

# MONITOREO BIOLÓGICO PESQUERO DE LAS PESQUERÍAS Y DEL ECOSISTEMA ASOCIADO AL ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ, 2021

OFERENTE

Universidad de Concepción

Requirente

Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura - FIPA



INFORME FINAL  
Año 2022

---

Título del Proyecto	MONITOREO BIOLÓGICO PESQUERO DE LAS PESQUERÍAS Y DEL ECOSISTEMA ASOCIADO AL ARCHIPIÉLAGO DE JUAN FERNÁNDEZ, 2021.
Mandante Contraparte Técnica	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Oferente	Departamento de Oceanografía Barrio Universitario s/n Casilla 160-C Concepción
Investigador responsable	Dr. Billy Ernst Elizalde Departamento de Oceanografía Universidad de Concepción Concepción Fono (41) 2204012 E-mail: <a href="mailto:biernst@udec.cl">biernst@udec.cl</a>

---

## RESUMEN EJECUTIVO

---

En el presente informe se documentan los resultados del proyecto FIPA 2020-35 del programa anual 2021 de seguimiento de las pesquerías de crustáceos en los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas, durante el año 2021, periodo marcado por la pandemia de Covid 19, que ha afectado la movilidad de los pescadores e investigadores entre el continente y los archipiélagos. Se consideran los subsistemas: isla Alejandro Selkirk (AS), islas Robinson Crusoe y Santa Clara (RC-SC), e islas San Ambrosio y San Felix (ID). Este informe de avance se ha focalizado en los recursos langosta de Juan Fernández y cangrejo dorado. La extensión temporal de este trabajo incluye la totalidad de la temporada de pesca 2020/21 (octubre 2020 al 15 de mayo de 2021) e inicios de la temporada 2021/22 para la pesquería de langosta de Juan Fernández y el año 2021 para la actividad extractiva de cangrejo dorado. Las actividades reportadas en el presente informe han contemplado el monitoreo de la actividad pesquera considerando escalas espaciales y temporales, y un programa de seguimiento biológico para abordar la estimación de la proporción sexual, la estructura de tallas y la condición reproductiva de los crustáceos. La información aportada por el control de tráfico marítimo junto a las estimaciones de captura promedio por viaje obtenidas desde las bitácoras de pesca, permitieron estimar las capturas y esfuerzos totales por subsistema de estudio. De acuerdo con ello, durante la temporada 2020/21 de langosta en el archipiélago Juan Fernández se hicieron 2135, 727 y 200 viajes de pesca en RC-SC, AS e ID, alcanzando un total de 80554 trampas levantadas y una captura retenida estimada (en número de individuos) de 52701, 31240 y 21627 langostas en RC-SC, AS e ID respectivamente, estimando a partir de la talla media de la captura retenida y el peso mensual asignado, una biomasa total desembarcada de 86.6 ton. De esta biomasa, 19 ton provienen de ID. Por su parte la temporada 2021/22 muestra estimaciones de biomasa que ascienden a 35.1 ton entre los 3 subsistemas, más de 10 ton respecto al inicio de la temporada 2020/21.

En AS, los rendimientos experimentaron un patrón de cambio similar a RC-SC, con una baja inicial y un alza durante la segunda mitad de la temporada. A comienzos de la temporada 2020/21 en ambos subsistemas el número de langostas capturadas no retenidas mantuvieron la tendencia negativa de disminución establecida desde 2011/12 (de 11.7 a 4.5 y de 21.5 a 12.5 para RC-SC y AS, respectivamente), sin embargo, al igual que en las langostas retenidas, las tasas de captura aumentaron, pero sin llegar a superar el promedio histórico. Por su parte, los meses iniciales de la temporada 2021/22 registran mayor esfuerzo en número de salidas en AS respecto al año anterior, además las trampas revisadas por viaje y los rendimientos por viaje. En RC-SC en cambio, el esfuerzo es un poco menor a lo observado el año anterior (2020/21), mientras que se evidencia un aumento en el número de trampas revisadas por viaje. La captura por viaje presenta mejores rendimientos que el periodo octubre-diciembre de 2020, pero son menores comparados con la segunda parte de la temporada 2020/21. La CPUE de langostas no retenidas continuó con su tendencia a la baja en AJF (bajo la media histórica), alcanzando un mínimo histórico en RC-SC durante octubre de 2021. Esta situación es de gran preocupación e incertidumbre, dado que ese contingente representa el reclutamiento hacia la pesquería. Desventuradas mantuvo sus altos rendimientos en lo que refiere a los meses de noviembre y diciembre, superando con creces a los otros dos subsistemas, evidenciando también la estimación del valor más elevado de langostas no retenidas de la serie. Destaca también que la talla media de la captura retenida es cercana a 10 mm más que en AJF.

El esfuerzo en la pesquería de cangrejo dorado se mantiene bajo en relación con la pesquería de langosta, alcanzando máximo de 11 salidas mensuales en el año. El esfuerzo en número de trampas desplegadas y revisadas y embarcaciones que realizan la actividad extractiva también está muy por

dejajo de lo observado en la pesquería de langosta, las trampas revisadas por mes estuvieron en el rango de 4 a 48. El seguimiento con muestreadores científicos en las salidas de pesca de cangrejo dorado indica que las capturas siguen siendo sostenidas por machos. En general la captura retenida es mayor que la captura no retenida y durante el periodo analizado, no hubo presencia importante de hembras ovígeras.

Los resultados de la última expedición científica demuestran una disminución de la riqueza de especies sésiles comparado a años anteriores (2014, 2017). La disminución de la riqueza se encuentra acompañada por un aumento de los fondos blanqueados tanto en sitios protegidos como expuestos de la isla Robinson Crusoe. La expedición de 2020 demostró por primera vez que las abundancias de *Centrostephanus* sp. son similares en ambas zonas de la isla (expuesta y protegida), contrario al estudio publicado anteriormente donde se muestra una mayor abundancia de erizos en la zona protegida de la isla en comparación con la zona expuesta. Además, nuestros resultados sugieren que esta especie de erizo tiene un marcado ciclo reproductivo estacional. La maduración de la gónada ocurre durante el verano/otoño con la subsecuente liberación de gametos durante el invierno

Desde la ejecución de programas de monitoreo anteriores (Ernst et al., 2021) se ha observado el incremento de erizos por trampa, así como la expansión de su distribución a distintos sectores y profundidades alrededor de la isla Robinson Crusoe y Santa Clara, subsistema donde dominan la fauna acompañante registrada por los muestreadores. A nivel comunitario los erizos desempeñan un rol clave como controladores de las poblaciones algales y cuando sus poblaciones aumentan pueden generar una disminución dramática de la biodiversidad generando fondos blanqueados. Las expediciones en el submareal permitirían interpretar las condiciones que se pueden encontrar en otros sectores y profundidades asociados a la pesquería de langosta donde se han ido cuantificando estas alzas en la abundancia de erizos. Es incierto y desconocido el efecto que tendrá esta gran alza de erizo sobre los recursos pesqueros del Archipiélago Juan Fernández.

El AJF debido a sus características topográficas y posición geográfica tiene una fuerte influencia de procesos de submesoescala generados localmente y de mesoescala desarrollados dentro zona de transición costera (ZTC) frente a Chile central. En cuanto al archipiélago ID, la presencia e influencia de procesos de mesoescala se presentan con baja regularidad, siendo prácticamente nula su influencia durante un año normal. Así, el desarrollo de estructuras locales de surgencia y procesos de submesoescala parecen ser los principales mecanismos hidrodinámicos dominantes. Para este informe, las características oceanográficas de ambos archipiélagos han sido estudiadas mediante simulaciones numéricas de alta resolución (~8 km), datos *in situ*, y la utilización de imágenes satelitales. Esto permitió detectar y caracterizar las estructuras promedio de las regiones (en cuanto a temperatura, presión, viento, EKE y precipitación), también se identificó el cambio en las tendencias desde el año 2017 (en temperatura, indicadores climáticos, remolinos, presión) al año 2021.

## ÍNDICE GENERAL

---

RESUMEN EJECUTIVO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
ACRÓNIMOS.....	xix
UNIDADES DE MEDIDA .....	xix
PRESENTACIÓN DE AUTORES POR FUNCIÓN EN EL PROYECTO .....	xx
1 OBJETIVOS .....	1
1.1 Objetivo general .....	1
1.2 Objetivos específicos .....	1
2 ANTECEDENTES .....	2
2.1 Archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas.....	2
2.2 Pesquería de langosta de Juan Fernández.....	3
2.3 Pesquería del cangrejo dorado .....	4
2.4 Pesquería de breca y otras especies ícticas .....	5
2.5 Pescadores y sus organizaciones .....	5
2.6 Regulación de las pesquerías .....	6
2.7 Programas de monitoreo .....	7
2.8 Contexto pesquero en pandemia .....	8
3 METODOLOGÍA.....	9
3.1 Sistema de estudio.....	9
3.1.1 Consideraciones espaciales.....	10
3.2 Programas de monitoreo .....	11
3.2.1 Control de tráfico marítimo .....	12
3.2.2 Monitoreo pesquero .....	13
3.2.3 Monitoreo con muestreador científico .....	14
3.3 Objetivo 1 .....	16
3.3.1 Langosta de Juan Fernández.....	18
3.3.2 Cangrejo Dorado .....	21
3.3.3 Breca de Juan Fernández .....	21
3.3.4 Otras especies ícticas .....	21
3.3.5 Aspectos técnicos de las embarcaciones y equipamiento a bordo.....	22

3.3.6	Contrastación de las estimaciones de desembarques de langosta .....	22
3.4	Objetivo 2 .....	23
3.4.1	Información biológica .....	23
3.4.2	Condición reproductiva de Breca de Juan Fernández.....	25
3.4.3	Muestreo especies ícticas .....	26
3.4.4	Análisis de información en pesquerías de crustáceos.....	26
3.5	Objetivo 3 .....	28
3.5.1	Registro de información.....	28
3.5.2	Análisis de información.....	28
3.5.3	Erizos .....	29
3.6	Objetivo 4 .....	32
3.6.1	Registro y análisis de información.....	32
3.7	Objetivo 5 .....	33
3.7.1	Registro de información.....	33
3.7.2	Análisis de información.....	33
3.8	Objetivo 6 .....	34
3.8.1	VARIABLES AMBIENTALES .....	34
3.8.2	Procesamiento y análisis de datos .....	34
3.8.3	Relación entre indicadores ambientales y pesqueros .....	38
3.9	Objetivo 7 .....	40
3.9.1	Evaluación de diseños de muestreo alternativos .....	40
4	RESULTADOS .....	42
4.1	Objetivo 1 .....	42
4.1.1	Langosta de Juan Fernández.....	42
4.1.2	Cangrejo dorado.....	63
4.1.3	Breca de Juan Fernández .....	65
4.1.4	Otras especies ícticas .....	66
4.1.5	Aspectos técnicos de las embarcaciones y equipamiento a bordo.....	67
4.1.6	Reconstrucción de desembarques.....	69
4.2	Objetivo 2 .....	72
4.2.1	Langosta de Juan Fernández.....	72
4.2.2	Cangrejo dorado.....	87
4.2.3	Breca de Juan Fernández .....	90
4.2.4	Muestreo de especies ícticas .....	91
4.3	Objetivo 3 .....	92
4.3.1	Fauna acompañante .....	92

4.3.2	Investigación de erizos.....	96
4.4	Objetivo 4 .....	116
4.5	Objetivo 5 .....	117
4.6	Objetivo 6 .....	119
4.6.1	Indicadores del estado del ambiente físico del sistema.....	119
4.6.2	Relación entre indicadores ambientales y pesqueros .....	142
4.7	Objetivo 7 .....	146
4.7.1	Etapa I: Evaluación programa de colecta de datos .....	146
4.7.2	Etapa II: metodologías de evaluación .....	148
5	DISCUSIÓN .....	153
5.1	Programa de monitoreo.....	153
5.2	Indicadores pesqueros .....	154
5.3	Indicadores biológicos.....	157
5.4	Investigaciones de erizos .....	158
5.5	Indicadores ambientales.....	160
6	CONCLUSIONES.....	162
7	REFERENCIAS.....	164
ANEXOS.....		181

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1	Control de tráfico marítimo. Número total de viajes destinados a la langosta y cangrejo por subsistema. Periodo octubre 2020 – diciembre 2021*.....	13
Tabla 2	Número de embarcaciones operando en la pesquería de langosta por subsistema. Temporada 2020/21 e inicios 2021/22.....	13
Tabla 3	Cobertura mensual de viajes de pesca de langosta registrados en las bitácoras de pescadores en cada subsistema. Temporada 2020/21 e inicios 2021/22.....	14
Tabla 4	Número de salidas de pesca realizadas con muestreador científico a bordo de las embarcaciones, por subsistema y recurso. Periodo octubre 2020 - diciembre 2021*.....	15
Tabla 5	Cobertura del monitoreo biológico de las pesquerías de crustáceos en cada subsistema sobre el número total de salidas de pesca. Año 2021*.....	15
Tabla 6	Tamaños muestrales de capturas de langostas por sexo y subsistema según registros de muestreadores científicos. Temporada 2020/21 e inicios 2021/22. F: hembras, M: Machos, O: Ovígeras.....	15
Tabla 7	Tamaños muestrales de capturas de cangrejo dorado por sexo y subsistema según registros de muestreadores científicos. Año 2021.....	16
Tabla 8	Tamaño muestral por sexo de langostas capturadas en la temporada 2021/22 y medidas en vivero ubicado en Valparaíso. Enero 2022.....	25
Tabla 9	Características de datos fuentes de datos ambientales empleadas.....	39
Tabla 10	Captura (número de individuos retenidos), Esfuerzo (número de trampas levantadas) y CPUE (número de individuos retenidos por trampa levantada) para langosta de Juan Fernández en el subsistema islas Robinson Crusoe – Santa Clara, por zona y mes durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22 (información no censal).....	43
Tabla 11	Captura (número de individuos retenidos), Esfuerzo (número de trampas levantadas) y CPUE (número de individuos retenidos por trampa levantada) para langosta de Juan Fernández en el subsistema isla Alejandro Selkirk, por zona y mes durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22 (información no censal).....	44
Tabla 12	Captura (número de individuos retenidos), Esfuerzo (número de trampas) y CPUE (número de individuos retenidos por trampa) para langosta de Juan Fernández en el subsistema archipiélago Islas Desventuradas, por zona y mes durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22 (información no censal).....	44
Tabla 13	Esfuerzo, captura retenida por viaje y por mes de langosta de Juan Fernández en los subsistem/as AS, RC-SC e ID. Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.....	47
Tabla 14	Resultados de la estandarización de CPUE según modelos ajustados a las capturas retenidas y no retenidas de langosta en el subsistema RC-SC.....	61
Tabla 15	Resultados de la estandarización de CPUE según modelos ajustados a las capturas retenidas y no retenidas de langosta en el subsistema AS.....	62
Tabla 16	Esfuerzo, captura por viaje y captura por mes de cangrejo dorado, año 2021. Los valores subrayados indican promedios anuales utilizados en esos meses.....	64

Tabla 17	Captura (número de individuos), esfuerzo (número de trampas) y CPUE de cangrejo dorado retenido y no retenido en el subsistema RC-SC obtenidos desde muestreo biológico mensual (las capturas no son censales). Año 2021.....	64
Tabla 18	CPUE de cangrejo dorado retenido (sobre 110, 120 y 130 mm de AC respectivamente) en el subsistema RC-SC obtenidos desde muestreo biológico. Año 2021.....	65
Tabla 19	Proporción de sexual de ejemplares muestreados en cada subsistema, por zona y mes de estudio (hembras respecto del total). Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.....	75
Tabla 20	Longitud cefalotorácica media (mm) de ejemplares muestreados en cada subsistema, por zona y mes de estudio. Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.....	76
Tabla 21	Parámetros de la distribución modal por sexos para las capturas de los subsistemas RC-SC y AS durante las temporadas 2020/21.....	82
Tabla 22	Proporción de portación respecto al total de hembras muestreadas en cada subsistema, por zona y mes de estudio. Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.....	83
Tabla 23	Actualización del peso medio a la talla estimado de langostas diferenciadas por sexo y sexos combinados.....	86
Tabla 24	Proporción sexual de cangrejo (hembras sobre el total), de portación (respecto del total de hembras) y ancho cefelotorácico medio (talla media en mm) de la captura total y retenida muestreadas en el subsistema RC-SC por zona y mes de estudio. Año 2021.....	88
Tabla 25	Promedio mensual de la proporción sexual y talla media de la captura total de cangrejo dorado. Año 2021.....	88
Tabla 26	Parámetros de la función de madurez sexual para hembras de breca de la isla Robinson Crusoe estimados a partir de datos obtenidos por Rivara (2013) y este trabajo.....	90
Tabla 27	Número de individuos registrados por especie capturada en las trampas de langostas e Índice de ocurrencia de fauna acompañante S0%. Registros mensuales durante el año 2021 por subsistema. Incluye meses iniciales de la temporada de langosta 2020/21.....	94
Tabla 28	Resultados del análisis de similitud de porcentaje (SIMPER) de los invertebrados entre los años 2014, 2017 y 2020 a partir de la matriz de similitud de sus abundancias transformadas a raíz cuarta.....	103
Tabla 29	Resultados del análisis de permutación de la varianza (PERMANOVA) demostrando diferencias significativas entre las composiciones de invertebrados según su abundancia entre distintos años y zonas de la isla Robinson Crusoe basado en matrices de similitud de Bray-Curtis.....	104
Tabla 30	Resultados del análisis de similitud de porcentaje (SIMPER) de la estructura de peces a partir de datos de abundancia obtenido en las expediciones científicas de 2014, 2017 y 2020.....	108
Tabla 31	Resultados del análisis de similitud de porcentaje (SIMPER) de la estructura de peces a partir de datos de biomasa obtenido en las expediciones científicas de 2014, 2017 y 2020.....	112
Tabla 32	Resultados del análisis de permutación de la varianza (PERMANOVA) demostrando diferencias significativas entre las composiciones de peces según (a) abundancia y (b) biomasa entre años y sectores de la isla Robinson Crusoe. El análisis fue basado en matrices de similitud de Bray-Curtis.....	114
Tabla 33	Registros de captura incidental observada por los muestreadores científicos durante el periodo 2015-2021.....	117
Tabla 34	Biomasa (ton) total anual de especies ícticas capturadas y reportadas en el archipiélago Juan Fernández según registros de SERNAPESCA.....	117

