



Carrera Biología Marina

Departamento de Oceanografía

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas

Caracterización de la composición de la captura asociada a la pesquería de peces obtenida mediante el uso de espinel vertical en el archipiélago Juan Fernández (AJF), Chile.

Valentina Javiera Valeria Macaya

Profesor guía: Dr. Billy Ernst Elizalde

Comisión: Dr. Luis Antonio Cubillos Santander

Dr. Sergio Neira Alarcón

Concepción, Región del Biobío, Chile

2023

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi mamá por su incondicional apoyo, por educarme, enseñarme el valor de aprender cosas nuevas día a día, a no rendirme y disfrutar esta etapa de aprendizaje. También a mi familia por alentarme a seguir mis sueños y al cariño que me brindaban cada vez que viaje a verlos, a mis amigas y amigos que me entregaron valiosas herramientas, a Diego por apoyarme durante los momentos más difíciles de este proceso, a Emma y Chica por todo el cariño y amor.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía Dr. Billy Ernst Elizalde, por brindarme herramientas durante toda mi carrera y en esta tesis, por su tiempo y dedicación. A Julio Chamorro por ayudarme desde Juan Fernández, pese a toda adversidad. Braulio Tapia por compartir sus conocimientos y amabilidad. A Josefa Pino Aguilera por compartir y brindarme información.

Al programa de Monitoreo de las Pesquerías de Crustáceos y Especies Asociadas que desarrolla la Universidad de Concepción en el archipiélago Juan Fernández desde el año 2006.

Al sindicato de pescadores artesanales de la isla Robinson Crusoe por brindarme la recolección de sus bitácoras.

A mis compañeras/os y amigas/os de facultad, con las/os que crecí y compartí durante todos estos años e hicieron mi estadía en Concepción más grata y familiar, al igual que mi querida Segunda Compañía de Bomberos.

A mi familia que desde siempre me brindaron su apoyo, contención y cariño, a Diego por el cariño y herramientas brindadas durante todo este proceso.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Sistema de estudio.....	17
Descripción del espinel vertical.....	17
Estudio experimental.....	18
Bases de datos histórica.....	19
Procesamiento de información y cálculo de estadísticos.....	21
Análisis estadísticos	22
RESULTADOS.....	23
Objetivo 1.....	23
Distribución espacial y batimétrica de los caladeros de pesca	23
Composición de especies en la captura.....	24

Distribución vertical de la breca en la zona de pesca.....	26
Objetivo 2.....	27
Objetivo 3.....	30
Objetivo 4.....	34
DISCUSIÓN	38
El uso de espinel vertical en el archipiélago de JuanFernández.....	38
Tamaño del anzuelo.....	38
Tiempo de calado.....	40
Efectos temporales sobre los rendimientos de pesca.....	41
CONCLUSIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXO I	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del archipiélago y montes submarinos de la dorsal Juan Fernández. El recuadro negro obscuro indica la zona de estudio, el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Figura 2: Modelo esquemático de un espinel vertical utilizado por la flota artesanal del archipiélago Juan Fernández.

Figura 3: Ictiómetro utilizado para medir peces (breca en la figura) en el archipiélago Juan Fernández (Ernst et al. 2015).

Figura 4: Distribución espacial de los lances con espinel vertical realizado en Robinson Crusoe – Santa Clara archipiélago Juan Fernández. El panel A de puntos rojos corresponde a los puntos muestreados en el experimento. El panel B de puntos azules corresponde a los puntos muestreados de los Data Histórica. Las líneas negras son las isóbatas.

Figura 5: Porcentaje de especies capturadas en los espineles verticales utilizados en la plataforma insular de Robinson Crusoe – Santa Clara durante el trabajo experimental (A) y durante lances de captura de carnada y para consumo humano entre los años 2012 y 2022 (B).

Figura 6: Distribución vertical de la captura de especies ícticas desde el fondo del mar hacia la superficie (en metros) (A-C), y expresado como proporción acumulada (B-D).

Figura 7: Distribución de tamaños de las breca capturadas (longitud de horquilla) por tamaño de anzuelo en los espineles verticales durante el trabajo experimental en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Figura 8: Proporción de breca respecto de la captura total por tamaño de anzuelo en los espineles verticales durante el trabajo experimental en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Figura 9: Tasas de captura de brechas en los espines verticales en función del tiempo de calado en la data experimental (panel superior) e histórica (panel inferior).

Figura 10: Proporción de brechas en la captura total de los espines verticales de la data experimental (panel superior) e histórica (panel inferior) en función del tiempo de calado para el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Figura 11: Talla de las brechas capturadas en los espines verticales en función del tiempo de calado observada en la data experimental.

Figura 12: Tasas de captura de brecha en la data Histórica por mes (desde el comienzo de la temporada de la langosta en octubre hasta agosto, panel superior) y anual (panel inferior) en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Figura 13: Proporción de brecha en captura de la data Histórica por mes (desde el comienzo de la temporada de la langosta en octubre hasta agosto, panel superior) y anual (panel inferior) en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Figura 14: Longitud de horquilla de brecha en captura de la data Histórica por mes (desde el comienzo de la temporada de la langosta en octubre hasta agosto, panel superior) y anual (panel inferior) en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Figura 15: Frecuencias de captura de brecha con los 4 tamaños de anzuelos utilizados : 6, 7, 8 y 9 (panel superior a la izquierda). También, se muestran frecuencias de captura por tamaño de anzuelo (panel superior a la derecha), garganta de anzuelo (panel inferior a la izquierda) y abertura de anzuelo (panel inferior a la derecha).

Figura 16: Profundidad de calado de los espineles verticales por mes y año en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara (datos históricos).

Anexo Figura A1: Anzuelo de tamaño 6, 7, 8 y 9 utilizada para tomar medidas morfométricas de los anzuelos.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Mediciones morfométricas (cm) de los anzuelos utilizados en el experimento.

Tabla 2: Conversión de posición del anzuelo virado en el espinel vertical a distancia vertical desde el fondo marino donde fueron capturados los peces.

Tabla 3: Número de lances con espineles verticales por estrato de profundidad de la data Experimental e Histórica en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Tabla 4: Número de ejemplares capturados por especie en las bases de datos Experimental e Histórica en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Tabla 5: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado gamma de la talla de brechas respecto de tamaño de anzuelo utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara, 2022.

Tabla 6: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado binomial de la proporción de brechas respecto de tamaño de anzuelo utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara, 2022.

Tabla 7: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado gamma de la tasa de captura de brecha respecto del tiempo de calado utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara, 2022.

Tabla 8: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado binomial de la proporción de brechas respecto del tiempo de calado utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara, 2022.

Tabla 9: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado gamma de la tasas de captura de brechas en los espines

RESUMEN

La pesca de la langosta *Jasus frontalis* es la principal actividad económica en el archipiélago Juan Fernández, y para su desarrollo se requiere de una provisión importante de carnada utilizadas en las trampas, donde destaca la breca (*Nemadactylus gayi*) como un recurso secundario. La breca se captura con espinel vertical, junto a otras especies demersales de la plataforma insular del subsistema islas Robinson Crusoe y Santa Clara (RC-SC). El “Comité de Manejo de Crustáceos y Especies Asociadas de Archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas” requiere lineamientos que permitan regular la actividad extractiva de la breca, ya que no existe un plan de manejo para a esta pesquería. El presente trabajo está orientado a evaluar el desempeño operacional del espinel vertical en la pesquería de breca en el subsistema RC-SC, considerando aspectos como la distribución espacial, estructura de tallas, tasas y proporción de breca en las capturas. Para ello se desarrolló una actividad de pesca experimental durante el año 2022, y además se utilizó la base de datos del “Programa de Monitoreo de las Pesquerías de Crustáceos y Especies Asociadas” que desarrolla la Universidad de Concepción desde el año 2006. Los resultados señalan que el desempeño operacional de los anzuelos 7 y 9 no presentan diferencias significativas en las tallas, ni en las proporciones en la captura de breca. El tiempo de reposo del espinel no supera las dos horas y no se encontró evidencia que esta variable afecte las tasas de captura, pero si las proporciones de breca en las capturas. La estacionalidad en las tasas de captura de breca presenta un cambio significativo durante la temporada de pesca, declinando hacia el período de veda de la langosta. Si bien el espinel captura una diversidad de especies de los ensamblajes ícticos asociados a fondos duros, es muy selectivo hacia la breca con niveles cercanos al 80%. Finalmente, se espera que estos resultados permitan apoyar la gestión de la administración de este recurso en el archipiélago Juan Fernández.

ABSTRACT

Jasus frontalis lobster fishing is the main economic activity in the Juan Fernández archipelago, and its development requires a large supply of bait used in traps, where the breca (*Nemadactylus gayi*) stands out as a secondary resource. The breca is caught with vertical longline, along with other demersal species from the insular platform of the Robinson Crusoe and Santa Clara Islands subsystem (RC-SC). Since there is no management plan for this fishery, the "Management Committee for Crustaceans and Associated Species of the Juan Fernández Archipelago and Desventuradas Islands" requires guidelines to regulate the extractive activity of the breca. The present work is aimed to evaluate the operational performance of the vertical longline of breca fishery in the RC-SC subsystem, considering aspects such as spatial distribution, size, rates and proportion of breca catches. Hence, an experimental fishing activity was carried out during the year 2022, and the database of the "Monitoring Program for Crustacean Fisheries and Associated Species" developed by the University of Concepción since 2006 was also used. The results indicate that the operational performance of hooks 7 and 9 do not present significant differences in sizes, nor in the proportions in the breca catch. The resting time of the spinel does not exceed two hours and no evidence was found that this variable affects the catch rates, but it does affect the proportions of breca in the catches. The seasonality of the breca catch rates shows a significant change during the fishing season, declining towards the lobster closed season. Despite the spinel captures a diversity of species from the fish assemblages associated with hard ocean bottom, it is very selective towards the breca with levels close to 80%. Finally, these results are expected to support the management of the administration of this resource in the Juan Fernández archipelago.

INTRODUCCIÓN

Uno de los ejes económicos principales del archipiélago Juan Fernández (AJF) es la explotación de crustáceos, donde destaca la pesquería de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) (Arana, 2012). Esta pesquería estuvo certificada bajo los principios de la internacional MSC¹, por operar de acuerdo con altos estándares de sostenibilidad². Las pesquerías de crustáceos en el AJF se desarrolla mediante trampas, y dependen fuertemente de la extracción de recursos ícticos que son utilizados en etapas sucesivas como carnadas primarias (e.g., jurel de JF y pampanito), y secundarias constituidas por especies costeras como la breca, anguila y bacalao (Queirolo *et al.*, 2011; Ernst *et al.*, 2021). Adicionalmente, existe también un consumo humano directo de peces costeros como la breca y bacalao (Ernst *et al.*, 2010a), con una demanda creciente que pone a prueba la sostenibilidad de estos recursos. Ahumada & Queirolo (2014) señalan que el 94% de la carnada empleada en la pesquería de crustáceos se encuentra representado por el jurel de JF (*Pseudocaranx chilensis*), breca (*Nemadactylus gayi*) y anguila morena (*Gymnothorax porphyreus*), evidenciando una dependencia de la pesquería asociada a la provisión de carnada de al menos estas tres especies de peces. Sin embargo, al contrario de la pesquería de crustáceos, la de especies ícticas no presenta regulaciones formales y los cambios en el esfuerzo sobre cada especie se ven fuertemente determinados por la estacionalidad de la pesquería de la langosta. Durante el proceso de certificación se resaltó la necesidad de estudios respecto de las comunidades ícticas y en especial de la breca, recurso que fue evaluado mediante métodos hidroacústicos y se implementó programas de monitoreo de las pesquerías de peces (Ernst *et al.*, 2016). Por su parte, el Comité de Manejo de Crustáceos y Especies Asociadas del Archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas, tiene el compromiso de elaborar un Plan de Manejo que permita regular la actividad extractiva de la pesquería de langosta y cangrejo dorado, y sus especies asociadas. En este ámbito, surge la necesidad de instaurar regulaciones para el uso del espinel vertical para la conservación de los recursos ícticos y la fauna acompañante en el AJF (Acta n°7). Este punto genera una fuerte necesidad

1

<https://www.msc.org/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/la-pesquer%C3%ADa-chilena-artesanal-de-langosta-de-la-comunidad-isle%C3%B1a-de-juan-fern%C3%A1ndez-gana-la-certificaci%C3%B3n-del-msc>.

