vol.42, n.1, pp. 213-223. ISSN 0718-560X. <http://dx.doi.org/103856/vol42-issue1-fulltext-18>.
- Arana P., 1983. Estado en que se encuentra la pesquería de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). Pages 77–111 in P. Arana, ed. 'Análisis de Pesquerías Chilenas'. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Arana P. & Martínez G., 1985. Crecimiento por muda de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). In: P. Arana (ed.). *Investigaciones Marinas en el Archipiélago de Juan Fernández*. Esc. Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 225-236.
- Arana P.M., Dupré E. & Gaete V., 1985. Ciclo reproductivo, talla de primera madurez sexual y fecundidad de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). In: P. Arana (ed). *Invest. mar. en el archipiélago de Juan Fernández*. Valparaíso: Escuela de Ciencias del mar Universidad Católica de Valparaíso, pp. 188-211.
- Arana P., Yáñez E., Olate C., Silva C. & Veja R., 1997. Análisis y evaluación indirecta de la pesquería de langosta en el archipiélago Juan Fernández. Fondo de Investigaciones Pesqueras (Chile), Proyecto FIP N° 96-22. 219 p.
- Arana P. & Olate C., 2000. Composición de las capturas de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) y determinación de parámetros biológico-pesqueros durante la temporada de pesca 1996-1997. *Invest. Mar*, Valparaíso, 28: 83-115.
- Arana P., Ahumada M., Guerrero A., Espejo V., Yáñez E., Silva C., Ernst B. & Orensanz J.M., 2006a. Evaluación de stock y distribución de la langosta y el cangrejo dorado en el archipiélago de Juan Fernández (Proyecto FIP 2005-21). Informe final. Estad. Doc, Pont. Univ. Católica, Valparaíso, 27/2006: 257p.

- Booth J., 2006. CHAPTER 10: *Jasus* Species In: Lobsters: Biology, Management, Aquaculture and Fisheries. Phillips Bruce(Ed). Blackwell Publishing ©. 340-358.
- Breen P. A., Kim, S. W., and Andrew, N. L., 2003. A length-based Bayesian stock assessment for the New Zealand abalone *Haliotis iris*. *Marine and Freshwater Research*, 54: 619 – 634.
- Chittleborough R. G., 1975. Environmental factors affecting growth and survival of juvenile western rock lobsters *Panulirus longipes* (Milne-Edwards). *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 26, 177-196.
- Cockcroft, A. C. & Goosen P.C., 1995. Shrinkage at moulting in the rock lobster *Jasus lalandii* and associated changes in reproductive parameters. *S. Afr. J. mar. Sci.* 16: 195-203.
- Du Juan., 2002. Combined Algorithms for Fitting Finite Mixture Distributions, McMaster University. unpublished M.Sc. project.
- Dupré E., 2000. Reproducción muda y desarrollo de la langosta de Juan Fernández, *Jasus frontalis*, en estanques de Cultivo. *Invest. Mar.*, Valparaíso. 28: 165-174.
- Ernst B., Manríquez P., Orensanz J.M (lobo)., Roa R., Chamorro J. & Parada C., 2010a. Strengthening of a traditional territorial tenure system through protagonism in monitoring activities by lobster fishermen from the Juan Fernández Islands, Chile. *Bull. Mar. Sci.* 86(2): 1-44.
- Ernst B., Chamorro J., Manríquez P., Orensanz J.M (lobo)., Parma Ana M., Porobic J. & Román C., 2013a. Sustainability of the Juan Fernández lobster fishery (Chile) and the perils of generic science-based prescriptions. *Global Environment Change* 23: 1381–1392 p.
- Ernst B., Manríquez P., Chamorro J., Parada C., Porobic J., Román C., Rivara P., Pino J. & Reyes A., 2014. Programa de monitoreo de las principales pesquerías de Juan Fernández, año 2013”. Proyecto FIP 2013-15 Subpesca. 230 p.
- Ford R. E., 1977. Workshop on Lobster and Rock Lobster Ecology and Physiology. Growth Patterns of Lobsters. In: Phillips, B. F. y J. S. Cobb (Eds.). Division of Fisheries and Oceanography. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Melbourne. 75-81.

- Freeman D.J., 2008. The ecology of spiny lobsters (*Jasus edwardsii*) on fished and unfished reefs. PhD thesis, University of Auckland.
- Frusher S.D. & Hoening J.M., 2001. Impact of lobster size on selectivity of traps southern rock lobster (*Jasus edwardsii*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58:2482-2489.
- García A. & Kensler B.C., 1980. Las langostas de México: su biología y pesquería. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México 7: 111-128.
- Gardner C, & Mills DJ. 2013. Determination of Moulting Events in Rock Lobsters from Pleopod Clipping. PLoS ONE 8(8): e74146. doi:10.1371/journal.pone.0074146
- Goosen P. C. & Cockcroft A. C., 1995. Mean annual growth increments for male West Coast rock lobster *Jasus lalandii*, 1969-1993. S. Afr. J. mar. Sci. 16: 377-386.
- Kruse G., 1993. Biological perspectives on crab management in Alaska. Pages 355–384 in G. Kruse, D. M. Eggers, R. J. Marasco, C. Pautzke, and T. J. Quinn, eds. Proc. Int. Symp. Management Strategies for Exploited Fish Populations. Rep. 93-02, Univ. Alaska Sea Grant College Program, Fairbanks.
- Linnane A., Hobday D., Frusher S. & Gardner C., 2012. Growth rates of juvenile southern rock lobster (*Jasus edwardsii*) estimated through a diver-based tag-recapture program. Mar Freshw Res 63:110–118
- Masoli C. & Larraín J., 2007. Mas afuera: Base de Antecedentes para futuros planes de ordenamiento territorial. Informe de Práctica Profesional. Universidad Central de Chile. 86 pags.
- MacDonald P.D.M. & Pitcher T.J., 1979. Age-groups from size-frequency data: a versatile and efficient method of analyzing distribution mixtures, journal of the Fisheries Research Board of Canada, 36, 987-1001.
- McKoy J. L. & Esterman, D. B., 1981. Growth of rock lobsters (*Jasus edwardsii*) in the Gisborne region, New Zealand. New Zealand journal of marine and freshwater research 15: 121-136.
- McKoy J. L., 1985. Growth of tagged rock lobsters (*Jasus edwardsii*) near Stewart Island, New Zealand, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 19:4, 457-466.

- Montgomery S.S., Liggins G.W., Craig J.R. & McLeod J.R., 2009. Growth of the spiny lobster *Jasus verreauxi* (Decapoda: Palinuridae) off the east coast of Australia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 43: 113-123.
- Musgrove R.J.B., 2001. Interactions between haemolymph chemistry and condition in the southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Marine Biology* 139: 891-899.
- Newman G. G. & D. E. Pollock., 1974. Growth of the rock lobster *Jasus lalandi*; and its relationship to benthos. *Mar. Biol.* 24: 339-346.
- Pavez P. & Arana P., 1982. Estimaciones de incrementos de talla, esquema de migración y determinación de tamaños poblacionales vulnerables de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). Informe Final. Estud. Doc., Univ. Católica Valparaíso, 16/82: 87 pp.
- Pearn R., 1994. Rock lobster tagging shows movement occurs. *Fishing Today*, 7(5): 27–29.
- Pollock D.E. & Roscoe, M.J. 1977. The growth at moulting of crawfish *Jasus tristani* at Tristan da Cunha, South Atlantic. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 37(2): 144-146.
- Pollock D.E, Cockcroft AC & Goosen P.C., 1997. A note on reduced rock lobster growth rates and related environmental anomalies in the southern Benguela, 1988–1995. *South African Journal of Marine Science* 18: 287–293.
- Punt A. E., Buckworth R. C., Dichmont C. M. & Ye Y. M., 2009. Performance of methods for estimating size-transition matrices using tag–recapture data. *Marine and Freshwater Research* 60, 168–182.
- Venturini V., 1993. Desarrollo de un procedimiento analítico para la descripción del crecimiento en los crustáceos, aplicado a la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*, Milne Edwards, 1837). UCV, Tesis de Título de Ingeniero Pesquero. 86pp.
- Wahle R.A. & Fogarty M.J., 2006. Growth and development: understanding and modelling growth variability in lobsters. *In Lobsters: biology, management, aquaculture and fisheries. Edited by B.F. Philips. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK. pp. 1–44.*

LIST OF TABLES

Table 1. Timing and molt frequency during for one year depending on the condition and size of the individual for the genus *Jasus*.

Species	Sex	Molting period	Average increment by molt at size (mm)		Reference
			Average Increment (mm)	Small Animals <70	
<i>J. frontalis</i>	F	Fall	9.0*		Pavez & Arana (1982)
<i>J. frontalis</i>	M	Nov - Feb			
<i>J. frontalis</i>	F-M		8.32-11.62*		Arana (1983)
<i>J. frontalis</i>	F	May-Jun (Fall)	8.9*		Arana & Martinez (1985)
<i>J. frontalis</i>	M	End of Spring			
<i>J. frontalis</i>	F	Fishery closure (May-Sep)	4.07*		Venturini (1993)
<i>J. frontalis</i>	M	Feb-Apr	7.48*		
<i>J. frontalis</i>	F		7.8-10.5*		Arana <i>et al.</i> (1997)
<i>J. frontalis</i>	M		8.0-9.6*		
<i>J. frontalis</i>	F-M		6.6*		Arana & Olate (2000)
<i>J. frontalis</i>	F	(1/2)Apr-(1/2)Jun	1.3-3.6		Dupre (2000)
<i>J. frontalis</i>	M	Feb-Mar			
<i>J. frontalis</i>	F	Fall-Winter	5.0		Ernst <i>et al.</i> (2010b)
<i>J. frontalis</i>	M	Jan-Mar. Fall/Winter			
<i>J. lalandii</i>	F-M		2.8-5.5		Newman & Pollock (1974)
<i>J. lalandii</i>	F	Abr-Jun		0.3 - 3.6	Cockcroft & Goosen (1995);
<i>J. lalandii</i>	M	Sep-Nov			Goosen & Cockcroft (1995)
<i>J. lalandii</i>	M	Nov - Dec		3.5	Pollock <i>et al.</i> (1997)
<i>J. edwardsii</i>	F	Dec-Jul	5.0	6.3	McKoy (1985);
<i>J. edwardsii</i>	M	(Sept-Nov) & (Feb-Ago)		4.3 - 5.7	McKoy & Esterman (1981)
<i>J. edwardsii</i>	F ₀	Ene-Ago **		2.0 - 4.0	
<i>J. edwardsii</i>	F ₁	Feb-Jul	5.0	1.3 - 3.4	Annala & Bycroft (1988)
<i>J. edwardsii</i>	M	(Jun-Aug) & (Dec-Feb)		2.0 - 7.2	
<i>J. edwardsii</i>	F	Apr			Freeman (2008)
<i>J. edwardsii</i>	M	Ago-Sep			
<i>J. edwardsii</i>	F			3.0 - 7.0	Linnane <i>et al.</i> (2012)
<i>J. edwardsii</i>	M			4.0 - 7.0	
<i>J. edwardsii</i>				4.0 - 6.0**	
<i>J. tristani</i>	F		1.0		Pollock & Roscoe (1977)
<i>J. tristani</i>	M		5.0		
<i>J. tristani</i>	M			4.8 - 6.9	Pollock (1991)
<i>J. verreauxi</i>	F	End of Sep - Mid Nov	5.0		Montgomery <i>et al.</i> (2009)
<i>J. verreauxi</i>	M		6.0		

*Measured increase of long post ocular

** Some molt twice per year

F₀ (Immature) y F₁ (Mature)

Sizes < 50mm CL, 3 to 4 molt per year (Linnane *et al.* 2012)

Sizes between 50-70mm CL, 2 to 3 molt per year (Linnane *et al.* 2012)

Table 2. Tagging events of the 2008 multi-objective tagging program in the Alejandro Selkirk Island.

Events	Start	Finished	# Marks	Size Range (CL-mm)	Tag type	Subsystem
1	Oct-01-08	Oct-18-08	3138	79.0 - 117.8	T-Bar Green	AS
2	Feb-14-09	Mar-14-09	1708	96.7 - 114,6	T-Bar Green	AS
3	Apr-15-09	Apr-30-09	2097	90.1 - 116.1	T-Bar Green	AS



Table 3. Parameter estimates of modal decomposition analysis (normal distributions) with their respective standard errors.

Group 1	f (x1)	SE	f (x2)	SE	f (x3)	SE	f (x4)	SE
Pi	0.97	0.03	0.03	0.03				
Mean	4.75	0.18	8.88	0.34				
Sigma	15.52	0.15	0.23	0.43				
Group 2								
Pi	0.5	0.15	0.35	0.21	0.12	0.08	0.04	0.02
Mean	3.94	0.48	7.28	0.47	11.06	0.97	16.49	10.7
Sigma	1.19	0.26	1.15	0.71	1.30	0.71	1.74	0.89
Group 3								
Pi	0.43	0.1611	0.57	0.16				
Mean	3.92	0.3302	6.37	0.53				
Sigma	1.11	0.2238	1.99	0.19				



LIST OF FIGURES

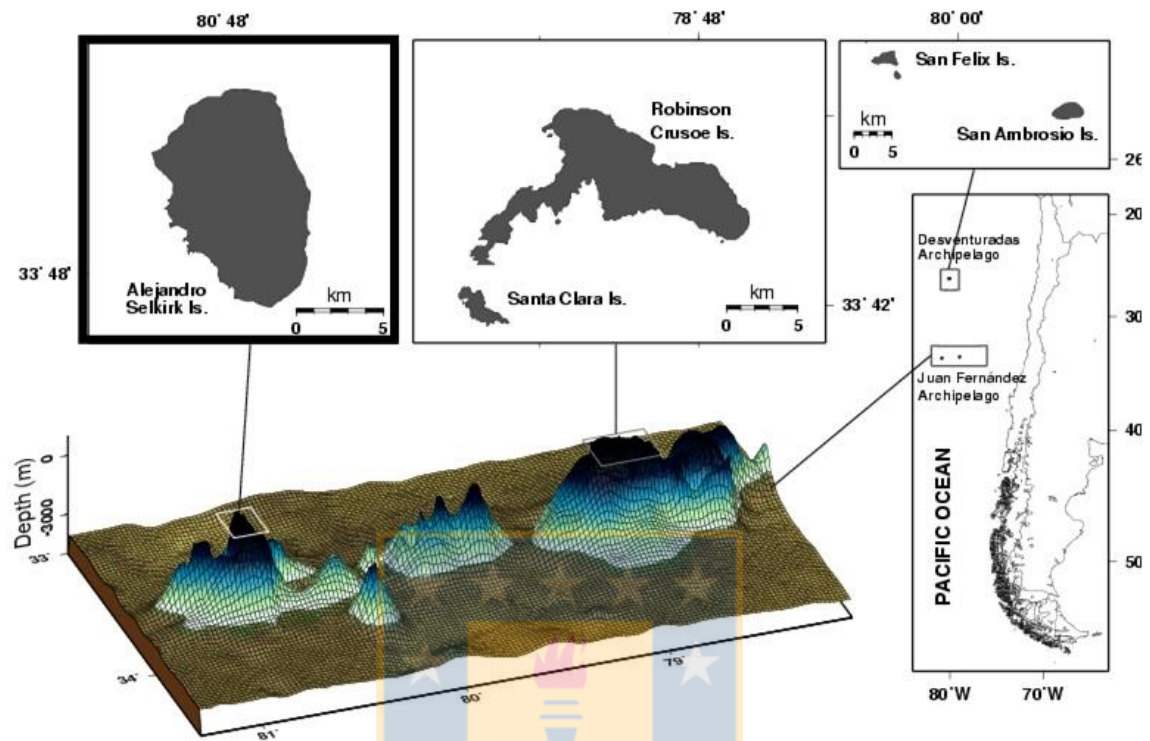


Figure 1. Geographic distribution of Juan Fernández lobster and fishery. Five islands are arranged in two archipelagos, Juan Fernández and Desventuradas. Selkirk Island, the study system, is depicted by a black box.

Biological	F	Ovigerous (O)	O	O	Finished (O)	<i>No molt females</i>			Start Large Ovigerous (O). <i>Molt Females</i>			<i>Molt Females</i>			Larval hatching of large females. <i>Molt Females</i>			Ovigerous & Larval hatching	Ovigerous & Larval hatching	Ovigerous & Larval hatching
	M	<i>No molt Males</i>				<i>Molt Males</i>			<i>No molt</i>			<i>Molt Males???</i>						<i>No molt Males</i>		
Fishing	Fishery stars near the coast				Migration Offshore fleet	High proportion females captured	Decreases number tramps	High proportion males captured			Fishery closure						Fishery stars near the coast			
Time	Spring			Summer			Fall			Winter			Spring							
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D					
	Fishing season									Off season						Fishing season				
	2008-2009									Off season						2009-2010				
Tag Groups	Group 1				Group 2			Group 3												
Tag Recapture G1																				
Tag Recapture G2																				
Tag Recapture G3																				

Figure 2. Conceptual model of relevant biological and fishery events associated to the Selkirk Island stock.





Figure 3. Dorsal insertion of T-bar tags on Juan Fernández lobster during the 2008/09 tagging program.



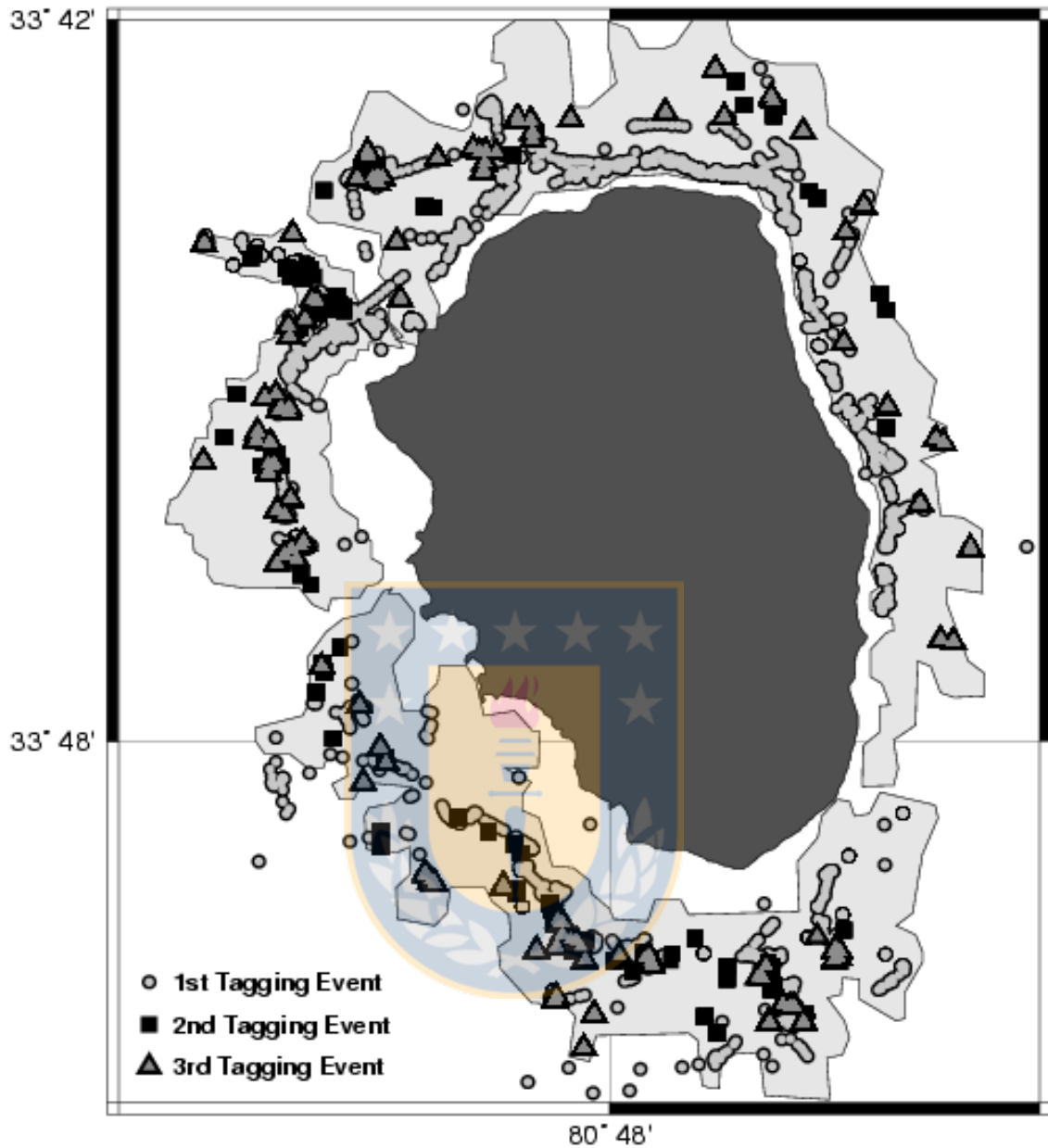


Figure 4. Juan Fernández lobster fishing grounds (grey polygons) in Selkirk Island. Recovery sites of marked lobsters of the first, second and third tagging events are represented by circle, box and triangle, respectively.

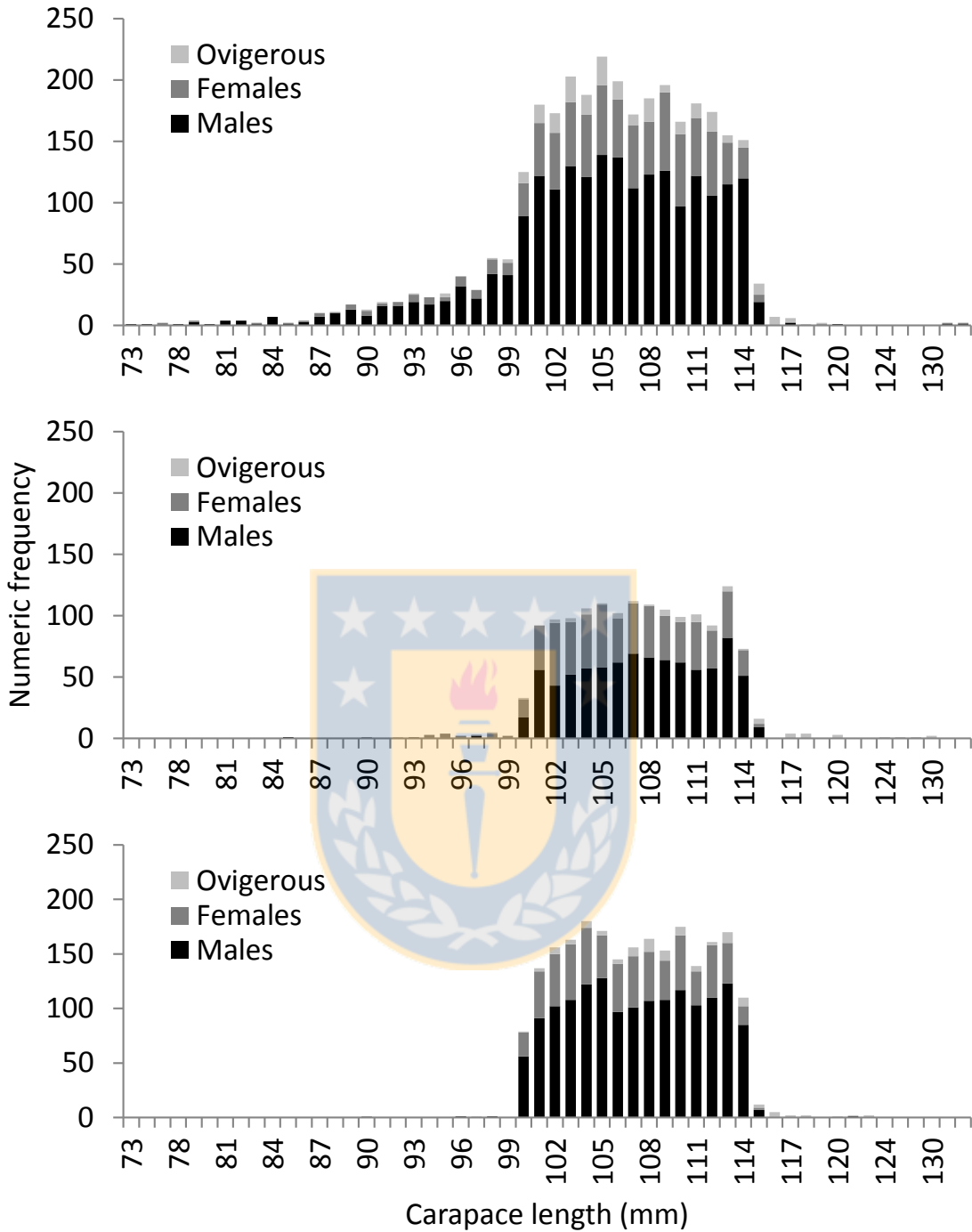


Figure 5. Length frequency distribution of tagged lobster of the first (a), second (b) and third (c) tag groups. Colors on vertical bars represent sex or female reproductive condition.

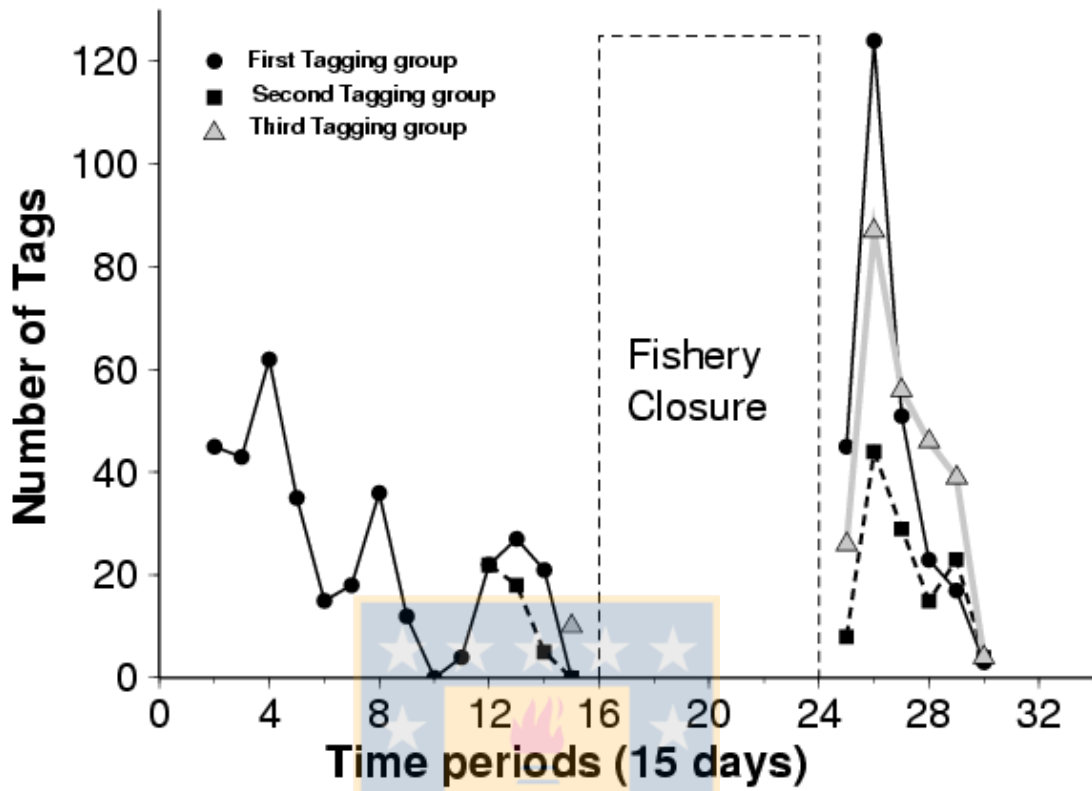


Figure 6. Recapture rate of tagged lobsters for each tag group during 15-days periods from October 2008 to December 2009.