Tabla 35	Coeficientes de correlación para variables ambientes y número de langostas retenidas y no retenidas. Full representa al modelo lineal que incluye a todas las variables para las temporadas 2006-2021.....	145
Tabla 36	Análisis de Varianza para la regresión múltiple entre variables ambientales y rendimientos de pesca de langostas retenidas y no retenidas para las temporadas 2006 – 2021. ....	145
Tabla 37	Contribución de la información colectada según programa identificado .....	147
Tabla 38	Metodologías de evaluación identificadas para breca en función de la información disponible:	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1	Ubicación geográfica de los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas.....	3
Figura 2	Fotografías del sistema de estudio. A) Bahía Cumberland, subsistema RC-SC. B) “Las Casas”, subsistema AS. C) Sector “La Potala”, subsistema ID.....	10
Figura 3	Indicación de la división en zonas estadísticas utilizadas en proyectos anteriores. Arriba subsistemas RC-SC (izquierda) y AS (derecha), abajo subsistema ID. ....	11
Figura 4	Medidas morfométricas registradas para langosta de Juan Fernández (izquierda) y cangrejo dorado (derecha) durante el monitoreo biológico a bordo de las embarcaciones.....	24
Figura 5	Ubicación de los sitios de muestreo submareal mediante buceo autónomo realizado en enero del 2020. ....	30
Figura 6	Áreas de estudio para la elaboración de indicadores ambientales y concentración promedio de Cla durante el período 1997-2019: (a) región oceánica frente a Chile central, (b) islas del archipiélago de las Desventuradas, (c) posición de la estación meteorológica (~35 m de altura) ubicada en la Isla Robinson Crusoe; y (d) islas del archipiélago Juan Fernández .....	35
Figura 7	Esquema vertical del nuevo anclaje presentado a la Armada de Chile. ....	38
Figura 8	Herramienta FishPath. Aproximación general. Adaptado de: <a href="https://fishpath.github.io/FishPath-Tool-User-Guide/intro.html">https://fishpath.github.io/FishPath-Tool-User-Guide/intro.html</a> .....	41
Figura 9	Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en las diferentes zonas de pesca del subsistema RC-SC desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.....	50
Figura 10	CPUE (número de langostas retenidas por trampa) por zona delimitada en el subsistema RC-SC desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.....	50
Figura 11	Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en los diferentes meses de pesca en el subsistema RC-SC desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22. ....	51
Figura 12	CPUE de langostas retenidas y no retenidas en las diferentes temporadas de pesca (desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22) en el subsistema RC-SC. El eje X representa distintos intervalos de tiempo durante las temporadas utilizados para el cálculo de la CPUE. ....	51
Figura 13	Grado de correlación entre la CPUE acumulada a distintos intervalos de tiempo versus la CPUE de la temporada completa, desde la temporada 2006/07 a 2020/21 para el subsistema RC-SC.....	52
Figura 14	Serie de tiempo de CPUE de langostas retenidas (a) y no retenidas (b) por trampa levantada en el subsistema RC-SC. Los círculos rojos son los promedios mensuales de CPUE, la línea discontinua horizontal indica el promedio de las capturas durante toda la serie, en azul y verde se presentan las medias móviles. Periodo octubre 2006 a diciembre 2021. ....	53
Figura 15	Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en las diferentes zonas de pesca del subsistema AS desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.....	55
Figura 16	CPUE (número de langostas retenidas por trampa) por zonas delimitadas del subsistema AS desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.....	56

Figura 17	Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en los diferentes meses en el subsistema AS desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.....	56
Figura 18	CPUE de langostas retenidas y no retenidas en las diferentes temporadas de pesca (desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22) en el subsistema AS. El eje X representa distintos intervalos de tiempo durante la temporada utilizados para el cálculo de la CPUE.....	57
Figura 19	Grado de correlación entre la CPUE acumulada a distintos intervalos de tiempo versus la CPUE de la temporada completa, desde la temporada 2006/07 a la temporada 2020/21 para el subsistema AS.....	57
Figura 20	Serie de tiempo de CPUE de langostas retenidas (a) y no retenidas (b) por trampa levantada en el subsistema AS. Los círculos rojos son los promedios mensuales de CPUE, la línea discontinua horizontal indica el promedio de las capturas durante toda la serie, en azul y verde se presentan las medias móviles. Periodo octubre 2006 a diciembre 2021.....	58
Figura 21	Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en las diferentes zonas de pesca del subsistema ID desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.....	60
Figura 22	Serie de tiempo del número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) por temporada en el subsistema ID.....	60
Figura 23	CPUE de langostas retenidas y no retenidas en las diferentes temporadas de pesca en el subsistema ID. El eje X representa distintos intervalos de tiempo durante la temporada utilizados para el cálculo de la CPUE.....	60
Figura 24	Estandarización de la CPUE de langostas retenidas (a) y No retenidas (b) en RC-SC. Temporadas 2006/07 a 2020/21.....	62
Figura 25	Estandarización de la CPUE de langostas retenidas (a) y No retenidas (b) en AS. Temporadas 2006/07 a 2020/21.....	63
Figura 26	Serie de tiempo mensual de talla media de las capturas retenidas y total de cangrejo dorado. Periodo noviembre 2012 a diciembre 2021. La línea gris horizontal discontinua indica la talla comercial adoptada voluntariamente (130 mm de AC) y la línea roja corresponde a la tendencia de la captura retenida.....	65
Figura 27	Captura por unidad de esfuerzo año 2021 de breca de Juan Fernández. a) Subsistema RC-SC; b) Subsistema AS.....	66
Figura 28	BPUE bacalao de Juan Fernandez en espineles verticales de breca. La línea discontinua indica el intervalo de confianza.....	66
Figura 29	Talla media (Longitud Total) de las capturas bacalao de Jual Fernandez entre 2013 y 2021. La línea discontinua indica el intervalo de confianza.....	67
Figura 30	Distribución de frecuencias (derecha) y gráfico de cajas (izquierda) del tamaño de embarcaciones de AJF. Información año 2021.....	67
Figura 31	Reconstrucción de desembarques y comparación con las estimaciones obtenidas desde el programa de monitoreo de la pesquería.....	70
Figura 32	Serie de tiempo de registros de esfuerzo total en número de trampas revisadas con captura retenida y no retenida por temporada de pesca en los subsistemas RC-SC y AS. El último registro corresponde a los tres primeros meses de la temporada 2021/22.....	70

Figura 33	Serie de tiempo de número de trampas revisadas por salida de pesca en las diferentes temporadas para los subsistemas RC-SC, AS e ID. El último registro corresponde a los tres primeros meses de la temporada 2021/22. ....	71
Figura 34	Serie de tiempo del número de salidas de pesca de langosta por temporada en los subsistemas RC-SC, AS e ID. El último registro corresponde a los tres primeros meses de la temporada 2021/22. ....	71
Figura 35	Serie de tiempo de la talla media de langostas retenidas por subsistema. Periodo 2008/09-inicios 2021/22. La línea discontinua negra indica la talla mínima legal (115 mm).....	76
Figura 36	Proporción de tallas de langosta de Juan Fernández por sexo (hembras a la izquierda y machos a la derecha) capturadas mensualmente a) Octubre; b) Noviembre; c) Diciembre; d) Enero; e) Febrero; f) Marzo, g) Abril y h) Mayo, durante las temporadas 2020/21 (negro) e inicios de la temporada 2021/22 (gris) en el subsistema RC-SC. La línea punteada indica la talla mínima legal de retención (115 mm de LC). ....	77
Figura 37	Proporción de tallas de langosta de Juan Fernández por sexo (hembras a la izquierda y machos a la derecha) capturadas mensualmente a) Octubre; b) Noviembre; c) Diciembre; d) Enero; e) Febrero; f) Marzo y g) Abril, durante las temporadas 2020/21 (negro) e inicios de la temporada 2021/22 (gris) en el subsistema AS. La línea punteada indica la talla mínima legal de retención (115 mm de LC). ....	78
Figura 38	Estructura de tallas de langosta del subsistema RC-SC temporadas 2011/2012, 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22. (a) Hembras Octubre- Diciembre; (b) Hembras Enero-Mayo; (c) Machos Octubre-Diciembre; (d) Machos Enero-Mayo. ....	79
Figura 39	Estructura de tallas de langosta del subsistema AS, temporadas 2011/2012, 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22 (a) Hembras Octubre- Diciembre; (b) Hembras Enero-Mayo; (c) Machos Octubre-Diciembre; (d) Machos Enero-Mayo. ....	80
Figura 40	Estructura de tallas de langosta del subsistema ID, temporadas 2016/17, 2017/18, 2019/20 y 2020/21 (a) Hembras y (b) Machos. ....	80
Figura 41	Descomposición modal de la estructura de tallas de las capturas de langosta en RC-SC. (a) Hembras temporada 2019/20; (b) Hembras temporada 2020/21; (c) Machos temporada 2019/20; (d) Machos temporada 2020/21. ....	81
Figura 42	Descomposición modal de la estructura de tallas de las capturas de langosta en el subsistema AS. (a) Hembras temporada 2019/20; (b) Hembras temporada 2020/21; (c) Machos temporada 2019/20; (d) Machos temporada 2020/21. ....	81
Figura 43	Proporción de portación a la talla mensual. (a) Subsistema RC-SC temporadas 2020/21 – 2021/22; (b) subsistema AS temporadas 2020/21 – 2021/22. ....	83
Figura 44	Ajuste de modelo LOESS (regresión local) a la proporción de portación a la talla mensual en el subsistema RC-SC temporada 2020/21 e inicios 2021/22. ....	84
Figura 45	Ajuste de modelo LOESS (regresión local) a la proporción de portación a la talla mensual en el subsistema AS temporada 2020/21 e inicios 2021/22. ....	84
Figura 46	Proporción de portación mensual obtenida de la modelación de la proporción de portación para RC-SC y AS. Periodo octubre 2018 hasta diciembre 2021. ....	85
Figura 47	Relación talla-peso de langostas exportadas, mantenidas en viveros en la región de Valparaíso. (a) Medidas en enero 2020; (b) relación talla-peso histórica (datos obtenidos durante varias temporadas de pesca), se indican los parámetros de la relación alométrica. ....	85

Figura 48	Frecuencia de distribución de tallas de cangrejo dorado del muestreo de las capturas en el subsistema RC-SC durante el período enero – diciembre 2021. ....	89
Figura 49	Proporción de tallas de la captura retenida y devuelta al mar (captura no retenida) de cangrejo dorado en el subsistema RC-SC. Período enero – diciembre 2021. ....	89
Figura 50	Relación talla-peso de cangrejo dorado por sexo. Registros tomados en laboratorio en la isla Robinson Crusoe durante el 2020. ....	90
Figura 51	Función de madurez sexual a la talla de hembras de breca de Juan Fernández. Ajuste del modelo 1 en rojo y modelo 2 en azul. ....	91
Figura 52	Composición de las capturas utilizando espinel vertical durante el año 2020 en RC-SC. ....	93
Figura 53	Fauna acompañante expresada según la frecuencia de ejemplares por grupo taxonómico mayor, capturados durante el año 2021 en la pesquería de langosta. a) Subsistema RC-SC; b) subsistema ID; c) subsistema AS. ....	95
Figura 54	Distribución espacial de abundancia de erizos en trampas de langosta, temporada 2020/21. Los círculos violetas corresponden a presencia de erizos en las trampas. El tamaño de los círculos es de acuerdo con la abundancia por trampa. Las líneas alrededor de las islas corresponden a la profundidad e indican intervalos de 50m, iniciando en el estrato de 0 – 50m (Registros desde el programa de monitoreo con muestreadores científicos a bordo). ....	95
Figura 55	Promedio de porcentaje de cobertura de organismos sésiles y sustrato registrados el año 2014 para la zona protegida (PR), la zona semiexpuesta (SE) y la zona expuesta (EX). En la imagen se observan los promedios obtenidos para ambas profundidades (10 m y 20 m). BR = Roca desnuda. ....	96
Figura 56	Promedio de porcentaje de cobertura de organismos sésiles y sustrato registrados el año 2017 para la zona protegida (PR), la zona semiexpuesta (SE) y la zona expuesta (EX). En la imagen se observan los promedios obtenidos para ambas profundidades (10 m y 20 m). ....	97
Figura 57	Promedio de porcentaje de cobertura de organismos sésiles y sustrato registrados durante la última expedición (año 2020) en los sitios de la zona protegida (RC18, RC19) y los sitios de la zona expuesta (RC26, RC27). En la imagen se observan los promedios obtenidos para ambas profundidades (10 m y 20 m). ....	99
Figura 58	Riqueza de invertebrados móviles presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades (10 m en azul claro, 20 m en azul oscuro). ....	100
Figura 59	Densidad de invertebrados móviles presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades (10 m en azul claro, 20 m en azul oscuro). Fotografías de las especies más abundantes: a) El erizo negro <i>Centrostephanus</i> sp. b) El pepino de mar <i>Mertensiothuria platei</i> . c) La almeja <i>Chama pellucida</i> . d) La estrella <i>Patiriella calcarata</i> . ....	101
Figura 60	Gráfico de cajas y bigotes con las abundancias de invertebrados para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha). ....	102
Figura 61	Abundancia de <i>Centrostephanus</i> sp. presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro). ....	105

Figura 62	Gráfico de cajas y bigotes con las abundancias de <i>Centrostephanus</i> sp. para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha).....	105
Figura 63	Riqueza de peces presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro). .....	106
Figura 64	Densidad de peces presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro). Fotografías de especies de peces de Robinson Crusoe: a) Vidriola <i>Seriola lalandi</i> sp. b) Pampanito <i>Scorpiis chilensis</i> . c) Corvina <i>Umbrina reedi</i> . d) Borrachilla <i>Scartichthys variolatus</i> . .....	107
Figura 65	Gráfico de cajas y bigotes con las abundancias de peces para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha).....	108
Figura 66	Biomasa de peces presentados en escala temporal según zona de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro). .....	111
Figura 67	Gráfico de cajas y bigotes con las biomásas de peces para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha).....	111
Figura 68	Porcentajes del Índice gonadosomáticos (promedio $\pm$ DE) mensual de <i>Centrostephanus</i> sp. obtenidos de individuos recolectados en Bahía Cumberland, isla Robinson Crusoe. ....	115
Figura 69	Fotografías de gónadas extraídas de <i>Centrostephanus</i> sp. obtenidas a partir de individuos recolectados en Bahía Cumberland, isla de Robinson Crusoe. ....	115
Figura 70	Porcentajes del Índice intestinal (promedio $\pm$ DE) mensual de <i>Centrostephanus</i> sp. obtenidos a partir de individuos recolectados en Bahía Cumberland, isla Robinson Crusoe.....	116
Figura 71	Proporción a la talla (LT) de las capturas de Breca por año calendario. (a) Subsistema RC-SC; (b) Subsistema AS. ....	118
Figura 72	Talla media (Longitud Total) de las capturas de las principales especies utilizadas como carnada entre los años 2012 y 2021. a) Morena (anguila); b) breca de Juan Fernández; c) jurel de Juan Fernández; d) vidriola .....	118
Figura 73	Series temporales de anomalías estacionales de SLP respecto a la climatología obtenida del período 1989-2018, para a) RC-SC, b) AS y c) ID. Las barras de color rojo intenso son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho y el año se coloca en el otoño. ....	120

- Figura 74 Series temporales de anomalías estacionales de la EKE respecto a la climatología obtenida del período 1989-2018, para a) RC-SC, b) AS y c) ID. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho y el año se coloca en el otoño. La línea gris es la posición de 0 para anomalía anual. ....122
- Figura 75 Series temporales desde 2003 a marzo/2022 de anomalías mensuales de número de remolinos con respecto a la climatología 1999-2018 alrededor de RC-SC, a) número total de remolinos, b) ciclónicos (CC) y c) remolinos anticiclónicos (AC), respectivamente. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho. ....125
- Figura 76 Series temporales desde 2003 a marzo/2022 de anomalías mensuales de número de remolinos con respecto a la climatología 1999-2018 alrededor de AS, a) número total de remolinos, b) ciclónicos (CC) y c) remolinos anticiclónicos (AC), respectivamente. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho. ....126
- Figura 77 Series temporales desde 2003 a marzo 2022 de anomalías mensuales de número de remolinos con respecto a la climatología 1999-2018 alrededor de ID, a) número total de remolinos, b) ciclónicos (CC) y c) remolinos anticiclónicos (AC), respectivamente. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el

	P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho. ....	127
Figura 78	Series temporales mensuales de los índices climáticos a) IOS, b) ITP, c) IPPS y d) iMAS. Las barras de color rojo intenso son anomalías positivas extremas y las barras azules intenso son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es el promedio anual cuya escala está en el eje derecho. ....	129
Figura 79	Series temporales desde 2003 a marzo 2022 de anomalías mensuales de SST con respecto a la climatología 2009-2018 alrededor de a) RC-SC, b) AS y c) ID. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho. ....	131
Figura 80	Diagramas temporales de salinidad durante el período enero/2020-marzo/2022 de los perfiles promedio de salinidad alrededor de RC-SC obtenidos del modelo CGLOPHY24 sumado a datos <i>in situ</i> . ....	133
Figura 81	Diagramas temporales de temperatura durante el período enero/2020-marzo/2022 de los perfiles promedio de temperatura alrededor de RC-SC obtenidos del modelo CGLOPHY24 sumado a datos <i>in situ</i> . ....	133
Figura 82	Serie promedio de temperatura basada en los datos presentados en la Fig. 20a (curva azul). Además, se incorpora la tendencia asociada a estos valores durante el período enero/2020-marzo/2022 (curva roja). ....	133
Figura 83	Remolinos anticiclónicos que han arribado a RC-SC entre enero/2022 y abril/2022, donde sus influencias sobre la columna de agua del sistema de islas han sido medidas por la nueva estación “Langosta I”. ....	134
Figura 84	Evolución temporal del remolino anticiclónico formado frente a Punta Lavapié a inicios de julio/2021 y graficado desde 15 de diciembre de 2021. La paleta de colores representa los niveles de salinidad en PSU a los 100m y las flechas negras corresponden a los flujos de velocidad a la misma profundidad a partir de las salidas del modelo CGLORYS24. ....	135