2

<https://fisheries.msc.org/en/fisheries/juan-fernandez-rock-lobster/>

orientada a identificar las características operacionales, temporales y batimétricas del uso del espinel vertical en el subsistema Robinson Crusoe/Santa Clara (RC–SC) de la captura de la breca y su influencia sobre variables de relevancia para el manejo y conservación de esta especie (distribución de tallas, proporción y tasas de captura de breca).

El desempeño de las artes de pesca permite evaluar y mejorar las tasas de captura de la especie objetivo, además de controlar en forma más eficiente las tallas medias de la captura, minimizar las capturas incidentales y la fauna acompañante (Kuparinen *et al.*, 2009). La forma de operar las artes de pesca incide en la captura objetivo, es así como el tiempo de calado y la profundidad de calado tiene a menudo un efecto en la distribución de tallas y en la tasa de captura (Nguyen & Nguyen 2022). Estudios preliminares (Ernst *et al.*, 2015; 2016) sugieren que la breca se distribuye sobre la plataforma insular mostrando un patrón ontogenético con la profundidad, donde ejemplares de mayor tamaño se distribuirían sobre arrecifes más profundos.

El presente estudio se orienta a caracterizar aspectos operacionales y sus efectos en la composición de la captura obtenida a partir de espineles verticales tradicionalmente utilizados por la pesquería artesanal del Archipiélago Juan Fernández (Figura 1). Se espera que este estudio constituya una línea base para un mejor entendimiento del impacto de la operación de los espines verticales en las pesquerías ícticas y para que se puedan adoptar a futuro medidas de manejo que aseguren la sostenibilidad de estos recursos.

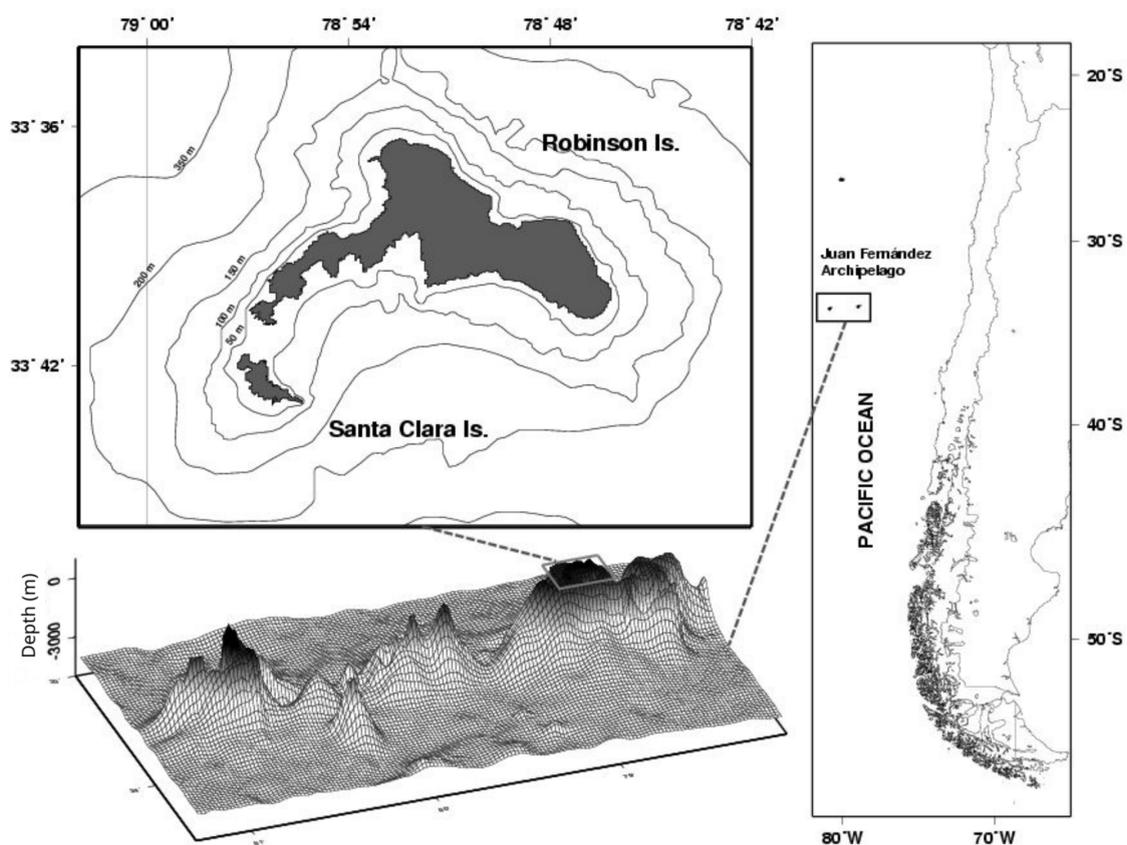


Figura 1: Ubicación geográfica del archipiélago y montes submarinos de la dorsal Juan Fernández. El recuadro negro obscuro indica la zona de estudio, el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara. Fuente: Billy Ernst.

HIPÓTESIS

Los aspectos operacionales, como el tamaño del anzuelo y el tiempo de calado, afectan el desempeño del espinel vertical. En el uso del espinel vertical brequero, los pescadores utilizan anzuelos número 6, 7, 8 y 9 y se espera que el tamaño de anzuelo utilizado afecte la talla y la composición de especies en la captura. El otro factor es el tiempo de calado, donde los rendimientos de pesca no deberían ser iguales durante los distintos tiempos de calado.

Por otra parte, durante la temporada de pesca de la langosta se remueven importantes volúmenes de especies ícticas para carnadas (principalmente breca), que van disminuyendo hacia fines del periodo estival. Además, se ha descrito que la breca presenta una máxima actividad reproductiva entre los meses de marzo y mayo. Estos antecedentes indicarían una disminución en los rendimientos de pesca de la breca en los espineles, entre el comienzo y fines de temporada de la captura de la langosta (período comprendido entre octubre y mayo).

Hipótesis 1: La proporción de especies capturadas aumenta con el tamaño de anzuelos utilizados en el espinel vertical.

Hipótesis 2: La talla media de brechas capturadas aumenta con el tamaño de anzuelos utilizados en el espinel vertical.

Hipótesis 3: Los rendimientos de pesca son mayores dado un mayor tiempo calado.

Hipótesis 4: Las tasas de capturas de la breca disminuyen a lo largo de la temporada de la pesca de la langosta.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la composición de especies ícticas y sus tamaños en la captura, con énfasis en la captura de breca, a partir de espineles verticales tradicionalmente utilizados por la pesquería artesanal del Archipiélago Juan Fernández.

Objetivos específicos

1. Describir las características operacionales del uso del espinel vertical, considerando la distribución espacial y batimétrica de los caladeros, la distribución vertical de la captura en los espineles y el tiempo de calado.
2. Evaluar el efecto del tamaño del anzuelo del espinel sobre la talla y la proporción de captura de breca.
3. Evaluar el efecto del tiempo de calado sobre talla, proporción y tasa de captura de la breca.
4. Evaluar el efecto de la estacionalidad (meses) y temporalidad (años) en la talla media de la captura de breca, proporción y tasa de captura de la breca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema de Estudio

El archipiélago Juan Fernández corresponde a un grupo de islas oceánicas ubicadas entre los 33°77'S, 78°49'W y 33°46'S, 80°46'W (Figura 1). Este archipiélago consta de las islas Alejandro Selkirk, Robinson Crusoe y Santa Clara (Pequeño y Sáez, 2000). Estas islas se agrupan en dos subsistemas: las islas Robinson Crusoe/Santa Clara (RC-SC) y la isla Alejandro Selkirk (AS) (Ernst *et al.*, 2013). Sus características geográficas y oceanográficas sostienen un alto grado de endemismo haciendo de estas islas un ecosistema muy diferente respecto del ecosistema continental de Chile y de gran vinculación faunística con el Indo Pacífico.

Las artes de pesca utilizadas para la captura de especies ícticas en el AJF son el Curricán, Espinel Horizontal, Espinel Vertical, Línea de mano y Línea de fondo. En este estudio nos enfocaremos en el espinel vertical para la captura de la breca que genera la mayor proporción de carnada extraída para la pesquería de la Langosta JF.

Descripción de espinel vertical

El espinel vertical de JF (Figura 2) es un aparejo de pesca que está compuesto por una línea madre y un lastre dispuesto sobre el fondo marino (potala), para que trabaje en una disposición vertical. A siete metros sobre la piedra, por la línea madre, está el reventador del espinel, el cual se utiliza para cortar el lastre en caso de que se trabe el espinel en el fondo marino. A continuación, se disponen generalmente 25 reinales, líneas de monofilamento de 30 cm de largo unidas a la línea madre por un lado y un anzuelo por el otro, con una separación vertical de 80 cm entre cada reinal. En la punta del reinal se encuentra el anzuelo de marca Mustad tipo J, este variará de tamaño según preferencias del pescador (típicamente entre 6 y 9). Hacia la superficie el espinel tiene dos boyas de PVC (una boya maestra y otra de media agua) que sirven como elemento de flotación y mantener vertical al espinel durante su funcionamiento. La línea madre es una lienza de polipropileno de 3-5 mm de espesor.

Estudio experimental

Con el objetivo de poder evaluar en forma más controlada el efecto del tamaño del anzuelo sobre diversos atributos de la captura de especies ícticas se procedió a fabricar espines verticales con las mismas características, pero con diferencias en el tamaño del anzuelo. Estos espineles verticales tienen las mismas características que los utilizados por la flota artesanal fernandeziana, con el fin de no alterar la manera de operar del espinel en la pesca. En este experimento, se utilizaron 4 tamaños de anzuelos marca MUSTAD del tipo J. La nomenclatura de los anzuelos (9, 8, 7 y 6) es inversa a su tamaño, es decir que el anzuelo más pequeño es el número 9 y el número 6 el de mayor tamaño (Rueda *et al.*, 2015). Solo se utilizó un tamaño de anzuelo a la vez por espinel calado.

En el experimento, se realizaron 42 viajes de pesca entre los meses de abril a septiembre del año 2022 a bordo de las embarcaciones “Brisas del Mar” (Matrícula # 253 y patrón don José González), representando un total de 588 lances. Un observador científico contabilizó y determinó las especies en cada lance y realizó muestreos biológicos de talla de todos los ejemplares capturados a bordo de la embarcación. Con la ayuda de un ictiómetro de ± 1 cm de precisión, se procedió a medir la longitud de horquilla y la longitud total de cada ejemplar (Figura 3). Esta información biológica, al igual que la de los lances fue registrada en bitácoras de material hidrofóbico, especialmente diseñadas para este trabajo (Anexo 1). Los lugares de muestreo corresponden a sitios de pesca utilizados regularmente por los pescadores y ubicados sobre la plataforma insular del subsistema RC-SC. Estos fueron geo-referenciados a través de un GPS Garmin ETREX 10, registrando los puntos donde se realizó cada lance (Figura 4A). Por cada lance también se registró la hora de calado y de virado, tamaño de anzuelo y profundidad. La carnada utilizada estuvo conformada por jurel de Juan Fernández (*Pseudocaranx chilensis*), añadiendo ocasionalmente pulpo (*Octopus sp.*). Si bien en un inicio se había solicitado al patrón seguir una configuración experimental balanceada de tamaños de anzuelo y profundidades de pesca, el acuerdo final fue que el pescador elegiría preferencias de anzuelo y profundidad de acuerdo con su criterio y experiencia. Esta fuente de información es llamada de aquí en adelante “Data Experimental”.