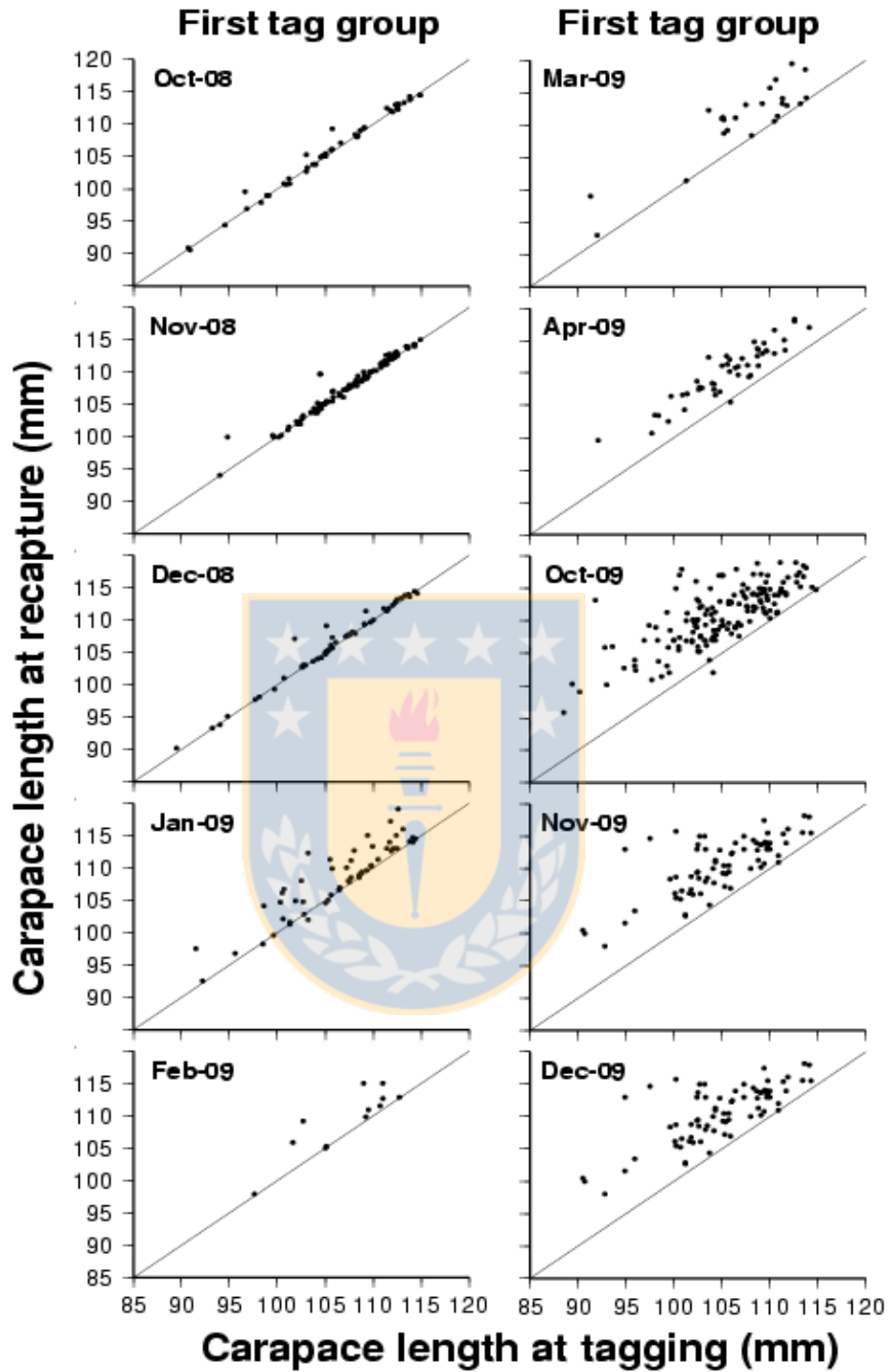


Figure 7. Carapace length at moment of the first event tagging and to the being recaptured during the months of the season 2008/09 and early of the season 2009/10.

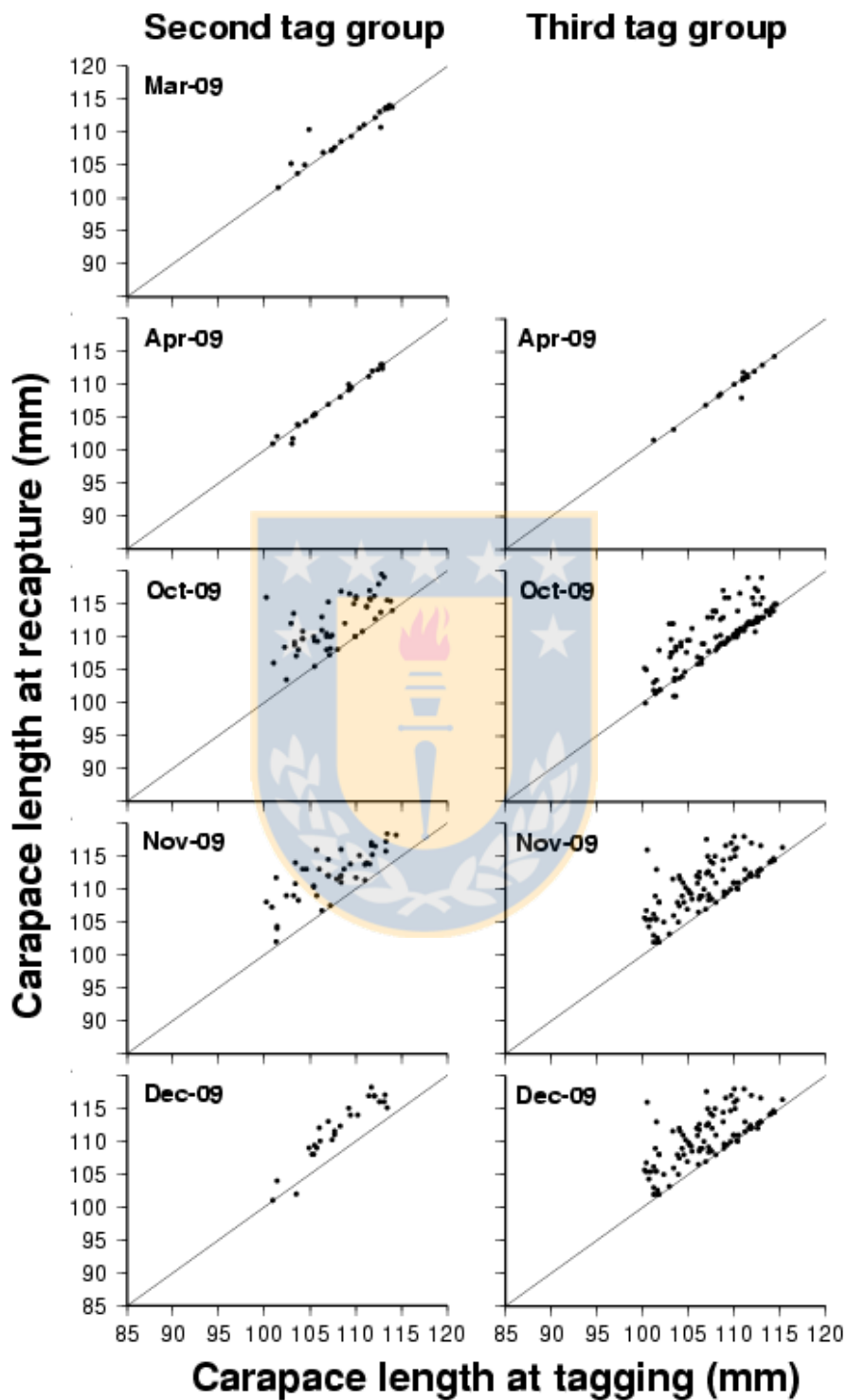


Figure 8. Carapace length at moment of the second and third event tagging and to the being recaptured at the end of season 2008/09 and early of the sea

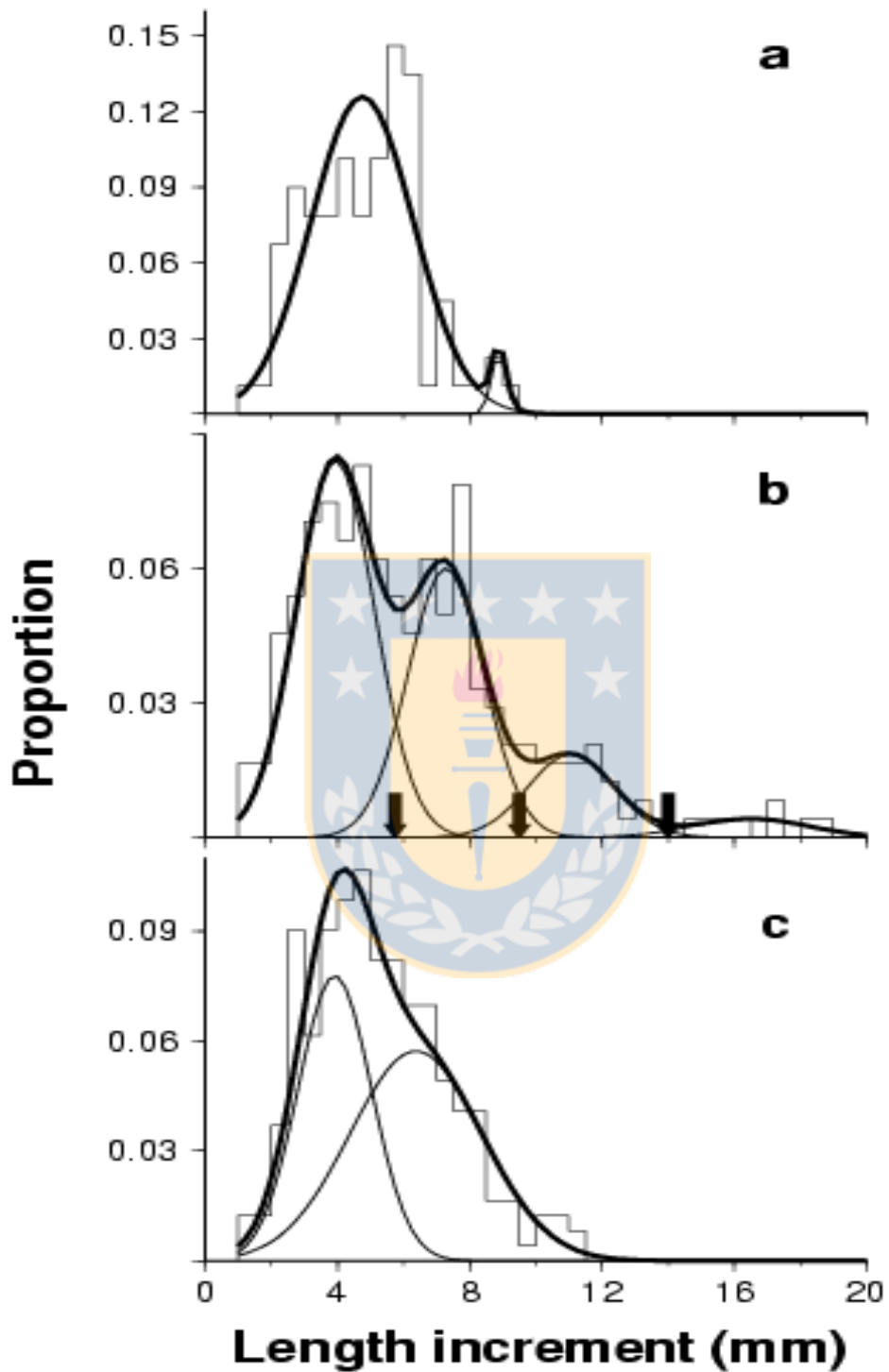


Figure 9. Modal decomposition analysis on size increments. (a) Recaptures of the 1st tagging event during October 2008 April 2009; (b) Recaptures only of the 1st event (Oct2009-Dec2009); c) Recaptures combined between the 2nd and 3rd event (Oct-Dec2009).

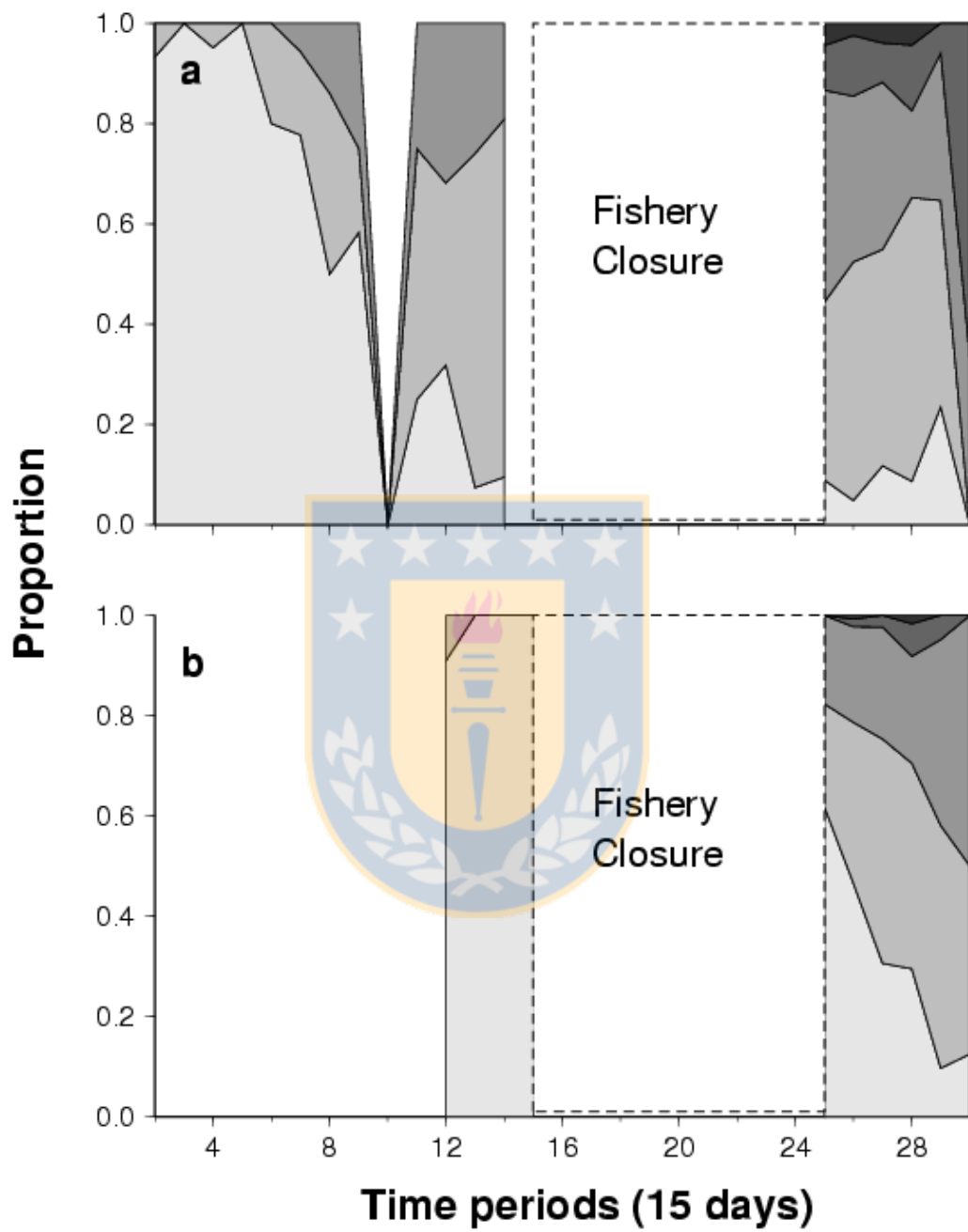


Figure 10. Probability of recaptured individuals not increased and molted by 15 days periods. a) Recaptures only of the 1st event (Oct2008-Apr2009); b) Recaptures combined between the 2nd and 3rd event (Mar-Dec2009).

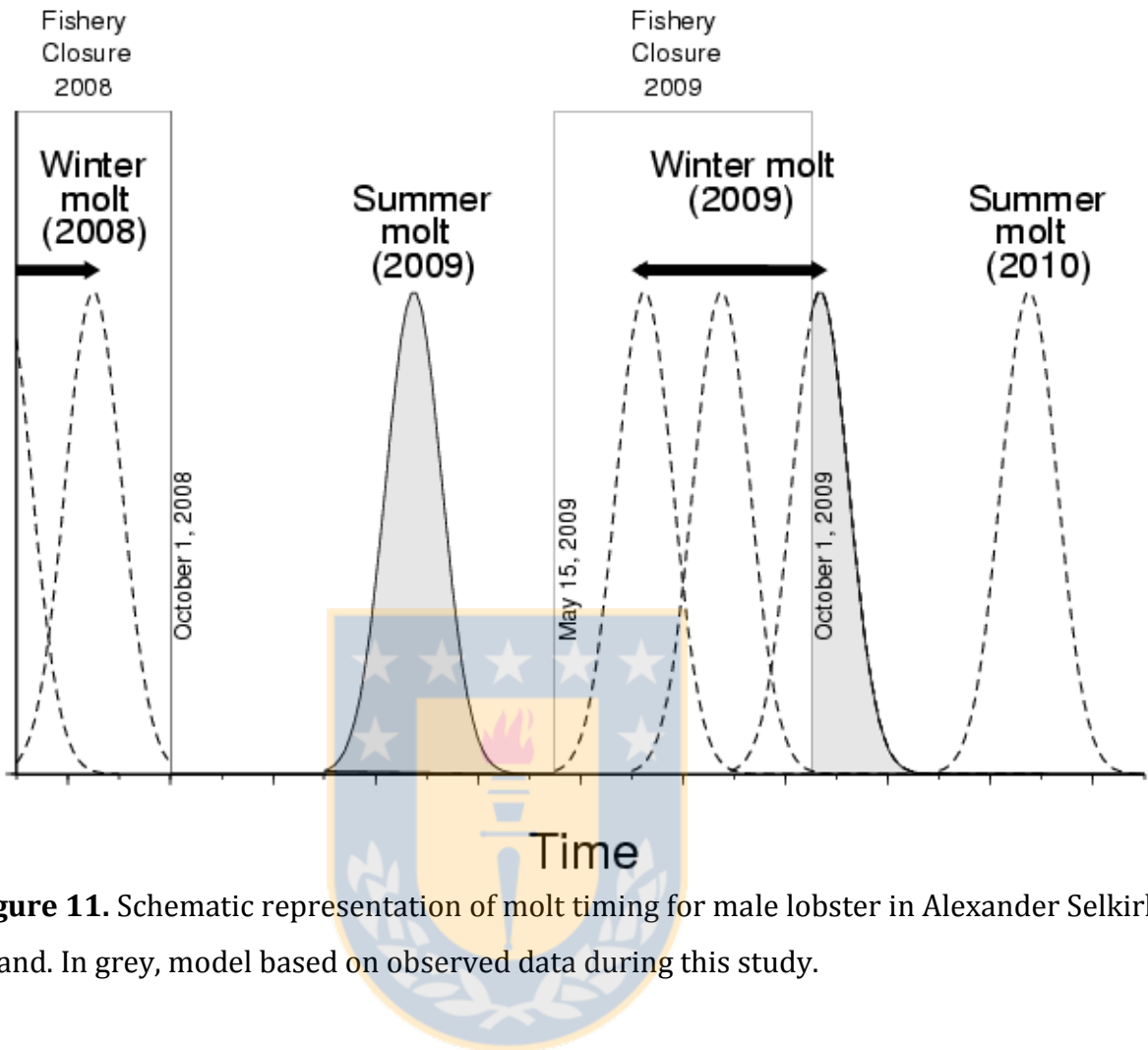
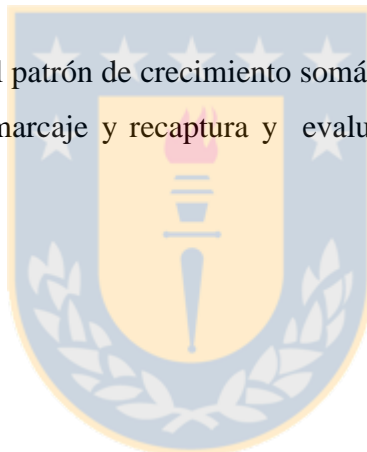


Figure 11. Schematic representation of molt timing for male lobster in Alexander Selkirk Island. In grey, model based on observed data during this study.

CAPITULO 2: Análisis del patrón de crecimiento somático de la langosta de Juan Fernández, a través de programas de marcaje y recaptura y evaluación de la talla mínima legal como medida regulatoria.



1 RESUMEN

La langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) es el recurso natural de mayor importancia comercial para los habitantes de las islas oceánicas de Juan Fernández y Desventuradas, consolidándose una pesquería sostenible desde hace ya más de un siglo. Numerosos trabajos han contribuido en el pasado al conocimiento de su actividad pesquera y su biología, pero quedando aun muchos desafíos respecto del entendimiento de procesos demográficos como mortalidad, reclutamiento y crecimiento somático y la justificación técnica de medidas regulatorias como talla mínima de 115 mm. Por ello, es que a inicios de la temporada 2008/09, se comienza a desarrollar un programa de marcaje y recaptura multiobjetivo y plurianual (6 temporadas y seis eventos de marcaje) en el subsistema isla Alejandro Selkirk, donde el estudio del crecimiento somático ha tenido un rol importante. De esta forma este estudio permitió recabar información de 340 y 114 incrementos anuales de machos y hembras de langostas, respectivamente, en un rango de talla global comprendido entre 33.1 y 313 mm de CL. En un esfuerzo por caracterizar el patrón de crecimiento en una escala temporal del ciclo de vida de langosta de Juan Fernández, se incorporó información de incrementos a la talla para juveniles de un programa de marcaje y recaptura desarrollado en la isla Robinson Crusoe entre las temporadas 2008/09 y 2011/12 y de un estudio de incrementos por muda para individuos adultos (de gran tamaño) realizado en acuarios con ejemplares provenientes de las islas Desventuradas y de los otros dos subsistemas.

El patrón de crecimiento (incrementos respecto de la talla de marcaje) se modeló a través de una ecuación de Fabens y una de regresión “Piece wise”, tanto para machos como hembras. Utilizando el Criterio de Información de Akaike se estableció que el mejor modelo para ambos sexos es el Piece-wise, mostrando un abrupto cambio en la tasa de crecimiento en torno a los 110.7 mm para machos y 81,9 mm para hembras.

Finalmente con los resultados del patrón de crecimiento se implementó un modelo estructurado por tallas utilizando un esquema de modelación del uso de la matriz de transición por sexo, permitiendo realizar un análisis de reducción del potencial reproductivo y de rendimiento de captura en función de distintas tallas mínimas de captura (TML = 100; 110; 115; <115 mm) todas ellas fueron proyectadas hasta alcanzar un estado de equilibrio (100 años). En este análisis la incertidumbre estructural de modelo fue representada a través de 4 escenarios (dos más productivos y dos menos productivos). Los resultados generales indican

que para escenarios de un stock menos productivo la disminución en la razón del potencial reproductivo puede ser de 2 a 15 veces entre una TML de 115 y de 100 mm, produciendo además reducciones en la misma dirección respecto de las capturas. Para los escenarios más productivos la disminución en la razón del potencial reproductivo es menor (35-40%) pero con incrementos en las capturas entre un 5 y un 20%. Este análisis preliminar señala que bajo los supuestos propios de esta simulación, no se justificaría bajar la talla mínima legal, dado el riesgo de producir una importante reducción del stock desovante, sin tener un incremento importante en las capturas.



2 INTRODUCCION

2.1 Investigación Biológica-Pesquera de la Langosta de Juan Fernández

La actividad pesquera de esta región insular se subdivide en tres subsistemas de trabajo, dos de estos grupos se localizan en las islas del archipiélago Juan Fernández (Isla Alejandro Selkirk (AS), Isla Robinson Crusoe y Santa Clara (RC-SC)) separados por 90 mn; mientras que el tercer grupo está constituido por las islas Desventuradas (San Ambrosio y San Félix) ubicadas a 460mn más al norte del archipiélago Juan Fernández (AJF).

La investigación biológica y pesquera del recurso ha sido esporádica en el tiempo (ver Tabla1), destacando los proyectos realizados durante las temporadas 1984/85 (Henríquez *et al.*, 1985), 1996/97 (Arana *et al.*, 1997), 2005/06 (Arana *et al.*, 2006b), 2010/13 (Ernst *et al.*, 2013). Si bien, estos esfuerzos han recopilado valiosa información sobre la especie y su pesquería, la discontinuidad de información limitaba en gran forma la capacidad de análisis e inferencia respecto de la dinámica de la especie y la pesca; esta última mejorando considerablemente gracias al seguimiento pesquero y biológico en las últimas 9 temporadas.

Las actividades extractivas de langostas dependen en gran medida de las fuerzas de las clases anuales que reclutan cada año a la pesquería. La variabilidad del reclutamiento depende a su vez de condiciones locales ambientales y biológicas durante las fases larvarias, de asentamiento y bentónicas. Esta situación determina que desde un punto de vista biológico los subsistemas Robinson/Santa Clara (RS_SC) y Alejandro Selkirk (AS) deban ser estudiados y monitoreados en forma independiente.

A inicios de la temporada 2008/09, se comienza a generar información biológica y pesquera del subsistema (AS), que a través de un programa de marcaje y recaptura y otro de un seguimiento biológico-pesquero, han sido llevados permanentemente por parte de investigadores de campo, en conjunto con la comunidad de pescadores. Finalmente, a través de los años, se ha podido incrementar paulatinamente el conocimiento sobre esta especie, sus stocks y su pesquería. Las condiciones particulares que caracterizan al sistema Isla Alejandro Selkirk, permitieron el desarrollo de un programa de marcaje y recaptura multiobjetivo y plurianual, para estudiar el crecimiento somático de la langosta en un rango de tallas vulnerables a la pesquería y conocer de esta forma su patrón de crecimiento. Dos meses después del inicio del programa mencionado, comienza en la isla Robinson Crusoe una

investigación orientada fundamentalmente al proceso de reclutamiento y la demografía a corto plazo de la especie. Parte de los objetivos incorporaron la ejecución de un programa de marcaje y recaptura de individuos de baja talla cefalotorácica mediante buceo, al noreste de la isla. Tras 3 años de duración del proyecto se logró marcar 134 individuos con un rango de talla cefalotorácica entre los 33.13 a 59.9 mm, cuya información de recapturas fueron favorablemente disponibles para el desarrollo de este trabajo.

2.2 Crecimiento

El crecimiento en las langostas está muy relacionado con los procesos tales como reproducción, metabolismo, comportamiento y funciones sensoriales, los cuales se ven afectados directa o indirectamente por el ciclo de la muda (García & Kensler, 1980). La langosta, así como en todos los crustáceos, el exoesqueleto limita el crecimiento a los espacios hemocélicos, y sólo puede incrementar su tamaño después de cada período de muda, generalmente incrementándose su longitud en un 15%. El incremento de tamaño se realiza aparentemente de una manera discontinua, desde el punto de vista fisiológico (Ford, 1977; García & Kensler, 1980).