Figura 85	Salinidad anclaje entre el 14 de enero del 2022 y 6 de abril del 2022. a) 50 m, b) 80 m, y c) 110 m. La paleta de colores representa la profundidad del sensor debido al movimiento de las corrientes verticales.....	137
Figura 86	Temperatura anclaje entre el 14 de enero del 2022 y 6 de abril del 2022. a) 50 m, b) 80 m, y c) 110 m. La paleta de colores representa la profundidad del sensor debido al movimiento de las corrientes verticales. ....	138
Figura 87	Oxígeno y Temperatura obtenida por los sensores MiniDOT anclaje entre el 14 de enero del 2022 y 6 de abril del 2022. a) 50 m, b) 80 m, y c) 110 m.....	139
Figura 88	Series de tiempo de las anomalías mensuales de las variables a) Precipitación, b) Temperatura del Aire, c) Presión Atmosférica y d) Intensidad del viento, medidas por la estación meteorológica entre 2003 y 2021. La escala es el eje izquierdo y el rojo es anomalías positivas y azul anomalías negativas. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho y se coloca en el otoño de cada año. La línea gris es la posición de 0 para anomalía anual. ....	141
Figura 89	Gráficos de dispersión de rendimientos de langostas retenidas respecto de las variables ambientales: a) Temperatura superficial del mar (TSM), b) Temperatura de fondo (TFM, a 100 metros de profundidad), c) Oxígeno disuelto en superficie(O2M), d) Oxígeno disuelto en fondo (O2F, a 100 metros de profundidad), e) Clorofila (CHLA) y f) energía cinética (EKE). Línea roja representa ajuste de modelo lineal. ....	143
Figura 90	Gráficos de dispersión de rendimientos de langostas no retenidas respecto de las variables ambientales: a) Temperatura superficial del mar (TSM), b) Temperatura de fondo (TFM, a 100 metros de profundidad), c) Oxígeno disuelto en superficie(O2M), d) Oxígeno disuelto en fondo (O2F, a 100 metros de profundidad), e) Clorofila (CHLA) y f) energía cinética (EKE). Línea roja representa ajuste de modelo lineal. ....	144
Figura 91	Tasas de captura de langostas no retenidas para los subsistemas RC-SC y AS entre las temporadas 2010/11 y 2020/21, por mes. Las líneas corresponden a la tendencia de cada serie. ....	156

## ÍNDICE DE ANEXOS

---

- ANEXO I. Implementación del programa de seguimiento de las pesquerías de crustáceos de los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas.
- ANEXO II. Plan de actividades y Reporte de gestión 2021.
- ANEXO III. Identificación de especies marinas consideradas Fauna Acompañante de las pesquerías de crustáceos y especies ETP que se distribuyen en los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas.
- ANEXO IV. Descripción de índices ambientales analizados para el dominio de AJF.
- ANEXO V. Análisis ambientales anteriores y estructura climatológica.

## ACRÓNIMOS

---

Acrónimo	Definición
AC	Ancho cefalotorácico
AIC	Criterio de información de Akaike
AJF	Archipiélago Juan Fernández
AS	Subsistema isla Alejandro Selkirk
ASPS	Anticiclón subtropical del Pacífico sur
Chl a	Clorofila a
CPUE	Captura por unidad de esfuerzo
CTM	Control de tráfico marítimo
Df	Grados de libertad
EKE	Eddy Kinetic Energy
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
EOF	Funciones Ortogonales Empíricas
GLM	Modelo lineal generalizado
ID	Archipiélago Islas Desventuradas
IOS	Índice oscilación del sur
ITP	Índice Tripolo de la Oscilación interdecadal del Pacífico (OIP)
IPPS	Índice de Presión del Pacífico Sur
LC	Longitud cefalotorácica
MAS	Modo Anual del Sur
MLD	Profundidad de la capa de mezcla (Mixed Layer Deep)
MSC	Marine Stewardship Council
NaN	Not a Number
OIP	Oscilación interdecadal del Pacífico
PDO	Oscilación Decadal del Pacífico
RC-SC	Subsistema de islas Robinson Crusoe y Santa Clara
SLA	Anomalías del nivel del mar (Sea Level Anomaly)
SLP	Presión al nivel del mar
TSM	Temperatura superficial del mar
VK	Von Kármán
ZIP	Modelo Zero-inflated Poisson

## UNIDADES DE MEDIDA

---

Unidad	Descripción
hPa	hectoPascal
mm	Milímetros
pp	Promedio de precipitación
PSU	Unidades prácticas de salinidad

## PRESENTACIÓN DE AUTORES POR FUNCIÓN EN EL PROYECTO

---

Profesionales		
Nombre	Título Académico	Descripción
Billy Ernst	PhD. in Fisheries	Jefe de Proyecto, coordinación general, análisis de datos, modelación y redacción de informes. Participación Talleres.
Carolina Parada	PhD en Oceanografía	Análisis de variables ambientales y redacción de informes.
Julio Chamorro	Doctorado en Gestión de Empresa (c)	Coordinación en terreno del proyecto en el archipiélago Juan Fernández. Muestreos biológicos y monitoreo pesquero para la pesquería de langosta y cangrejo dorado en las islas Alejandro Selkirk y Robinson/Santa Clara. Participación Talleres.
Josefa Pino Aguilera	Bióloga Marina	Digitación de datos. Análisis, interpretación y discusión de resultados, redacción de informes.
Braulio Tapia	Biólogo Marino	Actividades de terreno y apoyo logístico.
Sebastian Cornejo	Geofísico	Análisis de series de tiempo de datos <i>in situ</i> y satelitales de variables ambientales. Protocolos de implementación de equipos.
Luis Miguel Pardo	PhD Biología	Análisis reproductivos de crustáceos, procesamiento de muestras.
Iván Hinojosa	PhD Ciencias Biológicas	Evaluación de población de erizos y análisis comunitario
Angelo Aguilar	MSc. en Pesquerías (estudiante)	Análisis del diseño de muestreo y aplicabilidad de los datos

Técnicos		
Nombre	Título /Labor	Descripción
Jennifer Angulo	Digitadora	Digitación de datos del monitoreo biológico y pesquero
Gricel Recabarren	Digitadora	Digitación de datos del monitoreo biológico y pesquero. Transcripción de DA.
Alessandra Contreras	Muestreadora Científica	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta, peces y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC.
José López Contreras	Muestreador Científico	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para la pesquería de langosta en AS y cangrejo dorado en RC-SC.
Hernan Retamales	Muestreador Científico	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta, peces y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC
Felipe Cárdenas	Muestreador Científico	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC.
Hector Melo Paredes	Muestreador Científico	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC.
Manuel Chamorro	Muestreador Científico	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC.
Fabiana Chamorro	Muestreadora Científica	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC.
Nicole Delgado Díaz	Muestreadora Científica	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC.
Felipe Moreno Reyes	Muestreador Científico	Muestreo biológico y monitoreo pesquero para las pesquerías de langosta y cangrejo dorado en el subsistema RC-SC.
Sebastian Baez	Obtención de muestras	Obtención de muestras biológicas de cangrejo dorado y peces en laboratorio, análisis de laboratorio.

# 1 OBJETIVOS

---

## 1.1 Objetivo general

Generar información de las pesquerías de crustáceos y peces del archipiélago de Juan Fernández, así como del ecosistema asociado, desarrolladas en el mar territorial chileno, con el propósito de poner a disposición de la Administración Pesquera, los indicadores y antecedentes para el manejo adecuado y oportuno de las pesquerías que aquí se desarrollan.

## 1.2 Objetivos específicos

1.2.1. Estimar indicadores operacionales y pesqueros asociados al desarrollo de las actividades extractivas de crustáceos y peces capturados en el archipiélago Juan Fernández, considerando variaciones espacio temporales de los mismos.

1.2.2. Determinar indicadores biológicos de las especies capturadas que den cuenta de la estructura del stock explotado en langosta de Juan Fernández, cangrejo dorado, breca de Juan Fernández, vidriola y bacalao de Juan Fernández.

1.2.3. Determinar la composición específica de las capturas en las operaciones de pesca dirigidas a langosta de Juan Fernández, cangrejo dorado y en operaciones de pesca dirigidas a peces.

1.2.4. Caracterizar la captura incidental (aves, mamíferos y reptiles), a través de la estimación de indicadores y el análisis de sus variaciones espacio-temporales.

1.2.5. Identificar y cuantificar la captura de especies utilizadas como carnada por las pesquerías de langosta y cangrejo dorado.

1.2.6. Explorar la relación entre los indicadores biológico pesquero y características ambientales del archipiélago de Juan Fernández e Islas Desventuradas.

1.2.7. Identificar los aspectos de mejora para el monitoreo costo-efectivo de las pesquerías que se desarrollan en el archipiélago de Juan Fernández e islas Desventuradas, así como del ecosistema.

## 2 ANTECEDENTES

---

### 2.1 Archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas

El archipiélago Juan Fernández es un conjunto de islas oceánicas (AJF; Arana, 1987) ubicado a 360 mn aproximadamente de la costa chilena, frente a Valparaíso. Está compuesto de tres islas, Robinson Crusoe, Santa Clara y Alejandro Selkirk, esta última ubicada a -90 mn más al oeste (Figura 1). Las características oceánicas y su alto grado de endemismo (Rozbaczylo & Castilla, 1987; Pequeño & Sáez, 2000) hacen de estas islas un ecosistema muy diferente respecto al de la costa de Chile continental. Por su peculiaridad biogeográfica e importancia geológica, en 1935 el Estado de Chile las declaró parque nacional. Posteriormente, en 1977 la UNESCO las declaró reserva mundial de la biósfera ([www.unesco.org](http://www.unesco.org)). En enero de 2018 el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS) aprobó la creación de un parque marino en el archipiélago Juan Fernández y la ampliación del AMCP-MU (Área marina costera protegida de múltiples usos).

Además, a unos 780 kilómetros al norte del archipiélago Juan Fernández y a poco más de 850 kilómetros al oeste de la costa chilena frente a Chañaral (Región de Atacama, Figura 1), se encuentra un conjunto de pequeñas islas que emergen del cordón montañoso de Nazca y componen el archipiélago de las Islas Desventuradas (ID), cuyas islas principales son San Félix y San Ambrosio (Bahamonde, 1987). Sus aguas circundantes muestran similitudes faunísticas y florísticas considerables entre sí y con las del archipiélago Juan Fernández, presentando los índices de endemismo de especies más altos registrados en el mar, con un 72% de especies exclusivas de estas islas. Para asegurar su protección, en marzo de 2016 se promulgó la Declaración de Parque Marino “Nazca-Desventuradas” (D.S. (MMA) N° 5/2016) con una superficie protegida de 300,035 km<sup>2</sup>, cuya publicación oficial se realizó en agosto del mismo año.

Históricamente, los recursos pesqueros aledaños a ambos sistemas insulares han sido extraídos por la comunidad fernandeziana. La población habita de forma permanente solo el poblado de San Juan Bautista, emplazado en bahía Cumberland en la isla Robinson Crusoe, albergando a 926 habitantes (53.9% hombres y 46.1% mujeres, Censo 2017), cuyo desarrollo económico se sustenta en gran medida en torno a la extracción de crustáceos. La actividad pesquera es exclusivamente artesanal (Pladeco 2009, Juan Fernández) y la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) es la especie principal. Sin embargo, en las últimas décadas la pesquería de cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) se ha presentado como alternativa para diversificar la actividad extractiva (Pladeco, 2015). Se extraen además algunas especies ícticas (e.g. breca, vidriola, bacalao) tanto para consumo humano directo, como para creación de artesanías y usos como carnada dentro del proceso de captura de crustáceos. El alto valor económico de la langosta y la falta de desarrollo de otros sectores, han determinado que el esfuerzo pesquero se concentre principalmente en la explotación de ambos crustáceos, aunque los niveles de extracción de las especies ícticas son también importantes (Ernst et al., 2010a; Ernst et al., 2011).

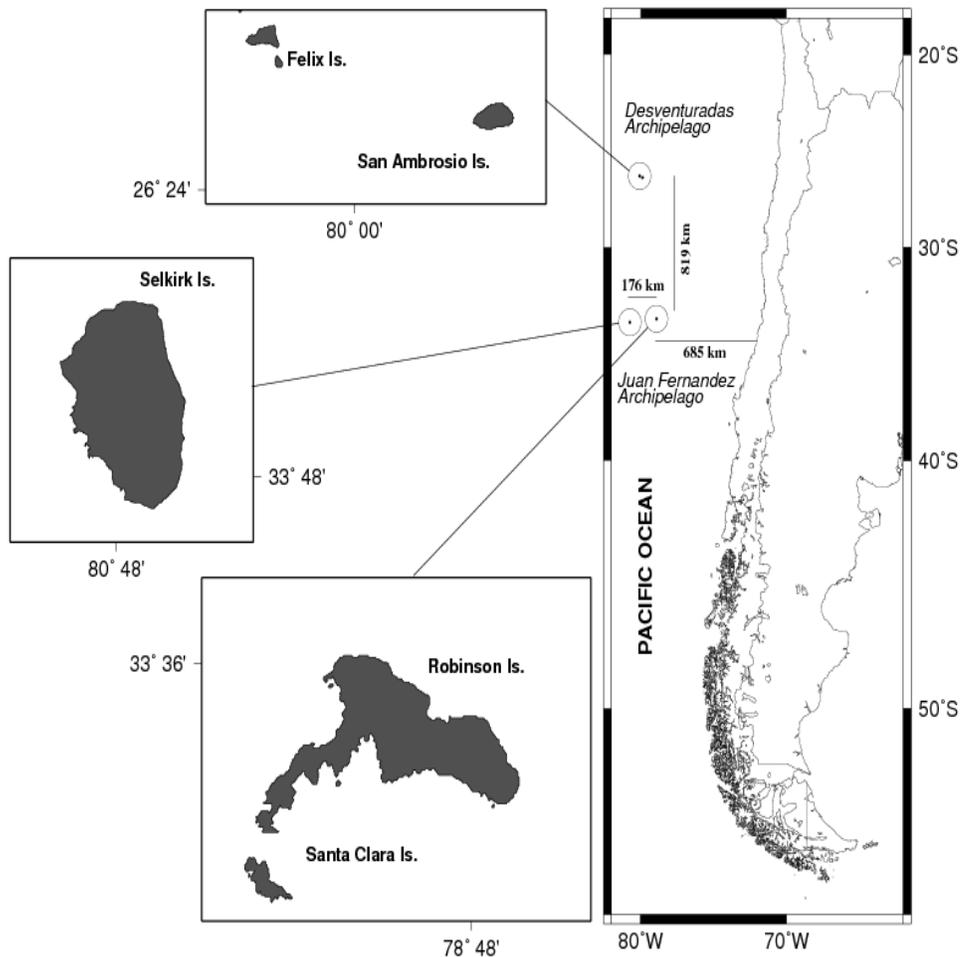


Figura 1 Ubicación geográfica de los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas.

## 2.2 Pesquería de langosta de Juan Fernández

La pesquería de langosta de Juan Fernández es una de las más antiguas pesquerías de crustáceos de Chile y cuenta con registros de captura desde los años 1930s (Yáñez *et al.*, 1985). Las faenas extractivas se han realizado históricamente en tres áreas de pesca, a saber: Robinson Crusoe-Santa Clara (RC-SC); Alejandro Selkirk (AS); y San Félix-San Ambrosio (ID). La flota pesquera principal, entre 37 a 45 embarcaciones, opera en el litoral de Robinson Crusoe – Santa Clara. En Alejandro Selkirk opera una fracción del total de pescadores, 14 embarcaciones dependiendo de la temporada de pesca, que se trasladan temporalmente a la isla. En el archipiélago Islas Desventuradas las actividades pesqueras son esporádicas y son efectuadas por un pequeño grupo de pescadores de Juan Fernández (2 a 8 embarcaciones desde 2010, *Com. Pers. Asesoría Productiva STIPA JF*, Ernst *et al.*, 2015) que se desplaza e instala por cortos períodos de tiempo en la isla San Ambrosio, regresando posteriormente a la isla Robinson Crusoe (ID; Arana 1987).

Ernst *et al.* (2010a), Ernst y Orensanz (en Arana *et al.*, 2006b) y Ernst *et al.* (2013) resaltan las siguientes características fundamentales de esta pesquería: (a) el tamaño de las embarcaciones se ha mantenido relativamente constante desde los años 1950s, pero en los últimos años han ocurrido varios reemplazos, que han introducido cambios importantes en la flota; (b) la fuerza de pesca expresada como número de botes se mantuvo constante en ambos subsistemas 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; Ernst *et al.*, 2013)**. Cada pescador posee un cierto número de Marcas, las cuales han sido adquiridas con un bote, heredadas o descubiertas. Esto determina que la pesca en cada una de estas islas se desarrolle de forma ordenada y organizada, característica fundamental de su manejo tradicional. 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.*, 2006b; Ernst *et al.*, 2010b). Su diseño exterior se ha mantenido constante por décadas, aunque 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 (Ernst *et al.*, 2010a). En las últimas temporadas algunos patrones han introducido anillos plásticos de escape a las trampas langosteras (Ernst *et al.*, 2013), sin embargo, su uso ha ido en disminución (Ernst *et al.*, 2018).

Respecto a las capturas y los rendimientos de pesca, han ocurrido algunos cambios notables en la década del 2000. 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; 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). Sin embargo, a partir del año 2005 se evidencia un repunte en los desembarques y en las tasas de captura, alcanzando niveles históricos reportados a comienzo de la década de los 1970s (Ernst *et al.*, 2013). Posteriormente se ha evidenciado, después del alza en la captura de comienzos de la década del 2010s, una fuerte disminución sistemática en las capturas no retenidas en RC-SC y AS.

### 2.3 Pesquería del cangrejo dorado

La pesquería de cangrejo dorado es una de las más recientes actividades desarrolladas en el archipiélago Juan Fernández. Su extracción con fines comerciales empieza después de los proyectos de pesca exploratoria realizados a mediados de los 1990s en AJF (Arana, 2000a; 2000b). Desde 1996 hasta la actualidad, esta pesquería ha sido desarrollada principalmente por 4 a 6 embarcaciones que han operado alrededor de la isla Robinson Crusoe. Si bien existe información anecdótica de presencia de cangrejo dorado en la isla Alejandro Selkirk y en Desventuradas, este no es extraído con propósitos comerciales.