Con la finalidad de caracterizar cuantitativamente cada uno de los tamaños de anzuelos que se utilizaron (9, 8, 7 y 6), se tomaron tres medidas morfométricas

(largo, abertura y garganta) de cada anzuelo (Figura 2). Esto se realizó a partir de una foto de cada uno de los tamaños de anzuelo tomada sobre una hoja de papel milimetrado (Anexo Figura A1). Para corregir la perspectiva de la imagen se utilizó el software GIMP y luego el programa Image-J, para obtener así medidas representativas de los anzuelos (Tabla 1).

Tabla 1: Mediciones morfométricas (cm) de los anzuelos utilizados en el experimento.

Medidas Morfométricas	Códigos de tamaños de anzuelos			
	6	7	8	9
Largo total (cm)	6.192	5.458	5.109	5.006
Abertura (cm)	1.349	1.44	1.563	1.437
Garganta (cm)	2.069	1.905	1.726	1.768

Bases de datos histórica

Para complementar la data experimental y abordar todos los objetivos planteados en este trabajo, se utilizó también información de la base de datos del Programa de Monitoreo de las Pesquerías de Crustáceos y especies asociadas que desarrolla la Universidad de Concepción en el archipiélago Juan Fernández desde el año 2006 (Ernst et al 2010). A partir del año 2011 el programa comienza a registrar información sobre aparejos de pesca de especies ícticas e información biológico-pesquera de las especies capturadas a nivel de lance, durante las faenas normales de extracción de carnadas en la flota artesanal fernandeziana. A bordo, los observadores científicos recolectan información por lance de espineles verticales y horizontales, incluyendo fecha, embarcación, profundidad (m) y posición geográfica del lance, especies ícticas y número de ejemplares capturados, talla de horquilla y total (mm) y otra información biológica y operacional. De un total de 10861 lances obtenidos de la base de datos, se utilizaron 7735 lances, que satisficieron criterios de filtrado, que incluyeron el uso de espineles verticales en RC-SC con información completa de registros.

La información de este programa de monitoreo será llamada de aquí en adelante como “Data Histórica”.

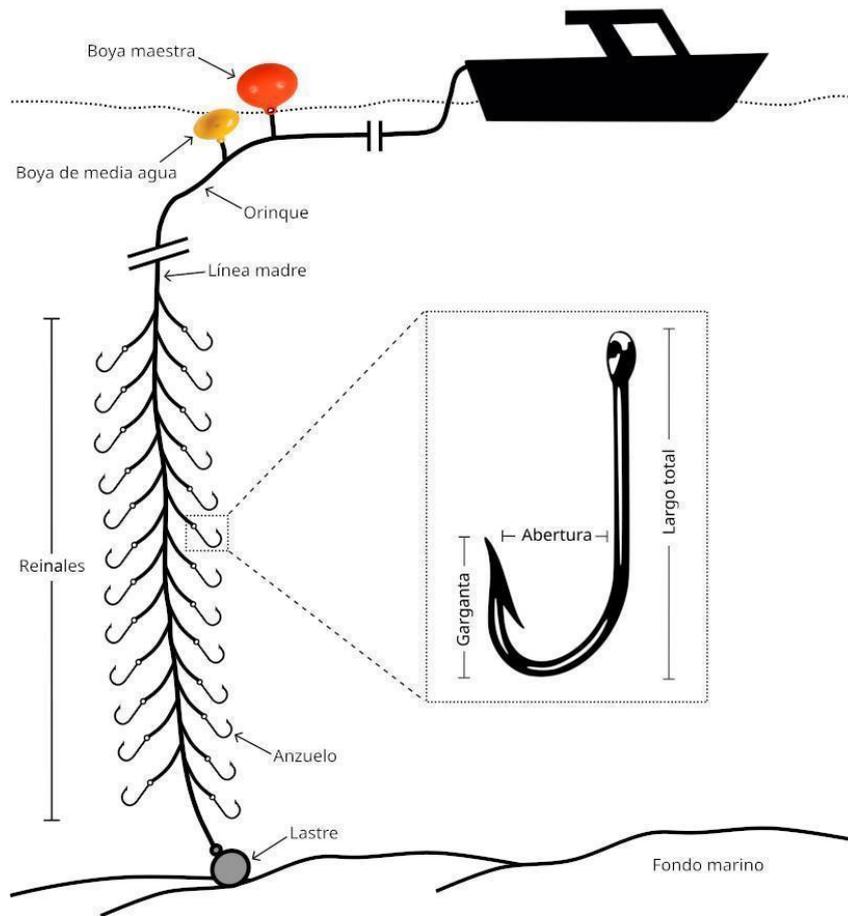


Figura 2: Modelo esquemático de un espinel vertical utilizado por la flota artesanal del archipiélago Juan Fernández. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3: Ictiómetro utilizado para medir peces (breca en la figura) en el archipiélago Juan Fernández (Fuente: Ernst *et al.*, 2015).

Procesamiento de información y cálculo de estadísticos

La Data Experimental fue digitalizada desde las bitácoras en una base de datos en Excel, la cual fue exportada como un archivo “csv”, para ser finalmente ingresada y procesada en el software R. Data histórica se encontraba almacenada en una base de datos ACCESS, la cual fue preprocesada y depurada en EXCEL, exportada como archivo “csv” y procesada finalmente en el software R.

Para los análisis exploratorios se utilizaron diversas funciones gráficas disponibles en el paquete gráfico R “ggplot2”, que incluyó boxplots condicionales, histogramas y gráficos xy. La información georeferenciada de los caladeros de pesca fue procesada y graficada mediante el software GMT (Generic Mapping Tool).

Para estudiar la distribución vertical de la breca en las capturas de los espineles verticales de la Data Experimental e Histórica se calculó para cada base de datos la frecuencia por estrato de profundidad del anzuelo, considerando todo el período de estudio. En el espinel vertical, el primer anzuelo en ser virado es el que está más cercano a la superficie y el último anzuelo es el que está más cerca del fondo marino (Figura 2). De esta forma, se consideró la transformación presentada en la Tabla 2, para convertir la posición del anzuelo en distancia vertical de la breca capturada desde el fondo marino.

Tabla 2: Conversión de posición del anzuelo virado en el espinel vertical a distancia vertical desde el fondo marino donde fueron capturados los peces.

Posición anzuelos N°	Distancia anzuelo-fondo marino (m)
1	26.2
2	25.4
3	24.6
4	23.8
5	23
6	22.2
7	21.4
8	20.6
9	19.8
10	19
11	18.2
12	17.4
13	16.6
14	15.8
15	15
16	14.2
17	13.4
18	12.6
19	11.8
20	11
21	10.2
22	9.4
23	8.6
24	7.8
25	7

En el cálculo de las proporciones de breca en la captura se utilizó un estimador de razón:

$$prop = \frac{N breca}{N total} ,$$

donde $N breca$ es el número de brechas capturadas y $N total$ es el número total de ejemplares de peces en cada lance positivo.

Para el cálculo de las tasas de captura se consideró el siguiente cociente en cada lance de pesca:

$$TC = \frac{N brechas}{N anz} ,$$

donde $N_{brechas}$ es el número de brechas capturadas y N_{anz} es el número de anzuelos utilizados en el lance. En el caso de los datos experimentales se utilizaron siempre 25 anzuelos, pero en el caso de los datos históricos el número varió por debajo y por sobre este número.

Para los datos de tallas se consideró la longitud de horquilla de los ejemplares, tanto para datos experimentales como históricos. El efecto de la estacionalidad sobre la captura de la breca se evaluó a través de la Data Histórica desde octubre del 2012 a julio del 2022.

Análisis estadísticos

Para contrastar las hipótesis, se consideró la aplicación de modelos lineales generalizados (GLM), los cuales no requieren de los supuestos de normalidad. En efecto, las distribuciones estadísticas consideradas fueron Gaussiana, Gamma y Binomial, dependiendo de la naturaleza de la variable respuesta considerada en el test. Todos estos análisis estadísticos se realizaron en el software RStudio.

RESULTADOS

Objetivo 1: Analizar las características operacionales del uso del espinel vertical, considerando la distribución espacial y batimétrica de los caladeros, la distribución vertical de la captura en los espineles y el tiempo de calado.

Distribución espacial y batimétrica de los caladeros de pesca

Entre abril y septiembre de 2022, se desarrollaron 758 lances de pesca con espineles verticales para el trabajo experimental sobre la plataforma insular del subsistema RC-SC. Estos se concentraron en el sector norte de la plataforma de la isla Robinson Crusoe, hacia ambos lados de bahía Cumberland (Figura 4A). Por otro lado, la data Histórica muestra que los 7735 lances desarrollados entre octubre de 2012 y julio de 2022 tienen una distribución entorno a todo el subsistema RC-SC, pero mostrando claras agregaciones (parches) en varios sectores emblemáticos de las islas (e.g El Verdugo, Paso Malo, Punta Bacalao, Puerto Inglés, Punta Riñones).

Respecto de los lances realizados en el trabajo experimental un 63% de ellos se realizó en el estrato 100-150 m y un 87% a profundidades mayores a 100 m (Tabla 3). Por su parte los datos históricos indican una mayor presencia en el estrato de 50-100 m (22%) y un 75% a profundidades mayores de 100 m.

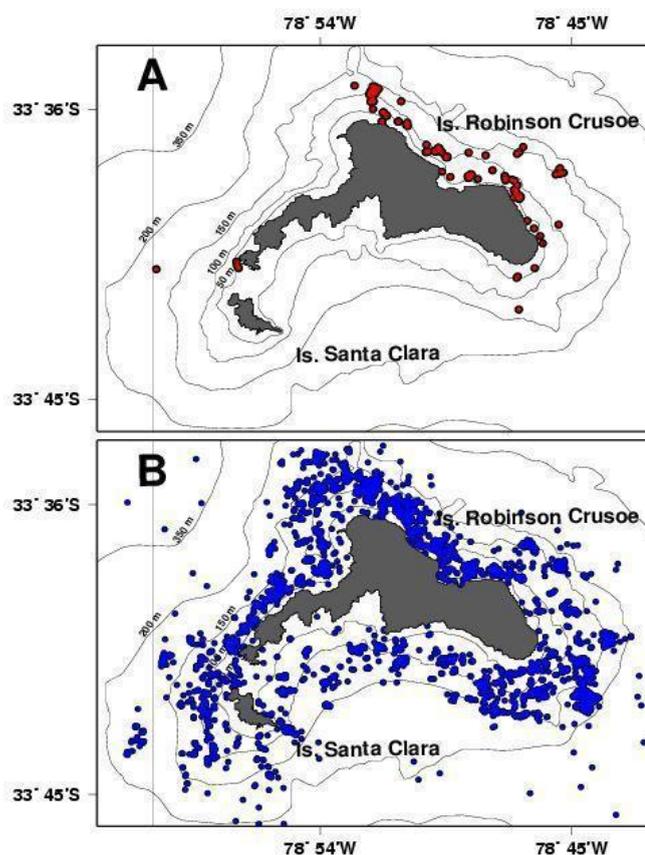


Figura 4: Distribución espacial de los lances con espinel vertical realizado en Robinson Crusoe – Santa Clara archipiélago Juan Fernández. El panel A de puntos rojos corresponde a los puntos muestreados en el experimento. El panel B de puntos azules corresponde a los puntos muestreados de los Data Histórica. Las líneas negras son las isobatas. Fuente: Billy Ernst.