El estudio del crecimiento somático se ha históricamente abordado a través de tres aproximaciones: (a) estudios experimentales; (b) métodos estadísticos de descomposición modal de datos de frecuencia de tallas y (c) métodos de marcaje y recaptura. Esta última aproximación ha cobrado mucha importancia, ya que es un método directo de evaluar *in situ* los incrementos en talla.

El marcaje y recaptura es a menudo el único método práctico disponible para evaluar *in situ* el crecimiento en langostas (Dúbula *et al.*, 2005). Programas de marcaje para evaluar crecimiento, se han desarrollado para otras langostas, incluyendo a *J. edwardsii* (Hutton, 1875), *J. verreauxi* (H. Milne Edwards, 1851), *Panulirus ornatus* (Fabricius, 1798) y *Panulirus cygnus* (George, 1962) en Australia y Nueva Zelanda (McKoy, 1985; Annala y Bycroft, 1988; Phillips *et al.*, 1992), la langosta americana *Homarus americanus* (H. Milne Edwards, 1837) (Comeau y Savoie, 2001), y para *J. lalandii* (H. Milne Edwards, 1837) (Dúbula *et al.*, 2005). Existen trabajos sobre crecimiento de langostas en cautiverio, pero surgen dudas al compararlos con estudios en ambientes naturales, principalmente en estadios

tempranos donde el crecimiento es influenciado tanto por la frecuencia de muda como la magnitud media de crecimiento por muda. (Chittleborough, 1975; Dúbula *et al.*, 2005). Un número de factores que afectan el incremento del crecimiento y la frecuencia de muda de las langostas, son la temperatura del agua (Chittleborough, 1975; Punt *et al.*, 1997), disponibilidad y calidad de alimento (Chittleborough, 1975, 1976), salinidad (Field & Butler 1994, citado en Robertson & Butler, 2003), presencia de predadores (Lozano-Álvarez & Spanier, 1997), daños y stress (Chittleborough, 1975), etc.

Un resumen de las diversas contribuciones de investigación sobre el crecimiento somático de la especie *Jasus frontalis* se representan en la Tabla 2, destacándose el incremento en longitud y períodos de muda durante el año.

En el estudio del crecimiento de la especie *Jasus frontalis*, se destaca el crecimiento por muda del tipo geométrico retrogresivo (Pavez y Arana 1982), con una tasa decreciente que varía de 15.81% (70 mm de CL) a 8.04% (100 mm de CL), detectándose 6 grupos de muda que actúan en la pesquería con un incremento de 9 mm entre ellos. En el año 1985, Arana y Martínez, mediante análisis de descomposición modal de distribuciones de frecuencias de longitud cefalotorácica, reportan un incremento de 8.9 mm (ver Tabla 2), constante para todas las mudas, lo que equivale a una tasa porcentual decreciente en cada ecdisis progresiva. Dupré en el 2000, identifica un crecimiento de 1.3 a 3.6 mm de CL, mediante análisis de individuos en cautiverio y estableciendo además que las hembras aumentan de tallas en mayor porcentaje (2.7%) que los machos (2.3%). Trabajos de Arana y Venturini (1989) establecieron una función de crecimiento para machos y hembras de esta especie, mediante un ajuste estadístico del modelo de von Bertalanffy, con datos provenientes del programa marcaje y recaptura desarrollado entre octubre de 1987 y diciembre de 1988 sobre la población vulnerable de langostas en las islas Robinson Crusoe y Santa Clara del archipiélago Juan Fernández. Venturini (1993) desarrolló un procedimiento analítico que permitió describir el crecimiento de tipo geométrico retrogresivo, con incrementos exuviales cada vez menores en mudas sucesivas. Sin embargo, el proyecto FIP 96-22, describe la determinación del patrón de crecimiento de la langosta de Juan Fernández, empleando un procedimiento de máxima verosimilitud de acuerdo al enfoque introducido por McDonald y Pitcher (1979) para la separación de componentes normales a partir de una distribución de frecuencias de tallas, que de acuerdo a Arana (1983) y Arana y Martínez (1985), en esta especie los grupos modales o estados de muda corresponderían a clases de edad (Arana *et al.* 1997). En los crustáceos, el

crecimiento es un proceso de carácter discontinuo cuya representación gráfica, en términos de cada individuo, presenta una serie de escalones en orden ascendente. No obstante lo anterior, diversas metodologías y procedimientos en uso en biología pesquera, emplean los parámetros L_{∞} , k y t_0 que se determinan, por lo general, suponiendo un crecimiento continuo (Arana *et al.* 1997).

A través de la identificación de los estados de las clases anuales de muda, en la fracción vulnerable a la pesquería, se estimó un incremento por muda entre 6,5 y 10,5 mm (Arana y Olate, 2000). Los valores preliminares obtenidos por Ernst *et al.* (2010b), son cercanos a los reportados en la literatura internacional. El incremento medio experimentado por los machos alcanza los 5 mm (Ernst *et al.* 2010b). El incremento por muda reportado en estudios anteriores para *J. frontalis* varía entre 6.6 mm y 11.62 mm, resultados superiores a los rangos de 2.8-5.5 mm de incremento medio para otras especies congénéricas. Para ellas también se ha señalado que la tasa de crecimiento de las hembras disminuye tras alcanzar la madurez sexual (Annala & Bycroft 1988; McGarvey *et al.* 1999 y Linnane *et al.* 2012), donde el crecimiento somático podría ser frenado por el desarrollo interno de los órganos reproductivos en una o más mudas antes que se manifiesten las características externas de madurez (Linnane *et al.* 2012). Esto último, sorprende teniendo en cuenta que la producción de esperma en los machos, ocurre en tallas < 70 mm CL y por debajo de la talla de inicio de madurez sexual en las hembras (Turner *et al.* 2002). Si bien, se observa este comportamiento en trabajos respecto a otras *Jasus*, podemos destacar que para ambos sexos, el incremento medio para *J. edwardsii* es de 5.0 mm (Annala y Bycroft, 1988) y (Mckoy, 1985). Para *J. lalandi* el incremento por muda varía entre los 0.3 a 3.6 mm para ambos sexos (Cockcroft y Goosen, 1995) y de 2.2 a 3.5 mm (Pollock *et al.*, 1997), mientras que para la *J. verreauxi* varía entre los 5.0 a 6.0 mm en hembras y machos respectivamente (Montgomery *et al.*, 2009) y en *J. tristani* entre 4.1 a 6.9 mm para machos (Pollock 1991) (Tabla 3).

Recientemente se ha descrito un método directo para determinar edad de los crustáceos decápodos. Este procedimiento está basado en el conteo de bandas de crecimiento depositadas en estructuras calcificadas del cuerpo: pedúnculo ocular “*eyestalk*” y molinillo gástrico “*gastric mill*” (Kilada *et al.*, 2012), sin embargo, aún no está investigado en la especie. A pesar del último trabajo y bajo el supuesto de que esta metodología no arroje resultados positivos en futuras evaluaciones, el experimento de marcaje, genera una gran oportunidad para estudiar el crecimiento somático de la langosta de Juan Fernández.

2.3 Descripción del patrón de crecimiento somático.

La situación de no poder determinar la edad de los organismos, es un caso no menor en el estudio de sistemas biológicos, con ello se debe caracterizar el patrón de crecimiento somático de la población. Este es uno de los parámetros más importantes en el estudio de la dinámica de las poblaciones sometidos a explotación. En el caso particular de los crustáceos el crecimiento se observa como un proceso discontinuo que ocurre por saltos, debido a que el exoesqueleto o caparazón rígido que lo recubre no permite que el aumento en largo o peso se manifieste en forma continua (Petriella & Boschi, 1997). El crecimiento de los crustáceos se advierte, entonces, como un incremento de talla, peso y forma casi instantáneos y ocurre cuando se produce la muda, exuviación o ecdisis, que implica el abandono y degradación del viejo exoesqueleto y síntesis de nuevos tejidos (Petriella & Boschi, 1997).

Una de las particularidades de la presencia de un exoesqueleto rígido en los crustáceos es, entre otras, la restricción del crecimiento a períodos bien definidos. Naturalmente, esta característica implica la eliminación del antiguo exoesqueleto y la formación de un tegumento nuevo y generalmente de mayor tamaño, siendo el conjunto de estos sucesos conocido como ciclo de muda..

El patrón de incremento en las tallas, obtenido como referencia del capítulo anterior, fue realizado, a través de una aproximación paramétrica basada en una mezcla de distribuciones normales cuyas estimaciones de parámetros de la distribución de frecuencia de tallas de incrementos, fueron obtenidos para períodos de enero-mayo (2008) y de octubre a diciembre (2009), llevado por el programa de marcaje y recaptura en la isla Alejandro Selkirk. En el primer intervalo de tiempo, del programa se identificó una componente modal que refleja un incremento medio de 4.75mm, pudiéndose inferir un evento de muda en verano. Para el mismo primer grupo de marcaje se analizó el incremento de invierno considerando también lo analizado para el período de verano, dando como resultado 4 componentes modales normales, cuyos puntos de cortes se identificaron a los 5.75mm - 9.5mm - 14.75mm. Durante último período de tiempo de estudio (Oct-Dic2009), para el segundo y tercer grupo de marcaje, se estima un punto de corte a los 5.5mm entre sus dos componentes modales, analizándose de manera independiente a lo evaluado en el primer grupo de marcaje.

Las diferentes fuentes de información de incrementos, a través de programas de marcaje y recaptura, llevados en los distintos subsistemas, permitirán trabajar en la descripción del patrón de crecimiento somático de la especie. Dentro de la metodología asociada al análisis de datos provenientes de experimentos de marcaje y recaptura, un foco de importancia para el análisis del patrón de crecimiento somático, incluyen extensivos estudios de simulación, los que han dado lugar a las estimaciones de parámetros de las curvas de crecimiento de von Bertalanffy, produciéndose para este caso en el modelo de Fabens (1965), el que indica que un individuo con una longitud inicial L_0 , cambia su longitud ΔL a través del período de cambio Δt (Haddon, 2001). Al minimizar las diferencias en cada punto para los ΔL entre la observada y la esperada ΔL , usando la ecuación de von Bertalanffy, las estimaciones pueden derivarse para los parámetros K y L_∞ . La longitud promedio en una edad conocida, se estaría obligando a incluir una estimación t_0 , es así como a menudo, no hay una estimación que pueda generar la ubicación exacta de la curva de crecimiento a lo largo de un eje de edad no determinada. En estos casos, el parámetro t_0 a menudo se fija en cero.

El método de Fabens parece ser sencillo, sin embargo, hay dificultades que fácilmente se pasan por alto. Sainsbury (1980) señaló que, como originalmente se ha desarrollado, tanto en las ecuaciones de von Bertalanffy y Fabens la relación con el crecimiento de los individuos y de este modo no se predice la longitud media a la edad (t) o el incremento medio de crecimiento, dada una longitud inicial y un tiempo transcurrido Δt .

Una inspección de la distribución de la longitud de los incrementos contra el tamaño inicial en el marcaje, indica que la variación alrededor del valor esperado, aparecerá ser mayor en los valores más grandes, ΔL (Haddon, 2001). Por lo tanto, a medida que disminuye el ΔL esperado, el tamaño inicial de la variabilidad de los residuos aparecerá disminuyendo (Haddon, 2001).

El modelo de crecimiento de Piece-wise es otra función que podría proporcionar un buen ajuste, en que uno o más puntos de ruptura o quiebre son verdaderos parámetros del modelo (Muggeo, 2003). Este supone que el cambio en la respuesta es la misma en toda la gama de valores de "X". En algunos casos, un modelo en que la pendiente cambia en diferentes partes del espacio X, puede ser que biológicamente sea más realista (Schwarz, 2015). Además podemos mencionar que al analizar una relación entre una respuesta de "Y", y variables de "X", puede ser evidente que para diferentes rangos de X, se producen diferentes relaciones lineales. En estos casos, un único modelo lineal no puede proporcionar una

descripción adecuada y un modelo no lineal puede no ser el más apropiado, por ende, el modelo de crecimiento Piece-wise, permite que varios modelos lineales estén adecuados a los datos para diferentes rangos de X (Ryan & Porth, 2007). Los puntos de quiebre del ajuste son los valores de X, donde cambia la pendiente de la función lineal, este valor puede ser o no ser conocido antes del análisis, pero por lo general, se desconoce y finalmente debe ser estimado (Ryan & Porth, 2007). La función de regresión en el punto de quiebre, puede ser discontinua, pero un modelo puede ser escrito de tal manera que la función sea continua en todos los puntos, incluyendo los puntos de quiebre (Ryan & Porth, 2007).

Para el criterio de ajuste, se utilizará la función de pérdida de Verosimilitud que corresponde a los criterios empleados en la obtención de los parámetros del modelo.

El presente trabajo plantea el estudio del crecimiento somático, cuyos resultados se obtienen utilizando modelos y evaluando el mejor de ellos mediante algún criterio estadístico apropiado.

2.4 Características de la pesquería de langosta de Juan Fernández.

El sector primario de la economía local se sustenta en torno a la pesquería artesanal de la langosta de Juan Fernández. Aunque la mayoría de las pesquerías artesanales del sur de Sudamérica, han pasado por ciclos incontrolados de esfuerzo y posteriores colapsos (Orensanz *et al.*, 2005b), la pesquería de la langosta ha sido el medio de subsistencia de la mayoría de los isleños, desde los 1890s de manera ininterrumpida (Ernst *et al.*, 2013) contando con registros de desembarques desde los años 1930s a la fecha (Segestrel 1931, Arana 1987, Ernst *et al.*, 2010a). Su alto valor económico y la falta de desarrollo de otros sectores han determinado que el esfuerzo pesquero se concentre principalmente sobre este recurso, actividad que se desempeña entre octubre y mayo de cada temporada (Arana *et al.* 1985, Arana *et al.* 1997). La flota pesquera de la langosta de Juan Fernández se ha subdividido históricamente en tres subsistemas; la principal flota de 42 a 44 botes que opera en Robinson Crusoe y Santa Clara (RC-SC), la siguiente que opera en Alejandro Selkirk (AS) de 10-13 botes, dependiendo de la temporada, los que alrededor de 25 pescadores y sus familias, se establecen temporalmente durante la temporada de pesca (Orensanz *et al.*, 2013) y una tercera y esporádica en las islas Desventuradas (ID) que además es dependiente de la flota principal (Ernst *et al.*, 2012).

Durante estas últimas temporadas, han operado nueve embarcaciones, variando entre ellas, por diversos motivos (*Com. Pers. Asesoría Productiva STIPA JF*).

Ernst *et al.*, (2010a), Ernst & Orensanz (en Arana *et al.*, 2006a) y Ernst *et al.*, (2013) resaltan las características fundamentales de esta pesquería: (a) el tamaño de las embarcaciones que se ha mantenido relativamente constante desde los años 1950s, sin embargo, en estos últimos han ocurrido varios reemplazos, que han introducido cambios importantes en la flota; (b) la fuerza de pesca expresada como número de botes que se mantuvo constante en ambos subsistemas (RC-SC & AS) hasta el 2010, pero el reemplazo de embarcaciones ha aumentado el tamaño de la flota en años recientes; (c) existen unidades discretas, localidades identificables por coordenadas geográficas y conocidas bajo el nombre de “*Marcas*”, donde ocurre el proceso de pesca (Ernst *et al.*, 2010a). Cada pescador posee un cierto número de *Marcas*, las cuales han sido adquiridas con un bote, heredadas o descubiertas; el uso y la transferencia de los derechos sobre estos caladeros son regulados informalmente, pero bien establecidas como reglas internas (Orensanz *et al.*, 2013). En general cada embarcación opera primariamente en un sector de cada subsistema; (d) la unidad fundamental de esfuerzo en esta pesquería es la trampa (Arana *et al.* 2006a, Ernst *et al.* 2010b). Su diseño exterior se ha mantenido constante por décadas, pero sufrió una modificación interna desde una configuración tipo “I” a una “L”, a comienzos de los años 1980s y un aumento en número de trampas por bote a comienzo de los años 2000s mediante la introducción del huinche o chigre (Ernst *et al.* 2010a). Las trampas son rectangulares construidas artesanalmente con maderas locales (eucaliptos y maqui), mallas plásticas y redes en sus costados; siendo dispuestas individualmente en las “*Marcas*”, cuya batimetría se distribuye entre el borde costero y 180 metros de profundidad, donde se ejerce un control sobre su uso a lo largo de la temporada. Esto determina que la pesca en cada una de estas islas, se desarrolle de forma ordena y organizada; característica fundamental del manejo tradicional de esta pesquería. La extracción de la langosta es realizada por los pescadores artesanales, a bordo de botes de doble proa equipados con motores fuera de borda (Ernst *et al.*, 2010b).

Esta pesquería es de tipo “S”, esto quiere decir, “Small scale”: pequeña escala “Strong spatial structure”: Fuerte estructura espacial “Sedentary stock”: Población sedentaria (Orensanz *et al.*, 2005a). Es una pesquería que presenta regulaciones formales simples como controles de entrada (ver 3.5), pero ningún control de salida, los que sin embargo, han sido propuestos en trabajos de investigación, sin ser implementados por la administración pesquera.

Ambos tipos de regulaciones (formales e informal) han contribuido a que la pesca se desarrolle en cada una de estas islas de forma ordenada y organizada, lo cual ha sido fundamental para el manejo de esta pesquería (Ernst *et al.*, 2010a; Ernst *et al.*, 2013).

2.5 Propuestas históricas de manejo

La pesquería de la langosta de Juan Fernández opera bajo un sistema dual con estatutos formales e informales. Estos componentes formales consisten principalmente en regulaciones aplicadas a pesquerías de estrategia tipo “SSS” (“Sex”: sexo “Size”: tamaño “Season”: temporada) (Kruse, 1993). De acuerdo al marco legal vigente (www.subpesca.cl), esta pesquería es del tipo artesanal y sus regulaciones formales se componen de: (a) una veda extractiva que se extiende entre el 15 de mayo y el 30 de septiembre (Decreto Ministerio de Agricultura N° 223 del 11 de Abril de 1963), (b) prohibición de extracción de hembras ovígeras (Decreto Ministerio de Fomento N° 1584 del 30 de abril de 1934), (c) establecimiento de la trampa como único arte de pesca permitido para capturar langosta en el archipiélago Juan Fernández e islas Desventuradas (Res. (SUBPESCA) N° 957 de 1992), (d) cierre de registros de inscripción de naves y pescadores al recurso langosta de Juan Fernández (períodos 2004/2009 (Anon 2004), 2009/2014 (Anon 2009) y 2014/2019 (Anon 2014b)) y (e) tamaño mínimo legal de extracción (115 mm de longitud cefalotorácica), medida tomada desde la base de las antenas hasta el borde posterior del cefalotórax (Decreto Ministerio de Fomento N° 1584 del 30 de abril de 1934) (Tabla 4). Por otro lado, las regulaciones informales están relacionadas con la tenencia de lugares geográficos discretos de pesca, localmente llamados “MARCAS” (Ernst *et al.*, 2010a). Estas están controladas por un derecho de uso tradicional de lugares discretos de pesca, donde la misma comunidad avala este sistema. Caso totalmente opuesto a las Áreas de Manejo, donde la comunidad ejerce control con reconocimiento de la autoridad de un área determinada, existiendo reglas internas para distribuir los recursos en esa área.

Se debe tener en consideración que han ocurrido algunos cambios notables en la década del 2000s, con respecto a las capturas y rendimientos de pesca. Hasta esa fecha, se habían reportado disminuciones sistemáticas y fluctuantes en las capturas desde la década de los 1970s, lo cual generó diagnósticos pesimistas sobre el estado de la pesquería (Arana *et al.*

1997 y Arana *et al.* 2006b) y motivó incluso a la proposición de cambios en la distribución espacial del esfuerzo mediante la introducción de áreas marinas protegidas (Eddy *et al.* 2010). A partir del año 2005 se evidencia un repunte en los desembarques y en las tasas de captura, llegando a niveles históricos reportados a comienzo de la década de los 1970s (Ernst *et al.*, 2013). Las evaluaciones y consultas académicas realizadas en los últimos 40 años, han diagnosticado recurrentemente un esfuerzo pesquero que está por encima del nivel óptimo, y sobre esa base se han prescrito "soluciones" genéricas como: cuotas, áreas marinas protegidas, cierres de áreas. Estas medidas, si alguna vez fueran implementadas, podrían perturbar gravemente el sistema de tenencia tradicional y en consecuencia, el medio de vida de los pescadores y en última instancia, la sostenibilidad de la misma pesquería (Ernst *et al.*, 2013; Orensanz *et al.*, 2013).

La Ley General de Pesca y Acuicultura faculta a la Subsecretaría de Pesca para establecer planes de manejo de las pesquerías que tengan su acceso cerrado, así como las pesquerías declaradas en régimen de recuperación y desarrollo incipiente. La pesquería de la langosta de Juan Fernández, al encontrarse cerrada entra en esta propuesta de manejo de parte de la autoridad pesquera y actualmente es uno de los planes de manejo en construcción más avanzados a nivel nacional. El “Comité de Manejo de pesquería de crustáceos y sus especies asociadas en Juan Fernández e Islas Desventuradas” (Anon, 2015a) se encuentra constituido y trabajando desde el 2015, y está representado por 16 pescadores (en parejas, con un titular y un suplente) del sector privado, siete de estas duplas se subdividen en 4 parejas que representan a las islas Robinson Crusoe-Santa Clara, 2 a la isla Alejandro Selkirk y una a las islas Desventuradas; y finalmente una que representa a las plantas de proceso. Existen 3 duplas adicionales: la Subsecretaría de Pesca, que preside el comité, el Servicio Nacional de Pesca y la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante.

2.6 Evaluación de la talla mínima legal del largo de cefalotórax.

La talla mínima legal de extracción constituye en general un importante resguardo de la fracción reproductiva de las hembras y en especial para esta especie, ya que de acuerdo a antecedentes bibliográficos disponibles para esta especie, las hembras mudarían una vez por año, tras alcanzar la madurez sexual, mostrando un incremento anual entre 5-8 mm y presentando solo un evento reproductivo; obteniéndose que más del 50% de las hembras que

se encuentren maduras, tendrían al menos entre 4 a 6 eventos reproductivos antes de alcanzar la talla legal de 115 mm de CL. Si se considera que no existen regulaciones importantes al esfuerzo (exceptuando el ingreso de más embarcaciones a la pesquería), ni tampoco regulaciones que controlen el total capturado, la regulación sobre la talla mínima de desembarque resulta fundamental. El incumplimiento de esta normativa se centraría principalmente en el consumo doméstico (Arana *et al.*, 2006a). Cabe destacar que en la literatura no se establece la justificación biológica que respalde dicha medida, los antecedentes históricos destacan que debido a la fuerte explotación pesquera realizada por la Pesquera Recart y Dorniez a fines de la década de 1910 y comienzos de 1930 y a que gran parte de la producción de langostas era enlatada, sin importar condición sexual y tamaño, con ello la comunidad de pescadores de aquel entonces, solicitó una talla mínima de extracción y la prohibición de extraer hembras con huevos (Sindicato de Pescadores “STIPA JF”, com. Pers.).

A la luz de los nuevos antecedentes sobre crecimiento somático, se plantea evaluar el efecto de la talla mínima de captura (115 mm y otras) como medida regulatoria en la pesquería de la langosta de Juan Fernández, determinando su impacto sobre el potencial reproductivo y niveles de captura. Una forma de abordar este desafío es a través de un estudio de simulación que utilice un modelo estructurado por tallas, el cual requiere a su vez de una matriz de transición de crecimiento. Esta matriz define la probabilidad de un crecimiento animal desde una clase de talla a las otras durante un determinado paso de tiempo (Punt *et al.* 2009). En este enfoque los parámetros son definidos no solo en términos del incremento medio del crecimiento en función de la talla, sino que también en términos de la variabilidad asociada a estos incrementos (Punt *et al.* 2009). Varios autores (e.g. Breen *et al.* 2003) han integrado la estimación de la matriz de transición a la talla directamente dentro de un modelo de evaluación de stock. Para muchas especies de crustáceos, estas evaluaciones no pueden basarse en modelos que dependan estrictamente de la edad. En su lugar se recomiendan modelos talla estructurados, debido a las dificultades de asignación de edades a los individuos (e.g. Hobday and Punt 2001; Kim *et al.* 2004; Chen *et al.* 2005; Punt *et al.* 2009), como lo es en este caso.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sistema de Estudio

La data utilizada en el presente trabajo proviene de los tres subsistemas (Fig.1), isla Alejandro Selkirk “AS”, isla Robinson Crusoe “RC” (Archipiélago Juan Fernández) y las islas Desventuradas (ID). La primera de ellas es el principal sistema de estudio (AS), donde se desarrolló un programa plurianual de marcaje y recaptura, durante 6 temporadas seguidas, comenzando en octubre de 2008. Esta isla antiguamente llamada “Más Afuera” pertenece al Parque Nacional Archipiélago Juan Fernández fundado el 16 de febrero de 1936 mediante el Decreto Supremo N° 103 por el Ministerio de Tierras y Colonización (Masoli, 2008). El segundo sistema de estudio, considera un sector en específico de la isla Robinson Crusoe (RC), llamado Puerto Inglés (Fig. 2), ubicado al norte del poblado San Juan Bautista, desarrollándose también un programa plurianual de marcaje y recaptura en individuos de tallas menores no vulnerados por la pesquería, llevándose a cabo, por medio de observación directa (buceo autónomo), durante tres años. Esta investigación fue liderada por el Dr. Alvaro Palma a través del proyecto Fondecyt # 1080009. Otra importante fuente de información de incrementos por muda de esta especie, fue obtenida de ejemplares de gran tamaño entre 165.2 hasta 313 mm de CL, los que fueron capturados en la isla San Ambrosio del archipiélago las Desventuradas y fueron trasladados vivos y monitoreados desde febrero de 2013 hasta febrero 2016 en estanques del centro de viveros de langostas y cultivos marinos orgánicos e investigación marina “Marine Farms” ubicado en Laguna Verde, Parcela 981, Punta Curaumilla Provincia de Valparaíso.

3.1.1 Isla Alejandro Selkirk.

A lo largo de las temporadas, el programa de marcaje y recaptura en la isla Alejandro Selkirk, ha contemplado varios aspectos, como por ejemplo, la planificación en términos de rangos de talla a marcar, eventos de marcaje, tipos de marcas a utilizar, número de marcas, entre otros. Las marcas utilizadas fueron con anclaje tipo “T” (FD-68B, fabricados por Floy Tag, Seattle USA) aplicadas con una pistola modelo MARK II (Ernst *et al.*, 2010b). Otros programas de marcaje (Pearn 1994, Frusher y Hoenig 2001) han utilizado con éxito etiquetas

con anclaje en “T”. En una primera temporada se codificaron 7000 marcas con numeración correlativa y color verde. Temporadas sucesivas se utilizaron 200 marcas de color café y 2000 marcas de color azul. El número de marcas utilizadas respondió ampliamente a las recomendaciones del Dr. Stewart Frusher (UTAS, Australia), quien ha trabajado por décadas con experimentos de marcaje y recaptura de *Jasus edwardsii* (Australia) y a las condiciones presupuestarias y logísticas del proyecto. En primera instancia se planteó marcar 500 langostas por zona, pero finalmente se superó ampliamente esa cantidad (Tabla 5).

Debido a la naturaleza multiobjetivo del proyecto, la calendarización del marcaje respondió a los requerimientos y al conocimiento existente sobre eventos biológicos y pesqueros relevantes de este stock, de acuerdo a la literatura y a los nuevos resultados referentes a la temporalidad y frecuencia de la muda en machos (Figura 3). Este experimento de marcaje y recaptura, se inicia durante el desarrollo del proyecto FIP 2008-24, desde octubre de ese año hasta el fin de la temporada 2013/14. Durante este período, se desarrollaron seis eventos de marcaje con 3 colores, a langostas con diferentes rangos de tallas (Tabla 5).