La extracción de esta especie se realiza con aparejos similares a los utilizados para la extracción de langosta. Estos pueden ser dispuestos en forma individual o en tenas con un máximo de dos trampas por Marca (caladero). La actividad extractiva se realiza en zonas más alejadas de la costa,

encontrándose algunos caladeros fuera de las 5 millas náuticas de reserva para la pesca artesanal, donde el calado es realizado en profundidades que varían entre los 300 a 1000 m.

Los desembarques de esta pesquería destacan por una fuerte presencia de machos. La información biológica y pesquera de este recurso ha sido escasa, correspondiendo principalmente a trabajos realizados hace más de una década, al proyecto FIP 2004-48 (Arana *et al.*, 2006b), a los registros pesqueros de Sernapesca y al registro realizado a través de los programas de seguimiento de la pesquería. Así, los proyectos de monitoreo ejecutados desde 2011, han permitido actualizar los registros e indicadores pesqueros y obtener información biológica asociada a esta especie.

Existen acuerdos voluntarios provenientes de las empresas comercializadoras, que han aconsejado que los individuos tengan una talla mínima de desembarque (130 mm de ancho de cefalotórax), para un mejor rendimiento en la extracción de carne.

## 2.4 Pesquería de breca y otras especies ícticas

Existe una gran diversidad de especies ícticas presentes en las aguas de AJF (Pequeño & Sáez, 2000), y sólo algunas de ellas son extraídas para su comercialización, existiendo desembarques considerables de breca (*Nemadactylus gayi*), vidriola (*Seriola lalandi*), jurel de Juan Fernández (*Pseudocaranx chilensis*), morena (*Gymnotorax porphyreus*) y bacalao (*Polyprion oxygeneios*). La extracción de peces en los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas tienen dos fines principales, uno para consumo humano directo y otro como carnada asociada a la pesquería de langosta y/o cangrejo dorado. Este último destino está fuertemente determinado por la temporada de pesca, siguiendo principalmente la variabilidad en la demanda sujeta a la importante pesquería de langosta. Por ejemplo, la estimación de los volúmenes totales extraídos en la isla Alejandro Selkirk en una temporada alcanzan las 60 toneladas (Ernst *et al.*, 2010a). En este subsistema, la pesquería de especies ícticas estaría ocurriendo sólo entre octubre y mayo de cada año, mientras que en RC-SC, se extiende por todo el año, disminuyendo la demanda de peces durante la veda de la langosta (Ernst *et al.*, 2015). Particularmente, la breca de Juan Fernández es una de las especies ícticas más importantes del archipiélago Juan Fernández, sosteniendo la actividad pesquera durante la veda de la langosta.

De esta forma, la estimación rutinaria de las remociones de especies ícticas por la principal fuente de extracción (pesquería de carnada de crustáceos) es muy relevante para tener una noción del impacto antrópico sobre estas poblaciones y se ha estado desarrollando conforme se ejecutan los programas de seguimiento de las pesquerías de crustáceos.

## 2.5 Pescadores y sus organizaciones

Durante el inicio de la temporada 2019/20 estuvieron activas 59 embarcaciones, distribuidas 42 en Robinson Crusoe y 14 en Alejandro Selkirk y 3 en Desventuradas (Ernst *et al.*, 2020). Con el reemplazo de embarcaciones que empezó a experimentar fuertemente la flota de RC-SC después del tsunami 27F (2010), aumentó a 18 el número de embarcaciones inactivas. Adicionalmente, ha aumentado en el último año la flota de embarcaciones dedicadas a actividades de turismo, ya sea

buceo o pesca deportiva, existiendo al día de hoy una flota de nueve embarcaciones dedicadas al turismo, con permiso para capturar langostas, pero que ejercen un esfuerzo menor dentro del sistema, reunidos en la Agrupación gremial de turismo Robinson Crusoe.

La mayoría de los pescadores de Juan Fernández se encuentran agrupados en una de las tres organizaciones sociales de pescadores, existiendo una pequeña fracción que no se encuentra ligada a ninguna de ellas. Estas tres organizaciones son: (a) Sindicato de Trabajadores Independientes Pescadores Artesanales del archipiélago Juan Fernández (STIPA JF), gremio fundado en el año 1987, con 76 pescadores activos asociados en la actualidad (73 hombres, 3 mujeres), tanto de la isla Alejandro Selkirk como de Robinson Crusoe y Desventuradas; (b) Sindicato de Trabajadores Independientes Pescadores de la Isla Alejandro Selkirk (STIPIAS), fundado en el año 2008, con 28 pescadores activos de la isla Alejandro Selkirk; y (c) Agrupación de Pescadores y Dueños de Embarcaciones del archipiélago Juan Fernández (APDEAJF), agrupación creada en el año 2007 con 22 Pescadores asociados.

## 2.6 Regulación de las pesquerías

La pesquería de langosta ha sido manejada a través de un sistema dual con componentes formales e informales. Los componentes formales consisten principalmente en regulaciones aplicadas a **pesquerías de estrategia tipo “SSS” (sexo, talla y temporada, Kruse, 1993); para esta pesquería las regulaciones formales corresponden a:**

1. Talla mínima legal de 115 mm de longitud cefalotorácica medida desde la base de las antenas hasta el borde posterior del caparazón (D.S. (MIN FOM) N° 1584 de 1934).
2. Veda biológica que rige entre el 15 de mayo y el 30 de septiembre de cada año en todo el archipiélago Juan Fernández (D.S. (MINAGRI) N° 223 de 1963 y D.S. (MINECON) N° 311 de 2004). Este último decreto correspondiente a lo establecido para la pesquería en la isla Alejandro Selkirk.
3. Veda indefinida de hembras con huevos (D.S. (MIN FOM) N° 1584 de 1934).
4. Veda biológica que rige entre el 1° de junio y el 30 de septiembre de cada año, en las islas Desventuradas (D.S. (MINAGRI) N° 1241 de 1951).
5. Trampa como único arte de pesca permitido para capturar langosta en el archipiélago Juan Fernández e islas Desventuradas (Res. (SUBPESCA) N° 957 de 1992).
6. Suspensión transitoria de la inscripción en los registros pesqueros artesanales de la especie Langosta de Juan Fernández en la V Región e Islas Oceánicas (Res. Ex. (SUBPESCA) N° 3356 de 2004) ratificada hasta 2019 (Res. Ex. (SUBPESCA) N° 4011 de 2009; Res Ex. (SUBPESCA) N° 3557 de 2014).

La regulación informal corresponde a un sistema no escrito de tenencia de lugares discretos de pesca, que habría contribuido durante décadas a fijar un límite en el nivel de esfuerzo de pesca (Ernst *et al.*, 2010a; Ernst *et al.*, 2013). Cada pescador o familiar **de él puede “poseer” un cierto número de lugares de pesca, los cuales son conocidos como “marcas” e identificadas desde el agua** por hitos geográficos en tierra. En estos lugares son desplegadas de forma individual las trampas utilizadas en la captura de langosta. El uso y la transferencia de los derechos sobre estas marcas

es regulado por complejas pero claras reglas internas (Ernst *et al.*, 2010a; Ernst *et al.*, 2013; Steneck *et al.*, 2017).

La pesquería de cangrejo dorado es regulada formalmente a través de la suspensión de inscripción **desde 2015**, “*Suspende transitoriamente la inscripción en el Registro Artesanal de la pesquería de los recursos langosta de Juan Fernández y Cangrejo Dorado en la V Región e Islas Oceánicas*” (Res. Ex. N° 3757 de 2014). Existen también regulaciones de carácter informal propuestas por las empresas comercializadoras, quienes establecieron como medida comercial un tamaño mínimo de 130 mm de ancho cefalotorácico en el desembarque. Esta medida también se establece a fin de proteger a los machos inmaduros y prácticamente a la totalidad de las hembras, dado su menor tamaño relativo (Arana *et al.*, 2006a). La medida sugerida no se cumple a cabalidad y el tamaño de los individuos desembarcados responde a las demandas específicas del producto en cada viaje de pesca.

A excepción de la pesquería de Breca (Res. Ex. N°: DN - 00672/2021 (Sernapesca) *Establece procedimiento para la inscripción de la pesquería de la Breca de Juan Fernández, de conformidad a los requisitos establecidos por la Subsecretaría de pesca y acuicultura*), las pesquerías de peces no presentan regulaciones formales y los cambios en el esfuerzo sobre cada especie se ven fuertemente determinados por la estacionalidad de la pesquería de la langosta. Cabe destacar, que es a través de esta resolución en que indirectamente se han comenzado a adoptar medidas formales para las especies ícticas de Juan Fernández, con la especie breca como cabeza de serie. Los principales aparejos utilizados son, i) trampa para las morenas (*Gymnotorax porphyreus*), ii) línea de mano, y iii) espineles para el resto de las especies ícticas. Es importante señalar que la red de enmalle está prácticamente excluida de los aparejos isleños a voluntad de los propios pescadores. Recientemente algunos isleños han comenzado a desarrollar emprendimientos relacionados con la pesca deportiva, para lo cual se utilizan principalmente cañas deportivas de pesca.

Los desembarques de las pesquerías de ambos archipiélagos son asociados a la caleta Robinson Crusoe o caleta Selkirk, a través del registro obligatorio en el formulario de Desembarque artesanal (DA) de Sernapesca. La presencia permanente del Servicio no ha sido continua; la oficina se estableció en septiembre de 1988 hasta 1993 en la isla Robinson Crusoe con un funcionario a cargo; reiniciando actividades en 2007 y desde 2011 contando con 2 funcionarios establecidos únicamente en Robinson Crusoe. Los registros en AS por su parte eran enviados por barco al funcionario a cargo para autorizar la comercialización de langostas, más en el presente son subidos a través de internet del que disponen en AS. Estos desembarques son asociados a la caleta Alejandro Selkirk.

## 2.7 Programas de monitoreo

Desde el año 2011 la Subsecretaría de Pesca ha financiado proyectos de monitoreo de las principales pesquerías de Juan Fernández y desde 2014 el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) se ha hecho cargo de la continuidad del monitoreo a través del programa de seguimiento de las principales pesquerías nacionales. Con ello se ha podido recabar importante información biológica y pesquera de los recursos langosta de Juan Fernández, cangrejo dorado y especies ícticas (Ernst *et al.*, 2012; Ernst *et al.*, 2013; Ernst *et al.*, 2014, Ernst *et al.*, 2015, Ernst *et al.*, 2020). A partir del

año 2021, el programa ha sido financiado por el FIPA, fondo al que corresponde el presente proyecto.

Estos proyectos han sido implementados sobre un programa de monitoreo desarrollado desde la temporada de la langosta 2006/07, en el cual se trabajó muy cercanamente con la comunidad de pescadores del archipiélago (Ernst *et al.*, 2010b). Adicionalmente, durante las temporadas 1996/97 y 2005/06 se desarrollaron proyectos FIP en el subsistema RC-SC (Arana *et al.*, 1997; Arana *et al.*, 2006b) y 2008/09 en el subsistema AS (Ernst *et al.*, 2010b).

Entre los mandatos y obligaciones establecidas en la Ley General de Pesca y Acuicultura, se define el enfoque precautorio y ecosistémico como rectores de la gestión de las pesquerías, se fortalece el soporte técnico a las decisiones de manejo y se fomenta la participación de los usuarios en el **diseño del marco normativo. Dentro de esto último se faculta el establecimiento de “Planes de Manejo”, para lo cual se requiere disponer de información técnica validada, así como construir un diagnóstico y *status* de los recursos y las pesquerías involucradas.** En la actualidad se desarrolla de forma habitual el comité de manejo de las pesquerías de crustáceos y sus especies asociadas, archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas, compuesto por representantes de pescadores de los tres subsistemas además de representantes de plantas de proceso y de las instituciones nacionales (Subsecretaría de pesca y acuicultura, Sernapesca y Armada). Por tanto, la continuidad de los programas de monitoreo se presenta como una sólida herramienta de información técnica actualizada de las pesquerías.

## 2.8 Contexto pesquero en pandemia

Declarada la Pandemia de COVID-19, el decreto de cierre de frontera causó un fuerte impacto en la economía local de Juan Fernández durante la temporada 2019/20 debido a la acumulación de una gran cantidad de langostas que no podrían ser exportadas hacia el principal mercado donde se comercializan (China absorbe más del 80% de la producción) generando una caída drástica del precio unitario y la desaparición de los intermediarios. Ante este escenario la reacción de la comunidad pesquera se orientó hacia la búsqueda de nuevos mercados, otra logística de transporte y la generación de agrupaciones de pescadores para comercializar en bloque el producto. Esto conllevó la aparición de dos cooperativas de pescadores con mayor poder de negociación y ante la ausente demanda internacional el esfuerzo se volcó al mercado nacional, transportando las langostas por barco para su venta al detalle a precios más asequibles para consumidores. Esta acción permitió mantener los ingresos económicos de los pescadores del archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas durante la temporada 2019/20.

Iniciada la temporada 2020/21 el mercado nacional pudo absorber la oferta de langostas. Sumado a la apertura del mercado chino, aumentaron las ventas en el país asiático, por lo que se generó un aumento en los precios del mercado nacional.

## 3 METODOLOGÍA

---

### 3.1 Sistema de estudio

El presente estudio se desarrolló sobre las especies langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*), cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*), breca (*Nemadactylus gayi*), vidriola (*Seriola lalandi*) y bacalao de Juan Fernández (*Polyprion oxygeneios*), capturadas en torno a los archipiélagos Juan Fernández (AJF) e Islas Desventuradas (ID) (Figura 2).

La población humana habita de forma permanente el poblado de San Juan Bautista (isla Robinson Crusoe). Desde septiembre a mayo del año siguiente las principales actividades económicas de los habitantes se centran en la extracción de langosta.

Robinson Crusoe y Santa Clara son las islas oceánicas más costeras del AJF. El esfuerzo de pesca se ejerce en todo su alrededor, presentando sectores como la isla Santa Clara, en donde se concentra una fracción importante de la flota. Algunas de las embarcaciones que operan en esta zona presentan una dinámica de pesca diferente durante el régimen operacional normal, pasando incluso algunos días fuera de puerto, pernoctando las tripulaciones en las embarcaciones en lugares cercanos a la zona de pesca. Esto se realiza principalmente para reducir el costo operacional que significa el traslado de las embarcaciones hasta allí.

Alejandro Selkirk es la isla más oceánica del AJF (~ 176 km al Oeste de Robinson Crusoe). En ella opera una fracción importante de su flota pesquera. Cada año, hacia fines de septiembre, se desplaza una flota de aproximadamente 14 embarcaciones con sus tripulaciones y familias desde bahía Cumberland, a bordo de una embarcación de un armador particular, subsidiado por el Estado y que cada mes, desde octubre a mayo, está encargado de abastecer a esta población. Este asentamiento temporal llamado poblado Las Casas en rada La Colonia cuenta con casas e instalaciones habitacionales de los pescadores, casas de CONAF, una rampa para varar las embarcaciones y otras instalaciones para el funcionamiento de la caleta. Las malas condiciones del mar en torno a la caleta determinan que las embarcaciones requieran ser varadas después de cada jornada de pesca, a pesar de que en las últimas temporadas algunas embarcaciones han permanecido fondeadas frente al poblado. La posibilidad de que un muestreador científico se traslade al poblado es alta, requiriendo de su disposición a realizar el viaje, de diligenciar cupo para el traslado vía embarcación y de la gestión con CONAF para utilizar sus dependencias.

La pesquería en ID es esporádica y se desarrolla durante un tiempo variable dependiendo del interés de los pescadores y de la autorización de la Armada de Chile para el levantamiento de base en la isla San Ambrosio durante el inicio de cada temporada de pesca. Sus desembarques son asociados en las estadísticas de Sernapesca a caleta Robinson o Selkirk, sin embargo, no es identificada su procedencia, por lo que se mezclan con los rendimientos de RC-SC y AS. La factibilidad de contar con un muestreador científico en ID es difícil debido a la complejidad logística (cuenta con instalaciones precarias y una conectividad muy remota con el continente y/o el archipiélago Juan Fernández) y requiere del apoyo de los pescadores y la autorización de la Armada.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se considera necesario mantener un sistema de monitoreo que comprenda muestreos biológicos con muestreadores científicos a bordo de embarcaciones durante la actividad normal de pesca en cada subsistema, el uso de bitácoras de pesca por parte de los pescadores, el levantamiento de información del ambiente, que permita identificar indicadores ambientales relevantes para la dinámica poblacional de los recursos y sus pesquerías y la realización de talleres según se requiera.

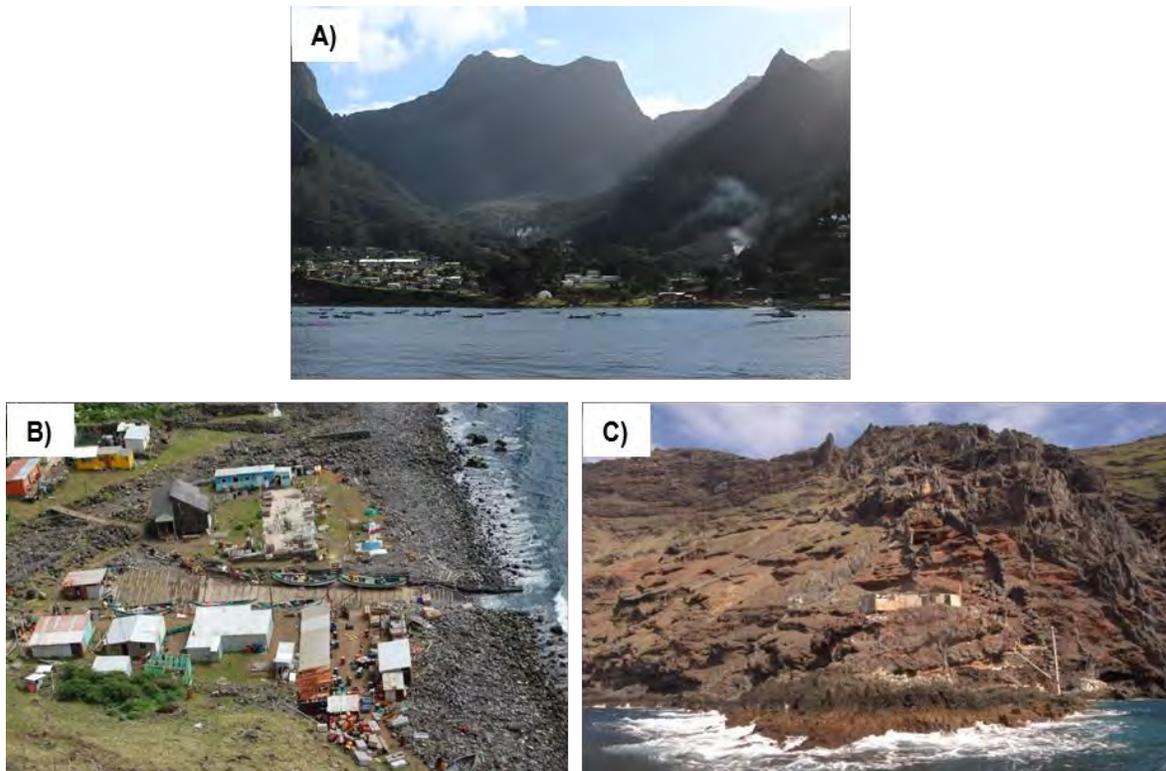


Figura 2 Fotografías del sistema de estudio. A) Bahía Cumberland, subsistema RC-SC. B) “Las Casas”, subsistema AS. C) Sector “La Potala”, subsistema ID.