Tabla 3: Número de lances con espineles verticales por estrato de profundidad de la data Experimental e Histórica en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Estratos de Profundidad (m)	Número de Lances	
	Data Experimental	Data Histórica
0-50	2 (0.3%)	63 (1.3%)
50-100	72 (12.2%)	1032 (22.4%)
100-150	370 (62.9%)	2541 (55.2%)
>150	144 (24.4%)	963 (20.9%)
Totales	588	4599

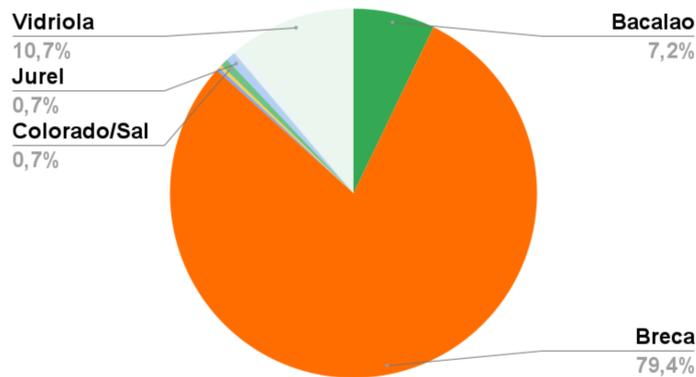
Composición de especies en la captura

La composición de especies presente en las capturas de espineles verticales da cuenta de 21 especies para los lances históricos y 9 para los lances experimentales (Tabla 4). Sin embargo, los porcentajes de breca presente en los espines en ambas bases de datos da cuenta de lo selectivo que es la operación de pesca hacia la breca 79% (experimental) y 77% (histórico) (Figura 5). Vidriola y bacalao son los dos recursos con mayor presencia, después de la breca.

Tabla 4: Número de ejemplares capturados por especie en las bases de datos Experimental e Histórica en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara.

Especies capturadas en espinal vertical	Nombre científico	Data Experiment	Data Histórica
breca	<i>Nemadactylus gayi</i>	564	28957
Vidriola	<i>Seriola lalandi</i>	76	3088
Bacalao	<i>Polyprion oxygeneios</i>	51	2101
graniento	<i>Caprodon longimanus</i>		1660
Jurel de Juan Fernández	<i>Pseudocaranx chilensis</i>	5	1034
Colorado/Salmón/Ojudo	<i>Plagiogeneion sp.</i>	5	376
Chancharro	<i>Helicolenus tengerichi</i>	2	190
Pampanito	<i>Scorpius chilensis</i>	1	155
Anguila	<i>Gymnotorax porphyreus</i>		51
Tollo	<i>Mustelus mento</i>		41
Corvina	<i>Umbrina reedi</i>		39
Chalaco/torito	<i>Scartichthys variolatus</i>		33
Cojinova	<i>Seriola violacea</i>	2	23
Congrio	<i>Lotella fernandeziana</i>		22
Lenguado	<i>Paralichthys fernandezianus</i>		21
Sierra	<i>Thyrstites atun</i>	4	20
Atún	<i>Thunnus sp.</i>		9
Tiburón azulejo	<i>Prionace glauca</i>		5
Pez escorpión	<i>Scorpaena thomsoni/S. fernandeziana</i>		2
Alfonsino	<i>Beryx splendens</i>		1
Piloto Juan Fernández	<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>		1

A Especies capturadas con EV Data Experimento



B Especies capturadas con EV Data Histórica

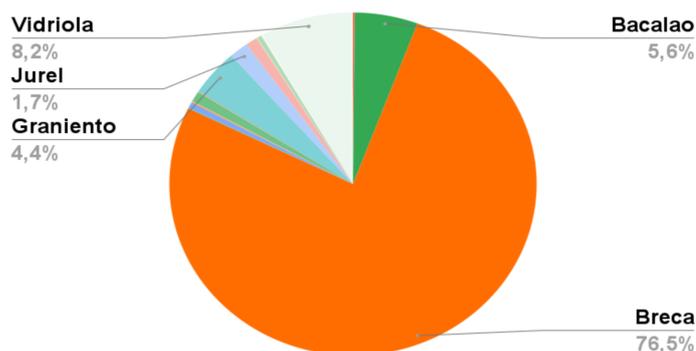
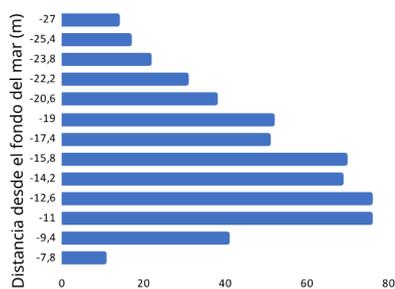


Figura 5: Porcentaje de especies capturadas en los espineles verticales utilizados en la plataforma insular de Robinson Crusoe – Santa Clara durante el trabajo experimental (A) y durante lances de captura de carnada y para consumo humano entre los años 2012 y 2022 (B). Fuente: Elaboración propia.

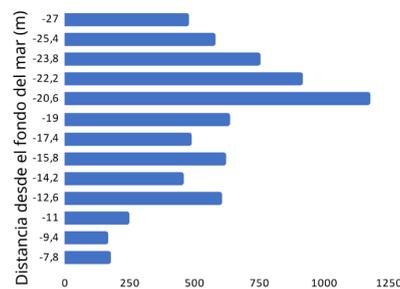
Distribución vertical de la breca en la zona de pesca

La breca se caracteriza por ser una especie demersal, asociada al fondo del mar. El uso del espinel vertical presentó una oportunidad para investigar la forma en que la breca se distribuye en la zona de pesca desde el fondo hacia la superficie. Los espineles cubren generalmente un rango entre los 7 y 26 metros desde fondo del mar (Tabla 2). De acuerdo con la disposición de los anzuelos en el espinel vertical, la mayor frecuencia de brechas capturadas durante el Experimento se observó entorno a los 11 m desde el fondo marino (Figura 6A). La Figura 6B muestra que un 80% de las brechas fue capturada entre los 10 y 18 m del fondo. Por otro lado, la Data Histórica muestra que la mayor frecuencia de brechas capturadas es cercana a los 20 m (Figura 6C) y que un 80% de las brechas fueron capturadas en los primeros 23 m del fondo marino (Figura 6D).

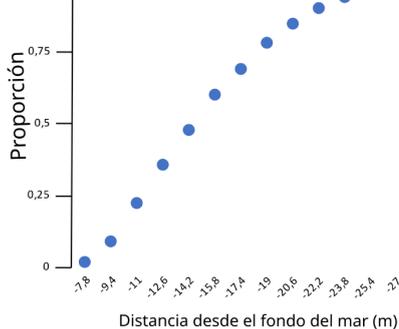
A Data Experimento



B Data Histórica



C Data Experimento



D Data Histórica

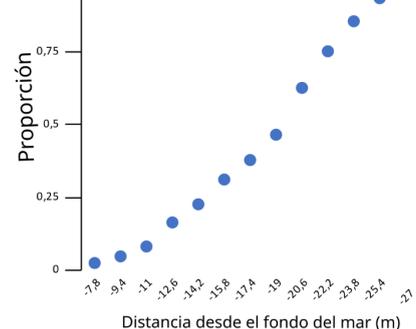


Figura 6: Distribución vertical de la captura de especies ícticas desde el fondo del mar hacia la superficie (en metros) (A-C), y expresado como proporción acumulada (B-D). Fuente: Elaboración propia.

Objetivo 2: Evaluar el efecto del tamaño del anzuelo del espinel sobre la talla y la proporción de captura de breca.

Para estudiar el efecto del tamaño del anzuelo sobre el tamaño de la breca y la proporción de breca en la captura, se analizó la data de 42 viajes de pesca, con espineles de tamaño estándar y número verificado de anzuelo. Del total de 558 brechas 15, 221, 49 y 273 brechas fueron capturadas con anzuelos del 6, 7, 8, 9, sin embargo, la cantidad de lances que se hicieron con cada tamaño de anzuelo no fue homogénea.

Respecto de las tallas de breca en la captura, los espineles con anzuelos número 6 capturaron brechas de mayor tamaño que el resto de los anzuelos, con una mediana de 39 cm. La talla mediana de los anzuelos 7, 8 y 9 fue muy parecida, entorno a los 31 cm, no existiendo mayor diferencia (Figura 7).

Para contrastar la hipótesis 1 (talla media de brechas capturadas aumenta con el tamaño de anzuelos utilizados en el espinel vertical) se procedió a hacer un ANOVA de un factor, encontrándose diferencias estadísticas entre los niveles del factor (anzuelo). Sin embargo, ANOVA requiere de los supuestos de normalidad y homocedasticidad en los datos, los que en este caso no se cumplen. De esta forma se procedió a utilizar un GLM con distribución estadística Gamma, que permite modelar variables continuas positivas sin supuestos de varianza constante o normalidad.

Los resultados del GLM con distribución Gamma del tamaño de la breca respecto del tamaño del anzuelo se reportan en la Tabla 5. Se utilizó el Anzuelo 9 como referencia y los resultados indican que las tallas medias de breca de este anzuelo difieren en forma altamente significativa con las de los niveles Anzuelo 6 y 8, no así con anzuelo 7.

Tabla 5: Coeficientes del análisis de varianza del GLM gamma de la talla de brechas respecto de tamaño de anzuelo utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema RC-SC, 2022.

Parámetro	Estimate	Std.	t	Pr(> t)
Intercepto	0.029	0.0004	75.172	2.00E-16
Anzuelo 8	-0.003	0.0009	-3.227	0.00133
Anzuelo 7	-0.002	0.0008	-2.317	0.02091
Anzuelo 6	-0.003	0.0006	-5.216	2.67E-07

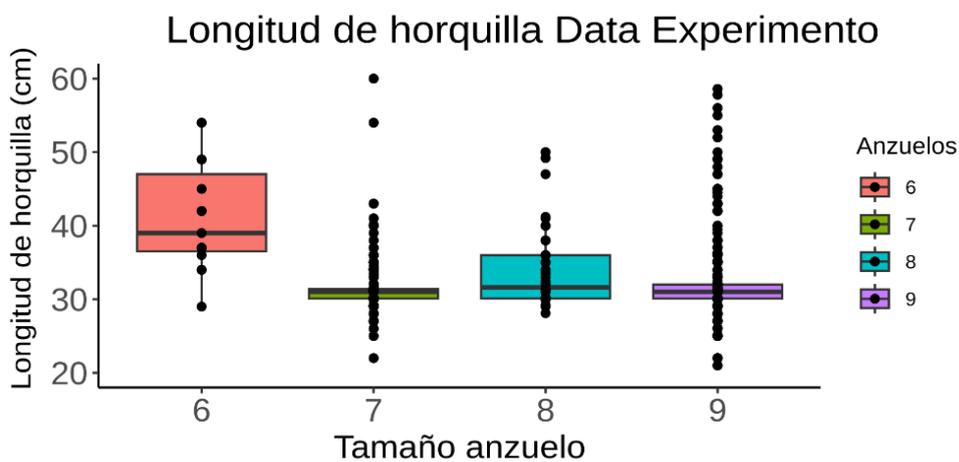


Figura 7: Distribución de tamaños de las brechas capturadas (longitud de horquilla) por tamaño de anzuelo en los espineles verticales durante el trabajo experimental en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara. Fuente: Elaboración propia.

Respecto de la proporción de brechas en las capturas se observa un aumento en los espineles con anzuelos número 6 y 8. Así mismo, la mediana de la proporción en los anzuelos de tamaño 8 es 1. Sin embargo, el 25% de los lances varían entre la media 0.7 y 1. Por otro lado, la mediana de la proporción del anzuelo de tamaño 6 presenta el menor valor igual a 0.5. Los espineles con anzuelos 7 y 9 muestran una captura muy selectiva hacia la brecha, en donde más del 90% de los lances presenta proporción 1, es decir, que el 100% de la captura en el lance es brecha (Figura 8).