Las langostas fueron marcadas en la parte dorsal del abdomen, detrás del cefalotórax al lado derecho del tracto digestivo. La inserción dorsal fue elegida por sobre el marcaje ventral, debido a que este enfoque produciría una mayor tasa de avistamiento por observadores y pescadores durante los períodos de recaptura (Figura 4). Los eventos de marcaje fueron los siguientes: (i) un primer lote de 3138 langostas entre octubre 1-18 de 2008; (ii) un segundo lote de 1708 langosta entre el 14 de febrero y 14 de mayo del 2009; y (iii) un tercer lote de 2097 langostas entre el 15 al 30 de abril 2009. Durante el funcionamiento normal de pesca, las embarcaciones artesanales fueron las únicas plataformas de muestreo utilizadas para la captura y recaptura de langostas. Durante el marcaje se registró, la información sobre la fecha, ubicación geográfica, tamaño, sexo, condición reproductiva. Se marcaron langostas de ambos sexos, principalmente de tamaño inferior a la talla mínima legal de 115 mm de longitud cefalotorácica (CL) y con una distribución de frecuencia de tallas comprendida entre 73 a 130 mm, pero con una mayor densidad entre los 100 y 114 mm de CL. Los registros de información de recaptura se originaron a partir de programas de muestreo y de libretas de bitácoras de pesca y biológicos; consistiendo principalmente en la fecha, lugar, número de etiqueta y tamaño. Durante la temporada, se realizaron talleres junto a los pescadores para estandarizar el uso del pie de metro, entre los pescadores y ayudantes de campo. Este programa de Marcaje y Recaptura se prologó desde la temporada 2008/09 a la 2013/14, con

registros que en su gran mayoría representan un trabajo de investigadores de campo entrenados para el registro de información y apoyados por el 100 % de la flota en los embarques de cada uno de ellos.

3.1.2 Isla Robinson Crusoe

Se incorpora en el análisis, los datos de marcaje y recaptura llevados a cabo en la isla Robinson Crusoe por medio de observación directa (buceo autónomo) a individuos que aún no reclutan en la pesquería. Este programa fue llevado a cabo entre diciembre de 2008 a enero de 2012 durante la ejecución del proyecto FONDECYT # 1080009, denominado “Recruitment processes and short-term demography of the Robinson Crusoe spiny lobster *Jasus frontalis*: an ecological-based study of an endemic species with complex cycle” (Palma & Gaymer, 2012), disponiendo de esta información para el desarrollo de este trabajo.

Este programa de marcaje fue realizado, solo en la costa noreste de la isla Robinson Crusoe (Sector El Inglés, al noroeste del poblado San Juan Bautista, Fig 1 y Fig.2). En este sitio se optó por 4 cuevas a lo largo de una plataforma rocosa, ubicadas aproximadamente a una misma profundidad (Fig.2). Durante cada evento de inspección a las cuevas, dos buzos recogieron a mano todas las langostas que estaban dentro de las cuevas y las llevaron a la embarcación para ser identificadas y medidas. En la primera visita a las cuevas, los individuos fueron registrados por sexo, medidos y marcados con “PIT tags” (cilindros de cristal de 8 x 2 mm) en la coxa de la última pata izquierda, si es que el individuo ya caminaba y era lo suficientemente grande; en el caso de que fuera pequeño, se marcaron en la base del abdomen. Después de esto los individuos fueron transportados a los lugares de origen en una bolsa. Este procedimiento duraba aproximadamente 2 horas. Durante cada una de las visitas posteriores se siguió el mismo procedimiento, registrando información básica de cada individuo capturado y siendo marcado si este no poseía marcas. Sólo en una ocasión (después del tsunami del 27 febrero de 2010, cuando no habían PIT tags disponibles) sólo se procedió a identificar y medir a los individuos capturados. El proceso de recaptura incluyó otros sitios de muestreo a lo largo de la costa, localizados a 50, 100 y 500 m de las 4 cuevas originales (en direcciones opuestas). En esos muestreo, sólo se registró tamaño, sexo y se verificó la presencia o no marcas, sin embargo, no se realizaron nuevos marcajes. Este procedimiento adicional de muestreo fue utilizado ocasionalmente. El programa de marcaje y recaptura

culminó en enero de 2012, alcanzando una duración de poco más de 3 años, registrando en total a 134 individuos (Tabla 5).

3.1.3 Islas Desventuradas

Las islas Desventuradas están sometidas a un régimen oceánico superficial de aguas subtropicales que bañan el litoral la mayor parte del año, excepto en invierno, también cuentan con la presencia de aguas subantárticas intermedias hasta 180 m de profundidad, al contrario de lo que sucede con el grupo de islas de Juan Fernández (Bahamonde, 1987). Estas se encuentran ubicadas a unos 780 kilómetros al norte del archipiélago Juan Fernández y a poco más de 850 kilómetros al oeste de la costa chilena, se encuentra un conjunto de pequeñas islas conocidas como Desventuradas (Fig.1) nombre atribuido a Hernando de Magallanes. Las componen dos islas principales, San Félix (25°15'S, 80°05'W, con una superficie de 1.4 km²) y San Ambrosio (26°20'S, 70°58'W con una superficie de 2.2 km²), junto con el islote San Gonzalo y el islote o Roca Catedral (Bahamonde, 1987). La zona económica exclusiva (ZEE) de las islas Desventuradas tiene una superficie de 449805 km². Las islas son la única parte emergente de un macizo volcánico que se levanta sobre el fondo oceánico a 4000 m de profundidad, al extremo este de la dorsal de Salas y Gómez (González-Ferrán, 1987). Estas islas poseen aguas marinas que muestran similitudes faunísticas y florísticas considerables entre sí, y con las del archipiélago Juan Fernández, además están normalmente deshabitadas, exceptuado la base militar permanente ubicada en San Félix. Cuando la Armada autoriza, se instala un campamento pesquero en el sector este de la isla San Ambrosio (“La Potala”) para desarrollar la pesquería de la langosta en algunos periodos del año (Ernst *et al*, 2016). En octubre de 2015 se aprobó la declaración del área marina protegida “Parque Marino Nazca-Desventuradas” con una superficie protegida de 297.518 km² (Anon, 2015b).

A partir del año 2008 y tras varias temporadas sin actividad de pesca de langostas en estas islas, se retoma la pesquería, operando esporádicamente entre 2 y 8 embarcaciones. La CPUE de langostas retenidas de las islas Desventuradas es notoriamente mayor que en archipiélago Juan Fernández, además de la frecuencia de captura de ejemplares de gran tamaño. Durante estos años y favorablemente para el desarrollo del presente trabajo, se pudo contar con información de incrementos de ejemplares de gran tamaño entre 187 a 313 mm de CL, capturados en estas islas y llevados vivos y monitoreados desde febrero de 2013 hasta

febrero 2016 en estanques del centro de viveros de langostas y cultivos marinos orgánicos e investigación marina “Marine Farms” ubicado en Laguna Verde, Parcela 981, Punta Curaumilla Provincia de Valparaíso. Cabe destacar, que también se registraron un par de individuos de tallas mayores, pero provenientes del subsistema de Robinson Crusoe-Sta Clara y que fueron llevados a Valparaíso vía marítima a este centro mencionado, durante el mismo período de estudio. Todos estos individuos fueron monitoreados y manejados en piscinas acondicionadas con baja luminosidad a un rango de temperatura entre los 15.3 y 17.5 °C y alimentados con Jibia.

3.2 Análisis de la Data

La data proveniente de los tres programas fue organizada y depurada en la plataforma de trabajo MS ACCESS. Los registros incompletos fueron descartados de estos análisis. Las múltiples recapturas se consolidaron para períodos cercanos a 12 meses (de liberación), evaluándose los incrementos siempre respecto de la última recaptura. La data fue agrupada por eventos de marcaje y sexo.

3.3 Modelos de Crecimiento

3.3.1 Modelo de Fabens

Para estudios de crecimiento utilizando datos provenientes de programas de marcaje y recaptura, la formulación tradicional de la ecuación de crecimiento von Bertalanffy (Ec. 1) expresada en la ecuación 1

$$L_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (1)$$

puede ser representada en término de incrementos ,

$$\Delta L = (L_{\infty} - L_t)(1 - e^{-K(\Delta t)}) \quad (2)$$

$$\Delta L = (L_{t+\Delta t} - L_t) \quad (3)$$

donde L_t es la talla en el tiempo inicial, ΔL es el incremento en longitud en el período Δt rango en que se produjo el incremento. Al minimizar las diferencias entre los incrementos observados y esperados, se obtienen las estimaciones de los parámetros K y L_∞ .

La estimación de parámetros se desarrolló mediante logaritmo negativo de la verosimilitud (LL) como criterio de ajuste:

$$LL = \ln(\sigma) + \frac{(y_i - f(x_i))^2}{2\sigma^2} \quad (4)$$

$$LL = \ln(\sigma) + \frac{(y_i - (\alpha + \beta * x_i))^2}{2\sigma^2} \quad \text{Lineal} \quad (5)$$

$$LL = \ln(\sigma) + \frac{(y_i - (L_\infty - L_t)(1 - e^{-K(\Delta t)}))^2}{2\sigma^2} \quad \text{Fabens} \quad (6)$$

3.3.2 Modelo de Crecimiento Piece-wise

El modelo de crecimiento de Piece-wise es una función de mayor flexibilidad para este tipo de data, ya que considera dos ecuaciones lineales (4 parámetros) unidas en un punto de quiebre (Muggeo, 2003). Este modelo permite que varios modelos lineales sean ajustados a los datos, para diferentes rangos de X (Ryan & Porth, 2007). Los puntos de quiebre del ajuste son los valores de X, donde cambia la pendiente de la función lineal, este valor puede ser o no ser conocido antes del análisis, pero por lo general, se desconoce y debe ser finalmente estimado (Ryan & Porth, 2007). Teniendo en cuenta el análisis de la data, suponemos hay un punto de quiebre, en $X = X^*$, el modelo puede escribirse de la siguiente forma:

$$y = a - bX \quad \text{if } X < X^* \quad (7)$$

$$y = c - dX \quad \text{if } X \geq X^* \quad (8)$$

Para que la función de regresión sea continua en el punto de quiebre, las dos ecuaciones necesitan ser iguales en este punto ($X = X^*$):

$$a - bX = c - dX^* \quad (9)$$

$$a - c = bX^* - dX^* \quad (10)$$

$$a - c = (b - d) X^* \quad (11)$$

$$X^* = \frac{a-c}{d-b} \quad (12)$$

Se resuelve para uno de los parámetros, reordenando la ecuación anterior:

$$c = a + (d - b) X^* \quad (13)$$

Posteriormente, $c = a + (d - b)X^*$ (14)

$$Y = a - bX \quad (15)$$

Si $Y = c - dX$ (16)

Reemplazando,

$$Y = a + (d - b) X^* - dX \quad (17)$$

Entonces,

$$c = a - bL \quad (18)$$

$$c = a + (d - b)X^* - dX \quad (19)$$

Para la elección del mejor modelo, se utilizará el estadístico Criterio de Información de Akaike (AIC). Esta relación o principio conduce a una metodología general muy simple y efectiva para seleccionar un modelo parsimonioso a partir del análisis de datos empíricos (Burnham & Anderson, 1998). El criterio de Akaike, se puede expresar en una forma generalizada como la suma de las carencias de ajuste y parsimonia. La ecuación se puede escribir como,

$$AIC = n \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2K \quad (20)$$

Donde:

K es el número de parámetros del modelo

n , corresponde al número de observaciones.

RSS, suma de cuadrados residuales o.

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (21)$$

3.4 Análisis de la talla mínima de captura

Se implementó un modelo de simulación estructurado por tallas de dos sexos para evaluar el impacto de la talla mínima legal sobre el potencial reproductivo y los niveles de captura en la pesquería de la langosta. Se inicializó el modelo en condiciones de equilibrio sin pesca y se proyectó por 100 años, hasta que alcanzara una nueva condición de equilibrio bajo distintos niveles de explotación y talla de entrada a la pesquería. Para el condicionamiento del modelo se consideró la información disponible para este stock o especies congénicas (Tabla 6).

3.4.1 Modelo basado estructurado por tallas

En las proyecciones se utilizaron las siguientes configuraciones del modelo para evaluar los indicadores de interés para los años de proyección propuestos: i) Mortalidad por pesca (F) aplicada bajo 4 escenarios (0.25; 0.5; 0.75 y 1); ii) Mortalidad Natural (M) (0.06 y 0.12); iii) (z) parámetro dependiente de la función stock recluta (S-R). La cual puede variar entre 0.2 y 1; iv) Ro y Bo deben ser igual para todos los escenarios.

3.4.1.1 Estructuración y condicionamiento

Para la estructuración y condicionamiento del modelo se seleccionó un intervalo de tallas de 2 mm. La talla mínima del modelo fue de 10 mm, que se corresponde con las tallas mínimas observadas para individuos recién asentados y registrados en terreno (puerulus), por el monitoreo Biológico-Pesquero (Billy Ernst com. pers). La talla máxima de los análisis para el modelo fue de 214 mm, que corresponde aproximadamente al valor promedio de la longitud asintótica (L_{∞}) reportada por Arana & Olate (2000) Los valores de los parámetros utilizados en

el condicionamiento del modelo se reportan en la Tabla 6. Los modelos talla estructurados son apropiados para modelar la dinámica de poblaciones de crustáceos, debido a las dificultades de asignación de edades a los individuos (e.g. Hobday and Punt 2001; Kim *et al.* 2004; Chen *et al.* 2005; Punt *et al.* 2009). Varios autores (e.g. Breen *et al.* 2003) han integrado la estimación de la matriz de transición a la talla directamente dentro de un modelo de evaluación de stock, de acuerdo a lo realizado en la evaluación del modelo de crecimiento. Los detalles del modelo se presentan en el apéndice 1.

3.5 Simulación

Esta etapa consiste en la simulación de distintos escenarios mediante el uso de un modelo talla estructurado, con remoción por pesca y bajo una función de selectividad filo cuchillo a distintas tallas mínimas de extracción entre 100 – 110 – 115 – 120 mm de CL y un escenario evaluando una talla máxima de extracción de 150 mm CL, todas ellas proyectadas hasta alcanzar un estado de equilibrio (100 años). Los resultados fueron evaluados en función de estadísticos de desempeño como potencial reproductivo y nivel de capturas. Un aspecto clave en este esquema de modelación es el uso de la matriz de transición por sexo. Esta matriz es un análogo a la curva de crecimiento en el método convencional de la evaluación de stock de edad estructurado, aunque juega un papel fundamental en la determinación de la dinámica poblacional en los métodos de evaluación de stock talla estructurado (Punt *et al.* 2009). Analíticamente la matriz de transición $\{X_{i,j}; j=1 \dots m\}$ donde m es el número de clases de talla, que define la probabilidad de un animal en una clase de tallas i crezca a una clase de talla j durante un paso de tiempo Δt .

Para parametrizar la matriz de transición se utilizó la función de incrementos medios a la talla obtenida en secciones previas. Se utilizó una función gama para representar la incertidumbre en torno al incremento medio a la talla, condicionándose su expresión de varianza a la variabilidad de los incrementos observados en los datos de marcaje y recaptura.

3.6 Etapa de proyección y experimentos

Estados de la Naturaleza

En el presente trabajo se consideraron dos factores de incertidumbre en el modelo de simulación: i) Mortalidad Natural ($M=0.06$ y 0.12); iii) parámetro de escarpamiento de la función stock recluta ($z=0.6$ y 0.8). Las condiciones iniciales del modelo para cada combinación de M y z , se obtuvo proyectando el modelo 100 años hacia el futuro, hasta alcanzar un equilibrio sin pesca.

3.6.1 Experimentos

3.6.1.1 Desempeño Tallas mínimas y máxima de extracción

Las acciones de manejo quedaron representadas por dos factores, ojiva de selectividad y tasa instantánea de mortalidad por pesca ($F=0.25$; 0.5 ; 0.75 y 1). Los escenarios considerados para la ojiva de selectividad fueron ($TML=115$ mm, 110 100 y 150). En cada una de las proyecciones de los distintos escenarios, se evaluó el efecto de la ojiva de selectividad y la tasa instantánea de mortalidad por pesca, generándose un total de 16 experimentos para cada una de los diferentes estados de la naturaleza. El total de simulaciones alcanzó las 64 proyecciones, evaluadas en el modelo talla estructurado (Tabla 6).

Los estadísticos de desempeño utilizados para evaluar cada una de las medidas de manejo fueron: *i*) potencial reproductivo y *ii*) captura total. El desempeño se evaluó comparando cada una de las medidas regulatorias respecto del escenario base para cada estado de la naturaleza (Escenario base $TML=115$ mm).

4 RESULTADOS

4.1 Ordenamiento y estructuración de la data

Los datos provenientes de las tres fuentes de información obtenidas durante el desarrollo de este trabajo fue organizada y depurada en la plataforma de trabajo MS ACCESS. De esta forma se recabó información de 340 y 114 incrementos anuales de machos y hembras de langostas, respectivamente, en un rango de talla global comprendido entre 33.1 y 313 mm de CL. Cabe destacar que los registros incompletos, los individuos recapturados sin incrementos respecto a la misma recaptura obtenida en el mismo periodo (mes) y que por ende no mudó, fueron descartados de estos análisis. Las múltiples recapturas, se consolidaron para períodos cercanos a 12 meses (de liberación), evaluándose los incrementos siempre respecto de la última recaptura. La data fue agrupada por eventos de marcaje y sexo.

4.2 Estimación de parámetros-Modelos de crecimiento

Los resultados del estudio de crecimiento somático obtenidos a partir del ajuste de la data de incrementos anuales por sexo de los programas de marcaje y recaptura, llevados en los distintos subsistemas, fueron ajustados a través de un modelo lineal y otro por partes. Del modelo de crecimiento de la ecuación de Fabens se destaca el ajuste de la data separada por sexo ver Fig. 6 (a y b) obteniendo valores para los parámetros L_{∞} y k , diferentes, pero cercanos entre sexos (Tabla 8), tanto para la longitud asintótica como para la tasa de crecimiento. Del ajuste del modelo lineal, al parámetro L_{∞} (176.9 y 173.6 mm para hembras y machos respectivamente), se realizó un perfil de máxima verosimilitud determinando valores de límite superior e inferior de confianza al 95% por sexo (ver Tabla 8 & Figs 7 y 9), respecto al estadístico chi-cuadrado para $p = 0,05$ (95% de nivel de confianza) con 1 grado de libertad (3.84).

La función del modelo de crecimiento de Piece-wise, generó un ajuste identificando los puntos de quiebre, generando un abrupto cambio en la tasa de crecimiento en torno a los 110.7 mm para machos y 81,9 mm para hembras, logrando ajustarse a la data de incrementos por individuos de tallas mayores (Fig 6). Cada uno de estos parámetros fueron estimados mediante logaritmo negativo de la verosimilitud y al igual que en el modelo lineal, solo a la tasa de

crecimiento se determinaron los límites superior e inferior de confianza al 95% por sexo (ver Tabla 8 & Figs 8 y 10) de este perfil de verosimilitud.

A través de la estimación del criterio de información estadístico de Akaike (Tabla 10) se estableció que el mejor modelo para ambos sexos es el Piece-wise, ya que presenta un menor índice que el modelo lineal (Tabla 9).

4.3 Evaluación talla mínima legal de captura

La evaluación del impacto de la ojiva de selectividad sobre el potencial reproductivo y los niveles de captura en la pesquería de la langosta, fueron posible mediante la implementación de un modelo de simulación estructurado por tallas para ambos sexos. Los valores de los parámetros utilizados para la estructuración y condicionamiento de este modelo se reportan en la Tabla 6 considerando información disponible para este stock o especies congénicas, además de la selección de 2mm como intervalo de tallas en el modelo entre los rangos mínimo y máximo de 10 y 214 mm, respectivamente.

A la luz de los nuevos resultados del patrón de crecimiento somático de la especie, mediante el ajuste de la evaluación del modelo de crecimiento Piece-wise, cuya función de incrementos medios se logra complementando como información importante para el modelo estructurado por tallas. Estos resultados permiten modelar una matriz de transición por sexo, jugando un papel importante en la determinación de dinámica poblacional de la especie, proyectando el stock bajo diversas condiciones y calculando los estadísticos de desempeño, que permiten finalmente evaluar el impacto de diferentes ojivas de selectividad.

Ya realizada todas estas etapas de estructuración y condicionamiento del modelo, se procede a inicializar el modelo en condiciones de equilibrio sin pesca y proyectándose por 100 años, hasta alcanzar una nueva condición de equilibrio bajo distintos niveles de explotación y talla de entrada a la pesquería. El escenario base para cada evaluación y comparación es la talla mínima legal de extracción de 115 mm de longitud cefalotorácica que actualmente regula el desembarque como control de entrada en esta pesquería.

Se realizaron un total de 16 experimentos para cada uno de los diferentes estados de la naturaleza. Estos estados comprendieron los valores de 0.06 y 0.12 para Mortalidad Natural y de 0.6 y 0.8 para z (parámetro de escarpamiento de la función stock recluta). Se obtuvieron proyecciones de estadísticos de desempeño (capturas y potencial reproductivo), para cada

escenario o experimento de los 16 evaluados por cada estado de la naturaleza, llegando a un total de 64 simulaciones. Los resultados de las proyecciones con diferentes valores para la ojiva de selectividad y mortalidad por pesca, para un stock menos productivo ($M=0.06$, $z=0.6$) indican que el potencial reproductivo se reduce de un 15% (TML de 115 mm) a un 1% con una TML=100 mm. Las capturas en cambio disminuyeron a un 15% al pasar de una TML 115 mm a 100 mm. Manteniendo una menor mortalidad natural e incrementando a 0.8 el parámetro de escarpamiento de la función stock recluta (z), podemos constatar leves variaciones en los estadísticos de desempeño, en comparación al escenario anterior. En base a este mismo escenario podemos indicar que existiría un 28% de potencial reproductivo respecto al virginal (para un $F = 0.25$) con una TML de 115 mm a una talla máxima de 150 mm de CL. Siendo estos últimos valores de manejo, los más conservativos en las simulaciones y evaluados junto con los más altos valores dentro de los rangos propuestos para las variables de estado de la naturaleza ($M=0.12$ y $z=0.8$) se obtiene 0.70 como proporción de la relación (St/S_0) siendo la más alta de todos los escenarios. Bajo este mismo estado natural, se destaca la alta proporción de capturas 1.22 proyectado con un F de 1.0 a la más baja talla mínima legal simulada en (100 mm) y disminuyendo en un 35% al ser evaluada con una talla máxima de 150 mm de CL.

Los resultados de la figura 14b no presentan mayores variaciones en las capturas bajo los tres primeros valores más conservativos de la ojiva de selectividad y bajo distintos valores de remoción por pesca (F), sin embargo, a una talla mínima de 100 mm, las capturas bajan por sobre un 20 %, caso contrario a lo identificado en la figura 14 (c), cuyas capturas presentan una baja variabilidad ante las forzantes de manejo y valores supuestos de estado de la naturaleza. Cabe destacar que en todas las proyecciones de captura, simuladas bajo un F de 0.75 y de 1.0, este estadístico de desempeño presenta valores de baja variabilidad en razón a estos dos forzantes de pesca, que entre ellas igualmente presentan una baja variación.

5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

5.1 Programa de Marcaje y Recaptura

Las actividades de marcaje y recaptura en la isla Alejandro Selkirk comenzaron en la temporada 2008/09 y fueron diseñadas como un programa multi-objetivo de alta frecuencia de observación durante un período de 14 meses. Debido al gran nivel de participación por parte de la comunidad de pescadores y a las altas tasas de retorno el programa se extendió durante 6 temporadas y contemplando 6 eventos de marcaje. En este programa se marcaron ejemplares de ambos sexos reclutados a la pesquería (entre >90 a 115mm de CL, e incluso de tallas mayores para individuos en condición de portación), atendiendo diversas interrogantes sobre mortalidad, movimiento y crecimiento somático y con un esquema temporal de marcaje basado en un modelo conceptual de eventos biológicos-pesqueros relevantes del stock (Fig 3).

Durante fases iniciales de análisis de los datos de este programa (Ernst *et al* 2010) y teniendo en mente el interés por comprender el patrón de crecimiento de esta especie para un amplio rango de su historia de vida, se hicieron esfuerzos adicionales para lograr marcar individuos bajo los 85mm y sobre la talla mínima legal, siendo parte de los eventos de este programa. Cabe mencionar las bajas tasas de recapturas obtenidas en estos rangos de tallas. Si bien este programa nos permitió inferir el patrón de crecimiento en un rango de tallas vulnerables, lograr comprender el esquema de crecimiento en un amplio rango requirió la incorporación de dos fuentes adicionales de información: (i) programa de marcaje de individuos juveniles en isla Robinson Crusoe y (ii) estudio de incrementos de individuos de gran tamaño en acuarios. Esto permitió cubrir un rango de tallas cefalotorácicas entre los 33.1 y 313 mm. En estudio de incrementos en un rango tan amplio de tallas no ha sido previamente reportado a nivel nacional o internacional.

5.2 Patrón de crecimiento somático

La pregunta central en el desarrollo de este capítulo es la forma en que cambia crecimiento somático de la langosta a lo largo de su ontogenia. Para ello se analizaron datos de incrementos a la talla mediante dos modelos de crecimiento, uno lineal llamado *Fabens* (derivado de la Ec. de Von Bertalanffy) y otro por tramos llamado *Piece wise regression*. Se

consideraron solo estos dos modelos dado que el primero constituye el modelo *de facto* de crecimiento y el segundo una extensión parsimoniosa del modelo lineal.

5.2.1 Modelo de crecimiento lineal de Fabens

Tras el resultado del ajuste del modelo lineal a la data, se obtuvieron parámetros de longitud asintótica muy similares entre hembras (mayor) y machos de 176.9 y 173,6 mm respectivamente, que contrastan con los 212 y 214 mm reportados por Arana & Olate (2000). El Patrón de crecimiento modelado a través de la ecuación de Fabens, muestra un decaimiento lineal fuerte en su tasa de crecimiento hacia tallas mayores, haciéndose asintótica antes de los 180 mm de CL. El modelo no presenta un buen ajuste a la data debido a que para ambos sexos subestima a tallas menores y mayores el incremento y sobreestima a tallas medias, pudiéndose concluir concluyendo que no es un buen modelo para describir la relación entre tallas e incrementos.

5.2.2 Modelo de crecimiento Piece wise

El patrón de crecimiento (incrementos en tamaño respecto de la talla de marcaje) es capturado de mejor forma por la regresión “Piece-wise”, tanto para machos como hembras, produciendo un ajuste que representa adecuadamente los cambios en los incrementos en el amplio rango de tallas analizado. Se aprecia una abrupta disminución en los incrementos medios desde tallas menores hasta los 110.7 mm en machos y 81.9 mm en hembras. Posteriormente, el modelo muestra un decaimiento lineal de forma suave hacia tallas mayores, ajustándose a los datos de incrementos de estas tallas para ambos sexos (Fig 6). El Criterio de Información de Akaike seleccionó al modelo Piece-wise como el mejor para ambos sexos.