### 3.1.1 Consideraciones espaciales

El programa de seguimiento biológico-pesquero se ha mantenido con las consideraciones espaciales desarrolladas en proyectos anteriores, es decir con una resolución espacial a nivel de subsistema, islas Robinson Crusoe-Santa Clara (RC-SC), isla Alejandro Selkirk (AS) e Islas Desventuradas (ID).

Los subsistemas han sido divididos en zonas al interior de cada uno, considerando 11 zonas en RC-SC, 6 en AS (Figura 3) y 3 en ID. Las zonas determinadas para ID corresponden a los caladeros cercanos a la isla San Félix, otra zona entre las dos islas (aproximadamente 12 millas de separación) y una tercera alrededor de la isla San Ambrosio. Históricamente los indicadores pesqueros han sido

analizados por subsistemas (e.g. CPUE) y las zonas han sido utilizadas en la estandarización de la CPUE (Ernst *et al.*, 2013).

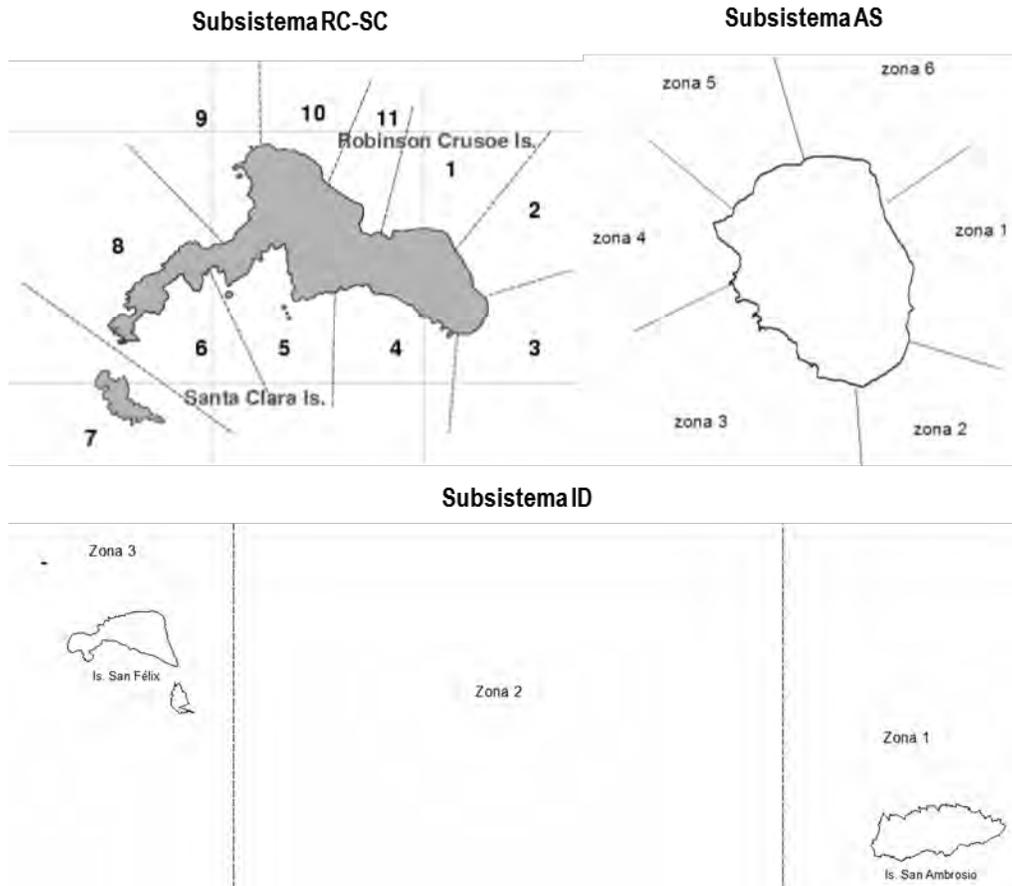


Figura 3 Indicación de la división en zonas estadísticas utilizadas en proyectos anteriores. Arriba subsistemas RC-SC (izquierda) y AS (derecha), abajo subsistema ID.

### 3.2 Programas de monitoreo

La continuidad del monitoreo biológico y pesquero de langosta se mantuvo desde octubre de 2020, tanto en AS como RC-SC, finalizando en mayo de 2021. Las actividades fueron retomadas al inicio de la temporada de pesca 2021/22. En tanto la investigación sobre la especie cangrejo dorado se mantuvo desde enero de 2022 en el subsistema RC-SC, ya que es únicamente allí donde opera su flota.

El monitoreo asociado a la pesquería de breca se desarrolló en los 3 subsistemas acoplado al levantamiento de información de las salidas de pesca de langosta. La información sobre aspectos reproductivos (e.g. talla de primera madurez) se recopiló solo para el subsistema RC-SC, debido a

la complejidad que involucra este muestreo. Mediante un muestreo dirigido se obtuvo y preservó una gran cantidad de gónadas de breca en el período mayo – septiembre 2020, en los que se realizaron cortes histológicos para analizar según estándar de estado de maduración de gonadas (Rivara, 2013).

Por su parte, el monitoreo de las especies ícticas se realizó sobre las especies utilizadas principalmente como carnada en las pesquerías de crustáceos. Durante el período de veda de langosta se muestrearon salidas de pesca de peces (como vidriola, breca, bacalao, incluyendo pulpo) en RC-SC. Generalmente la flota de AS retorna a la Bahía Cumberland hasta el inicio de la temporada, pero durante el invierno de 2020 permaneció en AS, principalmente por justificaciones sanitarias asociadas a la pandemia. Los pescadores que las últimas tres temporadas habían solicitado pescar en ID, durante la temporada 2018/19 no lo hicieron y este esfuerzo de pesca se incorporó a RC-SC, retornando a San Ambrosio solo 3 embarcaciones durante las temporadas 2019/20, 2020/21 y 2021/22. En el ANEXO I se encuentra detallado el Programa de monitoreo.

### 3.2.1 Control de tráfico marítimo

El control de tráfico marítimo es un registro actualizado de los zarpes y recaladas requeridos por la autoridad marítima a la tripulación de las embarcaciones con fines principales de seguridad en el mar. En el sistema de estudio, esta información es recopilada diariamente por la Capitanía de Puerto de Juan Fernández, para las islas Robinson Crusoe y Santa Clara, por el alcalde de mar en la isla Alejandro Selkirk y desde la temporada 2015/16, por el alcalde de mar en Islas Desventuradas. Además, los muestreadores en los subsistemas AS e ID generan una bitácora de salidas diarias de cada embarcación.

Durante el desarrollo de este proyecto se obtuvo regularmente el control de tráfico marítimo completo de las embarcaciones que tienen actividad pesquera en Juan Fernández. En la actualidad el control de zarpes en RC-SC que informa la Capitanía de Puerto de Juan Fernández está disponible solo en archivos digitales, permitiendo minimizar posibles errores de digitación. Esta información ha sido cruzada con datos de zonas de pesca y duración del viaje, para determinar la actividad de cada embarcación de la flota (pesca de peces, langostas y cangrejos; ANEXO I). Desde finales de mayo de 2017, como acuerdo del comité de manejo de las pesquerías de crustáceos de AJF e ID, se implementa en RC-SC la exigencia de informar la especie objetivo del zarpe de todas las embarcaciones. Esta información se ha ido incorporando desde octubre de 2017 en los subsistemas AS e ID a través de los alcaldes de mar, aunque no de forma continua, por lo que el muestreador científico complementa esta información con sus registros diarios. La información ha sido cotejada con la proveniente de Sernapesca, respecto de todas las actividades por caleta. Así, este registro permite obtener el número efectivo de salidas de pesca de toda la flota (esfuerzo total expresado como viajes de pesca; Tabla 1) y el número de embarcaciones operando (Tabla 2). Con esta información se accede a expandir las estimaciones de capturas de las embarcaciones participantes en el programa de monitoreo a la captura de toda la flota.

Tabla 1  
Control de tráfico marítimo. Número total de viajes destinados a la langosta y cangrejo por subsistema.  
Periodo octubre 2020 – diciembre 2021\*.

Subsistema	Especie	Año 2020						Año 2021								
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RC-SC	Langosta	341	247	317	285	276	320	241	108					289	280	232
	Cangrejo				5	5	9	7	11	4	4	1	1	2	7	8
	Peces															
AS	Langosta	52	110	128	100	97	135	92	13					166	131	93
	Peces															
ID	Langosta	0	24	34	47	61	26	8	0					30	22	24

\*No se reportan las salidas de cangrejo durante el año 2020, pues la temporada es anual y estos registros no fueron utilizados en el presente reporte. En cambio, para dar continuidad a la temporada 2020/21 de langosta, se reporta el período oct – dic de 2020.

Tabla 2  
Número de embarcaciones operando en la pesquería de langosta por subsistema. Temporada 2020/21 e inicios 2021/22.

Subsistema	Temporada 2020/21						Temporada 2021/22				
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
RC-SC	36	38	36	36	34	35	34	29	38	37	37
AS	10	11	11	11	12	12	11	10	13	13	13
ID	0	2	2	2	3	3	1	0	2	2	2

### 3.2.2 Monitoreo pesquero

El registro de capturas en las bitácoras de pesca es información vital, por lo que se requiere contar con el compromiso y confianza de los pescadores. El programa de monitoreo pesquero involucra el registro de la información de las capturas por salida de pesca y trampa levantada, a través de bitácoras completadas por los pescadores a bordo de las embarcaciones. La información básica registrada consiste en: (a) número de embarcación, (b) fecha de embarque, (c) recurso objetivo, (d) peso y tipo de carnadas utilizadas en el viaje de pesca, (e) número de trampas totales en el agua, (f) número de ejemplares retenidos y no retenidos capturados por trampa, (g) existencia de ventana de escape en la trampa (si o no), (i) sector donde se encuentra la trampa y (j) observaciones. La bitácora para el subsistema AS adicionalmente incluye un campo donde registrar el número de la marca (Tag) recuperada y talla de la langosta marcada (continuidad del Programa de marcaje y recaptura de las temporadas 2008/09 y 2011/12). En la Tabla 3 se indica el número de viajes registrados por los pescadores durante la temporada de langosta 2020/21 e inicios de 2021/22 y su cobertura respecto al CTM.

En la isla Alejandro Selkirk ha existido una reducción importante en el número de registros aportados por los pescadores, situación que se venía repitiendo por varias temporadas. Sin embargo, un nuevo compromiso con los pescadores y la comunicación más expedita fue permitiendo contar con más información.

Tabla 3  
Cobertura mensual de viajes de pesca de langosta registrados en las bitácoras de pescadores en cada subsistema. Temporada 2020/21 e inicios 2021/22.

Subsistema	Item	Temporada 2020/21								Temporada 2021/22		
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
RC-SC	N° de viajes	154	126	113	91	89	99	67	46	187	113	95
	N° de embarcaciones	28	27	22	21	20	22	20	16	33	23	22
	N° Total de viajes (CTM)	341	247	317	285	276	320	241	108	289	280	232
	% Cobertura viajes	0.45	0.51	0.36	0.32	0.32	0.31	0.28	0.43	0.65	0.40	0.41
AS	N° de viajes	31	61	48	43	44	42	26	0	61	49	40
	N° de embarcaciones	10	9	9	11	11	11	9	0	12	12	10
	N° Total de viajes (CTM)	52	110	128	100	97	135	92	13	166	131	93
	% Cobertura viajes	0.60	0.55	0.38	0.43	0.45	0.31	0.28	0.00	0.37	0.37	0.43
ID	N° de viajes	0	6	12	7	28	19	8	0	30	22	24
	N° de embarcaciones	0	2	2	2	3	3	1	1	2	2	2
	N° Total de viajes (CTM)	0	24	34	47	61	26	8	0	30	22	24
	% Cobertura viajes	-	0.25	0.35	0.15	0.46	0.73	1.00		1.00	1.00	1.00

### 3.2.3 Monitoreo con muestreador científico

Las mediciones biológico/pesqueras de cangrejo, langosta y peces fueron realizadas por los muestreadores científicos a bordo de las embarcaciones artesanales durante faenas normales de pesca. La duración de los viajes de pesca de cangrejo y langosta son normalmente mayores que aquellos destinados únicamente a la captura de peces, siendo los de langosta los más extensos.

En los subsistemas AS e ID se contó con un (1) muestreador científico para desarrollar las actividades de muestreo biológico durante el período de estudio (temporada 2020/21 e inicios 2021/22). En RC-SC, en cambio, se requirió de por lo menos 3 muestreadores (mayor número de botes operando en RC-SC). Los muestreadores fueron rotando en las distintas embarcaciones (en cada subsistema), para cubrir distintas zonas y embarcaciones participantes en el programa.

Una vez a bordo de la embarcación, los muestreadores científicos registraron la información biológica por trampa levantada, muestreando toda la captura de las trampas revisadas. Solo al terminar de muestrear una trampa pasaron a la siguiente. Adicionalmente registraron la información del número de langostas retenidas y no retenidas de todas las trampas levantadas en cada viaje. Las actividades se ciñen al protocolo de muestreo que se ha establecido desde temporadas anteriores. La talla de langosta corresponde a la longitud cefalotoracia (LC) desde la base de las antenas hasta el final del cefalotórax; la talla de cangrejo dorado se mide considerando el ancho cefalotorácico (AC) que corresponde a la distancia máxima entre las 5ta espinas laterales y en peces se registra la longitud total (LT) y en aquellos cuya aleta caudal es furcada también se mide la longitud horquilla (LH). En la Tabla 4 se indica el número de salidas de pesca realizadas por muestreadores científicos durante el periodo enero-diciembre de 2021 sobre salidas de cangrejo y considera información de la totalidad de la temporada de langosta 2020/21 (octubre/2020 – mayo/2021) e inicios de la temporada 2021/22.

En la Tabla 5 se muestra la cobertura del programa de monitoreos biológico, en RC-SC la cobertura de salidas de pesca fue igual o superior al 10% y en AS se mantuvo cercano al 10% aumentando al

doble al inicio de la temporada 2021/22. En cuanto a las salidas de cangrejo, la cobertura del programa de monitoreo es considerablemente mayor, dado el menor esfuerzo de pesca realizado en esta pesquería. El muestreo dirigido específicamente a salidas de pesca de peces se realizó durante la veda de langosta. En las Tabla 6 y Tabla 7 se indican los tamaños muestrales alcanzados como número de individuos registrados por sexo en la pesquería de langosta y cangrejo respectivamente.

Tabla 4  
Número de salidas de pesca realizadas con muestreador científico a bordo de las embarcaciones, por subsistema y recurso. Periodo octubre 2020 - diciembre 2021\*.

Objetivo	Subsistema	Año 2020			Año 2021												
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Langosta	RC-SC	46	28	37	41	33	40	30	4						30	37	47
	AS	7	10	10	12	9	13	11							14	12	9
	ID		6	12	7	12											
Cangrejo	RC-SC				3	1		4	2	1	1	1	1				1

\*No se reportan las salidas de peces y cangrejo durante el año 2020, pues la temporada es anual y estos registros no fueron utilizados en el presente reporte. En cambio, para dar continuidad a la temporada 2020/21 de langosta, se reporta el período oct – dic de 2020.

Tabla 5  
Cobertura del monitoreo biológico de las pesquerías de crustáceos en cada subsistema sobre el número total de salidas de pesca. Año 2021\*.

Objetivo	Subsistema	Año 2020			Año 2021											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Langosta	RC-SC	0.13	0.11	0.12	0.14	0.12	0.13	0.12	0.04	-	-	-	-	0.10	0.13	0.20
	AS	0.13	0.09	0.08	0.12	0.09	0.10	0.12	-	-	-	-	-	0.23	0.24	0.23
	ID		0.25	0.35	0.15	0.20	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0	0	0
Cangrejo	RC-SC				0.60	0.20	0.00	0.57	0.18	0.25	0.25	1.00	1.00	0.00	0.00	0.13

\*No se reportan las salidas de peces y cangrejo durante el año 2020, pues la temporada es anual y estos registros no fueron utilizados en el presente reporte. En cambio, para dar continuidad a la temporada 20/21 de langosta, se reporta el período oct – dic de 2020.

Tabla 6  
Tamaños muestrales de capturas de langostas por sexo y subsistema según registros de muestreadores científicos. Temporada 2020/21 e inicios 2021/22. F: hembras, M: Machos, O: Ovigeras.