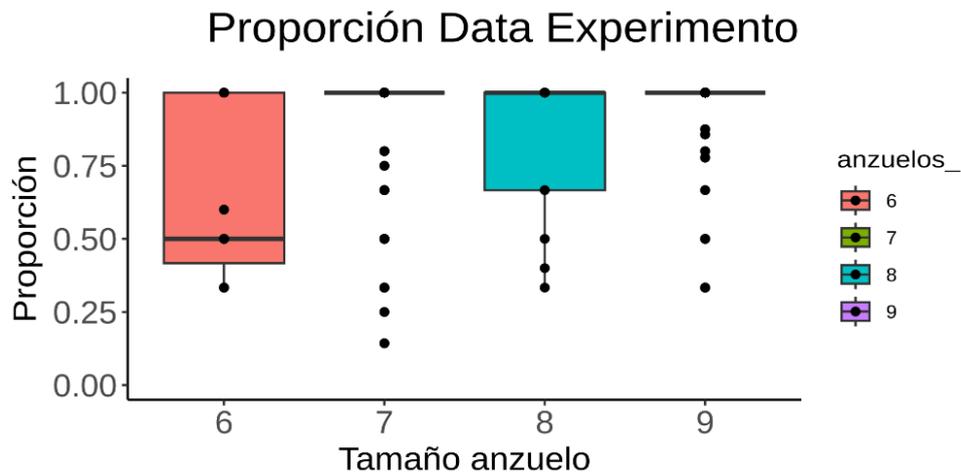


Figura 8: Proporción de brechas respecto de la captura total por tamaño de anzuelo en los espineles verticales durante el trabajo experimental en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara. Fuente: Elaboración propia

Para contrastar la hipótesis 2 y 3, la proporción de brechas capturadas cambia con el tamaño de anzuelos utilizados en el espinel vertical, y debido a que la variable respuesta eran proporciones, se procedió a utilizar un GLM Binomial para proporciones. Los resultados indican que hay diferencias entre el nivel de referencia y los anzuelos 6 y 8, pero no el 7, que muestra un valor p de significancia de 0.278 (Tabla 6).

Tabla 6: Coeficientes del análisis de varianza del GLM binomial de la proporción de brechas respecto de tamaño de anzuelo utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema RC-SC, 2022.

Parámetro	Estimate	Std.	t	Pr(> t)
Intercepto	1.733	0.1580	10.972	2.00E-16
Anzuelo 8	-1.631	0.3362	-4.851	1.23E-06
Anzuelo 7	-0.343	0.3160	-1.084	0.2782
Anzuelo 6	-1.014	0.2943	-3.445	5.70E-04

Objetivo 3: Evaluar el efecto del tiempo de calado del espinel vertical sobre talla, proporción y tasa de captura de la breca.

Los pescadores artesanales de Juan Fernández utilizan regularmente los espines verticales para la captura de breca y otras especies ícticas con tiempos de reposo variables. Para evaluar el efecto de la duración del tiempo de reposo del espinel se utilizó la base de datos experimental e histórica. El tiempo de calado de los espines verticales que tenían como objetivo al recurso breca en el subsistema RC-SC fue de igual o menor a dos horas para ambos sets de datos (Figura 9). Los resultados de la data Experimental muestran que las tasas medianas de captura varían entre 0.1 y 0.15, no mostrando una tendencia en el tiempo de reposo. La data Histórica en cambio muestra valores medianos más elevados de tasas de captura, que oscilan entre 0.23 y 0.25. Estos valores implican que el valor mediano de brechas capturados por espinel varió entre 5 y 6 brechas por espinel. En este set de datos tampoco se aprecia un cambio en la tasa de captura entre los 10 y 120 minutos de operación del espinel (Figura 9).

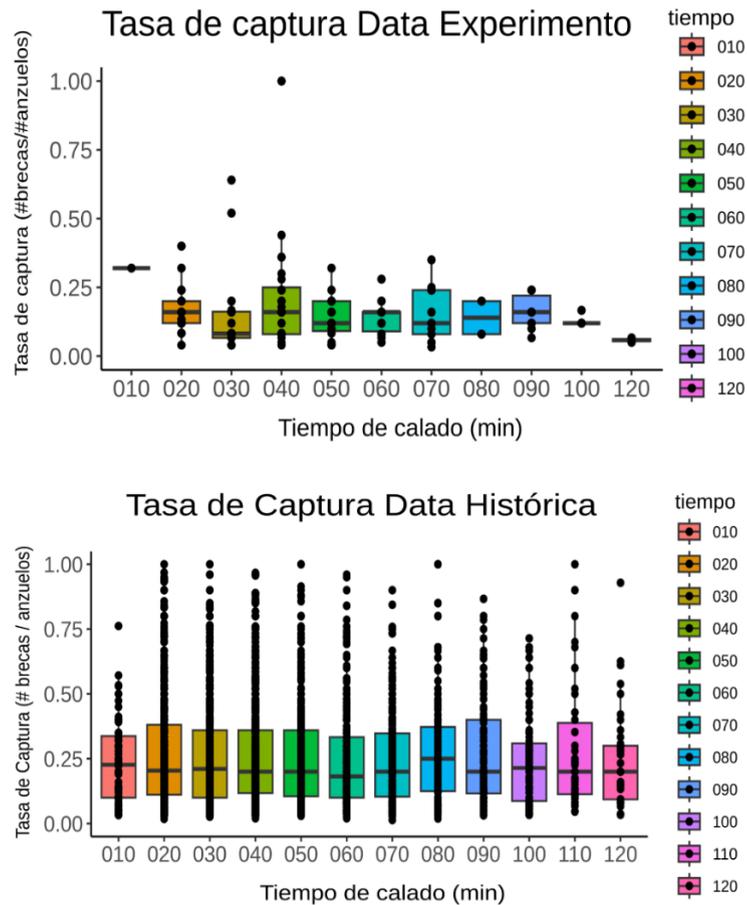


Figura 9: Tasas de captura de breca en los espines verticales en función del tiempo de calado en la data experimental (panel superior) e histórica (panel inferior). Fuente: Elaboración propia.

Respecto de la proporción de breca capturadas en función del tiempo de reposo del espinel vertical se evidencia en general una elevada proporción de breca en la captura, en todos los períodos de tiempo, excepto para 40, 70 y 120 minutos en la data experimental, donde se observa un aumento de presencia de otras especies en la captura. La data histórica, en cambio muestra una mayor presencia de otras especies en la captura en todos los tiempos de calado, y un claro aumento en las proporciones de otras especies con el tiempo de calado del espinel.

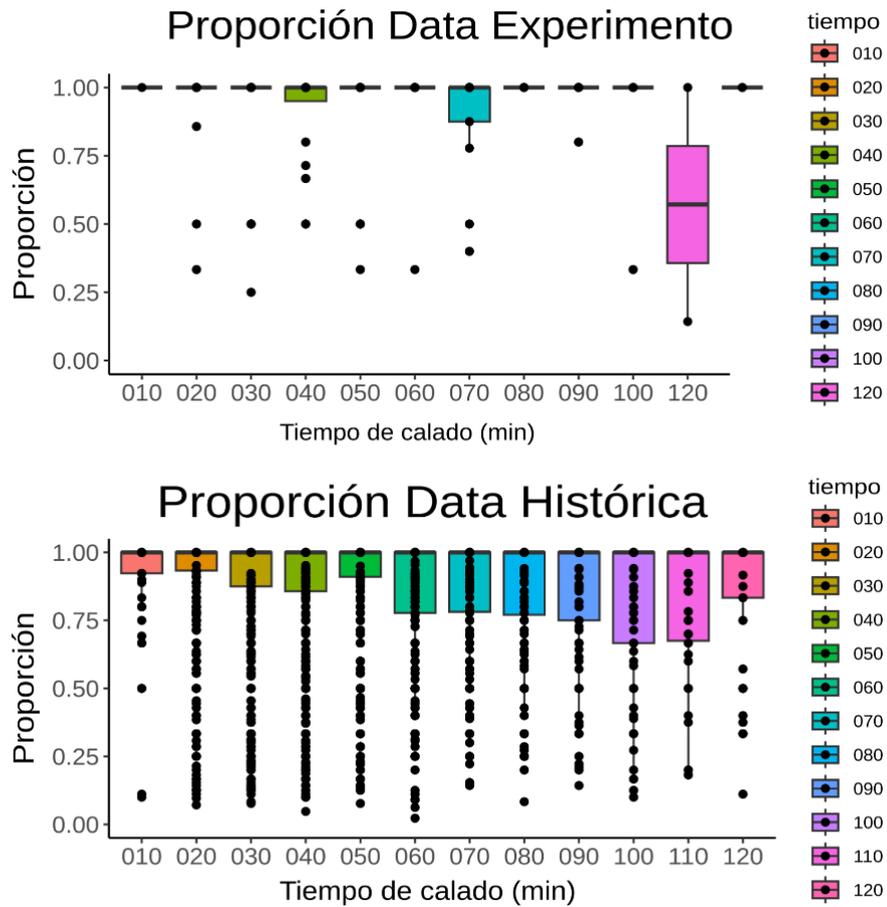


Figura 10: Proporción de brechas en la captura total de los espines verticales de la data experimental (panel superior) e histórica (panel inferior) en función del tiempo de calado para el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara. Fuente: Elaboración propia.

La talla mediana de las brechas capturadas en la data experimental no varió con el tiempo de calado, manteniéndose entorno a los 32 cm de longitud de horquilla (Figura 11).

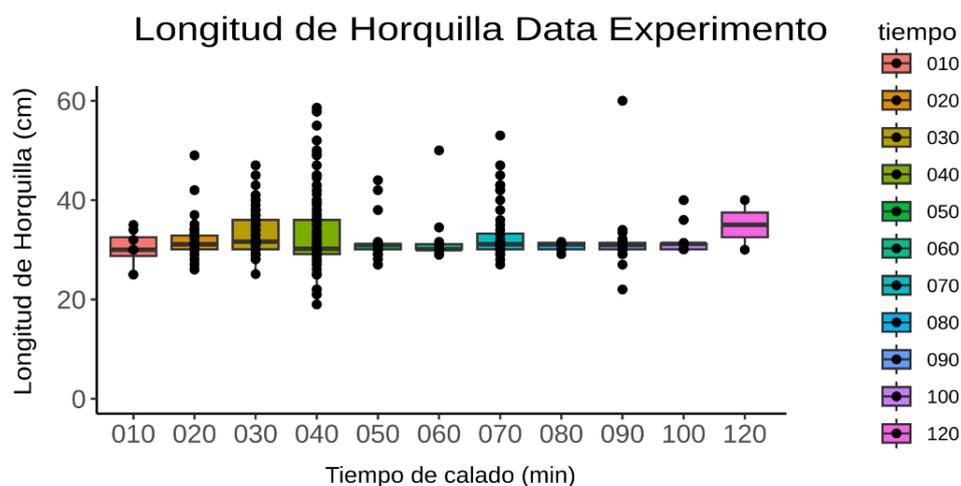


Figura 11: Talla de las brechas capturadas en los espines verticales en función del tiempo de calado observada en la data experimental. Fuente: Elaboración propia

Para contrastar la tercera hipótesis se utilizaron datos experimentales e históricos. Nuevamente la data no cumplía con los supuestos gaussianos o de homocedasticidad, así que se implementó un modelo GLM con distribución gamma para modelar la tasa de captura respecto del tiempo de calado (variable continua). La Tabla 7 indica que tanto para datos experimentales como históricos el coeficiente de pendiente no fue significativo.

Tabla 7: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado gamma de la tasa de captura de brecha respecto del tiempo de calado utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara, 2022.