5.2.3 Relación edad-talla

A la luz de los nuevos resultados sobre el patrón de crecimiento somático, se establecieron las curvas de crecimiento edad-talla para las hembras (Fig 11) y machos (Fig 12) para ambos modelos (Fabens y Piece-wise). En ambas figuras se incluye como referencia la talla mínima legal y la longitud asintótica estimada para machos y hembras mediante la ecuación lineal. La curva de crecimiento de las hembras en relación edad-talla se encuentra

proyectada hasta los 189 mm, medida tomada del ejemplar más grande e identificado con un incremento por muda de 2.7 mm. En base a esta información y a la proyección esta langosta debería tener aproximadamente 50 años. La curva de crecimiento de los machos (edad-talla), se encuentra proyectada hasta los 314mm, medida tomada del ejemplar más grande e identificado con un incremento por muda de 1.3mm, arrojando una edad de proyección de 113 años. Es necesario argumentar que de acuerdo a la evaluación directa de estos ejemplares de tallas mayores, pudieron registrarse mudas anuales entre los 0.9 a 2.7 en hembras y de 1.3 a 2.8 mm en machos.

Es preciso mencionar que durante las mudas de ejemplares machos grandes en acuarios, se observó que en general el proceso de muda involucró a todo el animal, pero en otros al cefalotórax y no al abdomen.

5.3 Desempeño del modelo basado estructurado por tallas

El modelo estructurado por tallas, divide los procesos demográficos en dos partes: (i) mortalidad natural y por pesca; y (ii) crecimiento somático. Los incrementos medios a la talla fueron modelados utilizando el modelo de crecimiento “*Piece-wise Regression*” para hembras y machos, cuyos parámetros fueron estimados previamente y luego utilizados para representar los incrementos medios a la talla en la matriz de transición para cada sexo. Se utilizó una función gama para representar la incertidumbre en torno al incremento medio a la talla, condicionándose su expresión de varianza a la variabilidad de los incrementos observados en los datos de marcaje y recaptura. Esta nueva información mejoró al modelo talla estructurado, lográndose probablemente proyecciones más realistas. Varios autores (e.g. Breen *et al.* 2003) han integrado la estimación de la matriz de transición a la talla directamente dentro de un modelo de evaluación de stock, de acuerdo a lo realizado en la evaluación del modelo de crecimiento.

Con respecto a la mortalidad natural, podemos decir que resultó ser un factor importante dentro del análisis, de tal forma que su estimación requiere atención. En su estimación no deben escatimarse esfuerzos por precisar su magnitud, para lo cual debe analizarse exhaustivamente la información disponible sobre la pesquería, la biología del recurso y los antecedentes sobre especies similares (Díaz y Arana, 1985). Del mismo modo conociendo en parte la dinámica del recurso, se analizaron valores considerando la información disponible para este stock o especies congénicas (Tabla 7). La búsqueda

bibliográfica indica que las estimación de mortalidad natural (M) se han realizado principalmente en base a dos acercamientos metodológicos, uno bioanalógico y el otro a través del segmento de la curva de composición por tamaños, entre la talla en que se complementa el reclutamiento al arte de pesca en uso y la talla de primera captura (103 mm), talla de longitud de caparazón de acuerdo al criterio de medición empleado en tales trabajos (Arana *et al.*, 1982). Para algunos estudios de la especie, los métodos bioanalógicos empleados en el cálculo de M correspondieron a los desarrollados por Pauly (1980) y Rikhter y Efanov (1976). El primero de estos utilizó las temperatura medias anuales en Robinson Crusoe- Santa Clara (19°C a 10°C) con un promedio general de 13°C, con ello se estimó un rango entre 0.21 y 0.16 correspondiendo a un valor M igual a 0.18 (Díaz y Arana, 1985). Con el segundo método se consideró una longitud de 77 mm talla en que la especie alcanza la primera madurez sexual (Arana *et al.*, 1982). Sin embargo, al crecimiento discontinuo de los crustáceos y a que esta especie mudaría solo una vez al año (Arana y Martínez, 1982), se utilizó finalmente la edad del estado de muda en que la langosta alcanza la primera madurez sexual, en base a esa edad calculada en 7 años se determinó un M alto igual a 0.22 (Díaz y Arana, 1985). En el mismo trabajo se ocuparon otros dos métodos de estimación de mortalidad natural considerando en uno la talla y en el otro la tasa de crecimiento anual dando como resultado un $M = 0.25$ y $M = 0.23$ respectivamente. En resumen las estimaciones de Mortalidad natural variaron entre un 0.18 y 0.25 aceptando un valor más probable de $M = 0.18$ (Díaz y Arana, 1985). A través de la misma metodología, mediante métodos bioanalógicos, en el informe técnico del FIP 96-22 se calculó una tasa de mortalidad natural (M) entre 0.10 y 0.20 en machos y entre 0.12 y 0.25 en hembras, considerándose como valor más probable para ambos sexos un valor de $M=0.18$ (Arana *et al.* 1997). De acuerdo a dichas mortalidades, la edad crítica fluctuaría entre los 8.4 y 10.6 años (Díaz y Arana, 1985) y 9 años también correspondientes a ambos sexos (Arana *et al.* 1997) y (Arana y Olate, 2000).

Si se aceptara como valor más probable un $M = 0.18$, entonces la edad crítica sería similar a la edad actual de primera captura (Díaz y Arana, 1985). Se discute que el recurso puede ser afectado por una continua disminución en el número de ejemplares que cada año se incorpora a la fracción comercial. En esta disminución influiría la mortalidad adicional que afectaría a los ejemplares bajo la talla mínima legal y posibles fluctuaciones en el reclutamiento. Cabe destacar que utilizando el método de Beverton y Holt (1956), se estimaron que para ambos sexos un M de 0.12 (Arana & Olate 2000), valor similar para otras

especies congénicas como *Jasus lalandii* oscilando entre los 0.05 – 0.12 para ambos sexos (Johnston & Bergh (1993) o de 0.1 para *Jasus edwardsii* (Frusher & Hoenig (2001), (Punt *et al* 1997; 2006) y de M de 0,12 year⁻¹ (Frusher & Hoenig 2003) y 0.05 – 0.1 para *Jasus tristani* (Bergh&Johnston 1992). Todo ello, derivó a que en el presente trabajo se considerara este factor de incertidumbre de modelo de simulación como (M=0.06 y 0.12). Otra forma de estimar la mortalidad natural es a través de datos de marcaje y recaptura. La serie de datos de marcaje y recaptura iniciados en el año 2008 en la isla Alejandro Selkirk brinda una buena oportunidad para modelar la sobrevivencia de las cohortes marcadas, pero esto forma parte de otra contribución.

5.4 Evaluación de la ojiva de selectividad

Los efectos de la aplicación de distintos escenarios de manejo (talla mínima legal, talla máxima) fueron evaluados mediante dos variables de desempeño, el nivel de depleción del stock desovante (Fig 13) y niveles de captura (Fig 14), bajo un rango de incertidumbre del modelo representado por valores M y z, mediante 4 paneles que representan 4 realidades posibles de productividad del stock (dos más productivos y dos menos productivos), recogiendo, en cierto grado, la incertidumbre estructural del modelo.

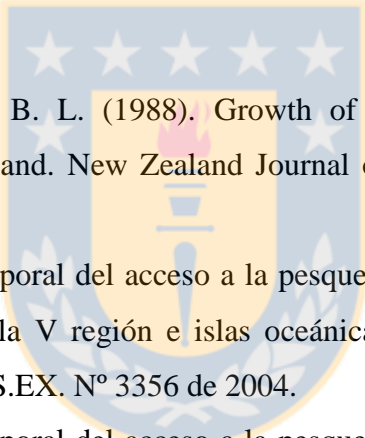
Los resultados indican que para escenarios de un stock menos productivo (Figs 13 y 14; paneles a y b) que presenta un bajo valor de M (0.06), el potencial reproductivo experimenta un fuerte decaimiento de 2 a 15 veces entre un escenario con la talla mínima legal actual (115 mm) y otro con una talla más baja (100 mm), produciendo además reducciones en la misma dirección respecto de las capturas. Los resultados de la proyección del potencial reproductivo evaluado en función de las cuatro ojivas de selectividad, indican que el mayor cambio en el nivel de potencial reproductivo se produce a tallas menores a 115 mm, no evidenciándose cambios relevantes entre la medida regulatoria actual e incluir una talla máxima de captura (Fig. 13 a y b). Bajo estos escenarios los cambios en los niveles de captura tampoco justificaría una reducción en la TML.

Para los escenarios de un stock más productivo (Figs 13 y 14; paneles c y d) que presenta el valor más alto de M (0.12), el cambio en el potencial reproductivo respecto la

TML muestra un patrón similar al escenario menos productivo, pero con una magnitud de cambio menor (Fig 13c-d). Los cambios netos experimentados entre la TML actual y de 100 mm es 37%, para todos los valores de F. Los niveles de captura para estos escenarios (Fig 14c-d) experimentan leves aumentos, entre un 5 y un 20%, respecto de la TML actual

De estos análisis preliminares se concluye que bajo los supuestos propios de esta simulación, no se justificaría bajar la talla mínima legal, dado el riesgo de producir una importante reducción del stock desovante, sin tener un incremento importante en las capturas.

6 REFERENCIAS

- 
- Annala, J. H., & Bycroft, B. L. (1988). Growth of rock lobsters (*Jasus edwardsii*) in Fiordland, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 22, 29-41.
- Anon 2004. Suspensión temporal del acceso a la pesquería de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) en la V región e islas oceánicas, 2004-2009. Informe Técnico (R. Pesq.) N° 46 con RES.EX. N° 3356 de 2004.
- Anon 2009. Suspensión temporal del acceso a la pesquería de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) en la V región e islas oceánicas, 2009-2014. Informe Técnico (R. Pesq.) N° 102 con RES.EX. N° 4011 de 2009.
- Anon 2014a. Creación área marina costera protegida de múltiples usos denominada “Archipiélago Juan Fernández” y parques marinos que se indican en el archipiélago Juan Fernández, región de Valparaíso. Decreto Supremo N°11 Ministerio del Medio Ambiente.
- Anon 2014b. Suspensión temporal del acceso a la pesquería de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) en la V región e islas oceánicas, 2014-2019. Informe Técnico (R. Pesq.) N° 274 con RES.EX. N° 3557 del 24 de Diciembre 2014.
- Anon 2015a. Oficializa nominación de miembros titulares y suplentes del sector privado del comité de manejo de pesquerías de crustáceos y sus especies asociadas, archipiélago Juan Fernández e islas desventuradas. RES.EX. N° 06 del 07 de Enero 2015.

- Anon 2015b. Propone Creación de del “Parque Marino Nazca – Desventuradas” ubicado en la comuna de Valparaíso, V Región de Valparaíso. Acuerdo N°10 Ministerio del Medio Ambiente.
- Arana, P. y M.F. Pizarro. 1971. La langosta de Juan Fernández. I. Características morfológicas y distribución de tallas y sexos de *Jasus frontalis* de la isla Robinson Crusoe. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 2(5): 93-123.
- Arana, P. y C. Melo. 1973. La langosta de Juan Fernández. II. Pesca comercial de *Jasus frontalis* en las islas de Robinson Crusoe y Santa Clara. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 4(5): 135-154.
- Arana, P. 1974. La Langosta de Juan Fernández. Sinopsis Biológica. Descripción pesquera. *Invest. Mar.* 5:1-52.
- Arana, P., 1983. Estado en que se encuentra la pesquería de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). Pages 77-111 in P. Arana, ed. ‘Análisis de Pesquerías Chilenas’. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Arana, P. & G. Martínez. 1985. Crecimiento por muda de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). En: P. Arana (ed.). *Investigaciones Marinas en el Archipiélago de Juan Fernández*. Esc. Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 225-236.
- Arana, P., Dupré, M., Gaete, V., 1985. Ciclo reproductivo, talla de primera madurez y fecundidad de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). Pages 188-211 in P. Arana, ed., ‘Investigaciones Marinas en el Archipiélago de Juan Fernández’. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Arana, P., 1987. Perspectivas históricas y proyecciones de la actividad pesquera realizada en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. Pages 319-353 in J. C. Castilla, ed., ‘Islas Oceánicas Chilenas: su Conocimiento Científico y Necesidades de Investigaciones’. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Arana, P. & V. Venturini. 1989. Crecimiento y migración de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) determinado a través de metodologías de marcaje. *Estud. Doc.*, Univ. Católica Valparaíso, 4/89: 75 pp
- Arana, P. M., Cifuentes, A, De La Hoz, E, Martínez, G., Retamal, M. A., & Vega, R. 1997. Programa de pesca exploratoria y experimental de recursos pesqueros alternativos a la

- langosta en las islas Robinsón Crusoe y Santa Clara. Proyecto FIP N° 95-25 (Informe Final part. 2) (p. 233).
- Arana, P. & C. Olate. 2000. Composición de las capturas de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) y determinación de parámetros biológico-pesqueros durante la temporada de pesca 1996-1997. Invest. Mar, Valparaíso, 28: 83-115.
- Arana, P., M. Ahumada, A. Guerrero, V. Espejo, E. Yáñez, C. Silva, B. Ernst & J.M. Orensanz. 2006a. Evaluación de stock y distribución de la langosta y el cangrejo dorado en el archipiélago de Juan Fernández (Proyecto FIP 2005-21). Informe final. Estad. Doc, Pont. Univ. Católica, Valparaíso, 27/2006: 257p.
- Arana, P., Guerrero, A., Ahumada, M., Jofré, A., 2006b. Monitoreo biológico-pesquero de la langosta y cangrejo dorado en el archipiélago de Juan Fernández. Proyecto FIP N°2004-48, Universidad Católica de Valparaíso, Chile
- Arana, P., Orellana, J.C., De Caso, A., 2011. Escape vents and trap selectivity in the fishery for the Juan Fernández rock lobster (*Jasus frontalis*), Chile. Fisheries Research 110, 1-9.
- Bahamonde, N. 1948. Observaciones biológicas sobre la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis* H. Milne Edwards). Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 1(2): 90-102.
- Bahamonde, N. 1987. San Félix y San Ambrosio, las islas llamadas Desventuradas In: Castilla JC, editor. Islas Oceánicas Chilenas: Conocimiento científico y necesidades de Investigaciones. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile. 85-99 p.
- Bergh. M. O, Johnston S.J. 1992. A size-structured model for renewable resource management with application to resources of rock lobster in the south-east Atlantic S. Afr. J. Mar. Sci., 12 (1992), pp. 1005–1016.
- Breen, P. A., Kim, S. W., and Andrew, N. L. 2003. A length-based Bayesian stock assessment for the New Zealand abalone *Haliotis iris*. Marine and Freshwater Research, 54: 619 – 634.
- Burnham, K.P. and D.R. Anderson, 1998. *Model Selection and Inference: A practical Information Theoretic Approach*. Springer – Verlag, New York Inc. 353 pp.

- Chen, Y., Kanaiwa, M., Wilson, C. (2005) Developing and evaluating a size-structured stock assessment model for the American lobster, *Homarus americanus*, fishery. N. Z. J. Freshwater Res., 39 (2005), pp. 645–660.
- Chittleborough, R. G. 1975. Environmental factors affecting growth and survival of juvenile western rock lobsters *Panulirus longipes* (Milne-Edwards). Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 26, 177-196.
- Comeau M, Savoie F 2001. Growth increment and molt frequency of the American lobster (*Homarus americanus*) in the southwestern Gulf of St. Lawrence. Journal of Crustacean Biology 21(4): 923-936.
- Cockcroft, A. C. and P. C. Goosen 1995 - Shrinkage at moulting in the rock lobster *Jasus lalandii* and associated changes in reproductive parameters. S. Afr. J. mar. Sci. 16: 195-203.
- Díaz, P. & P. Arana. 1985. Estimaciones de mortalidades y de la edad crítica en la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara. En: P. Arana (ed.). Investigaciones Marinas en el Archipiélago de Juan Fernández. Esc. Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 237-250.
- Dúbula, O., Groeneveld, J. C., Santos, J., van Zyl, D. L., Brouwer, S. L., van den Heever, N., & McCue, S. A. 2005. Effects of tag-related injuries and timing of tagging on growth of rock lobster, *Jasus lalandii*. Fisheries Research, 74, 1-10.
- Dupré E. 2000. Reproducción muda y desarrollo de la langosta de Juan Fernández, *Jasus frontalis*, en estanques de Cultivo. Invest. Mar., Valparaíso. 28: 165-174.
- Eddy, T.D., Gardner, J.P.A., & Pérez-Matus, A. 2010. Applying fishers' ecological knowledge to construct past and future lobster stocks in the Juan Fernández Archipelago, Chile. PLoS ONE 5 (11), e13670. doi:10.1371/journal.pone.0013670.
- Ernst, B., Valero, J.L. 2005. Bias of equilibrium-based estimators under biological and fishery disequilibria. In Fisheries Assessment and Management in Data-Limited Situations. Alaska Sea Grant College Program AK-SG-05-02. University of Alaska, Fairbanks. Alaska. pp. 715-736.
- Ernst B., 2008. Langosta de Juan Fernández en las Islas Desventuradas (Informe final Pesca de Investigación solicitada a Subsecretaría de Pesca y autorizada a la Universidad de Concepción. R.E. N° 2135 con fecha de 13 de agosto de 2008)

- Ernst, B., Manríquez P., Orensanz, J.M., Roa, R., J. Chamorro & C. Parada. 2010a. Strengthening of a traditional territorial tenure system through protagonism in monitoring activities by lobster fishermen from Juan Fernández Islands (Chile). *Bulletin of Marine Science*. Volume 86: 315-338.
- Ernst B., C. Parada, P. Manríquez, J. Chamorro, P. Retamal. 2010b. Dinámica poblacional y pesquera de la langosta en la isla Alejandro Selkirk” (Proyecto FIP N°2008-24)
- Ernst, B., Orensanz, JM (Lobo), Manríquez P., Chamorro J., Román C. & Porobić J. 2012. Monitoreo de la pesquería de crustáceos en el archipiélago Juan Fernández (Informe final). Subsecretaria de Pesca. Proyecto N4728-49-LE11.
- Ernst B., J. Chamorro, P. Manríquez, J.M. (Lobo) Orensanz, Ana M. Parma, J. Porobic and C. Román. 2013a. Sustainability of the Juan Fernández lobster fishery (Chile) and the perils of generic science-based prescriptions. *Global Environment Change* 23: 1381–1392 p.
- Ernst B., Manríquez P., Chamorro J., Salas E., Román C., Porobic J., Rivara P., & Pérez M. 2013b. Monitoreo de las principales pesquerías del archipiélago Juan Fernández, año 2012 (Proyecto N°4728-36-LP12).
- Ernst B., Parada, C., Chamorro, J., Manríquez P., Porobic, J., Román, C., Rivara, P., Pino, J. & A. Reyes. 2014. Programa de monitoreo de las principales pesquerías de Juan Fernández (Proyecto FIP N° 2013-15).
- Ernst B., Pino J., Chamorro J., Manríquez P., Rivara P.& Porobic J. 2015. Programa de seguimiento de las principales pesquerías nacionales, año 2014. Pesquerías de crustáceos del archipiélago Juan Fernández. (Proyecto IFOP 581101).
- Ernst, B., Pino J, Manríquez P., Chamorro J., Rivara P. & Tapia B. 2016. Programa de seguimiento de las principales pesquerías nacionales, año 2015. Pesquerías de crustáceos del archipiélago Juan Fernández (Informe final). Instituto de Fomento Pesquero. Proyecto IFOP 581112.
- Fabens, A. J. 1965. Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. *Growth* 29: 265-289.

- Field, J. M., and M. Butler IV. 1994. The influence of temperature, salinity, and postlarval transport on the distribution of juvenile spiny lobsters, *Panulirus argus* (Latreille, 1804), in Florida Bay. *Crustaceana* 67: 26–45.
- Frusher, S., & J. Hoenig. 2001. Estimating natural and fishing mortality and tag reporting rate of southern rock lobster (*Jasus edwardsii*) from a multiyear tagging model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 2490-2501
- Frusher, S., & J. Hoenig. 2003. Recent developments in estimating fishing and natural mortality and tag reporting rate of lobsters using multi-year tagging models *Fisheries Research* 65: 379–390.
- García A & BC Kensler. 1980. Las langostas de México: su biología y pesquería. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México* 7: 111-128.
- González-Ferrán, O. 1987. Evolución geológica de las Islas Chilenas en el Océano Pacífico. En “Islas Oceánicas de Chile: Estado del conocimiento científico y necesidades de investigaciones”. J.C Castilla (ed.) Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 38-53 p.
- Haddon, 2001. M. Haddon *Modeling and Quantitative Methods in Fisheries* Chapman Hall, Boca Raton (2001)
- Henríquez, G., Rodríguez, L., Lea-Plaza, C., Sáteler, J. and Salas, R. 1985. Diagnóstico de la pesquería de langosta del archipiélago Juan Fernández. CORFO-IFOP (Valparaíso, Chile), AP 86/6, 133 pages.
- Hobday, D. and Punt, A.E. (2001) Size-structured population modelling and risk assessment of the Victorian southern rock lobster, *Jasus edwardsii*, fishery *Mar. Freshwater Res.*, 52 (2001), pp. 1495–1507.
- Kilada, R., Sainte-Marie, B., Rochette, R., Davis, N., Vanier, C., and Campana, S. 2012. Direct determination of age in shrimps, crabs, and Lobsters. *Can.J. Fish. Aquat. Sci.* 69: 1-6
- Kim, H.W., Mykles, D.L., Goetz, F.W., Roberts, S.B. 2004. Characterization of a myostatin-like gene from the bay scallop, *Argopecten irradians* *Biochim. Biophys. Acta*, 1679 (2004), pp. 174–179.

- Kruse, G. 1993. Biological perspectives on crab management in Alaska. Pages 355–384 in G. Kruse, D. M. Eggers, R. J. Marasco, C. Pautzke, and T. J. Quinn, eds. Proc. Int. Symp. Management Strategies for Exploited Fish Populations. Rep. 93-02, Univ. Alaska Sea Grant College Program, Fairbanks.
- Linnane A, Hobday D, Frusher S, Gardner C (2012). Growth rates of juvenile southern rock lobster (*Jasus edwardsii*) estimated through a diver-based tag-recapture program. Mar Freshw Res 63:110–118
- Lozano-Álvarez, E., & Spanier, E. 1997. Behavior and growth of captive spiny lobsters (*Panulirus argus*) under the risk of predation. *Marine and Freshwater Research*, 48, 707- 713.
- Masoli, C. 2008. Propuesta de ordenamiento territorial para el uso de turismo científico en la isla más afuera archipiélago Juan Fernández. Proyecto Titulo. Escuela de Ecología y Paisaje. Universidad Central de Chile. Santiago. 87 pags.
- McLaughlin, M., 1998. “...The very game...”. A tutorial on Mathematical Modeling. Documento electrónico en formato PDF. 50 pp. (www.geocities.com/~mikemclaughlin).
- McKoy, J. L. 1985. Growth of tagged lobsters (*Jasus edwardsii*) near Stewart Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 19, 457-466.
- Montgomery, S.S., Liggins, G.W., Craig, J.R. and McLeod, J.R. 2009. Growth of the spiny lobster *Jasus verreauxi* (Decapoda: Palinuridae) off the east coast of Australia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 43: 113-123.
- Muggeo, V. M. R. (2003), Estimating regression models with unknown break-points. *Statist. Med.*, 22: 3055–3071. doi:10.1002/sim.1545.
- Orensanz, J., Ernst, B., Armstrong, D. & Parma, A. 2005a. Detecting early warnings of recruitment overfishing in male-only crab fisheries. (Proceedings book of Assessment and Management of New and Developed Fisheries in Data-Limited Situations, 21st Lowell Wakefield Fisheries Symposium, in press).
- Orensanz, J.M., Parma, A.M., Jerez, G., Barahona, N., Montecinos, M., Elias, I., 2005b. What are the key elements for the sustainability of S-fisheries? Insights from South America. *Bull. Mar. Sci.* 76, 527–556.

- Orensanz, J. M. & Seijo, J. C. 2013. *Rights-based management in Latin American fisheries*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 582, Rome, FAO. 136 pp.
- Palma, A. & Gaymer, C. 2012. Recruitment processes and short-term demography of the Robinson Crusoe spiny lobster *Jasus frontalis*: an ecological-based study of an endemic species with complex cycle. FONDECYT 1080009.
- Pavez, P. & P. Arana. 1982. Estimaciones de incrementos de talla, esquema de migración y determinación de tamaños poblacionales vulnerables de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). Informe Final. Estud. Doc., Univ. Católica Valparaíso, 16/82: 87 pp.
- Pearn, R. 1994. Rock lobster tagging shows movement occurs. *Fishing Today*, 7(5): 27–29.
- Petriella, Ana M. y Boschi, Enrique E..Crecimiento en crustáceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. *Investig. mar.* [online]. 1997, vol.25, pp. 135-157. ISSN 0717-7178. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71781997002500010>.
- Phillips, B. F., Palmer, M. J., Cruz, R., and Trendall, J. T. (1992). Estimating growth of the spiny lobsters *Panulirus cygnus*, *P. argus* and *P. ornatus*. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* **43**, 1177–1188. doi:10.1071/MF9921177.
- Porobić, J., Parada, C., Ernst, B., Hormazábal, S., Combes, V., 2012. Modelación de la conectividad de las subpoblaciones de la langosta de Juan Fernández a través de un modelo biofísico. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(3): 613-632.
- Pollock, D.E. and Roscoe, M.J. 1977. The growth at moulting of crawfish *Jasus tristani* at Tristan da Cunha, South Atlantic. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 37(2): 144-146.
- Pollock, D.E. 1991. Spiny lobsters at Tristan da Cunha, South Atlantic: inter-island variations in growth and population structure. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 10: 1–12
- Pollock DE, Cockcroft AC, Goosen PC (1997) A note on reduced rock lobster growth rates and related environmental anomalies in the southern Benguela, 1988–1995. *South African Journal of Marine Science* 18: 287–293
- Punt, A. E., Kennedy, R. B., & Frusher, S. D. 1997. Estimating the size-transition matrix for Tasmanian rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Marine and Freshwater Research*, 48, 981-992.
- Punt, A. E., Hobday, D., Gerhard, J., and Troynikov, V. S. 2006. Modelling growth of rock lobsters, *Jasus edwardsii*, off Victoria, Australia using models that allow for individual variation in growth parameters. *Fisheries Research* 82, 119–130. doi:10.1016/J.FISHRES.2006.08.003

- Punt, A. E., Buckworth, R. C., Dichmont, C. M., and Ye, Y. M. 2009. Performance of methods for estimating size-transition matrices using tag-recapture data. *Marine and Freshwater Research* **60**, 168–182.
- Robertson DN, Butler MJ IV. 2003. Growth and size at maturity in the spotted spiny lobster, *Panulirus guttatus*. *Journal of Crustacean Biology* 23:265-72.
- Ryan, Sandra E. & Porth, Laurie S. 2007. A tutorial on the piecewise regression approach applied to bedload transport data. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-189. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 41 p.
- Sainsbury, K. J. 1980. Effect of individual variability on the von Bertalanffy growth equation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 241–247.
- Schwarz, C. J. (2015). Regression - hockey sticks, broken sticks, piecewise, change points. In Course Notes for Beginning and Intermediate Statistics. Available at <http://www.stat.sfu.ca/~cschwarz/CourseNotes>. Retrieved 2015-08-20.
- Segestrel, K. 1931. Informe sobre la pesca, industrialización y datos biológicos de la langosta de Juan Fernández. Informe Departamento de Pesca y caza. No publicado, 87 págs.
- Sparre, P. Y S.C. Venema . 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca, N°306.1 Rev. 1, 440 pp.
- Turner, K., Gardner, C., and Swain, R. (2002). Onset of maturity in male southern rock lobsters *Jasus edwardsii* in Tasmania, Australia. *Invertebrate Reproduction & Development* 42, 129–135.
- Venturini, V. 1993. Desarrollo de un procedimiento analítico para la descripción del crecimiento en los crustaceos, aplicado a la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis* Milne Edwards, 1837). UCV, Tesis de Título de Ingeniero Pesquero. 86pp.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Recuento histórico de principales investigaciones científicas biológico-pesquera de la langosta de Juan Fernández *Jasus frontalis*.