Subsistema	Sexo	Temporada 2020/21			Temporada 2021/22								
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	
RC-SC	F	717	576	825	1755	2639	2426	1580	1774	252	649	1084	
	M	1937	961	966	1434	1538	1136	998	959	760	1186	1493	
	O	449	196	189	156	60	11	4	8	179	221	263	
	Total	3103	1733	1980	3345	4237	3573	2582	2741	1191	2056	2840	
AS	F	777	1749	2463	5226	5017	6936	3983		2730	3027	2408	
	M	354	1477	1496	1394	565	885	820		748	742	419	
	O	217	348	269	234	207	130	152		921	587	190	
	Total	1348	3574	4228	6854	5789	7951	4955		4399	4356	3017	
ID	F		540	992	711	2075	-	-	-	-	-	-	
	M		1137	1031	920	1763	-	-	-	-	-	-	
	O		210	97	33	63	-	-	-	-	-	-	
	Total	0	1887	2120	1664	3901	-	-	-	-	-	-	

Tabla 7  
Tamaños muestrales de capturas de cangrejo dorado por sexo y subsistema según registros de muestreadores científicos. Año 2021.

Sexo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Hembras	13	0		12	2	2	1	0	2			0
Machos	0	47		416	232	464	49	327	163			522
Ovigeras	1	0		0	0	0	0	0	0			0
Total	14	47		428	234	466	50	327	165	0	0	522

### 3.3 Objetivo 1

*Estimar indicadores operacionales y pesqueros asociados al desarrollo de actividades extractivas de crustáceos y peces capturados en el archipiélago Juan Fernández, considerando variaciones espacio-temporales.*

#### Indicadores pesqueros

Se mantuvo un seguimiento continuo de la flota operativa en cada subsistema y las especies objetivo desembarcadas por caleta, cruzando la información solicitada a Capitanía de Puerto, las bases de datos del monitoreo biológico y pesquero y los registros entregados por Sernapesca (oficina Robinson Crusoe).

#### Diseño de muestreo

En el presente programa, el diseño de muestreo consideró un enfoque tri-etápico, donde la unidad primaria es el bote que participa de la pesquería, la unidad secundaria corresponde al viaje o día de pesca y la unidad terciaria es el aparejo levantado (e.g. trampa, espinel). A pesar de que la data se obtiene por área estadística, los estadísticos principales se calculan considerando una estratificación temporal (meses) y espacial (subsistema). Bajo este esquema de trabajo el número de langostas en una trampa ( $y$ ) puede ser descrito en función de las desviaciones respecto del número medio de langostas por trampa en cada etapa (Cochran, 1977).

$$y = \mu + e_l + e_d + e_p$$

Ecuación 1

donde  $\mu$  es el número total de langosta por trampa levantada en la pesquería,  $e_l$  representa la diferencia de la captura media por bote ( $l$ ) y la media total ( $\mu$ ),  $e_d$  es la diferencia entre la captura media del viaje ( $d$ ) y la media por bote, y  $e_p$  representa la desviación entre trampas ( $p$ , dada una salida y bote). Por otra parte, la varianza del número promedio de langostas por trampa ( $\bar{\bar{y}}$ ) se expresa a través de:

$$\text{Var}(\bar{\bar{y}}) = (1 - f_1) \frac{\sigma_L^2}{n} + (1 - f_2) \frac{\sigma_D^2}{nm} + (1 - f_3) \frac{\sigma_P^2}{nmk}$$

Ecuación 2

donde  $\sigma_L^2$ ,  $\sigma_D^2$  y  $\sigma_P^2$  son los componentes de varianza del bote, la salida y la trampa respectivamente.

El estimador del número promedio de langostas por trampa para la pesquería (en los estratos espaciales y temporales) se expresa como:

$$\bar{\bar{y}} = \frac{\sum_{l=1}^n K_l \bar{\bar{y}}_l}{\sum_{l=1}^n K_l}$$

Ecuación 3

donde,  $\bar{\bar{y}}_l$  es el número promedio de langostas por trampa del bote ( $l$ ) durante la temporada y se obtiene por:

$$\bar{\bar{y}}_l = \frac{\sum_{d=1}^{m_l} K_{l,d} \bar{y}_{l,d}}{\sum_{d=1}^{m_l} K_{l,d}}$$

Ecuación 4

donde,  $\bar{y}_{l,d}$  es el número de langostas capturadas por trampa del bote ( $l$ ) en el día de pesca ( $d$ ) y se estima por:

$$\bar{y}_{l,d} = \frac{\sum_{p=1}^{k_{l,d}} y_{l,d,p}}{k_{l,d}}$$

donde,

$y_{l,d,p}$ : Número de langostas del bote  $l$  en la trampa  $p$  en el día  $d$  (con registro de información).

$k_{l,d}$ : Número de trampas con registro de información en el bote  $l$  en el día  $d$ .

$K_{l,d}$ : Número de trampas levantadas por el bote  $l$  en el día  $d$ .

$K_l$ : Número total de trampas caladas por el bote  $l$  durante la temporada.

$m_l$ : Número de días en que el bote  $l$  registró información.

$n$ : Número total de embarcaciones que participaron en el programa de levantamiento de información.

De esta forma, el número total de langostas capturadas  $\hat{y}_{tot}$  es:

$$\hat{y}_{tot} = K_{tot} \bar{\bar{y}}$$

Ecuación 5

$K_{tot}$ : Número total de trampas levantadas por la pesquería durante esa temporada.

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{y}_{\text{tot}}) &= \frac{N^2}{n} (1 - f_1) \sum_{l=1}^n \frac{K_l^2 (\bar{y}_l - \bar{\bar{y}})^2}{n-1} \\ &+ \frac{N}{n} \sum_{l=1}^n \frac{K_l^2 (1 - f_{2,l}) s_{2,l}^2}{m_l} \\ &+ \frac{N}{n} \sum_{l=1}^n \frac{K_l^2 f_{2,l}}{m_l^2} \sum_{d=1}^{k_{l,d}} \frac{(K_{l,d} / \bar{K}_l)^2 (1 - f_{3,l,d}) s_{3,l,d}^2}{k_{l,d}} \end{aligned}$$

Ecuación 6

Donde las varianzas muestrales de las unidades secundarias y terciarias son (Mcgarvey & Pennington 2001):

$$\begin{aligned} s_{2,l}^2 &= \sum_{d=1}^{m_l} \frac{(K_{l,d} / \bar{K}_l)^2 (\bar{y}_{l,d} - \bar{\bar{y}})^2}{m_l - 1} \\ s_{3,l,d}^2 &= \sum_{p=1}^{k_{l,d}} \frac{(y_{l,d,p} - \bar{y}_{l,d})^2}{k_{l,d} - 1} \end{aligned}$$

Ecuación 7

$f_1$ : Proporción de botes colectando datos

$f_{2,l}$ : Proporción de días colectando datos por el bote  $l$

$f_{3,l,d}$ : Proporción de trampas revisada por el bote  $l$  el día  $d$

### 3.3.1 Langosta de Juan Fernández

En el presente proyecto, al igual que en proyectos anteriores de monitoreo de la langosta, la captura por unidad se esfuerzo se obtuvo desde el programa de seguimiento de la pesquería, a través de bitácoras de pesca. La unidad básica de esfuerzo corresponde a la trampa levantada. Los resultados son presentados para la totalidad de la temporada 2020/21 e inicios de la temporada 2021/22.

Se contó con la participación de una fracción importante de la flota, mediante la cual se ha levantado información sobre captura, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo por zona y subsistema, desde un punto de vista espacial. La subdivisión espacial responde a la forma en que tradicionalmente operan las embarcaciones en torno a los subsistemas RC-SC y AS y al menor número de embarcaciones en ID.

Desde un punto de vista temporal se colectó información por salida, pero se analizó con una resolución mensual (estrato temporal). Se implementó un GLM para los subsistemas RC-SC y AS, que permitió evaluar el efecto temporal (estacional y anual), espacial (zonas) y operacional.

a) *Estimación de esfuerzo total*

La estimación del esfuerzo expresado como viajes de pesca por subsistema provino del control de tráfico marítimo. Este es reportado por mes de acuerdo con la extensión del proyecto. Mientras que el esfuerzo expresado como número de trampas levantadas en la temporada fue expandido a partir del número promedio de trampas levantadas por viaje de los botes que participaron en el programa de bitácoras de pesca y el número total de viajes del control de tráfico marítimo.

b) *Estimación de captura total retenida*

La estimación de la captura total retenida por mes y subsistema se obtuvo a partir de los estimadores expuestos en la sección Diseño de muestreo. Esta información se obtuvo de las embarcaciones que participaron en el programa de bitácoras de pesca, para la parte muestral y el control de tráfico marítimo para lo censal.

Para expresar la captura total en número, en unidades de biomasa se multiplicaron las estimaciones de número total de langostas por el peso promedio (derivado de la talla media de los estratos temporal y espacial y la relación talla-peso disponible para la langosta). Ambos elementos aportan varianza, por lo que se utilizó el método Delta (Seber, 1982) para calcular la varianza del producto de dos variables aleatorias. Las fuentes de varianza son la estimación global de captura en número, la talla media, y ambos parámetros de la relación talla-peso.

c) *Estandarización de la CPUE*

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) puede ser un índice adecuado para evaluar los cambios en abundancia que experimenta una población (Bataille & Quinn, 2004), además puede constituir un buen indicador de la abundancia relativa bajo ciertos supuestos (Gulland, 1964; Large, 1992; Ruarte & Perrotta, 2007).

Este programa permitió obtener estimaciones nominales de CPUE por mes expresadas como número de langostas por viaje y número de langostas por trampa levantada.

Los índices de abundancia relativa basados en CPUE pueden ser mejorados mediante estandarización (Maunder & Punt, 2004; Ortiz & Arocha, 2004), con el objeto de remover el impacto de factores externos. En el caso particular de la pesquería de langosta, cambios espaciales en la distribución del esfuerzo se ven mermados por el ordenamiento interno en el manejo pesquero referido a los lugares de pesca asociados a cada pescador/bote. Por otro lado, desde el año 2004 con el cierre temporal de registro de nuevas embarcaciones, se ha contenido la incorporación de nuevos actores a la pesquería. Adicionalmente, los mínimos avances tecnológicos que ha experimentado el aparejo de pesca en los últimos 30 años refuerzan la idea de que la CPUE para la langosta de Juan Fernández puede constituir un buen estimador de la abundancia relativa.

Diversos autores reconocen la necesidad de estandarizar los índices derivados de la captura, y la opción utilizada con más frecuencia es mediante la implementación de modelos lineales generalizados (Punt *et al.*, 2000), dado que ellos permiten integrar en forma simple los diferentes factores e interacciones que influyen sobre la variación de la captura por unidad de esfuerzo (Hernández & Perrotta, 2006). Para el caso de esta pesquería la estadística de captura por unidad de esfuerzo fue **calculada considerando el índice “trampas levantadas” como** unidad de esfuerzo,

registrando además factores como bote, zona de pesca y fecha de operación. Adicionalmente se consideró un segundo índice de esfuerzo, expresado como "viaje de pesca".

De esta forma, para conocer el nivel de relación entre los factores que principalmente afectarían la CPUE, se implementó un modelo lineal generalizado (GLM) donde se consideraron las variables categóricas: a) espacial (zona de pesca) y b) operacional (bote), y las variables temporales a) temporada y b) mes. Debido a que el número de ejemplares por trampa es una variable aleatoria correspondiente a un conteo, la distribución de probabilidades utilizada es del tipo *Poisson*, siendo  $x$  la variable aleatoria que registra el número de individuos (langostas) por trampa, entonces se tiene que:

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

Ecuación 8

donde  $\lambda$  es el número esperado de ejemplares (langostas). En el modelo general que incluye todos los factores, se espera que el número de individuos sea determinado por la zona, el mes, el bote y la temporada de pesca:

$$\log(\lambda) = \log(1) + \beta_0 + \beta_1 u + \beta_2 v + \beta_3 w + \beta_4 z$$

Ecuación 9

$$\lambda = \exp(\beta_0 + \beta_1 u + \beta_2 v + \beta_3 w + \beta_4 z)$$

Ecuación 10

donde  $\log(1)$  se vuelve nulo debido a que el conteo se hace sobre cada trampa. Los valores  $v$ ,  $w$ ,  $x$  y  $z$  representan temporada, zona, mes y bote respectivamente, cada uno con sus coeficientes, y  $\beta_0$  es un intercepto general. Los parámetros de los modelos lineales fueron estimados mediante la función *glm* de la plataforma de programación estadística R (Vernazi, 2004; R Development Core Team, 2011).

Una vez parametrizados todos los modelos, la comparación de ellos se realizó mediante el criterio de información de Akaike (AIC). Las variables dependientes utilizadas en los modelos fueron el número de langostas retenidas y no retenidas. Esta metodología ha sido aplicada satisfactoriamente en reportes y publicaciones científicas anteriores (Ernst *et al.*, 2010a; 2010b).

Como producto de la estandarización de la captura por unidad de esfuerzo (por trampa y viaje de pesca) para langostas retenidas y no retenidas se obtuvo un índice anual estandarizado por subsistema.

### 3.3.2 Cangrejo Dorado

A diferencia de la pesquería de la langosta, el cangrejo dorado se captura comercialmente solo en RC-SC y su distribución espacial está principalmente circunscrita a las zonas 1-5 y 9-11 proyectadas hacia los lugares más externos de la plataforma (300-1000 metros de profundidad).

La construcción de un estadístico de captura por trampa para la pesquería del cangrejo dorado se torna problemático a partir del monitoreo pesquero, dado que no existe una talla de referencia (*e.g.* talla mínima de retención), que permita contar en forma consistente a través del tiempo y de las embarcaciones con el número de cangrejos retenidos por trampa. La CPUE fue estimada al igual que para langosta, pero a partir de los viajes de pesca de los muestreadores científicos (cangrejos capturados por trampa levantada) y evaluada en forma mensual. Para la estimación de captura total en número y peso se aplicó la misma aproximación que la utilizada para langosta, pero utilizando los datos provenientes del muestreo biológico, reportando los resultados de la totalidad del año.

### 3.3.3 Breca de Juan Fernández

En base a la información biológica/pesquera recolectada a partir de los viajes de pesca de los muestreadores científicos se construyó un índice de captura por unidad de esfuerzo. Estas tasas de capturas corresponden al número de breca por anzuelo utilizado en los espineles (la gran mayoría de los pescadores utilizan espineles verticales). En RC-SC se establecieron tres estratos, uno correspondiente a las capturas efectuadas en salidas de pesca de langostas, de cangrejo y finalmente para consumo humano directo.

La estimación de captura y captura por unidad de esfuerzo se obtuvo en forma equivalente a lo realizado para langosta, pero utilizando los datos del monitoreo biológico y reemplazando trampas por espineles verticales en los estimadores. En los otros dos subsistemas las estimaciones de captura total y captura por unidad de esfuerzo provienen exclusivamente de la pesquería de carnada en salidas de pesca de langosta de Juan Fernández. En estos subsistemas, debido al aislamiento geográfico y al menor número de habitantes los viajes de pesca orientados exclusivamente a capturar breca para consumo humano directo o venta son menores en relación con RC-SC. Además, por las restricciones logísticas los observadores orientan sus salidas exclusivamente a los viajes de pesca de langosta.

### 3.3.4 Otras especies ícticas

El presente proyecto contempló además la estimación de las capturas de bacalao y vidriola. El **bacalao más pequeño (conocido localmente como “guata blanca”) se captura incidentalmente en la pesquería de la breca a lo largo de la temporada.** Para capturar bacalao de Juan Fernández de mayor tamaño, en el período de otoño e invierno algunos pescadores realizan viajes de pesca a caladeros más retirados (*e.g.* “bajo el 12 millas”) y en horario nocturno, cambiando el tamaño de los anzuelos de los espineles de breca. Estos viajes son más esporádicos haciendo muy difícil coordinar las salidas. En el presente proyecto se utilizó la información censal proveniente de SERNAPESCA

de los viajes de pesca con bacalao y se separó aquellos viajes donde se capturó solo bacalao de aquellos donde se capturó bacalao como especie incidental (en menor volumen respecto de Breca).

La información del monitoreo pesquero permite estimación de una BPUE a partir del bycatch en espines de breca y una estimación captura anual relacionado con la pesquería de la breca. Esta información permitió determinar la temporalidad de la pesca de Bacalao durante el año 2021

La vidriola se captura con un método de arrastre tipo trolling en superficie. Su captura más intensa **también es estacional y está principalmente orientada para consumo y los “esquelones”** para carnadas de langosta y cangrejo dorado. Al igual que otras carnadas secundarias, son capturados durante los viajes de pesca de crustáceos. En el presente estudio se consideraron dos estratos, uno relacionado con las capturas durante viajes de pesca de crustáceos y los otros viajes exclusivos de vidriola. La información censal de los viajes de pesca de vidriola se obtuvo a partir de la base de datos de desembarque por viaje de SERNAPESCA. En base a los muestreos con observadores se pudo estimar tasas de captura por viaje para la vidriola, por mes y expandir esto hacia las capturas del año 2021. Los resultados obtenidos son reportados en el Objetivo 5, junto a las otras especies consideradas carnadas.

### 3.3.5 Aspectos técnicos de las embarcaciones y equipamiento a bordo

En los últimos años y como producto de numerosos reemplazos que han ocurrido después del tsunami del 27 de febrero de 2010, existe una flota de embarcaciones artesanales de fibra de vidrio que ha reemplazado en gran medida a las tradicionales chalupas de alta mar de madera. Los cambios experimentados en la flota se han hecho más evidentes en RC-SC, probablemente debido a las restricciones que impone el varado y desvarado diario de las embarcaciones en AS.

La actualización anual de la información de las características de las embarcaciones que componen la totalidad de flota de Juan Fernández, como también las características técnicas del equipamiento a bordo (e.g. motores fuera de borda, equipos de navegación y detección) fue obtenida a partir de los registros asociados a las matrículas de las embarcaciones, en la Capitanía de Puerto de Juan Fernández y Sernapesca y complementada con entrevistas a los patrones y armadores al inicio de la temporada de la pesquería de la langosta para obtener información actualizada de todas las embarcaciones (septiembre – octubre 2021).

El registro de las características de las trampas langosteras, cangrejeras y anguilleras, como también de los aparejos para capturar carnadas primarias y secundarias (fundamentalmente línea de mano, espinel vertical y horizontal) se desarrolla durante agosto y septiembre de 2021 (en temporada de veda de langosta) considerando el registro de la información detallada (Anexo II) a través de un muestreo estratificado por subsistema.