Data	Parámetro	Estimate	Std.	t	Pr(> t)
Experimental	Intercepto	5.312	0.8304	6.397	2.88E-09
	Pendiente	0.016	0.0158	0.996	0.32
Histórica	Intercepto	3.857	0.0982	39.29	<2e-16
	Pendiente	-0.003	0.0020	-1.487	0.14

Por otra parte, la proporción de breca en la captura fueron modelados con un GLM con distribución Binomial para proporciones, señalando que hubo significancia estadística (entre 0.01 y 0.05) en ambos sets de datos. Es decir que hubo evidencia de que la proporción de mezcla de especies aumenta con el tiempo de calado del espinel (Tabla 8).

Tabla 8: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado Binomial de la proporción de brechas respecto del tiempo de calado utilizado en los espines verticales del experimento en el subsistema RC-SC, 2022.

Data	Parámetro	Estimate	Std.	t	Pr(> t)
Experimental	Intercepto	2.963	0.3349	8.846	<2e-16
	Pendiente	-0.011	0.0054	-1.973	0.049
Histórica	Intercepto	1.919	0.0366	52.507	<2e-16
	Pendiente	-0.002	0.0007	-2.084	0.037

Objetivo 4: Evaluar el efecto de la estacionalidad (meses) y temporalidad (años) en la talla media de la captura de breca, proporción, tasa de captura de la breca y la profundidad de calado

Para evaluar el efecto estacional y anual sobre las tasas de captura de la breca se utilizó la data Histórica. Desde el comienzo de la temporada de langosta (octubre) hacia febrero se aprecia un alza en las tasas de captura y luego comienza a declinar. A partir de abril las tasas comienzan a reducirse aún más, para llegar a su nivel más bajo en julio (Figura 12). Las tasas de captura a través de los años no muestran una tendencia sistemática a disminuir, presentando valores en los años 2021 y 2022 aún mayores que en el 2012.

La frecuencia de lances de los espineles verticales con presencia de otras especies comienza a aumentar a lo largo de la temporada de pesca de langosta, encontrando un máximo en invierno, durante el período de veda (Figura 13). Desde un punto de vista anual, se aprecia un gran aumento de la proporción de otras especies en los lances brequeros (Figura 13).

La longitud de horquilla de breca es menor en el inicio de la temporada de la captura de la langosta (octubre), con una mediana de 32 cm aproximadamente, respecto a la talla a fines de la temporada (mes de mayo), donde hay un incremento en la mediana de longitud de horquilla de breca a 34 cm, manteniéndose hasta septiembre. En una escala anual, periodo 2012-2022, la longitud de horquilla de breca tiene una mediana entre 32 y 34 cm, en el año 2019 es cuando la captura de breca presenta una longitud de horquilla más pequeña con una mediana de 32 cm, para luego aumentar hacia el año 2020 (Figura 14).

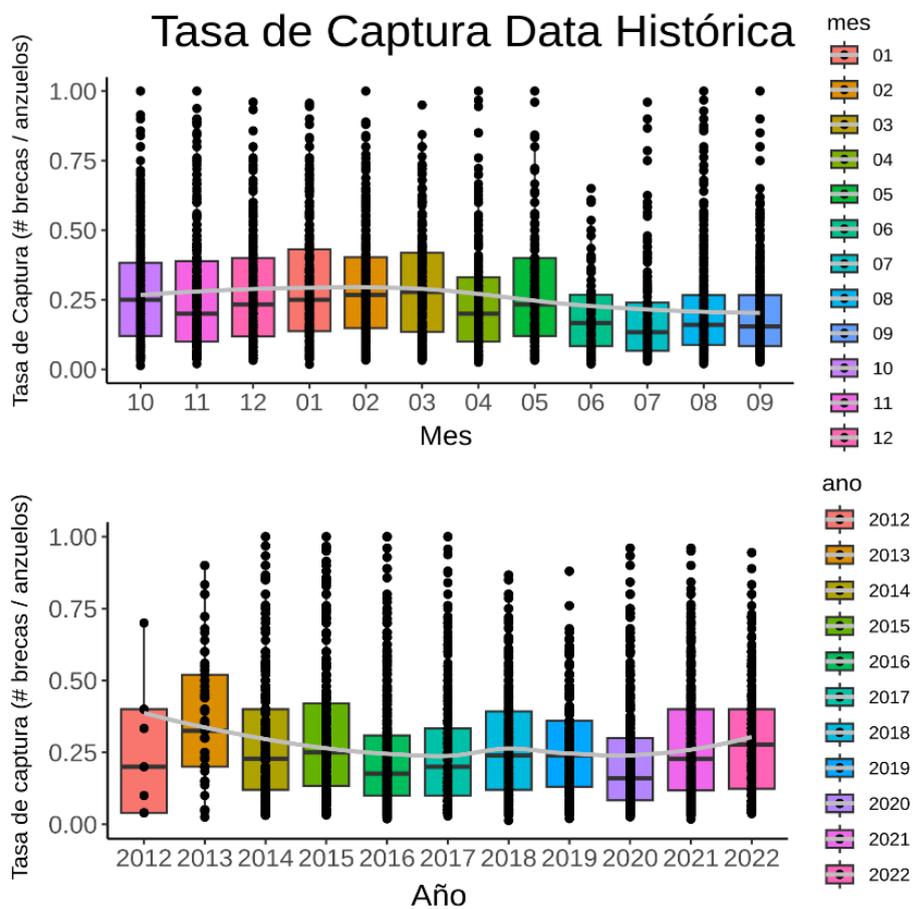


Figura 12: Tasas de captura de breca en la data Histórica por mes (desde el comienzo de la temporada de la langosta en octubre hasta agosto, panel superior) y anual (panel inferior) en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara. Fuente: Elaboración propia.

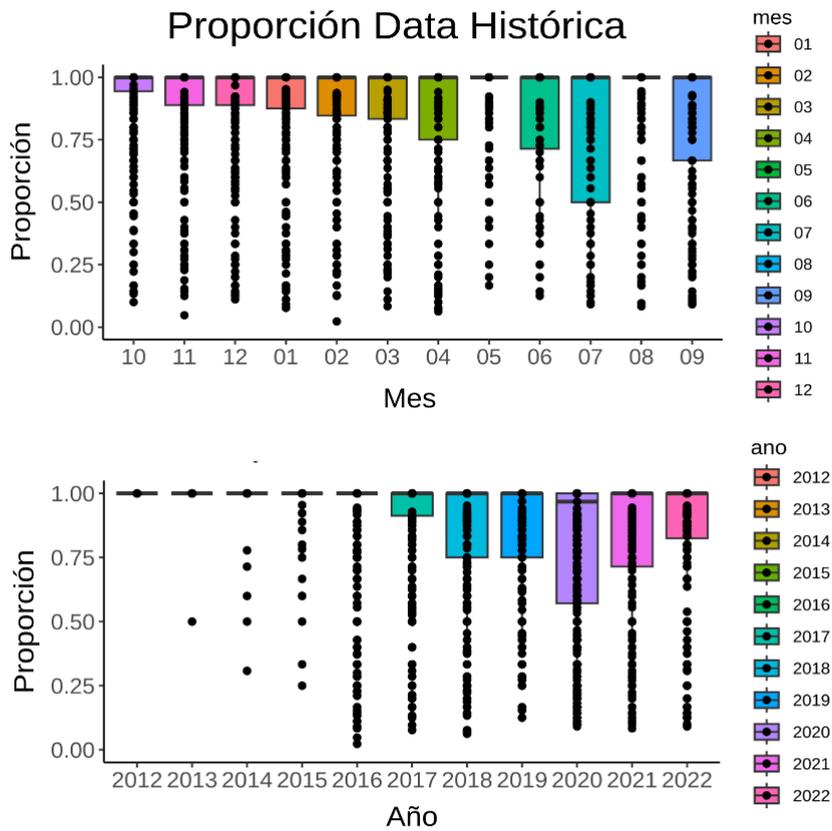


Figura 13: Proporción de breca en captura de la data Histórica por mes (desde el comienzo de la temporada de la langosta en octubre hasta agosto, panel superior) y anual (panel inferior) en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara. Fuente: Elaboración propia.

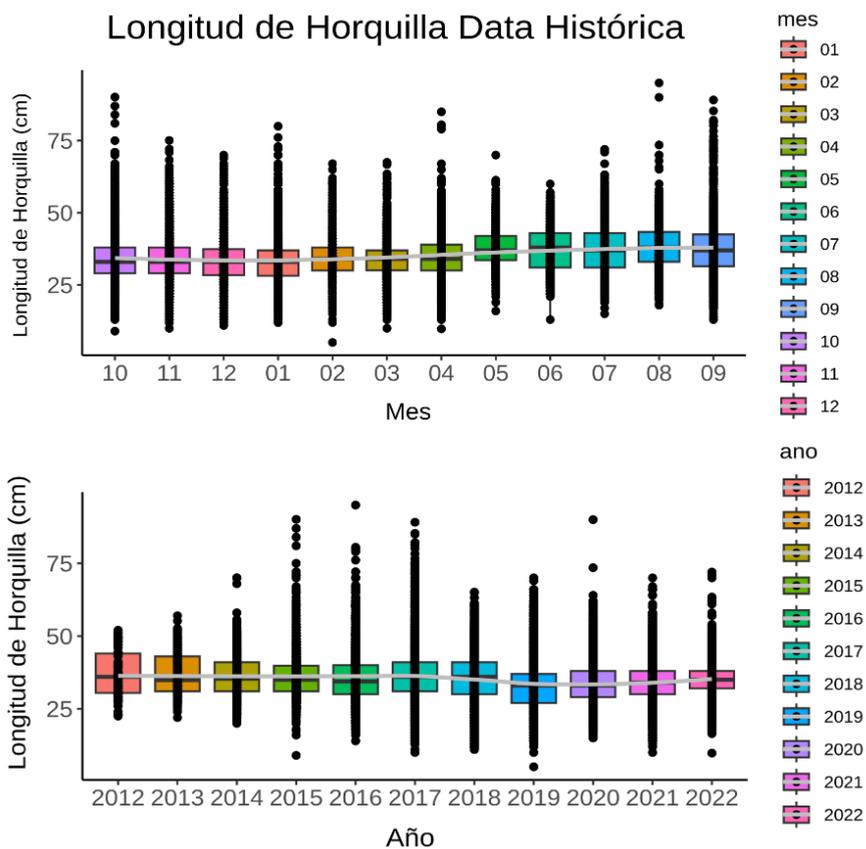


Figura 14: Longitud de horquilla de breca en captura de la data Histórica por mes (desde el comienzo de la temporada de la langosta en octubre hasta agosto, panel superior) y anual (panel inferior) en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara. Fuente: Elaboración propia.

Para abordar la tercera hipótesis, *las tasas de capturas de la breca* disminuyen a lo largo de la temporada de la pesca de la langosta, se procedió a realizar un GLM con distribución Gamma utilizando la base de datos Histórica (Tabla 9). Se consideraron los meses como una variable categórica, ordenada desde el inicio de la temporada (octubre) hasta septiembre. El resultado indica que la variable mes es significativa, existiendo diferencias significativas entre los meses.

Tabla 9: Coeficientes del análisis de varianza del Modelo Lineal Generalizado Gamma de las tasas de captura de breca en los espines verticales respecto de los meses de la temporada utilizado la base de datos Histórica.