Año	Proyecto	Financiamiento	Subsistema	Input	Objetivo General	Autor (es)
1948	Algunos datos sobre la langosta de Juan Fernández.		RC_SC			Nibaldo Bahamonde 1948 <i>Rev. Biol. Mar, 1(2):90-102</i>
1971	Características morfológicas y distribución de tallas y sexos de <i>Jasus frontalis</i> .	CORFO	RC_SC	Muestreos Ene-Mar 1971 (1606 ejemplares)	Iniciar una serie de estudios sobre <i>Jasus frontalis</i> , estableciendo relaciones morfológicas y analizando distribución de tallas y sexos	Arana & Pizarro, 1971.
1973	Pesca comercial de <i>Jasus frontalis</i> (1971-1972)	CORFO	RC_SC	Muestreos (Ene-May 1971) y temp 1971/72. Se capturaron 77.679 ejemplares en 9.329 trampas.	Obtener un visión del estado actual de esta pesquería. Abundancia relativa tanto espacial como temporal.	Arana & Melo, 1973.
1974	Sinopsis biológica y descripción de la pesquería.	CORFO-Comisión Organizadora celebración IV Centenario descubrimiento archipiélago JF.	RC_SC	Referencias de trabajos y publicaciones sobre especie y pesquería	Sintetizar trabajos sobre la Biología de la especie y Describir explotación comercial.	Arana 1974.
1980	Optimización de las pesquerías del arch JF.	Subsecretaría de Pesca	RC_SC	Información recolectada en un ciclo anual	Representa el esfuerzo más relevante, realizado hasta ese entonces por investigar recursos de JF	Autores, Libro Investigaciones Marinas en el arch. JF (1985).

1984/85	Monitoreo anual de la pesquería langosta de JF	CORFO – IFOP	RC_SC & AS	Monitoreo Anual, data biológica-pesquera	Diagnosticar pesquería de langosta en arch. JF	Henríquez <i>et al</i> 1985.
1987/88	Marcaje y Recaptura de la langosta de JF	FONDECYT	RC_SC	Marcaje (1024 langostas) Oct a Dic 87 y 1247 recuperaciones en 639 ejemplares, desde Oct 87 a Dic 88.	Determinar crecimiento y desplazamiento de la especie	Trabajos Arana <i>et al</i> (1991/92).
1996/97	Análisis y evaluación indirecta de la pesquería de langosta en el archipiélago JF	FIP 96/22	RC_SC	Actividades como esfuerzo, capturas, y rendimientos. Similar recopilación a la de monitoreos anteriores	Registrar y analizar info. biológica-pesquera, temp. (1996/97). Y establecer la evolución de la pesquería en los últimos 25 años.	Arana <i>et al</i> 1997.
2004/05	Evaluación de stock de la langosta en el archipiélago JF	FIP2005-21	RC_SC	Monitoreo Biológico-pesquero de la langosta.	Realizar una evaluación de stock al recurso	Arana <i>et al</i> 2006a.
2006/10	Monitoreo Pesquero	UdeC	RC_SC & AS	Registro pesquero a través de una bitácora de capturas por bote	Obtener información real y fidedigna.	Ernst <i>et al</i> 2010a.
2008	Pesca de investigación. Langosta de JF en Islas Desventuradas.	UdeC	ID	Faena pesquera realizada con 10 trampas langosteras y 2 espineles verticales. Desde el 16/08 al 18/08/2008.	Material genético de especies bentónicas, que se complementan con las ya obtenidas en JF. Rendimientos de pesca.	Ernst 2008.
2008/09	Dinámica poblacional y pesquera de la langosta en la Isla Alejandro Selkirk.	FIP 2008-24	AS	Monitoreo biológico-pesquero 2008/09 y comienzos temp 2009/10. Experimento de Marcaje Recaptura.	Recabar y analizar info demográfica y pesquera de langosta de JF en isla A.Selkirk (temp.2008/09)	Ernst <i>et al</i> 2010b.
2010/15	Programa de monitoreo de las principales pesquerías de JF	UdeC - ONG CREO – Subpesca & FIP 2013-15	RC_SC; AS & ID	Monitoreo biológico-pesquero temp. 2010/14, en los 3 subsistemas.	Desarrollar bases para un prog de recopilación de info. biológico-pesquera.	Ernst <i>et al</i> 2012; 13; 14 & 15.

Tabla 2. Incremento en longitud (mm) y período de muda por sexo para la especie *Jasus forntalis*, determinadas mediante diversas metodologías (Revisión bibliográfica).

Sexo	Primavera			Verano			Otoño			Invierno			Metodología	Autor (es)
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep		
	Temporada de Pesca						Cierre Pesquería							
F								9.0					Marcaje y Recaptura. Diagrama de Hiatt (1948), ajustándose por mínimos cuadrados.	Pavez & Arana, 1982
M			9.0											
F								8.32-11.62					Longitudes medias ajustadas para cada estado de muda (entre 5 estados)	Arana 1983
M														
F								8.9					Análisis de descomposición modal.	Arana & Martínez, 1985
M		8.9												
F											4.07		Marcaje y Recaptura (1987/88), estableciendo una función de crecimiento Von Bertalanffy.	Venturini, 1993
M					7.48									
F								7.8 - 10.5					Máxima verosimilitud - Separación de componentes normales a partir de una distribución de frecuencias de tallas.	Arana <i>et al</i> , 1997
M								8.0 - 9.6						
F								6.6					Identificación de estados de las clases anuales de muda, en la fracción vulnerable a la pesquería.	Arana & Olate 2000
M														
F								1.3 - 3.6					Análisis de individuos en cautiverio.	Dupré 2000
M					1.3 - 3.6									
F											5.0		Estudio de incremento en longitud de los organismos recuperados respecto de cada evento de marcaje.	Ernst <i>et al</i> , 2010b
M					5.0									

Tabla 3. Incremento medio en longitud (mm) por sexo para las demás especies de *Jasus*, según bibliografía.

Sexo	Incremento medio por Muda Todo Rango de Tallas (mm)	Incremento medio por Muda Tallas <70 (mm)	Incremento medio por Muda Tallas >70 (mm)	Especie	Autor (es)
F M	2.8 -5.5			<i>Jasus lalandii</i>	Newman & Pollock 1974
F M			0.3 - 3.6	<i>Jasus lalandii</i>	Cockcroft & Goosen 1995 Goosen & Cockcroft 1995
F M			2.2 - 3.5	<i>Jasus lalandii</i>	Pollock <i>et al.</i> 1997
F M	5.0		6.3 4.3 - 5.7	<i>Jasus edwardsii</i>	McKoy 1985 McKoy & Esterman 1981
F M	5.0		1.3- 3.4 2.0 - 7.2	<i>Jasus edwardsii</i>	Annala & Bycroft 1988
F M		3.0 - 7.0 4.0 - 7.0	3.0 - 6.0 4.0 - 6.0	<i>Jasus edwardsii</i>	Linnane <i>et al.</i> 2012
F M	1.0 5.0			<i>Jasus tristani</i>	Pollock & Roscoe 1977
F M		4.8 - 6.9	4.1 - 6.7	<i>Jasus tristani</i>	Pollock 1991
F M	5.0 6.0			<i>Jasus verreauxi</i>	Montgomery <i>et al.</i> 2009

Tabla 4. Regulaciones formales actuales de la pesquería de la langosta de Juan Fernández.

Año	Documento Of	Institución	Regulaciones Formales
1934	Decreto Supremo 1584	Ministerio Fomento	Talla mínima legal 115 mm longitud cefalotorácica medida desde la base de las antenas hasta el borde posterior del caparazón.
1934	Decreto Supremo 1584	Ministerio Fomento	Veda indefinida de hembras con huevos.
1951	Decreto Supremo 1241	Ministerio Agricultura	Veda biológica que rige entre el 1º de junio y el 30 de septiembre de cada año, en las islas Desventuradas
1963	Decreto Supremo 223	Ministerio Agricultura	Veda biológica que rige entre el 15 de mayo y el 30 de septiembre de cada año en todo el Archipiélago Juan Fernández
2004	Decreto Supremo 311(*)	Ministerio Economía	
1992	Resolución Exenta 957	Subsecretaría de Pesca	Trampa como único arte de pesca permitido para capturar langosta en el Archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas
2004	Resolución Exenta 3356	Subsecretaría de Pesca	Suspensión transitoria a la inscripción en el registro artesanal de la pesquería (2004-2009), tras alcanzar el estado de plena explotación
2009	Resolución Exenta 4011	Subsecretaría de Pesca	Extensión de la suspensión transitoria a la inscripción en el registro artesanal de la pesquería (2009-2014).
2014	Resolución Exenta 3557	Subsecretaría de Pesca	Extensión de la suspensión transitoria a la inscripción en el registro artesanal de la pesquería (2014-2019).

(*)= Establecido para la Isla Alejandro Selkirk, ya que el año 1983 el Decreto Supremo N° 177 del Ministerio de Economía suspendiera la veda biológica dando la atribución de pescar durante todo el año.

Tabla 5. Eventos o Grupos de estudios de marcaje en sus subsistemas y de individuos monitoreados en cautiverio.

Eventos	Inicio	Fin	# Marcas	Rango Marcaje (mm)	Modelo	Subsistema
1	01-oct-08	18-oct-08	3138	79.0 - 117.8	T-Bar Verde	AS
2	14-feb-09	14-mar-09	1708	96.7 - 114,6	T-Bar Verde	AS
3	15-abr-09	30-abr-09	2097	90.1 - 116.1	T-Bar Verde	AS
4	24-nov-11	20-dic-11	1000	69.5 - 110.5	T-Bar Azul	AS
5	02-nov-12	23-feb-13	100	64.9 - 90.6	T-Bar Azul	AS
6	12-feb-12	22-feb-12	200	115.0 - 144.1	T-Bar Café	AS
7	04-dic-08	08-ene-12	134	32.68 - 98.0	PIT Tags	RC
8	21-feb-13	27-mar-14	6	187.0 - 313.0	Cautiverio	ID-Valpo



Tabla 6. Parámetros utilizados en el modelo talla estructurado y parámetros estimados

Parámetro	Valor	Fuente
<i>Mortalidad Natural M (año⁻¹)</i>	0.6 & 0.12	Rango promedio para <i>Jasus</i> (Tabla 7)
<i>Relación Alométrica</i>		
	α 0.000428	Arana <i>et al.</i> 2006b
	β 3.069467	Arana <i>et al.</i> 2006b
<i>Fecundidad</i>		
	α 4.67E-004	Arana <i>et al.</i> 1985
	β 4.4005	Arana <i>et al.</i> 1985
<i>Madurez</i>		
	α 14.48607	Ernst <i>et al.</i> 2012
	β -0.17862	Ernst <i>et al.</i> 2012
<i>Selectividad Trampas</i>		
	L ₅₀ 97.6	Arana <i>et al.</i> 2011
	L ₉₅ 102.075	Arana <i>et al.</i> 2011
<i>Capturabilidad</i>		
	q 0.000893	Estimado
<i>Stock desovante virginal</i>		
	S ₀ 2.89E+14	Estimado
<i>Reclutamiento</i>		
	Z 0.6 & 0.8	
	R ₀ 1.94E+15	Estimado
	V _t Serie	Estimados
<i>Mortalidad por Pesca</i>		
	F 0.25	
	0.5	
	0.75	
	1.0	

Tabla 7. Valores de Mortalidad Natural para el género *Jasus*

Species	Sex	Valores M	Metodo	Reference
<i>J. frontalis</i>	F	0.12	Beverton y Holt (1956)	Arana & Olate (2000)
	M	0.12		
<i>J. frontalis</i>	F	0.7	Taylor (1958)	Arana & Olate (2000)
	M	0.7		
<i>J. frontalis</i>	F	0.17	Alverson y Camey (1958)	Arana & Olate (2000)
	M	0.18		
<i>J. frontalis</i>	F	0.2	Rikhter y Efanov (1976)	Arana & Olate (2000)
	M	0.2		
<i>J. frontalis</i>	F	0.24	Roff (1984)	Arana & Olate (2000)
	M	0.24		
<i>J. frontalis</i>	F	0.16	Pauly (1980)	Díaz y Arana (1985)
	M	0.21		
	Ambos	0.18		
<i>J. edwardsii</i>	Ambos	0.1	Asume valor	Punt <i>et al</i> (1997)
<i>J. edwardsii</i>	F	0.1	Asume valor para evaluación	Punt <i>et al</i> (2006)
	M	0.1		
<i>J. edwardsii</i>	F	0.1	Estimación	Frusher & Hoenig (2001)
	Ambos	0.075		
<i>J. tristani</i>	F	0.05 - 0.1	Estimado	Bergh&Johnston (1992)
	M	0.05 - 0.1		
<i>J. lalandii</i>	Ambos	0.05 - 0.12	Asume valor	Johnston & Bergh (1993)
<i>J. lalandii</i>	Ambos	0.075	Asume valor	Bergh & Johnston (1992)

Tabla 8. Parámetros ajustados Modelo de Crecimiento de Fabens.

Sexo	Parámetros	Max. Verosimilitud	Intervalo de confianza	
			Límite Inferior	Límite Superior
<i>Hembras</i>	K	<i>0.0088</i>		
	L_{∞}	<i>176.9</i>	164.4	192.4
<i>Machos</i>	K	<i>0.0091</i>		
	L_{∞}	<i>173.61</i>	165.5	187.5



Tabla 9. Parámetros ajustados Modelo de Crecimiento Piece-wise

Sexo	Parámetros	Max. Verosimilitud	Intervalo de confianza	
			Límite Inferior	Límite Superior
<i>Hembras</i>	a	<i>52.53</i>		
	b	<i>0.61</i>		
	c	<i>0.000043</i>		
	X*	<i>81.91</i>	72.76	94.82
<i>Machos</i>	a	<i>37.78</i>		
	b	<i>-0.31</i>		
	c	<i>0.016</i>		
	X*	<i>110.69</i>	105	125



Tabla 10. Criterio de selección de Akaike (AIC) para elección del Modelo

Sexo	Fabens	Piece Wise
<i>Hembras</i>	479,07	334,25
<i>Machos</i>	1095	880



LISTA DE FIGURAS

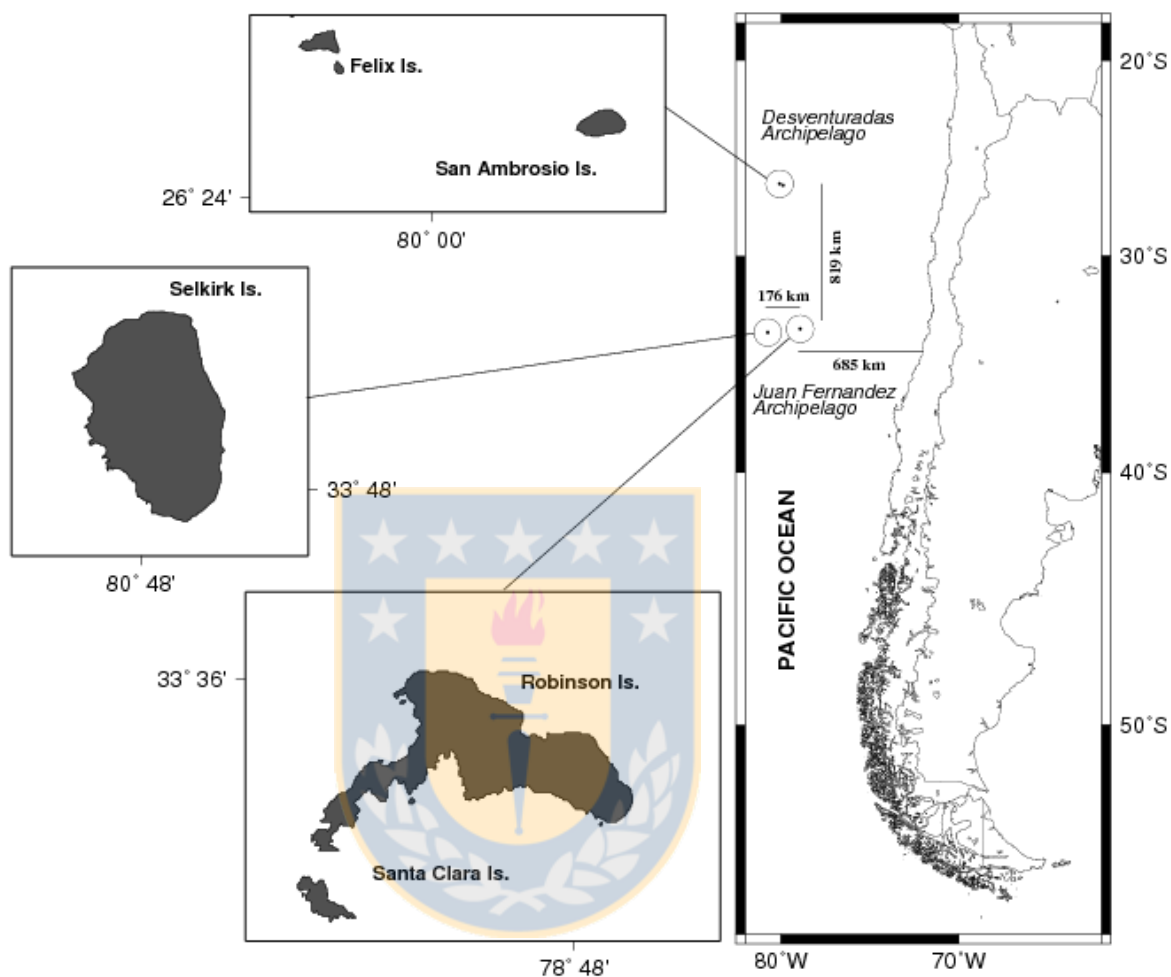


Figura 1. Distribución geográfica del sistema pesquero de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) subdividido en tres subsistemas, dos de ellos se localizan en las islas del archipiélago Juan Fernández (Isla Alejandro Selkirk (AS) e Isla Robinson Crusoe y Santa Clara (RC-SC)) y el tercer grupo está constituido por el Archipiélago de las islas Desventuradas (San Félix y San Ambrosio) (ID).

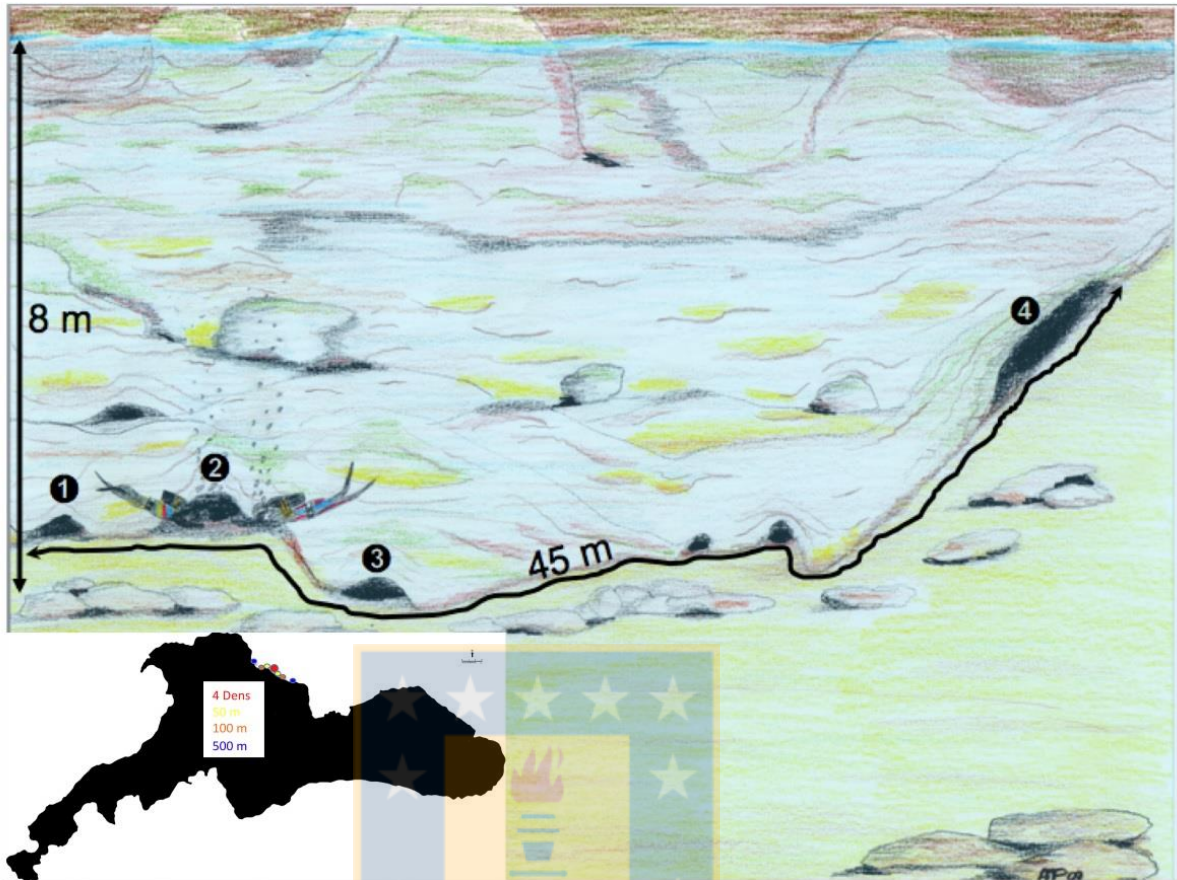


Figura 2. Dibujo esquemático y el mapa (inserto) del sitio (punto rojo) con las 4 cuevas donde en cada ocasión se realizaron la recolección de langostas. Las cuevas están numeradas de 1-4. Distancia entre cuevas: 1-2 = 2 m, 4,5 m = 2-3, 3-4 = 25m. Las cuatro cuevas están situadas a lo largo de una plataforma rocosa en aprox. 8 m de profundidad (Palma & Gaymer, 2012).

Biológico	H	Ovígeras (O)	(O)	(O)	Término (O)	Hembras no mudan			Comienzo (O) grandes. Muda Hembras		Muda Hembras	Eclosión larval de hembras grandes. Muda hembras	
	M	Variabilidad Muda invierno			Muda machos			No muda		Muda machos			
Pesquero	Actividad pesquera mayoritariamente cercana a la costa				Migración flota Mar adentro	Alta proporción Hembras capturadas	Baja el Nº de trampas (jornada diurna mas corta)	Alta proporción machos capturados	Veda extractiva				
Tiempo	Primavera			Verano			Otoño			Invierno			
	Octubre	N	D	Ene	Febrero	M	A	Mayo	J	J	A	S	
	Temporada de Pesca								Cierre Pesquería				

Figura 3. Modelo conceptual de eventos biológicos y pesqueros relevantes del stock.





Figura 4. Marcaje dorsal con anclaje de tipo “T” bar (FD-68B), colores verde-azul

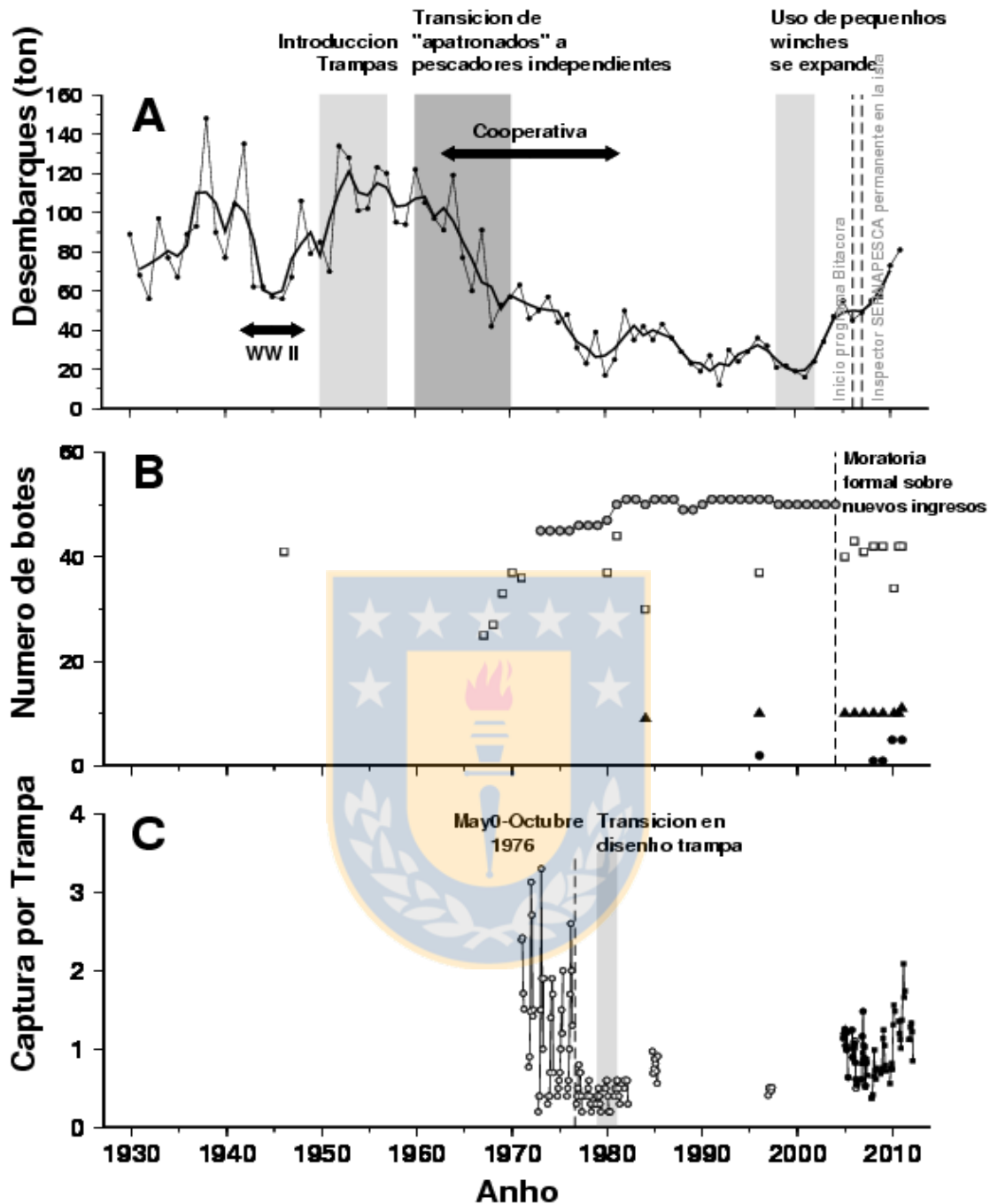


Figura 5. Tendencias históricas en la pesquería de langosta de Juan Fernández. A: Desembarques (en toneladas métricas, por año calendario); línea continua: media móvil. B: Tamaño de la flota; (O) número de botes de pesca de langosta registrados con la autoridad marítima (1970-2004), (□) número de barcos de pesca de langosta que operan en RC / SC en el momento en que varios proyectos de investigación se llevaron a cabo, (▲) Ibid., AS y (●) AD. C: CPUE promedio (captura por trampa, compuesta de información de diversas fuentes); (○) datos recopilados por la cooperativa (1970-1980), el departamento de policía (1981-1983) y cinco proyectos de investigación intensiva; (●) datos del proyecto marcas y del programa de bitácoras. Línea discontinua vertical: caída repentina de la CPUE de la serie histórica de la cooperativa (Ernst *et al*, 2013).