### 3.3.6 Contrastación de las estimaciones de desembarques de langosta

De acuerdo con la estructuración espacial de las subpoblaciones de langostas y la forma en que se desarrolla su pesquería, el manejo adecuado de este recurso requiere contar con información actualizada e histórica de las remociones en cada uno de los subsistemas. Futuras evaluaciones

requerirán de esta información y en la actualidad se realizan esfuerzos para disponer de data desagregada para cada subsistema, por temporada de pesca y con información actualizada de pesos medios para estimar la biomasa total removida.

Durante el año 2017 se solicitaron las bases de datos de desembarque a SERNAPESCA por bote y salida desde el año 2002 en adelante (fecha en la que estaría disponible la información). Además, se requirió el factor de conversión de número de langostas a biomasa. Durante el desarrollo de este proyecto se continuó alimentando la reconstrucción de desembarques con la información disponible de la temporada 2020/21, cruzando las bases de datos de Sernapesca y los registros obtenidos desde el monitoreo biológico-pesquero para asignar cada embarcación a uno de los 3 subsistemas (RC-SC/AS/ID). Los desembarques diarios de cada embarcación fueron integrados por subsistema y mes. Se contrastaron las estimaciones de desembarques de langosta con los registros de Sernapesca.

### 3.4 Objetivo 2

*Determinar indicadores biológicos de las especies capturadas que den cuenta de la estructura del stock explotado en langosta de Juan Fernández, cangrejo dorado, breca de Juan Fernández, vidriola y bacalao de Juan Fernández.*

#### 3.4.1 Información biológica

La información biológica recolectada directamente de la pesquería es importante para complementar la información que entregan los indicadores pesqueros (*i.e.* tasas de captura) para el diagnóstico de la situación de la pesquería y el uso futuro de modelos de dinámica poblacional.

Para el cumplimiento de este objetivo se utilizó la información colectada por muestreadores científicos de acuerdo con protocolos establecidos durante la ejecución de monitoreos de años anteriores, para estimar:

- a) Composición de tallas de langostas y cangrejo dorado por sexo en la captura y desembarque.
- b) Composición de tallas de las capturas de breca (sexos combinados). Durante la temporada 2013 se intentó desarrollar un protocolo para identificar a los ejemplares por sexo sin eviscerarlos, pero no fue posible. Aun revisando la gónada es muy difícil sexar para tallas pequeñas. Las muestras no pueden ser llevadas al laboratorio ya que se utilizan como carnada para trampas de langostas o cangrejo.
- c) Talla media en las capturas y captura retenida para langostas, cangrejo, breca, bacalao y vidriola.
- d) Proporción sexual de langostas y cangrejo dorado en la captura y desembarques.
- e) Función de portación a la talla de langostas capturadas.
- f) Función de madurez a la talla para las hembras de langostas capturadas.
- g) Función de madurez a la talla para hembras de breca capturadas.
- h) Función de madurez a la talla para hembras y machos de cangrejo dorado.

Todo el muestreo biológico se relaciona con la fracción vulnerable a la pesquería. Las mediciones de talla de langostas corresponden a la longitud cefalotorácica (LC) medida desde la base de las antenas hasta el borde posterior del cefalotórax (Ernst *et al.*, 2010b, Figura 4), dado que esta es la medida utilizada para fines de manejo. La medida morfométrica registrada para cangrejo dorado es el mayor ancho del cefalotórax (AC) entre la 5ta espina a cada lado (Figura 4), medida que también tiene una utilidad para el manejo (ancho mínimo sugerido de 130 mm). Las tallas fueron registradas con un pie de metro Mitutoyo, con 0.01 mm de precisión. Las mediciones de talla de peces se realizaron con ictiómetro registrando la longitud total y longitud horquilla (para especies con aleta caudal furcada).



Figura 4 Medidas morfométricas registradas para langosta de Juan Fernández (izquierda) y cangrejo dorado (derecha) durante el monitoreo biológico a bordo de las embarcaciones.

En crustáceos cada individuo registrado es sexado. En el caso de las hembras de langostas, se identifica su madurez en base a la presencia de setas ovígeras en los pleópodos y su condición de portación, a través de la presencia de huevos en la cavidad abdominal. En el caso del cangrejo dorado, a través de los años, la presencia de hembras ha sido esporádica en las capturas y solo se registra la presencia/ausencia de masa ovígera. Esta es una pesquería ampliamente dominada por machos. Ernst *et al.* (2012) reportaron una importante presencia de hembras (hasta un 30% de la captura) entre los meses de agosto y octubre, especialmente en un caladero enfrente a bahía Cumberland. La información reproductiva de las hembras para el presente proyecto fue condicionada a los registros que se obtuvieron durante el seguimiento de la flota cangrejera.

La medición del peso individual de langostas y cangrejos a bordo de embarcaciones artesanales de Juan Fernández ha demostrado ser extremadamente compleja e incierta, por ende, la relación longitud-peso no se caracteriza en el presente trabajo. Se utilizarán las estimaciones obtenidas en las temporadas 2011/12, 2012/13, 2013/14 (Ernst *et al.*, 2013) y muestreos biológicos realizados durante el año 2020 para el estudio de madurez del cangrejo dorado.

En el caso de las langostas comerciales los registros de talla-peso han mostrado ser efectivos en cuanto arriban las langostas a los viveros que se encuentran en el continente. Para ello se mantuvo el contacto directo con los intermediarios quienes a voluntad acceden al muestreo, permitiendo tomar lecturas de peso con balanzas digitales. El diseño de muestreo consideraba la medición al azar y sin reemplazo de 600 langostas por subsistema, en 3 ocasiones: [1] enero-febrero, [2] marzo-

abril, durante la temporada 2020/2021 y [3] noviembre-diciembre de la temporada 2021/22. Este muestreo estuvo sujeto a las restricciones sanitarias por efecto de la pandemia, por lo que solo en enero de 2022 se logró muestrear langostas de la temporada 2021/22 (Tabla 8).

Tabla 8  
Tamaño muestral por sexo de langostas capturadas en la temporada 2021/22 y medidas en vivero ubicado en Valparaíso. Enero 2022.

Hembras	Machos
122	79

### 3.4.2 Condición reproductiva de Breca de Juan Fernández

El estudio de la biología reproductiva es de vital importancia para entender el ciclo de vida de una especie y los aspectos básicos de la dinámica de las poblaciones (Saborido-Rey, 2002). Los estudios reproductivos en peces, tales como la determinación de la talla de primera madurez, la duración de la estación de desove y la fecundidad, requieren del conocimiento del estado de desarrollo gonadal de cada individuo. La determinación de estos, y particularmente de las fases de madurez sexual debe ser considerada siempre en un programa de estudio de la biología reproductiva en peces. En el caso de la especie *Nemadactylus gayi*, se conoce que es un desovador parcial con desarrollo ovárico asincrónico y se cuenta con la determinación de la talla de madurez sexual (Rivara, 2013). En este proyecto se analizó nueva información reproductiva de la breca a partir de muestreos desarrollados desde mayo del 2020 hasta septiembre del 2020

La caracterización de la función de madurez a la talla de las hembras de breca se llevó a cabo mediante el muestreo de la gónada de cada individuo, preservadas en formalina al 10% y utilizada para un análisis microscópico posterior mediante cortes histológicos. Se utilizó el protocolo de procesamiento establecido para la breca por Rivara (2013).

#### 3.4.2.1 Análisis microscópico

Las muestras de gónadas se obtuvieron a partir de su extracción de ejemplares hembra de la especie en estudio, complementando el rango de tallas menores reportado por Rivara (2013). Se consideraron las 74 muestras originales y se analizaron un total de 32 nuevas muestras en un rango de tallas principalmente entre 200 y 300 mm de longitud de horquilla (LH). Las muestras se conservaron en formalina al 10%, pasando luego en el laboratorio por las fases de deshidratación, clarificación, infiltración e inclusión (los respectivos protocolos se detallan en la Tabla 1 y 2 de Rivara, 2013). Una vez incluidas las muestras de tejido se realizaron cortes histológicos de 10 micras con un micrótopo, se colocaron estos sobre un portaobjeto y se aplicó calor en una estufa a 60°C, por 15 minutos, hasta que la parafina desaparece de las muestras, quedando solo el tejido en el portaobjeto. En esa etapa la muestra se lleva a la batería de tinción para teñir las células con hematoxilina y eosina. Una vez terminada la tinción se cubrieron con cubreobjetos y la muestra se analizó a través de microscopía.

El análisis microscópico permitió identificar los distintos estados de desarrollo de los ovocitos, el crecimiento primario, los alveolos corticales, la vitelogénesis y la maduración. El criterio de identificación del estado de madurez se basa en que el estado de desarrollo más avanzado presente en el ovario, independiente de su frecuencia, marca la etapa de desarrollo (Saborido-Rey, 2002). Para el caso del presente estudio se clasificó como individuos maduros a aquellos que tuvieran presencia de ovocitos en etapa de alveolos corticales en adelante. Los individuos inmaduros fueron aquellos con presencia de ovocitos en crecimiento primario.

#### 3.4.2.2 Talla de primera madurez

El parámetro talla media de madurez sexual (TMMS), se estimó utilizando un modelo logístico de proporción de madurez a la talla. En este caso el modelo logístico fue ajustado a los datos de madurez e inmadurez a la talla, mediante una función de verosimilitud binomial implementada en el software de estimación no lineal ADMB, para datos de talla organizados en intervalos de talla de 20 mm de longitud horquilla. El modelo ajustado fue:

$$\widehat{P}_l = \frac{1}{1 + e^{-\frac{\log(19)(l-L_{50})}{(L_{95})-L_{50}}}}$$

Ecuación 11

donde:

- $\widehat{P}_l$  = proporción de madurez a la talla
- $L_{50}$  y  $L_{95}$  = parámetros de la ecuación logística
- $l$  = longitud horquilla del individuo

A escala poblacional la talla de media madurez sexual ( $L_{50}$ ) se define como la talla a la cual el 50% de los individuos de una población están maduros.

#### 3.4.3 Muestreo especies ícticas

Debido a diversas consideraciones operacionales no pudo realizarse el muestreo biológico-reproductivo para la vidriola y bacalao de Juan Fernández y analizar de esta forma su condición reproductiva durante el año. Se espera que con una mejora en las condiciones sanitarias se pueda realizar este trabajo en el futuro cercano.

#### 3.4.4 Análisis de información en pesquerías de crustáceos

La estimación de la estructura de tallas en la captura de langosta y las otras especies comprometidas en este estudio también siguen un diseño de muestreo tri-etápico, y con estratos espaciales (subsistemas) y temporales (meses). Dado que todos los ejemplares de un lance (trampa

o espinel) son medidos, entonces los estimadores de captura por trampa presentados en secciones previas, aplican también al particionar la captura en el muestreo biológico en “n” categorías de talla.

Para ambas pesquerías de crustáceos, se procederá a hacer un análisis de descomposición modal (McDonald & Pitcher, 1979) identificando grupos modales por sexos presentes en las muestras con una resolución espacial por subsistema. Este ejercicio permite identificar un número probable de componentes modales en la captura. Se utilizó una prueba de razón de verosimilitudes (Hilborn & Mangel, 1998) para determinar el número más probable de grupos modales que se identifican en la muestra.

La información de condición de portación de huevos permitió calcular la proporción de portación a la talla, en el caso de las hembras de langostas. Se calculó la función de portación a la talla para cada mes de la temporada.

La condición de madurez a la talla para langosta de Juan Fernández ha sido determinada a través de la presencia de setas ovígeras. En las últimas temporadas este indicador ha generado información inconsistente respecto de una ojiva de madurez logística esperada. En el presente trabajo se reanaliza toda la información de portación, lecturas experimentales de madurez del año 2012 y en todas las subsecuentes temporadas. Desafortunadamente por la imposibilidad de viaje hacia el subsistema RCSC no se pudo explorar una metodología alternativa para estudiar la madurez de las hembras y machos de langosta de Juan Fernández.

Se estimó la función de madurez, a partir de la información de madurez a la talla, obtenida de la presencia de setas ovígeras en los pleópodos, incluyéndose además la información de temporadas anteriores (2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15, 2015/16, 2016/17, 2017/18). La función de madurez fue modelada a través de una función logística y los parámetros estimados mediante una función de verosimilitud binomial, implementada en la plataforma estadística ADMB (Otter Research, 2001) para la estimación no lineal de los parámetros de interés.

Las estructuras de tallas y la función de portación se analizaron mensualmente en la pesquería de la langosta durante el desarrollo de la temporada y por subsistema insular. En el caso de la pesquería de cangrejo dorado la estructura de tallas se analizó por semestre, dado que el volumen de datos es menor. Se comparó la función de portación entre subsistemas y entre temporadas para el caso de las langostas.

### 3.5 Objetivo 3

*Determinar la composición específica de las capturas en las operaciones de pesca dirigidas a la langosta de Juan Fernández, cangrejo dorado y en operaciones de pesca dirigidas a peces.*

#### 3.5.1 Registro de información

Desde la ejecución de proyectos de monitoreo anteriores (Ernst et al., 2015; 2016; 2017; 2018; 2019; 2020) se cuenta con un listado de especies que componen la fauna acompañante<sup>1</sup> de las especies objetivo de las pesquerías. Con el apoyo de científicos especialistas en cada uno de los grupos taxonómicos se ha mantenido actualizada la guía de terreno para la identificación de cada especie, proveyendo de información escrita para su identificación, de tal forma que los muestreadores científicos adquieran las herramientas para reconocerlas y puedan generar información cuantitativa de su interacción con las pesquerías. El diseño de las bitácoras utilizadas por los muestreadores científicos considera el registro de fauna acompañante en aparejos de pesca de peces (espineles, líneas de mano) y de crustáceos (trampas).

Además, se continúa el trabajo en conjunto con los pescadores para la identificación de especies capturadas no documentadas. Se cuenta desde la temporada 2016/17 con su total disposición a colaborar, de forma que se dispondrán los protocolos y la información adecuada para centralizar las muestras o fotografías que obtengan de sus viajes de pesca, a fin de contribuir al listado de especies identificadas para ambos sistemas insulares y avanzar hacia una mejor descripción y cuantificación.

#### 3.5.2 Análisis de información

La información colectada por los muestreadores en las salidas de pesca efectuadas fue analizada a fin de contar con un listado de los ejemplares, identificando hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Se consideró como indicador de fauna acompañante la frecuencia de ocurrencia en las trampas registradas ( $S_0$ ) de acuerdo con lo presentado por Santos *et al.* (2002):

$$S_0 = \frac{n_i}{N} \cdot 100$$

Ecuación 12

donde,  $n_i$ : Número de veces que cada especie fue capturado por trampa;  $N$ : Número total de trampas.

La frecuencia de las especies es reportada utilizando los mismos criterios propuestos por los autores para clasificar en 4 clases el índice de ocurrencia de especies:

- R: especie rara,  $S_0 < 25\%$

---

<sup>1</sup> Fauna acompañante: es la conformada por especies hidrobiológicas que ocupan temporal o permanentemente un espacio marítimo común con la especie objetivo, y que, por efecto tecnológico del arte o aparejo de pesca, se capturan cuando las naves pesqueras orientan su esfuerzo de pesca a la explotación de las especies objetivo (Ley General de Pesca y Acuicultura N° 20.6457)

- U: especie poco común,  $25\% \leq S_0 < 50\%$
- C: especie común,  $50 \leq S_0 < 75\%$
- V: especies muy comunes,  $S_0 \geq 75\%$

El análisis considera la importancia relativa en relación con la captura total y a la captura de la especie objetivo. Se evaluó por subsistema, profundidad y temporada de pesca en el caso de langosta, mientras que para cangrejo se obtuvo una clasificación anual, por zona y profundidad. En el caso de peces, se caracterizó la composición anual de especies en las capturas realizadas con espineles verticales.

### 3.5.3 Erizos

El aumento explosivo de la población de erizos de espinas largas *Centrostephanus sp.* durante los últimos años es un discurso recurrente por la comunidad local, evidenciado también en las últimas expediciones científicas (National Geographic/Pristine seas 2017; Expedición ESMOI enero 2020). En términos operacionales, a través de conversaciones con pescadores de langostas se ha indicado frecuentemente que este aumento de erizos conlleva dificultades en la manipulación de sus trampas, siendo una abundante y molesta fauna acompañante. Este hecho se evidenció a través de los estudios de seguimiento de años anteriores, destacando en el año 2019, que el 85% de la fauna acompañante reportada en las trampas de langostas en Robinson Crusoe y Santa Clara correspondió a erizos (Ernst *et al.*, 2020). Del mismo modo, en una comparación temporal de la distribución de trampas con erizos se evidencia el aumento de esta especie alrededor de Robinson Crusoe y Santa Clara.

Dada la situación descrita que evidencia el aumento dramático de las poblaciones de erizos alrededor de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara durante los últimos años, se profundizó en la investigación sumando al registro proveniente del monitoreo de las pesquerías, los datos obtenidos a través de la evaluación por buceo autónomo realizada el año 2020 (la planificación y ejecución de las dos expediciones propuestas se vio obstaculizada por las condiciones protocolares que imponía el arribo a la isla Robinson Crusoe para enfrentar la pandemia por la pandemia del SARS-Covid).

#### 3.5.3.1 Trabajo de campo

En enero de 2020 se realizó una expedición a Robinson Crusoe para realizar estimaciones de parámetros comunitarios mediante el registro de la cobertura de algas y organismos sésiles, densidades de invertebrados móviles y abundancias y biomasa de peces. Mediante buceo autónomo se realizaron monitoreos submareales en dos sitios de la zona protegida: (1 y 2) bahía **Cumberland** (“RC18, dentro del Parque Marino El Palillo y “RC19”, de acceso abierto), (3) un sitio en el arenal (“RC26”, dentro del Parque Marino el Arenal) y (4) un sitio en Santa Clara (“RC27”, de acceso abierto) (Figura 5). En cada uno de los sitios se realizaron transectos y censos visuales a 10 y 20 metros de profundidad siguiendo la metodología descrita por Friedlander *et al.* (2016, 2017). Esta metodología consiste básicamente en contar y estimar las tallas de todos los peces a lo largo de dos transectos de 25 m de longitud. El ancho del transecto depende de la dirección de nado a la “ida”, mientras se suelta el cabo del transecto el ancho fue de 4 m y se estimaron las tallas de los peces que se hallaban formando cardúmenes en la columna de agua (área prospectada de 100 m<sup>2</sup>); a la “vuelta”, mientras se recogía el cabo del transecto, se cuantificaron los peces pequeños poco

móviles situados habitualmente cerca del fondo, el ancho de este transecto fue de 2 m (área prospectada de 50 m<sup>2</sup>). Los peces se identificaron a nivel de especie o con la mayor precisión taxonómica posible (Dyer & Westneat 2010). La longitud de los peces se expresa en longitud total (LT) en cm, la cual se estima con la mayor precisión posible (buzos entrenados). La longitud total de los individuos se utiliza para calcular la biomasa mediante la conversión alométrica talla-peso:

$$W = a * LT^b$$

Ecuación 13

donde los parámetros a y b son constantes para cada especie obtenidos a partir de FishBase (*i.e.* Froese & Pauly 2014), LT es la longitud total en cm, y W es el peso en g.