Parámetro	Estimate	Std.	t	Pr(> t)
Intercepto	3.891	0.034	115.18	2.00E-16
Noviembre	1.557	0.108	14.46	2.00E-16
Diciembre	0.509	0.101	5.05	4.53E-07
Enero	-0.707	0.123	-5.77	8.31E-09
Febrero	-0.512	0.109	-4.72	2.41E-06
Marzo	0.290	0.108	2.68	0.007303
Abril	0.390	0.119	3.27	0.001077
Mayo	0.375	0.113	3.33	0.000884
Junio	0.446	0.123	3.63	0.000289
Julio	-0.034	0.139	-0.25	0.804415
Agosto	-0.482	0.131	-3.68	0.000236
Septiembre	-0.623	0.108	-5.75	9.27E-09

DISCUSIÓN

El uso del espinel vertical en el archipiélago Juan Fernández

El espinel vertical es el aparejo más utilizado en el archipiélago por la comunidad de pescadores artesanales Fernandezianos para la captura de especies ícticas, ya sea con fines de carnada, consumo humano directo o venta (Ernst *et al.*, 2019). Si bien se utiliza extensamente en todo el ancho de la plataforma insular, el estrato de 100 a 150 m es el más utilizado según los resultados de este trabajo (55% y 63% de los lances registrados en las bases de dato histórica y experimental, respectivamente). Según la Figura 1B la distribución espacial de los lances no es homogénea sobre la plataforma, sino que, en forma de conglomerados, probablemente siguiendo la heterogénea distribución de los fondos duros en el lecho marino (Ernst *et al.*, 2013, Roman *et al.*, 2018). Según lo postulado por Tapia *et al.* (en revisión) existe una gran asociación entre los ensambles ícticos multiespecíficos de la plataforma insular del subsistema RC-SC y los arrecifes rocosos del fondo marino.

Tamaño del anzuelo

Queirolo *et al.* (2011) monitorearon las pesquerías ícticas del archipiélago Juan Fernández, reportando una longitud de horquilla de breca entre 17 y 58 cm (promedio 34 cm) en la captura de los espineles verticales con anzuelos N° 8 y 9. A partir de la data Experimental generada en este proyecto la mediana de la longitud de horquilla fue de 31 cm con anzuelos N° 8 y 9. Según lo descrito por Patterson *et al.* (2012) el tamaño del anzuelo influye significativamente en la cantidad capturada de un recurso, así como en el tamaño de los ejemplares. Nuestros resultados sugieren que las tallas medias de breca capturadas con anzuelos N° 6 y 8 difiere en forma significativa respecto de lo capturado con el anzuelo N° 9 (Tabla 5). El anzuelo N° 6 se utiliza generalmente cuando la intencionalidad cambia hacia la vidriola, recurso de mayor tamaño, justificándose el aumento de talla media identificada para la breca en nuestro estudio experimental. Sin embargo, el aumento de talla identificado para el anzuelo N° 8 se considera que se debe probablemente a otra covariable no cuantificada y a tamaños de muestra muy bajo en comparación a las capturas de los anzuelos N° 7 y 9. Debido a los resultados estadísticos y elevados tamaños de muestra obtenidos con el uso de anzuelos N° 7 y 9 se

considera que no existe diferencia en la talla media de brechas capturadas en el rango N° 7, 8, 9 de anzuelos.

En un estudio de selectividad desarrollado por Balasubramanian *et al.* (2016), concluyeron que el tamaño del pez capturado aumenta en función del incremento en el tamaño del anzuelo, sin embargo, en nuestro estudio no se observó un cambio gradual en la talla mediana de brechas capturas en función del tamaño del anzuelo, excepto con el anzuelo más grande (anzuelo 6). Otras de las relaciones que podrían influir en el tamaño de anzuelo utilizado es el tamaño (abertura) del anzuelo y el área de la boca del pez (Melo *et al.*, 2004). En esta investigación se tomaron las medidas morfométricas de los cuatro tamaños de anzuelo, evidenciando que las dimensiones no son proporcionales entre ellas. Por ejemplo, el largo y garganta del anzuelo de tamaño 6 corresponde a la medida más grande entre la nomenclatura de anzuelos tipo J. Por otro lado, el anzuelo 8 es el que presenta la medida de abertura más grande comparado con los otros tres anzuelos utilizados en este estudio (Figura 15). Los tamaños de anzuelo de mayor preferencia en el trabajo experimental fueron 7 y 9. Estos anzuelos equivalen a un largo entre 5 y 5.5 cm, garganta entre 1.7 y 1.9 cm y abertura entre 1.4 y 1.43 cm. Otra variable que no fue incorporada en los análisis de este estudio y que puede ser determinante en el tamaño de los ejemplares capturados es el volumen de la carnada utilizada. Se identificaron variaciones importantes en el tamaño de las carnadas, que no eran proporcionales al número del anzuelo. Se sugiere que para un estudio futuro se considere un experimento donde se incorpore el factor tamaño de carnada, que probablemente será más importante, debido a la pequeña variación en el tamaño de los anzuelos 9-7.

Tamaño de anzuelo

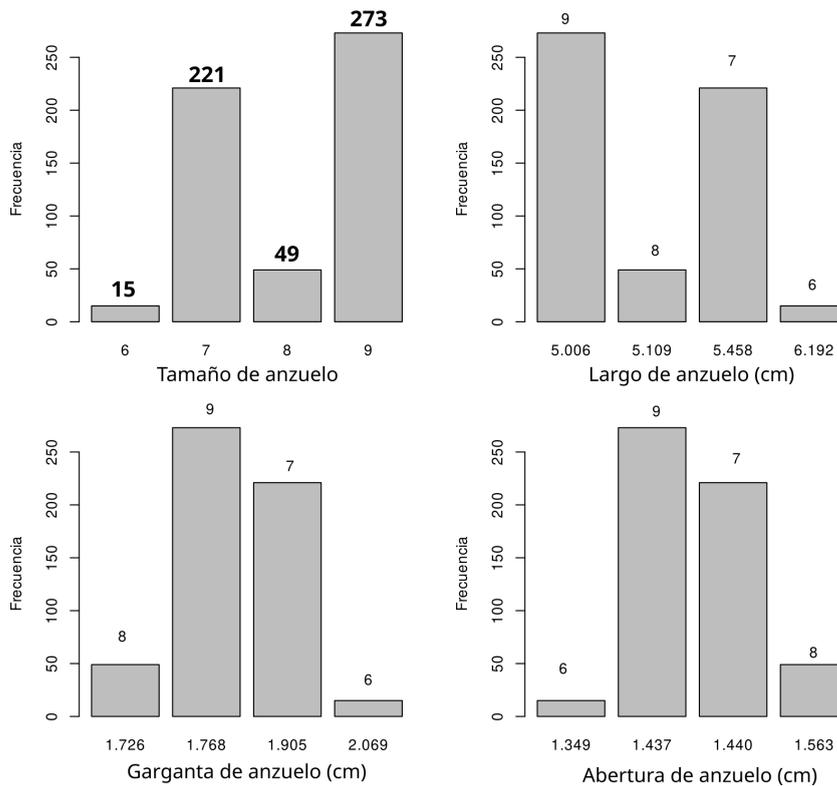


Figura 15: Frecuencias de captura de breca con los 4 tamaños de anzuelos utilizados: 6, 7, 8 y 9 (panel superior a la izquierda). También, se muestran frecuencias de captura por tamaño de anzuelo (panel superior a la derecha), garganta de anzuelo (panel inferior a la izquierda) y abertura de anzuelo (panel inferior a la derecha). Fuente: Elaboración propia.

Tiempo de calado

El rendimiento de pesca de la breca con espinel vertical, en términos como la tasa de captura, proporción y longitud de horquilla, presenta su máxima eficacia en los primeros 20 minutos de tiempo calado. Para tiempos mayores a 30 minutos, el rendimiento de pesca no aumenta significativamente (se rechaza Hipótesis 3). Esto sugiere que la disponibilidad de brechas en el caladero disminuye a medida que aumenta el tiempo calado o es un efecto operacional del espinel vertical (Melo *et al* 2004). La cantidad de tiempo que los anzuelos con carnada están disponibles para pescar probablemente sea otro factor importante que influya en las tasas de captura

(Deriso *et al.*, 1987). Sin embargo, en nuestros resultados el tiempo de calado no fue significativo respecto a la tasa de captura y tamaño de la breca. El tipo de carnada podría jugar un papel fundamental dentro de los hábitos de los peces que no consideramos en esta investigación. En este sentido, el principal parámetro que influye sobre la selectividad es el tamaño de la carnada, y de hecho, también varía entre especies (Lokkeborg & Bjordal, 1996). En trabajos futuros sería interesante estudiar la influencia del tipo y tamaño de carnada en el rendimiento de pesca de la breca con espinel vertical. Por otro lado, la disminución en el tiempo de calado disminuye la mortalidad de pesca incidental (Carruthers *et al.*, 2011). Esto podría ser relevante como una característica a evaluar para futuros planes de manejo del ensamble íctico del AJF. En los primeros minutos de tiempo de calado en nuestro trabajo se vio una mínima proporción de otras especies que no fueran brechas y en tiempos calados mayores aumentaba la proporción de especies.

Efectos temporales sobre los rendimientos de pesca

Los resultados de este trabajo indican que las diferencias de tasa de captura de breca a lo largo de los meses son significativas, aunque estas aumentan al comienzo de la temporada de la langosta y disminuyen a lo largo de la temporada, siendo el periodo de abril-julio el de menor rendimiento. Este cambio se podría deber a varios factores incluyendo una preferencia de los pescadores por brechas más pequeñas y en mayor número durante la temporada de la langosta, agotamiento del recurso breca durante la temporada, la necesidad de obtener brechas de mayor tamaño para consumo humano durante el invierno, entre otros.

Las tasas de capturas a lo largo de los años no muestran una tendencia sistemática a disminuir. Esto se complementa con los resultados de Aguilar (2022), quien no encontró evidencia de sobreexplotación del recurso breca en el Subsistema RC-SC. El espinel es altamente selectivo hacia la breca y a la talla, sesgando las estimaciones de proporción de las especies en los ensambles ícticos demersales. (Ernst, 2016A). En nuestros resultados existe una alta proporción de lances con únicamente breca en la captura, mostrando cambios durante la temporada de la langosta donde aumenta la proporción de otras especies. La variación de longitud de horquilla a lo largo de los años (2012-2022) presenta una pequeña variación en la mediana de 32-34 cm. Lo cual concuerda ante lo descrito por Ernst *et al.* (2015)

que los rendimientos de los espineles verticales varían con los meses de la temporada, al igual que la proporción de especies en la captura, aunque también describe que desde febrero en adelante comienza a aumentar significativamente la proporción de graniento en las capturas con espineles verticales en Juan Fernández (Ernst, 2015). Sin embargo, los resultados del trabajo experimental (abril-septiembre) no registra granientos en las capturas capturados y en Data Histórica la captura de graniento es 4.4% (Figura 5). De acuerdo con lo anterior podemos inferir que el espinel vertical es selectivo respecto a la especie objetivo (breca) y disminuye el descarte de otras especies. La selectividad de las artes de pesca tiene un impacto directo en el manejo sustentable y la explotación de recursos de importancia comercial (Öztekin *et al.*, 2020). A partir de nuestros datos, se observó que las tallas aumentan a medida que se capturan brechas en caladeros más profundos en los meses en que termina la temporada de captura de langosta, es decir, a comienzos del invierno en mayo (Figura 16). Efectivamente, de acuerdo con lo reportado por Ernst *et al.* (2016), las brechas son de mayor tamaño en los estratos más profundos. Esto podría ser un fenómeno asociado al objetivo de pesca de la temporada. En los periodos de tiempo en que no se captura langosta (invierno), los pescadores requieren brechas de tallas más grandes destinadas al consumo humano. Por otro lado, en la temporada de pesca de la langosta, los pescadores requieren brechas de tallas más pequeñas destinadas como carnadas para la langosta. Esto podría verse reflejado en que la tasa de captura de la breca es más alta durante la temporada de pesca de la langosta (se rechaza Hipótesis 4).