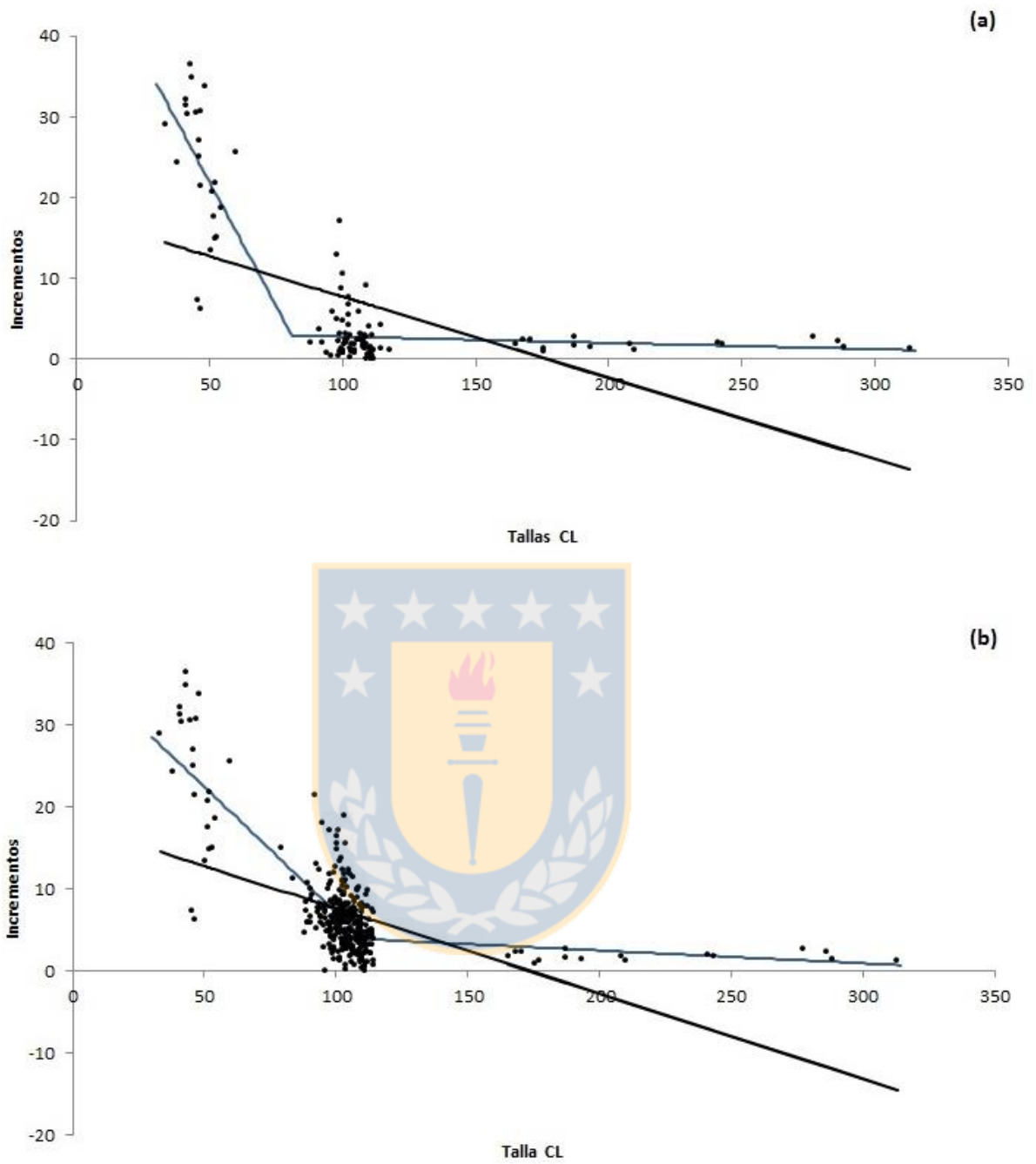


Figura 6. Ajuste de la data mediante modelos de Crecimiento de Fabens y Piece wise (a) Hembras y (b) Machos.

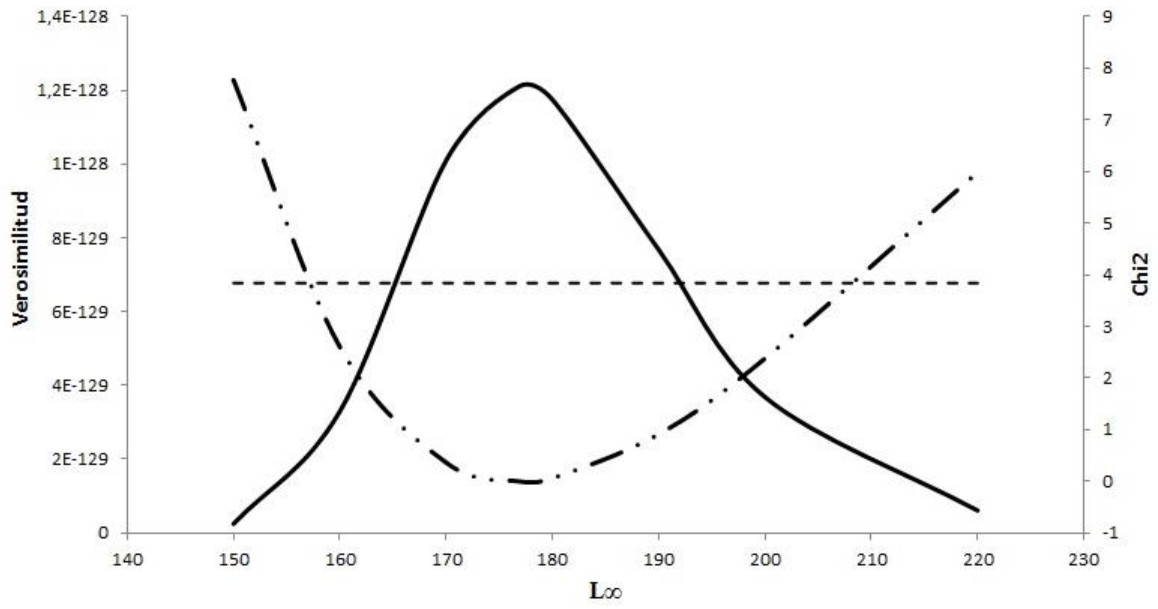


Figura 7. Perfil de verosimilitud parámetro L_{∞} del modelo de crecimiento Fabens para hembras y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%.



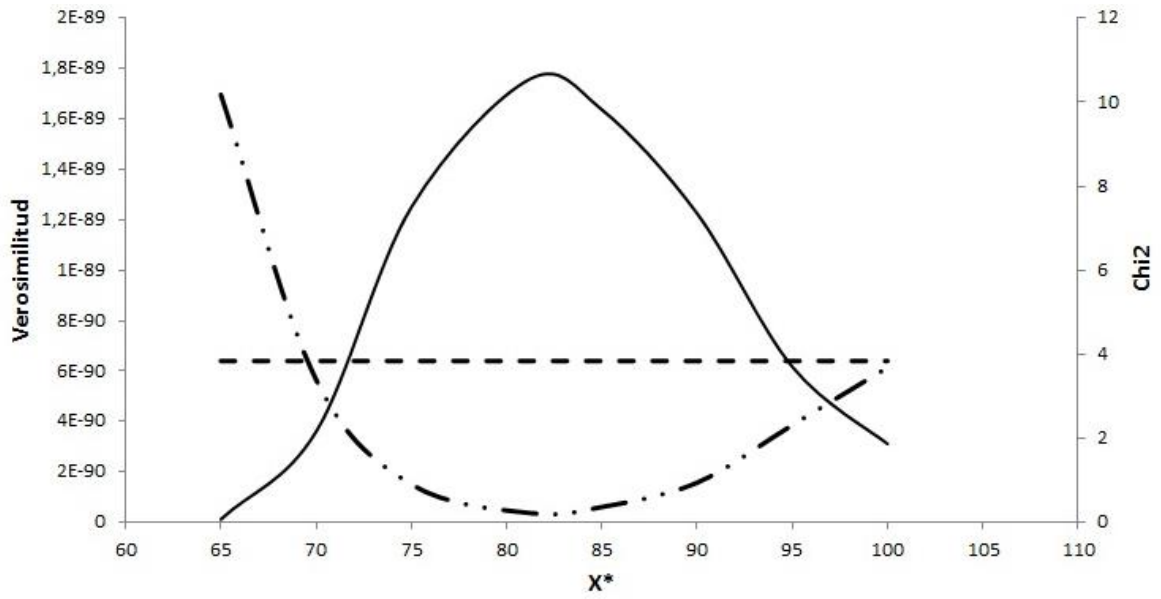


Figura 8. Perfil de verosimilitud parámetro X^* del modelo de crecimiento Piece wise para hembras y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%.



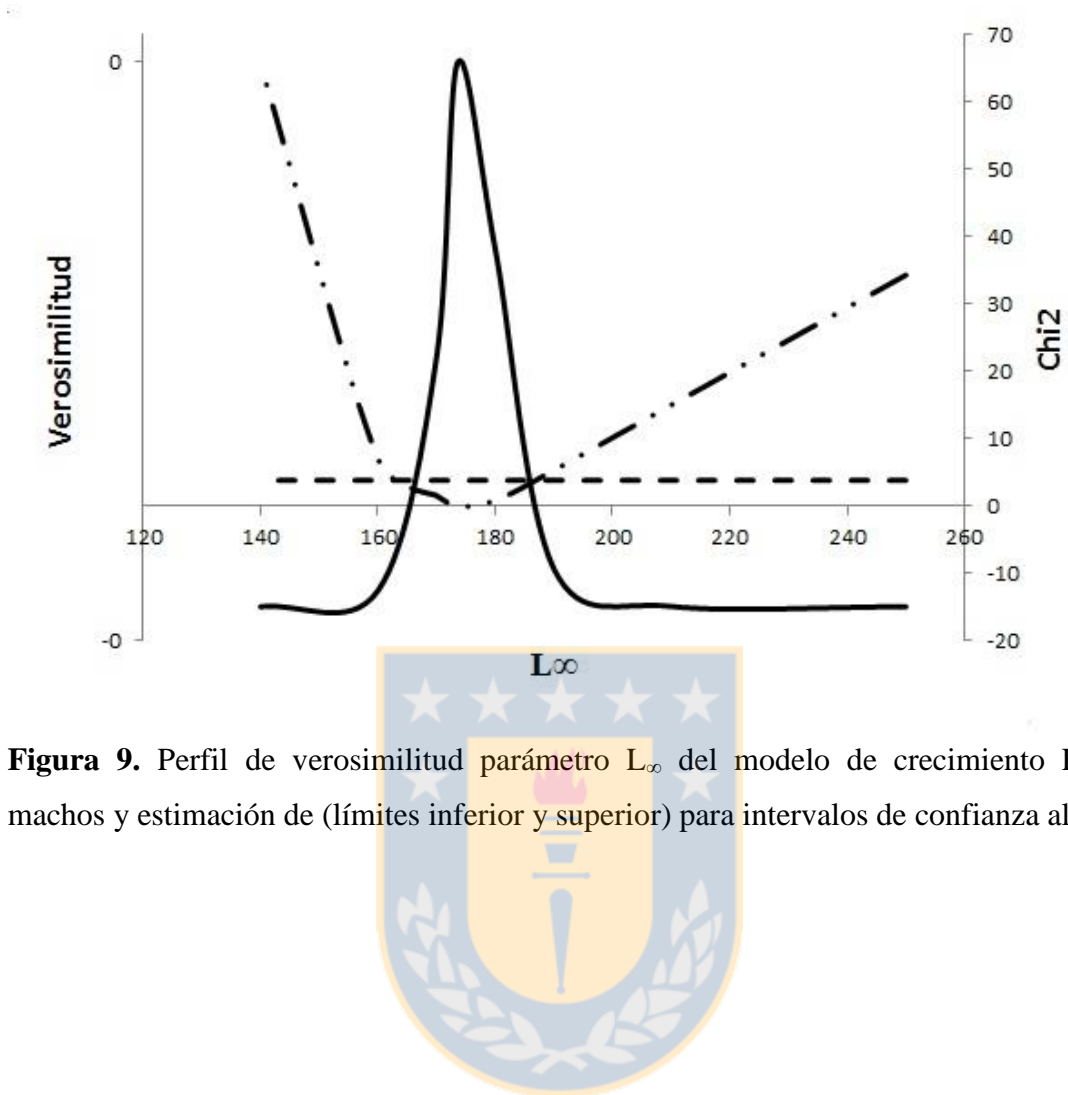


Figura 9. Perfil de verosimilitud parámetro L_{∞} del modelo de crecimiento Fabens para machos y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%.

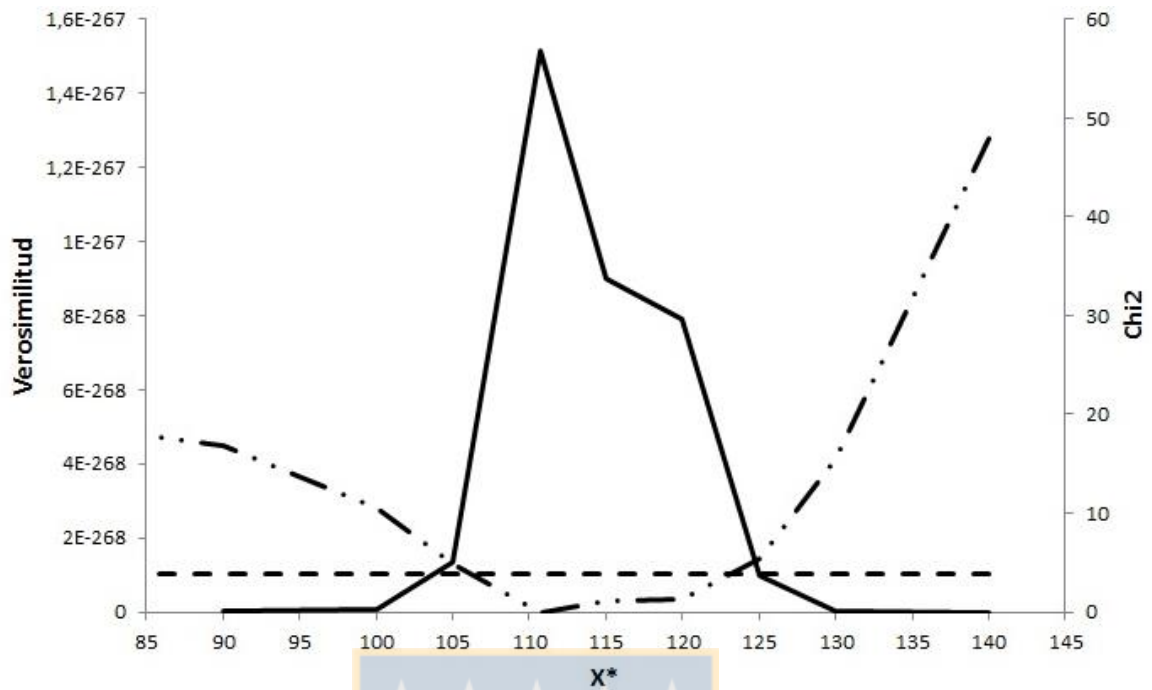
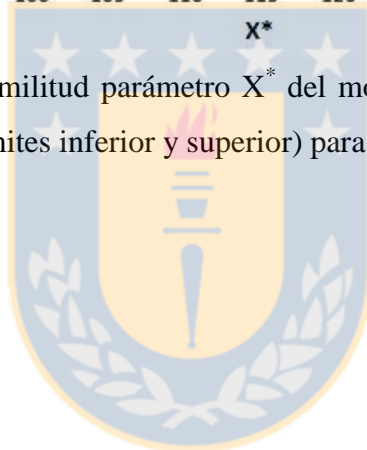


Figura 10. Perfil de verosimilitud parámetro X^* del modelo de crecimiento Piece wise para machos y estimación de (límites inferior y superior) para intervalos de confianza al 95%.



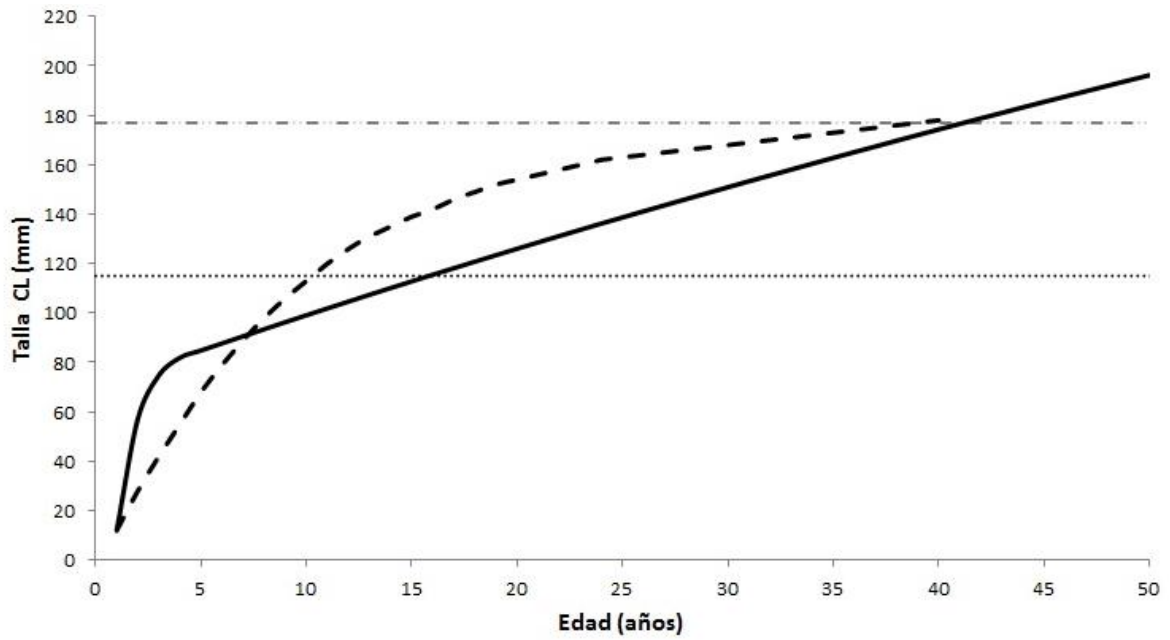
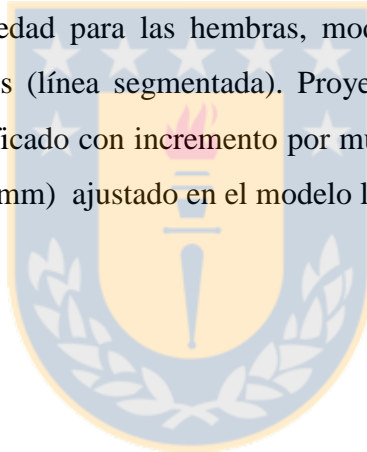


Figura 11. Relación talla-edad para las hembras, modelo de crecimiento Pice-wise (línea negra) y Modelo de Fabens (línea segmentada). Proyectada a la talla de CL en (mm) del ejemplar más grande identificado con incremento por muda. Se identifican el rango de la talla mínima legal y la L_{∞} (176.9mm) ajustado en el modelo lineal.



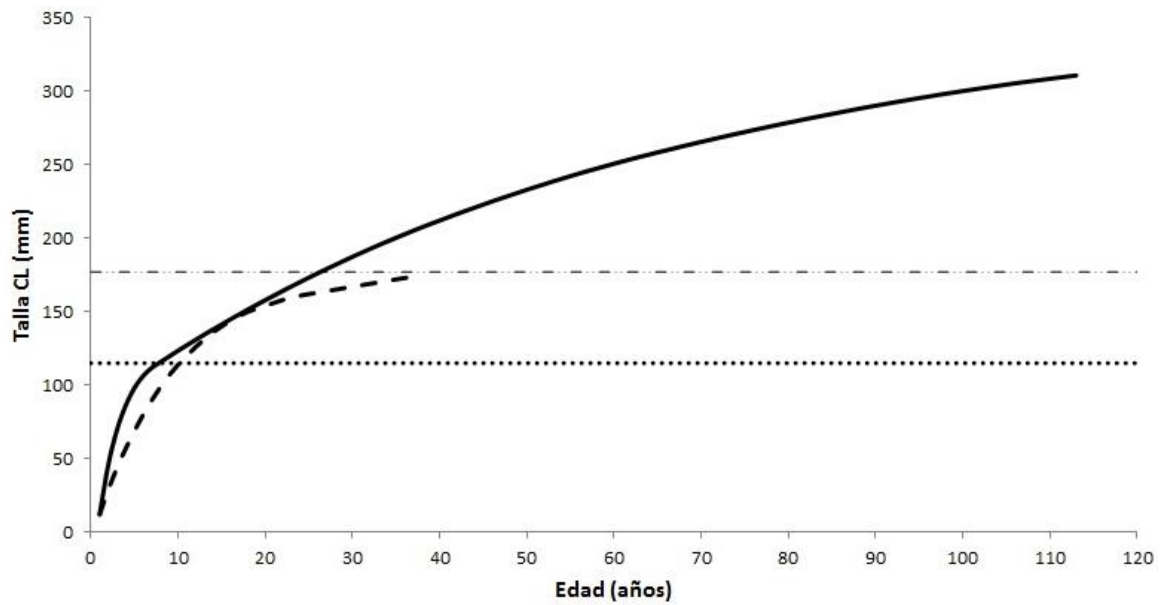
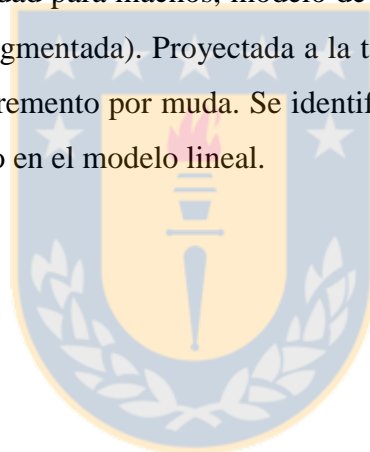


Figura 12. Relación talla-edad para machos, modelo de crecimiento Pice-wise (línea negra) y Modelo de Fabens (línea segmentada). Proyectada a la talla de CL en (mm) del ejemplar más grande identificado con incremento por muda. Se identifican el rango de la talla mínima legal y la L_{∞} (173.6mm) ajustado en el modelo lineal.



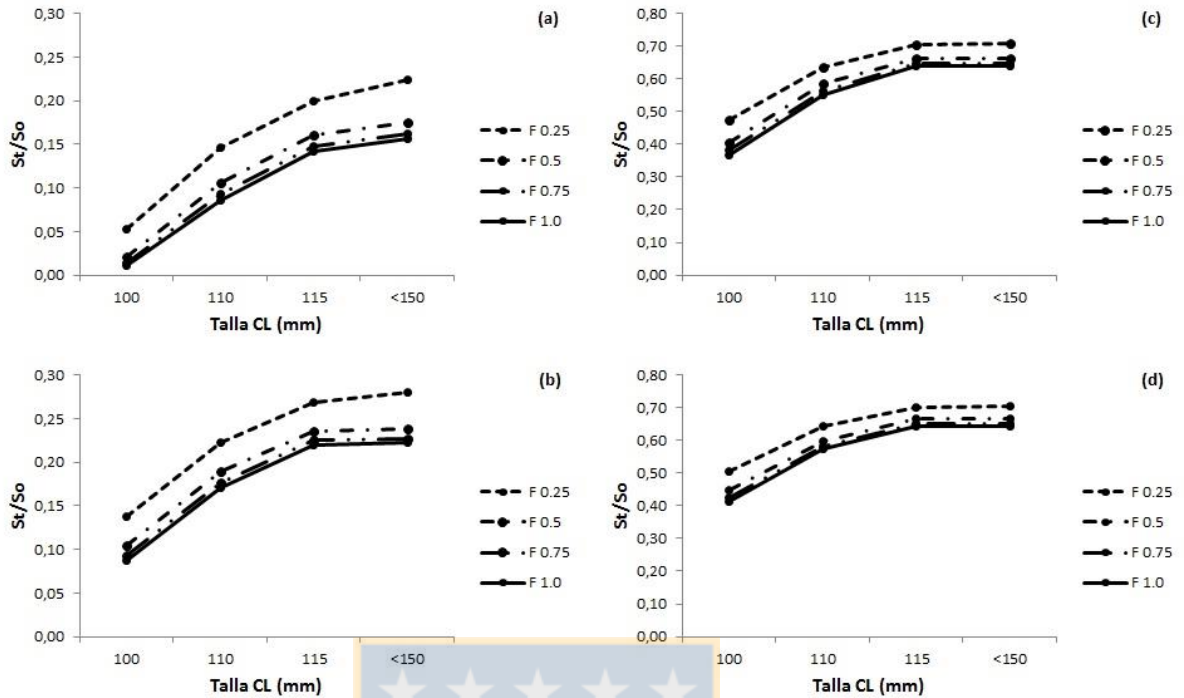


Figura 13. Proyección de los efectos en los cambios de proporciones del potencial reproductivo de la población, evaluados a diferentes escenarios de ojiva de selectividad y a distintos niveles de remoción por pesca en cada uno de los diferentes estados de la naturaleza y en condiciones iniciales del modelo para cada combinación de M y z. (a) $M=0.06$ y $z=0.6$; (b) $M=0.06$ y $z=0.8$; (c) $M=0.12$ y $z=0.6$; (d) $M=0.12$ y $z=0.8$.

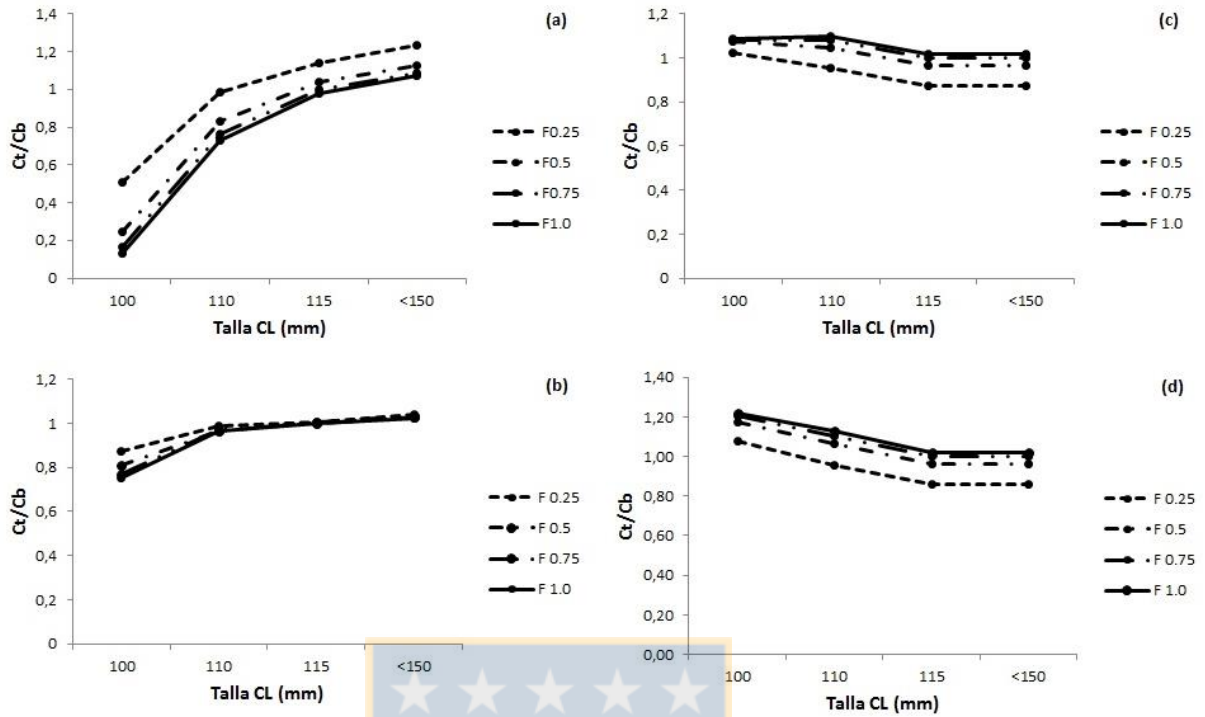


Figura 14. Proyección de los efectos en los cambios de proporciones de capturas a diferentes escenarios de ojiva de selectividad y a distintos niveles de remoción por pesca en cada uno de los diferentes estados de la naturaleza y en condiciones iniciales del modelo para cada combinación de M y z. (a) M=0.06 y z=0.6; (b) M=0.06 y z=0.8; (c) M=0.12 y z=0.6; (d) M=0.12 y z=0.8.

Anexo 1: Ecuaciones Modelo



La ecuación que especifica el número de individuos de la clase de talla l al inicio del tiempo $t+1$, tomando en consideración la mortalidad natural, mortalidad por pesca, crecimiento y reclutamiento:

$$N_{l,t+1} = \sum_{l'=1}^l N_{l,t} P_{l,t,l'} e^{-(M+F*S_l)} + R_{l,t}, \quad (A1.1)$$

donde $N_{l,t}$ es el número de langostas a la clase de talla l al inicio del tiempo t , $P_{l,t,l'}$ es la fracción de animales de la clase de talla l' que crece a la clase de talla l al final de paso de tiempo t después de los procesos de mortalidad, M es la mortalidad natural y se asume independiente del tamaño de los individuos, F es la mortalidad por pesca en individuos completamente reclutados a la pesquería, S_l es la selectividad del arte de pesca a la talla, y $R_{l,t}$ es el reclutamiento de individuos producto del asentamiento a la clase de talla l y al final de paso de tiempo t .

Reclutamiento (Asentamiento)

El reclutamiento biológico no se concentra en la talla menor si no que presenta una distribución de tipo gamma entre las clases de tallas:

$$R_{l,t} = R_t \int_{l_1}^{l_2} g(l|\alpha_r, \beta_r) dl \quad (A1.2)$$

Donde R_t corresponde al reclutamiento en el año t y la función gamma está definida por :

$$g(l|\alpha_r, \beta_r) = \frac{l^{\alpha_r-1} e^{-l/\beta_r}}{\beta_r \alpha_r \Gamma(\alpha_r)} \quad (A1.3)$$

El reclutamiento durante el año t es definido como el número de individuos generados por el stock desovante y que reclutan a la población, esta relación está definida por:

$$R_t = \frac{S_t}{(\delta + \lambda S_t)} e^{\varepsilon_t} \quad (A1.4)$$

En esta ecuación S_t corresponde al stock desovante al final del año t , ε_t corresponde al error asociado, δ y λ son los parámetros de la función stock recluta, los cuales bajo una reparametrización quedan definidos bajo:

$$\delta = \frac{S_0}{R_0} \left(1 - \frac{z-0.2}{0.8z}\right) \quad (A1.5)$$

$$\lambda = \frac{z-0.2}{0.8zR_0} \quad (A1.6)$$

Donde R_0 corresponde al Reclutamiento virginal, S_0 al stock desovante virginal y z corresponde al parámetro dependiente de la función stock-recluta (S-R) la cual puede variar entre valores de 0.2 y 1. El cálculo de la abundancia del stock desovante se realiza mediante la siguiente función.

$$S_t = \sum_{i=l_1}^{l_n} N_{l,t} m_l f_l \quad (A1.7)$$

Donde $N_{l,t}$ corresponde a la abundancia de individuos de la clase de talla l en el tiempo t , m_l corresponde al índice de madurez a la talla y f_l es la fecundidad a la talla expresada en número de huevos por hembra. La madurez a la talla fue calculada mediante la ecuación:

$$m_l = \frac{1}{1+e^{a+bl}} \quad (\text{A1.8})$$

Donde a y b son los parámetros de la función y l corresponde a la talla de los individuos. La fecundidad a la talla expresada en número de huevos por hembra está determinada por la siguiente ecuación:

$$f_l = a_f * l^{b_f} \quad (\text{A1.9})$$

Donde a_f y b_f son los parámetros de la ecuación y l corresponde a la longitud cefalotorácica de las langostas. La selectividad de la pesquería utilizada en esta ecuación está definida por la siguiente ecuación:

$$s_l = \{1 + e^{-\ln(19) \frac{(l-l_{50})}{(l_{95}-l_{50})}}\}^{-1} \quad (\text{A2.0})$$

Donde l corresponde a la talla de los individuos, l_{50} corresponde a la longitud al 50% de la selectividad, y l_{95} corresponde a la longitud al 95% de selectividad.

Para parametrizar la matriz de transición se utilizó la función de incrementos medios a la talla obtenida en secciones previas. Se utilizó una función gamma para representar la incertidumbre en torno al incremento medio a la talla, condicionándose su expresión de varianza a la variabilidad de los incrementos observados en los datos de marcaje y recaptura.

$$P_{l,l'} = \int_{l_1}^{l_2} g(\Delta_l | \alpha_l, \beta) d\Delta_l \quad (\text{A2.1})$$

$$g(D_l | \alpha_l, \beta) = \frac{D_l^{\alpha_l-1} e^{-D_l/\beta}}{\beta^{\alpha_l} \Gamma(\alpha_l)} \quad (\text{A2.2})$$

$$c = a + (d - b)X^* - dX \quad (\text{A2.3})$$

Donde $P_{l,l'}$ es la probabilidad de pasar de la talla l a l' en el intervalo de tiempo t .

Para el cálculo de la biomasa total vulnerable de todo el archipiélago se utilizó la siguiente ecuación:

$$B_t = \sum_{l=10}^{Lmax} N_{l,t} w_l s_l \quad (\text{A2.4})$$

Donde w_l es el peso a la talla l .

La biomasa total capturada por año para todo el archipiélago está definido por:

$$C_t = \sum_{l=1}^8 \sum_{l=10}^{Lmax} N_{t,l} f_t s_l \frac{(1 - e^{-(M+f_t s_l)})}{M + f_t s_l} w_l \quad (A2.5)$$

Donde f_t es la mortalidad por pesca en tiempo t .



DISCUSIÓN Y CONCLUSION GENERAL

Programa de Marcaje y Recaptura

El método de marcaje y recaptura es a menudo el único método práctico disponible para evaluar *in situ* el crecimiento somático de langostas (Dubula *et al.*, 2005). Programas de marcaje para evaluar crecimiento, se han desarrollado para varias especies del género *Jasus*, incluyendo a *J. edwardsii* (Hutton, 1875), *J. verreauxi* (H. Milne Edwards, 1851) y *J. lalandii* (H. Milne Edwards, 1837) (Dúbula *et al.*, 2005). El éxito de este programa de marcaje y recaptura multiobjetivo y plurianual (6 temporadas y seis eventos de marcaje) en el subsistema en AS, se basó fundamentalmente en el nivel de participación y el grado de compromiso de los investigadores de campo y de la comunidad de pescadores, quienes brindaron apoyo permanente durante el marcaje y los períodos de recaptura. Las marcas utilizadas fueron del tipo anclaje “T” (Ernst *et al.*, 2010b). Otros programas de marcaje (Pearn 1994, Frusher y Hoenig 2001) han utilizado con éxito etiquetas con anclaje en “T”. En la primera temporada se marcaron poco menos de 7000 individuos, y por las observaciones de los primeros 14 meses y temporadas siguientes se evidenció una alta tasa de fijación y bajos efectos sobre la sobrevivencia. Los datos de incrementos de individuos juveniles y adultos de gran tamaño provenientes de programas independientes resultaron ser de gran valor en este estudio. El contraste de tallas (implícitamente edades) incorporados a este estudio por ambas fuentes de información resultó de gran utilidad para poder describir el patrón de crecimiento en un amplio rango ontogenético.

Temporalidad y frecuencia de la muda

Investigaciones anteriores indican que el principal periodo de muda en los machos de *Jasus frontalis* se produciría a finales de primavera o durante el verano (en tamaños de langostas vulnerables a la pesquería, entre 95-120 mm de longitud cefalotorácica). La caracterización de estos periodos de muda se llevaron a cabo por Arana y Martínez (1985) mediante el análisis de la proporción de individuos blandos al total de langostas capturadas por mes y Venturini (1993) a partir de marcaje y recaptura, respectivamente. Esta última estimación fue corroborada por Dupré (2000) utilizando los individuos en cautiverio, indicando que los machos mudan en febrero y marzo. Estos resultados son muy similares a los

reportados para las especies congéneras, que determinan que los machos mudan a finales de primavera y principios del verano (Booth, 2006). Nuestro estudio proporciona la siguiente evidencia respecto el marco conceptual de tiempo de muda de los machos de langosta de Juan Fernández: (i) no hubo muda durante la primavera de 2008 (octubre a diciembre); (ii) periodo de muda comienza en enero y se extiende hasta marzo (primer grupo de marcaje muestra mudas de individuos de enero a mayo, y el segundo y tercer grupo de marcaje prácticamente ninguno muda en marzo a mayo); (iii) una proporción del 2do y 3er grupo de marcaje muestran una muda de invierno (38,2%), creemos que la muda de invierno puede experimentar algo de variabilidad temporal, probablemente dependiendo de variables desconocidas (por ejemplo, la temperatura, reproducción, movimiento); y (iv) una fracción de la población marcada muda en la primavera de 2009 (octubre a diciembre).

Durante este estudio se utilizó un umbral de incremento de 2 mm para definir el crecimiento (muda) de los individuos, principalmente debido al error de medición detectado a bordo de las embarcaciones de pesca, que alcanzó 1.5 mm. En la primavera de 2009, un remanente del 10% de las langostas *no mudadas* (todos los grupos de variables) que correspondieron a individuos que muestran un crecimiento menor (menos de 2 mm). Este punto es particularmente importante porque no se encontró evidencia en la literatura respecto de salto de muda (*skip molting*) en langostas (Whale & Fogarty 2006, Booth 2006).

Patrón de crecimiento

Los resultados sobre temporalidad y frecuencia de la muda de machos y los datos de incrementos obtenidos desde las distintas fuentes de información han permitido establecer un nuevo modelo de crecimiento para la langosta de Juan Fernández a lo largo de su ontogenia. De no haber contado con los datos de incrementos de individuos juveniles y adultos de gran tamaño, el modelo de Fabens habría sido seleccionado, para un rango de tallas de ejemplares comerciales por sobre la modelo por tramos (Piece wise regression).

El Patrón de crecimiento modelado a través de la ecuación de Fabens, muestra un decaimiento lineal fuerte en su tasa de crecimiento hacia tallas mayores, haciéndose asintótica antes de los 180 mm de CL, no presentando un buen ajuste a la data debido a que para ambos sexos subestima a tallas menores y mayores. Se concluye que este modelo no es un buen modelo para describir la relación entre tallas e incrementos.

Mediante el Criterio de selección Akaike el modelo de regresión “Piece-wise” es seleccionado para ambos sexos por sobre el lineal de Fabens. Este modelo captura de mejor forma la relación entre tallas e incrementos en el amplio rango de tallas analizados para ambos sexos. Apreciándose una abrupta disminución en los incrementos medios desde tallas menores (juveniles) hasta los 110.7 mm en machos y 81.9 mm en hembras. Posteriormente, el modelo muestra un decaimiento lineal de forma suave hacia tallas mayores, ajustándose a los datos de incrementos de estas tallas para ambos sexos. El modelo de crecimiento de Piece-wise es una función de mayor flexibilidad para este tipo de data, ya que considera dos ecuaciones lineales (4 parámetros) unidas en un punto de quiebre (Muggeo, 2003). Este modelo permite que varios modelos lineales sean ajustados a los datos, para diferentes rangos de “X” (Ryan & Porth, 2007).

A la luz de los nuevos antecedentes del patrón de crecimiento somático de la langosta de Juan Fernández, se establecieron las curvas de crecimiento edad-talla para las hembras y machos de ambos modelos (Fabens y Piece-wise). La curva de crecimiento de las hembras en relación edad-talla se encuentra proyectada hasta los 189 mm, medida tomada del ejemplar más grande e identificado con un incremento por muda de 2.7 mm. En base a esta información y a la proyección esta langosta debería tener aproximadamente 50 años. La curva de crecimiento de los machos (edad-talla), se encuentra proyectada hasta los 314mm, medida tomada del ejemplar más grande e identificado con un incremento por muda de 1.3mm, arrojando una edad de proyección de 113 años. Es necesario argumentar que de acuerdo a la evaluación directa de estos ejemplares de tallas mayores, pudieron registrarse a mas individuos mudas anuales que oscilan entre los 0.9 a 2.7 en hembras y de 1.3 a 2.8 mm en machos. Estos interesantes resultados no pueden contrarrestarse con algún otro trabajo, ya que no existen registros de incrementos de crustáceos a estos rangos de tallas, tanto a nivel nacional como internacional.

Evaluación de talla mínima legal

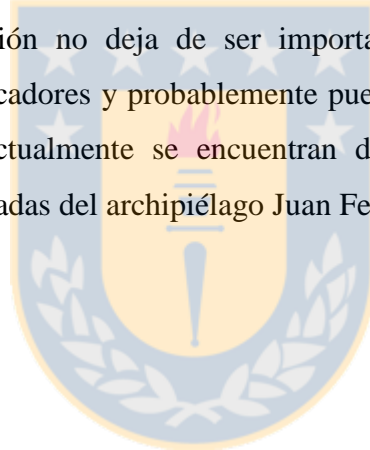
En consideración a las características de la pesquería de la langosta de Juan Fernández se abordó un enfoque efectuando un trabajo de recopilación y sistematización de toda la información biológica-pesquera disponible para este recurso y suponiendo valores para el estado de la naturaleza como el parámetro de escarpamiento de la función Stock Recluta (S-R)

el cual puede variar entre 0.2 y 1, en este caso utilizado como 0.6 y 0.8. La de Mortalidad Natural (M), en base al estudio realizado en el programa de marcaje y recaptura del subsistema AS podría haberse estimado, ya que esta serie de datos iniciados en el año 2008 brindan una oportunidad para modelar la sobrevivencia de las cohortes marcadas, sin embargo, esto forma parte de otra contribución. Por ende, este factor de incertidumbre de modelo se consideró en la simulación (M=0.06 y 0.12), tras una búsqueda bibliográfica para esta especie y otras congénicas. Se destaca lo estimado para ambos sexos mediante el método de Beverton y Holt (1956), con un M= 0.12 (Arana & Olate 2000), valor similar para otras especies congénicas como la *Jasus lalandii* oscilando entre los 0.05 – 0.12 para ambos sexos (Johnston & Bergh (1993) o de 0.1 para *Jasus edwardsii* (Frusher & Hoenig (2001), (Punt *et al* 1997; 2006) y de M de 0.12 year⁻¹ (Frusher & Hoenig 2003) y 0.05 – 0.1 para *Jasus tristani* (Bergh & Johnston 1992). Se considera que el rango de valores explorados en esta simulación se ajustaría a la biología de este recurso.

En este tipo de pesquerías de pequeña escala es común encontrar situaciones en donde el modelador se vea enfrentado a hacer un diagnóstico a la luz de la escasa información disponible (Sparre & Venema, 1995). Y si se modela en estado de equilibrio, el modelo presentará supuestos estructurales que son difíciles de validar, generando a menudo estimaciones de parámetros sesgadas y motivan a utilizar solo parte de la información histórica disponible (Ernst & Valero 2005). Para la estructuración y condicionamiento del modelo se seleccionó un intervalo de tallas de 2 mm. La talla mínima del modelo fue de 10 mm, que se corresponde con las tallas mínimas observadas para individuos recién asentados y registrados en terreno (puerulus), por el monitoreo Biológico-Pesquero (Billy Ernst com. pers). La talla máxima de los análisis para el modelo fue de 214 mm, que corresponde aproximadamente al valor promedio de la longitud asintótica (L_{∞}) reportada por Arana & Olate (2000). Los modelos talla estructurados son apropiados para modelar la dinámica de poblaciones de crustáceos, debido a las dificultades de asignación de edades a los individuos (e.g. Hobday and Punt 2001; Kim *et al.* 2004; Chen *et al.* 2005; Punt *et al.* 2009). Varios autores (e.g. Breen *et al.* 2003) han integrado la estimación de la matriz de transición a la talla directamente dentro de un modelo de evaluación de stock. En nuestro caso aprovechando el conocimiento de la función de incrementos medios a la talla, la matriz de transición fue parametrizada externamente.

La implementación de un modelo estructurado por tallas permitió evaluar los efectos de la aplicación de distintos escenarios de manejo (talla mínima legal, talla máxima) a través de dos variables de desempeño, el nivel de depleción del stock desovante y niveles de captura, bajo un rango de incertidumbre del modelo representado por valores M y z, albergando 4 realidades posibles de productividad del stock (dos más productivos y dos menos productivos). Los resultados indican que el mayor cambio en el nivel de potencial reproductivo se produce a tallas menores a 115 mm, no evidenciándose cambios relevantes entre la medida regulatoria actual e incluir una talla máxima de captura de 150 mm (medida discutida en reuniones entre la Subsecretaría de Pesca y los pescadores de Juan Fernández).

Los análisis preliminares de los resultados del modelo, concluyen que bajo los propios supuestos de esta simulación, no se justificaría bajar la talla mínima legal, dado el riesgo de producir una importante reducción del stock desovante, sin tener un incremento importante en las capturas. Esta conclusión no deja de ser importante, debido a que en ocasiones es consultada por algunos pescadores y probablemente puede ser discutida en el recién formado comité de manejo, que actualmente se encuentran desarrollando el Plan de Manejo de Crustáceos y especies asociadas del archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas.



REFERENCIAS GENERALES

- Annala, J. H., & Bycroft, B. L. (1988). Growth of rock lobsters (*Jasus edwardsii*) in Fiordland, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 22, 29-41.
- Arana, P. & V. Venturini. 1989. Crecimiento y migración de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) determinado a través de metodologías de marcaje. *Estud. Doc., Univ. Católica Valparaíso*, 4/89: 75 pp
- Arana, P. & G. Martínez. 1985. Crecimiento por muda de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). En: P. Arana (ed.). *Investigaciones Marinas en el Archipiélago de Juan Fernández*. Esc. Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, pp. 225-236.
- Arana, P., 1987. Perspectivas históricas y proyecciones de la actividad pesquera realizada en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. Pages 319–353 in J. C. Castilla, ed., ‘Islas Oceánicas Chilenas: su Conocimiento Científico y Necesidades de Investigaciones’. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Arana, P. M., Cifuentes, A, De La Hoz, E, Martínez, G., Retamal, M. A., & Vega, R. 1997. Programa de pesca exploratoria y experimental de recursos pesqueros alternativos a la langosta en las islas Robinsón Crusoe y Santa Clara. Proyecto FIP N° 95-25 (Informe Final part. 2) (p. 233).
- Arana, P. & C. Olate. 2000. Composición de las capturas de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) y determinación de parámetros biológico-pesqueros durante la temporada de pesca 1996-1997. *Invest. Mar, Valparaíso*, 28: 83-115.
- Bergh. M. O, Johnston S.J. 1992. A size-structured model for renewable resource management with application to resources of rock lobster in the south-east Atlantic S. Afr. J. Mar. Sci., 12 (1992), pp. 1005–1016.
- Beverton, R. J. H., and S. J. Holt 1956 - A review of methods for estimating mortality rates in fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling. *Rapp. P.-v. Reun. Cons.perm. into Explor. Mer* 140: 67-83.
- Booth J. 2006. CHAPTER 10: *Jasus* Species In: *Lobsters: Biology, Management, Aquaculture and Fisheries*. Phillips Bruce(Ed). Blackwell Publishing ©. 340-358.

- Breen, P. A., Kim, S. W., and Andrew, N. L. 2003. A length-based Bayesian stock assessment for the New Zealand abalone *Haliotis iris*. *Marine and Freshwater Research*, 54: 619 – 634.
- Chen, Y., Kanaiwa, M., Wilson, C. (2005) Developing and evaluating a size-structured stock assessment model for the American lobster, *Homarus americanus*, fishery N. Z. J. Freshwater Res., 39 (2005), pp. 645–660.
- Cockcroft, A. C. and P. C. Goosen 1995 - Shrinkage at moulting in the rock lobster *Jasus lalandii* and associated changes in reproductive parameters. *S. Afr. J. mar. Sci.* 16: 195-203.
- Dúbula, O., Groeneveld, J. C., Santos, J., van Zyl, D. L., Brouwer, S. L., van den Heever, N., & Chen, Y., Kanaiwa, M., Wilson, C. (2005) Developing and evaluating a size-structured stock assessment model for the American lobster, *Homarus americanus*, fishery N. Z. J. Freshwater Res., 39 (2005), pp. 645–660.
- Dupré M. 2000. Reproducción, muda y desarrollo de la langosta de Juan Fernández, *Jasus frontalis*, en estanques de cultivo. *Invest. mar.*, 28: 165-174.
- Ernst, B., Valero, J.L. 2005. Bias of equilibrium-based estimators under biological and fishery disequilibria. In *Fisheries Assessment and Management in Data-Limited Situations*. Alaska Sea Grant College Program AK-SG-05-02. University of Alaska, Fairbanks. Alaska. pp. 715-736.
- Ernst, B., Manríquez P., Orensanz, J.M., Roa, R., J. Chamorro & C. Parada. 2010a. Strengthening of a traditional territorial tenure system through protagonism in monitoring activities by lobster fishermen from Juan Fernández Islands (Chile). *Bulletin of Marine Science*. Volume 86: 315-338.
- Ernst B., C. Parada, P. Manríquez, J. Chamorro, P. Retamal. 2010b. Dinámica poblacional y pesquera de la langosta en la isla Alejandro Selkirk” (Proyecto FIP N°2008-24).
- Frusher, S., & J. Hoenig. 2001. Estimating natural and fishing mortality and tag reporting rate of southern rock lobster (*Jasus edwardsii*) from a multiyear tagging model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 2490-2501.
- Frusher, S., & J. Hoenig. 2003. Recent developments in estimating fishing and natural mortality and tag reporting rate of lobsters using multi-year tagging models *Fisheries Research* 65: 379–390.

- García A & BC Kensler. 1980. Las langostas de México: su biología y pesquería. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México 7: 111-128.
- Hobday, D. and Punt, A.E. (2001) Size-structured population modelling and risk assessment of the Victorian southern rock lobster, *Jasus edwardsii*, fishery Mar. Freshwater Res., 52 (2001), pp. 1495–1507.
- Johnston, S. J. and M. O. Bergh 1993 - Size-based estimates of survivorship for the South African rock lobster *Jasus lalandii*. Fish. Res. 18: 277-304.
- Kim, H.W., Mykles, D.L., Goetz, F.W., Roberts, S.B. 2004. Characterization of a myostatin-like gene from the bay scallop, *Argopecten irradians* Biochim. Biophys. Acta, 1679 (2004), pp. 174–179.
- Linnane A, Hobday D, Frusher S, Gardner C (2012). Growth rates of juvenile southern rock lobster (*Jasus edwardsii*) estimated through a diver-based tag-recapture program. Mar Freshw Res 63:110–118
- McKoy, J. L. 1985. Growth of tagged lobsters (*Jasus edwardsii*) near Stewart Island, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 19, 457-466.
- Montgomery, S.S., Liggins, G.W., Craig, J.R. and McLeod, J.R. 2009. Growth of the spiny lobster *Jasus verreauxi* (Decapoda: Palinuridae) off the east coast of Australia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 43: 113-123.
- Muggeo, V. M. R. (2003), Estimating regression models with unknown break-points. *Statist. Med.*, 22: 3055–3071. doi:10.1002/sim.1545.
- Orensanz, J., Ernst, B., Armstrong, D. & Parma, A. 2005a. Detecting early warnings of recruitment overfishing in male-only crab fisheries. (Proceedings book of Assessment and Management of New and Developed Fisheries in Data-Limited Situations, 21st Lowell Wakefield Fisheries Symposium, in press).
- Orensanz, J.M., Parma, A.M., Jerez, G., Barahona, N., Montecinos, M., Elias, I., 2005b. What are the key elements for the sustainability of S-fisheries? Insights from South America. *Bull. Mar. Sci.* 76, 527–556.
- Pavez, P. & P. Arana. 1982. Estimaciones de incrementos de talla, esquema de migración y determinación de tamaños poblacionales vulnerables de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). Informe Final. Estud. Doc., Univ. Católica Valparaíso, 16/82: 87 pp.
- Pearn, R. 1994. Rock lobster tagging shows movement occurs. *Fishing Today*, 7(5): 27–29.

- Pequeño, G. & S. Sáez. 2000. Los peces litorales del archipiélago de Juan Fernández (Chile): endemismo y relaciones ictiogeográficas. *Invest. Mar.* 28: 27-37
- Porobić, J., Parada, C., Ernst, B., Hormazábal, S., Combes, V., 2012. Modelación de la conectividad de las subpoblaciones de la langosta de Juan Fernández a través de un modelo biofísico. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(3): 613-632.
- Punt, A. E., Kennedy, R. B., & Frusher, S. D. 1997. Estimating the size-transition matrix for Tasmanian rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Marine and Freshwater Research*, 48, 981-992.
- Punt, A. E., Hobday, D., Gerhard, J., and Troynikov, V. S. 2006. Modelling growth of rock lobsters, *Jasus edwardsii*, off Victoria, Australia using models that allow for individual variation in growth parameters. *Fisheries Research* 82, 119–130. doi:10.1016/J.FISHRES.2006.08.003
- Rozbaczylo, N. & J. Castilla. 1987. Invertebrados marinos del Archipiélago de Juan Fernández. In: Castilla J.C. (ed) *Islas Oceánicas Chilenas: Conocimiento Científico y Necesidades de Investigaciones*. Ediciones Universidad Católica de Chile. pp. 319-353.
- Ryan, Sandra E. & Porth, Laurie S. 2007. A tutorial on the piecewise regression approach applied to bedload transport data. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-189. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 41 p.
- Segestrel, K. 1931. Informe sobre la pesca, industrialización y datos biológicos de la langosta de Juan Fernández. Informe Departamento de Pesca y caza. No publicado, 87 págs.
- Sparre, P. Y S.C. Venema 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca, N°306.1 Rev. 1, 440 pp.
- Venturini, V. 1993. Desarrollo de un procedimiento analítico para la descripción del crecimiento en los crustáceos, aplicado a la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis* Milne Edwards, 1837). UCV, Tesis de Título de Ingeniero Pesquero. 86pp.
- Wahle, R.A., and Fogarty, M.J. 2006. Growth and development: understanding and modelling growth variability in lobsters. In *Lobsters: biology, management, aquaculture and fisheries*. Edited by B.F. Philips. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK. pp. 1–44.