Los rendimientos de pesca son menores en la temporada 2014-15 que durante 2010-11 (Ernst *et al.*, 2015). De acuerdo a los resultados de data histórica las longitudes medianas de horquillas de brechas desde el 2014 disminuye hasta el 2016 y luego aumentan en el año 2017, sobrepasando las cifras del 2014, manteniéndose hasta el 2019 donde se observó la mayor baja de las medianas de LH. Luego de esto (2020) las LH de las brechas comienzan a aumentar hacia el 2022, presentando valores mayores al 2012. La talla modal de las capturas de breca disminuyó 11 cm en los últimos 30 años, siendo en un estudio del 2014 de 30 cm (Queirolo *et al.*, 2014), mientras que en el periodo enero-marzo de 1981 fue de 41 cm (Ahumada & Queirolo 2014). En nuestro caso la mediana varió entre los 32 y 34 cm de longitud

de horquilla, lo cual indicaría una mantención de la talla a lo largo de esta última década.

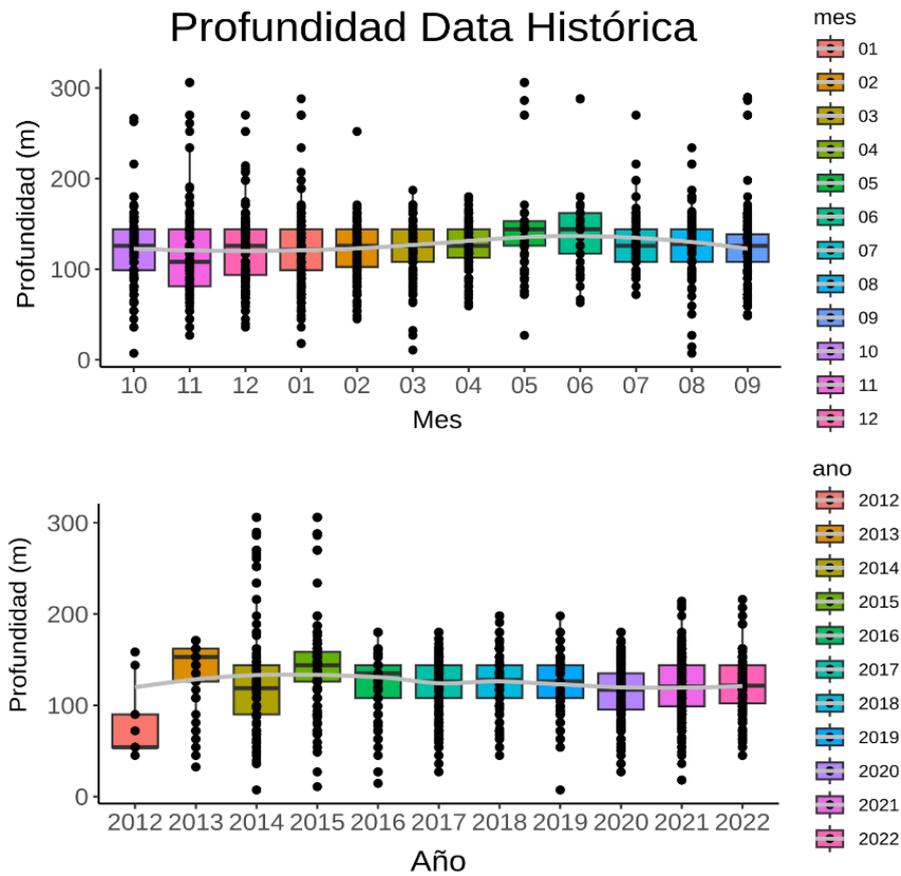


Figura 16: Profundidad de calado de los espineles verticales por mes y año en el subsistema Robinson Crusoe – Santa Clara (datos históricos). Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En esta investigación se caracterizó la composición de especies ícticas y sus tamaños en la captura de breca con espinel vertical realizada por la pesquería artesanal del Subsistema RS-SC entre el año 2012 y 2022. En general, la mayor efectividad de pesca ocurre en caladeros mayores a 100 metros de profundidad. Los tamaños de anzuelo 7 y 9 no presentan diferencias significativas en los tamaños de breca capturas ni en la proporción.

El tiempo de calado del espinel vertical alcanza su tasa máxima de captura en los primeros 20 minutos, es decir, que en un lance efectivo se capturan 5 breca aproximadamente.

Las tasas de captura de la breca cambian significativamente durante la temporada de la captura de la langosta, declinando hacia el período de veda de la langosta. Aunque la tasa de captura ha mantenido el mismo rango durante el periodo 2012-2022. A pesar de que no se ha mostrado evidencia de sobreexplotación de la breca en el Subsistema RC-SC (Aguilar, 2022), los datos evidenciados en esta investigación pueden servir como herramienta para una futura evaluación del impacto de la operación de espineles verticales y para que se promuevan medidas de manejo óptimo que aseguren la sustentabilidad en la extracción de la breca. Es por esto por lo que es importante continuar caracterizando sistemáticamente la composición de la captura asociada a la pesquería íctica artesanal mediante el uso de espinel vertical.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Chagua, A. C. (2022). Detección de indicios de agotamiento a través del uso de múltiples metodologías de datos limitados: El caso de la pesquería de Juan Fernández, Chile.
- Ahumada, M. & Queirolo, D. (2014). Explotación de peces asociada a la pesquería artesanal de langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). *Latin american journal of aquatic research*, 42(1), 213-223.
- Arana, P. (2012). Recursos pesqueros del mar de Chile [Report]. Escuela de Ciencias del Mar, PUCV, 308 pp.
- Balasubramanian, A., Meenakumari, B., Pravin, P., Dhanapal, K., Boopendranath, M. R., & Erzini, K. (2016). Estimation of gillnet and hook selectivity for *Carangoides fulvoguttatus* (Forsskal, 1775) captured off Kanyakumari coast of India.
- Carruthers, E. H., Neilson, J. D., & Smith, S. C. (2011). Overlooked bycatch mitigation opportunities in pelagic longline fisheries: Soak time and temperature effects on swordfish (*Xiphias gladius*) and blue shark (*Prionace glauca*) catch. *Fisheries Research*, 108(1), 112-120.
- Deriso, R. B., & A. M. Parma. (1987). On the odds of catching fish with angling gear. *Trans. Am. Fish. Soc.* 116:244–256.
- Ernst, B., Oyarzún, C., Vilches, J., Rivara, P., Tapia, B., Álvarez, C., Molina, E., Leiva, F. & Gauthier, S. (2015). Estudio ecosistémico de las pesquerías del sitio piloto Archipiélago de Juan Fernández. Fase Metodológica. Informe Final. 115 pp.
- Ernst, B., Oyarzun, C., Vilches, J., Rivara, P., Tapia, B., Alvarez, C., Molina, E., Leiva, F., & Gauthier, S. (2016a). Estudio ecosistémico de las pesquerías del sitio piloto archipiélago de Juan Fernández. Fase metodológica. [Report]. Universidad de Concepción.
- Ernst, B., C. Parada, P., Manríquez, J., Chamorro & P. Retamal, (2010a). Dinámica poblacional y pesquera de la langosta (*Jasus frontalis*) en la isla Alejandro Selkirk. Informe Final, Proyecto FIP No 2008-24: 169.
- Ernst, B., Parada, C., Manríquez, P., Orensanz, J., & Chamorro, J. (2010). Strengthening of traditional territorial tenure system through protagonism in monitoring activities by lobster fishermen from the Juan Fernández islands, Chile [Journal Article]. *Bulletin of Marine Science -Miami-*, 86, 315–338.

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 [Report]. Universidad de Concepción.

Ernst, B., Pino, J., Chamorro, J., Manríquez, P., Rivara, P. (2016). Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales, año 2016, Pesquerías de Crustáceos Archipiélago Juan Fernández. Informe de Avance (Proyecto IFOP 1049-5-LQ16).

Ernst, B., Salas, E., Porobic, J., Román, C., Chamorro, J., Manríquez, P., Pérez, M., Schiller, R., Recabarren, S., Contreras, A., Melgarejo, M., Chamorro, M., Schiller, H., Schiller, O., Lemus, R., & Mieres, M. (2013). Monitoreo de las principales pesquerías del archipiélago Juan Fernández, año 2012. Subsecretaría de Pesca - proyecto n° 4728-36-LP12 [Report]. Universidad de Concepción.

Ernst, B., Rivara, P., & Tapia, B. (2016). Evaluación directa de la Breca (*Nemadactylus gayi*, Kner 1865) en torno a las islas Robinson Crusoe y Santa Clara. Departamento de Oceanografía—Universidad de Concepción, (2016).

Kuparinen, A., Kuikka, S., & Merilä, J. (2009). Estimating fisheries-induced selection: traditional gear selectivity research meets fisheries-induced evolution. *Evolutionary Applications*, 2(2), 234-243.

Løkkeborg, S., & Pina, T. (1997). Effects of setting time, setting direction and soak time on longline catch rates. *Fisheries Research*, 32(3), 213-222.

Melo, T., Pavez, P., Hurtado, C., Queirolo, D. (2004). Selectividad de aparejos de pesca utilizados por la flota artesanal en la pesquería de merluza del sur. Informe Final FIP-IT/2002-08, 1-157).

Nguyen, L. T. & Nguyen, K. Q. (2022). Effects of jig location and soak time on catch rates of a novel fishing gear design of squid longline fisheries. *Regional Studies in Marine Science*, 52, 102312.

Öztekin, A., Özekinci, U., & Ayaz, A. (2020). Determining the hook selectivity of bottom longline used for European hake (*Merluccius merluccius*, L. 1758) in Saros Bay (northern Aegean Sea, Turkey). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(5), 2608-2617.

Ernst, B., Pino, J., Chamorro, J., Manríquez, P., Rivara, P., Tapia, B., Parada, C., Sandoval, M., Cornejo, S., 2019. Boletín de difusión. Programa de seguimiento de

las principales pesquerías nacionales, año 2018. Pesquerías de crustáceos del archipiélago Juan Fernández. Instituto de Fomento Pesquero.

Ernst, B., Parada, C., Chamorro, J. Pino, J P., Tapia Contreras J. (2021). Informe Final Monitoreo biológico pesquero de las pesquerías y del ecosistema asociado al archipiélago de Juan Fernández. Primera etapa.

Patterson, W. F. III, C. E. Porch, J. H. Tarnecki, & A. J. Strelcheck. (2012). Effect of circle hook size on reef fish catch rates, species composition, and selectivity in the northern Gulf of Mexico recreational fishery. *Bulletin of Marine Science* 88:647–665.

Pequeño, G. & S. Saez. (2000). Los peces litorales del archipiélago de Juan Fernández (Chile): endemismo y relaciones ictiogeográficas. *Invest. Mar., Valparaíso*, 28: 27-37.

Queirolo, D., Ahumada, M., Plaza, G., Saavedra, J., Arana, P., Escobar, R. & Ruby, R. (2011). Alternativas de carnada en la pesquería de langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*), para disminuir el impacto sobre especies ícticas del archipiélago. Informe Final, Proyecto FIP, (2009-31), 287.

Román, C., Ernst, B., Thiel, M., Manríquez, P., & Chamorro, J. (2018). Spatio-temporal migratory dynamics of *Jasus frontalis* (Milne Edwards, 1837) in Alexander Selkirk Island, Juan Fernández archipelago, Chile. *Plos one*, 13(7), e0200146.

Rueda, M., Ward Bolíva, V., Bustos Montes, D., Posada Osorio, S., Sanjuanelo, E., Rodríguez, A., & Cano Correa, M. (2015). Parámetros biológico-pesqueros del Striped chub (*Kyphosus incisor*) relevantes para su manejo y conservación en el Parque Nacional Natural Old Providence McBean Lagoon.

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). Comité de Manejo de pesquerías artesanales del Archipiélago de Juan Fernández e Islas Desventuradas (2017). Acta de Reunión N°7 - 08-09-2017 y 09-09-2017 (https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-98256_documento.pdf).

ANEXO I



Figura A1: Anzuelo de tamaño 6, 7, 8 y 9 utilizada para tomar medidas morfométricas de los anzuelos.