La densidad numérica (abundancia) de los peces se expresa como número de individuos por m<sup>2</sup> y la densidad de biomasa en kilogramos por m<sup>2</sup>. El producto de los pesos individuales y las densidades se utiliza para calcular la densidad de biomasa para cada especie. Los peces se categorizaron en cinco grupos tróficos: piscívoros, herbívoros, carnívoros bentónicos, carnívoros bentónicos/piscívoros, y planctívoros.

Para describir las comunidades de invertebrados móviles se realizaron transectos de 50 metros a 10 y 20 metros de profundidad. En cada uno de estos transectos se dispusieron cuadrantes de 50 x 50 cm cada dos metros, promediándose la densidad de invertebrados móviles por transecto. Para el caso de invertebrados sésiles y descripción del sustrato, se utilizó el método de puntos sobre el transecto, donde se registra el sustrato o la especie cada 20 cm a lo largo del mismo transecto y luego se calcula el porcentaje de ocurrencia de cada especie y también el porcentaje de presencia de sustrato.

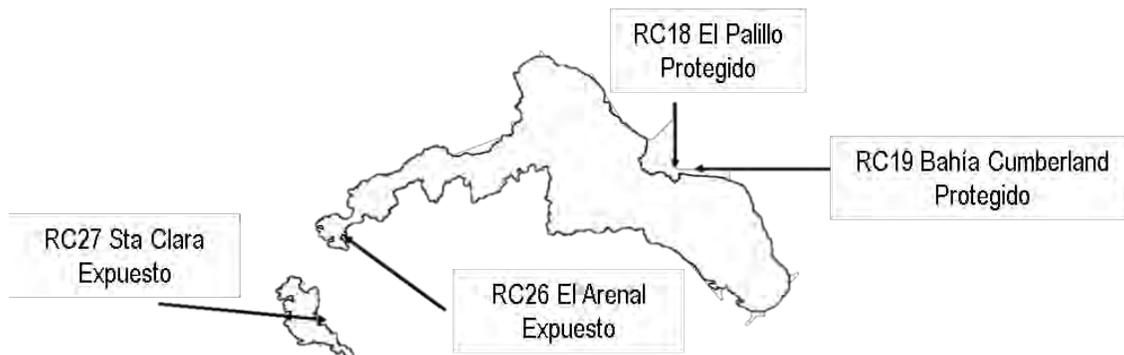


Figura 5 Ubicación de los sitios de muestreo submareal mediante buceo autónomo realizado en enero del 2020.

### 3.5.3.2 Ciclo reproductivo de *Centrostephanus sp.*

El área de estudio fue en sector El Adriático (33°38'29.5" S – 78°49'11.4" O), reconocido como un importante destino turístico ubicado al sureste del poblado de San Juan Bautista dentro del parque y sendero submarino “El Palillo” de Bahía Cumberland. Este sitio corresponde a una bahía protegida del oleaje y presenta un fondo completamente rocoso poblado de erizos y con escasos parches de

algas (principalmente algas crustosas). El acceso al sitio fue realizado utilizando un kayak y se realizaron extracciones de erizos durante el período de febrero 2021 a febrero 2022 a través de buceo apnea (<3m de profundidad). Las extracciones se realizaron cada 30-60 días.

En cada uno de los muestreos se recolectaron 20 individuos de tallas superiores a los 30 mm de diámetro horizontal (DH). Los individuos fueron transportados hacia las dependencias de la Oficina del Monitoreo donde fueron mantenidos por 24-48 horas en un acuario BOYU-HS60. Los individuos fueron procesados posteriormente en un tiempo no mayor a 48 horas.

### 3.5.3.2.1 Morfometría clásica e Índice Gonadosomático (IGS)

La talla de cada ejemplar fue determinada utilizando un pie de metro digital Mitutoyo (CD-P8”S, ± 0.01 mm de precisión). Se midieron las variables morfométricas de diámetro horizontal (DH) y diámetro vertical (DV) de la testa excluyendo las espinas. También se realizaron mediciones del peso húmedo total de cada individuo mediante una balanza de precisión Pesamatic (Super-SS, ± 0.5 g de precisión), al igual que el peso húmedo del tubo digestivo (incluyendo sus contenidos) y el peso húmedo de las cinco gónadas. El exceso de agua fue eliminado utilizando papel absorbente.

Con estas mediciones se estimó el índice gonadosomático (IGS) de cada individuo. Las estimaciones fueron realizadas obteniendo la razón porcentual del peso de las gónadas respecto al peso total de cada individuo a partir de la siguiente fórmula:

$$IGS(\%) = \frac{\text{Peso húmedo gonadal (g)}}{\text{Peso húmedo total (g)}} * 100$$

Ecuación 14

De forma similar, se definió un índice intestinal (IIN) calculando la razón porcentual del peso del tubo digestivo completo (considerando desde el esófago hasta el ano) de cada individuo. En estos cálculos fueron considerados todos los contenidos estomacales. La estimación se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$IIN(\%) = \frac{\text{Peso húmedo intestinal (g)}}{\text{Peso húmedo total (g)}} * 100$$

Ecuación 15

### 3.5.3.3 Análisis de datos

Las coberturas de organismos sésiles, la abundancia de invertebrados móviles, y la abundancia y biomasa de peces de cada sitio fue promediada según año de estudio (2014, 2017, 2020) y según la zona de la isla (protegido, semiexpuesto, expuesto) (Friedlander *et al.*, 2017). Además, se estimó la riqueza de cada especie por cada sitio para realizar comparaciones espaciales y temporales. Se utilizó un ANOVA de 1 vía o un análisis de Kruskal-Wallis para evaluar cambios en los valores de riqueza a través de los años, y entre zonas de la isla.

Las abundancias de los invertebrados, las abundancias de peces y sus biomásas de los sitios someros (10 m) y profundos (20 m) fueron comparadas separadamente para cada zona de la isla

mediante una prueba de T o Mann-Whitney. Similarmente, se estimó la riqueza de especies (S) de los sitios protegidos (PR) y expuestos (EX) las cuales fueron comparadas con el mismo análisis. Por otro lado, se realizaron comparaciones espaciales y temporales de las abundancias de los invertebrados, las abundancias de peces y sus biomásas entre cada año y entre cada zona de la isla mediante un ANOVA de 1 vía o análisis de Kruskal Wallis.

Para examinar las diferencias entre la composición de especies de los invertebrados móviles y los peces se realizó un análisis de similitud (ANOSIM). Se realizó un análisis de similitud de porcentajes (SIMPER) para determinar qué especies de invertebrados y peces son responsables del mayor porcentaje de disimilitud entre zonas y años mediante una matriz de similitud de Bray-Curtis. La densidad de especies de invertebrados móviles, la densidad de peces y sus biomásas fueron analizados por separado mediante un análisis PERMANOVA de 2 vías (*i.e.* zona, año) para comparar la composición de especies entre zonas de la isla (protegida, semiexpuesta y expuesta) y entre años de estudio (2014, 2017, 2020).

Previo a la ejecución de análisis estadísticos se validaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianza. En los casos de no cumplir los supuestos estadísticos, los datos relacionados a las densidades y biomásas de las comunidades fueron transformados a raíz cuarta o  $\log(x + 1)$  según lo descrito por Friedlander *et al.* (2016).

Por otra parte, se compararon los índices gonadosomáticos mensuales y el índice intestinal utilizando una prueba de Kruskal-Wallis (H) para determinar si existen diferencias significativas entre los meses. En los casos de diferencias significativas se realizó una prueba a posteriori de Dunn (z) para detectar los meses que contribuyeron a estas diferencias.

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando los softwares PRIMER versión 6.1.11, PAST versión 4.03 (Hammer *et al.*, 2001) y R versión 1.4.1106 (R Core Team, 2001).

### 3.6 Objetivo 4

*Caracterizar la captura incidental (aves, mamíferos y reptiles), a través de la estimación de indicadores y el análisis de sus variaciones espacio-temporales.*

#### 3.6.1 Registro y análisis de información

A diferencia de otros aparejos de pesca, la utilización de aquellos pasivos, como las trampas, permiten una escasa, por no bien considerar nula interacción con aves, mamíferos y reptiles marinos.

Desde la ejecución de proyectos de monitoreo anteriores (Ernst *et al.*, 2015; 2016; 2017) se cuenta con un listado de especies que componen la fauna acompañante de las especies objetivo y un listado de especies que se distribuyen en estas latitudes, identificando además a aquellas especies consideradas ETP (Endangered, Threatened, Protected Species - Especies en peligro, amenazadas y protegidas) que incluye aves marinas, mamíferos marinos, tortugas marinas, peces migratorios y corales. Se realizó la actualización del estado de conservación de las especies identificadas.

Este listado se ha ido enriqueciendo a partir de documentación científica disponible, apoyo de científicos especialistas en cada uno de los grupos taxonómicos y observaciones de los muestreadores científicos y pescadores. El diseño de las bitácoras utilizadas por los muestreadores científicos considera el registro tanto de fauna acompañante como captura incidental, en aparejos de pesca de peces (espineles, líneas de mano) y de crustáceos (trampas). Los registros permitieron la actualización del listado de especies que forman parte de la captura incidental en las operaciones de pesca de crustáceos y peces objetivo de estudio, detallando información espacial y temporal en caso de eventuales capturas, permitiendo analizar las posibles causas que provocaron la captura incidental.

### 3.7 Objetivo 5

*Identificar y cuantificar la captura de especies utilizadas como carnada por las pesquerías de langosta y cangrejo dorado.*

#### 3.7.1 Registro de información

Según Ernst *et al.* (2012) y Ernst *et al.* (2013), las principales especies ícticas utilizadas como carnada en el archipiélago Juan Fernández son breca, jurel de Juan Fernández, vidriola y morena (anguila). Estas cuatro especies son las consideradas en el presente objetivo.

Las salidas de pesca con captura de peces en AJF e ID se agrupan de acuerdo con el destino del producto, es decir: (a) para venta y consumo, (b) carnada de langosta, (c) carnada de cangrejo dorado y (d) carnada morena. De esta forma los volúmenes removidos por especie íctica fueron estimados por destino, cotejando la información entregada en las bitácoras de pesca y con los registros de los/as muestreadores científicos.

#### 3.7.2 Análisis de información

Los volúmenes de extracción son reportados en el presente trabajo como número total de ejemplares y como biomasa total extraída por subsistema. En otras temporadas los estimadores de la captura total habían sido originalmente derivados de un muestreo por conglomerados, en el cual se requería pesar el total de los ejemplares por viaje. Esto resultó impracticable, dada la complejidad logística para pesar en todos los viajes con muestreadores la totalidad de la captura (uso de balanzas japonesas en malas condiciones de mar). De esta forma se utilizó una aproximación tri-etápica para estimar los volúmenes de extracción, considerando el muestreo biológico como fuente de estimación de capturas por viaje de langosta y la información censal del control de tráfico para el número total de ejemplares por mes. Adicionalmente se reporta la talla media y las distribuciones de frecuencia de tallas para las especies de interés considerando el registro anual.

### 3.8 Objetivo 6

*Explorar la relación entre los indicadores biológicos pesqueros y características ambientales del archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas.*

#### 3.8.1 Variables ambientales

El monitoreo continuo, análisis y caracterización de las variaciones espacio-temporales de variables ambientales asociadas a la zona pelágica y bentónica sobre las zonas de distribución de la langosta alrededor de los archipiélagos Juan Fernández (AJF) e Islas Desventuradas (ID), es un aspecto esencial frente a la formulación de indicadores pesqueros. Comprender el comportamiento/variabilidad de variables como temperatura, salinidad, oxígeno, viento e inclusive clorofila-a, podría contribuir a entender la distribución espacial de la langosta.

Para el estudio de variables ambientales, se obtuvieron datos e información desde las siguientes fuentes de datos:

- i. Datos satelitales, información ambiental como temperatura, clorofila-a, corrientes geostroficas y nivel del mar en el AJF e ID,
- ii. Reanálisis globales (modelos) para obtener datos de presión a nivel del mar y profundidad de la capa de mezcla,
- iii. Datos de viento, obtenidos desde la estación meteorológica ubicada en Bahía Cumberland (isla Robinson Crusoe),
- iv. Datos desde el anclaje **“Estación langosta I”, el cual cuenta con sensores de temperatura, oxígeno y salinidad**, ubicado en el extremo noreste de Robinson Crusoe a ~75m de profundidad. El anclaje se encuentra registrando datos desde octubre de 2017 con una frecuencia de almacenamiento de 10 y 30 minutos con intermitencia asociada a eventualidades dadas por mal tiempo, cierre de puertos o pérdida de equipamiento por mal tiempo.
- v. Muestreo (perfiles) mensuales de temperatura y salinidad mediante CTD. Adicionalmente, dentro de las campañas realizadas en AJF (muestreo anual septiembre-octubre) se realiza un muestreo de oportunidad de acuerdo con las señales de eventos ambientales.

#### 3.8.2 Procesamiento y análisis de datos

Enmarcado dentro del análisis de variables ambientales, se recopilaron datos satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) y presión a nivel del mar (Sea Level Pressure, SLP) sobre las regiones delimitadas en la Figura 6.

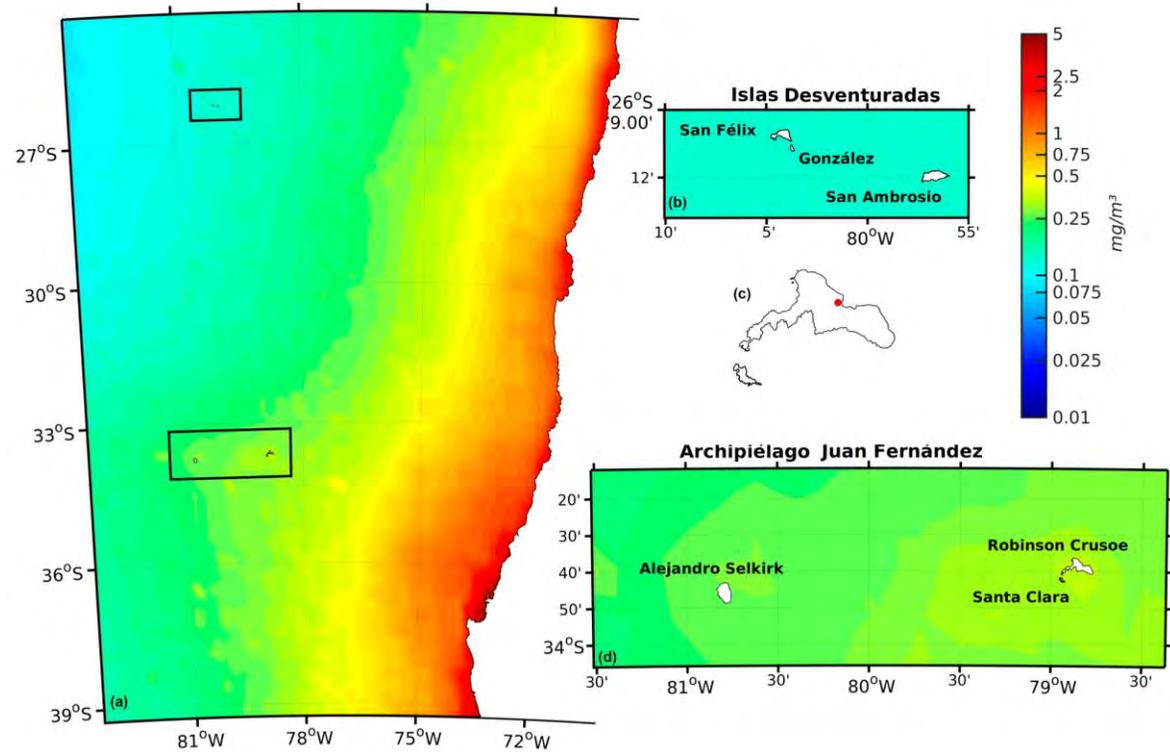


Figura 6 Áreas de estudio para la elaboración de indicadores ambientales y concentración promedio de  $CO_2$  durante el período 1997-2019: (a) región oceánica frente a Chile central, (b) islas del archipiélago de las Desventuradas, (c) posición de la estación meteorológica (~35 m de altura) ubicada en la Isla Robinson Crusoe; y (d) islas del archipiélago Juan Fernández

Con el fin de lograr una automatización completa para el estudio de variables ambientales proveniente de las imágenes satelitales, se modificaron algunas fuentes de datos, en comparación al informe anterior (Ernst *et al.*, 2020). De este modo, se logra obtener un producto de calidad en el tiempo (producto reprocesado) y al mismo tiempo uno en tiempo “casi” real, aunque de menor calidad y compatible con su homólogo en tiempo “retrasado”. La información satelital utilizada fue a partir de septiembre 1979. Así mismo, se obtuvieron índices de modos climáticos de gran escala que pueden afectar al AJF e Islas Desventuradas (ID). En particular, por la posición del AJF, estos efectos son generados en su mayoría por la variabilidad del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPS), por lo que se consideraron el Índice de Oscilación del Sur (IOS) para El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Interdecadal del Pacífico (OIP) y el Modo Anular del Sur (MAS). A continuación, se enlistan las variables, los índices y las nuevas fuentes de información (para mayor detalle de los productos, ver el ANEXO IV):

- a) Anomalia de velocidades geostróficas ( $u_g, v_g$ ): Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, <http://marine.copernicus.eu/>), son los encargados del procesamiento y distribución de los productos de altimetría. Entre sus productos existe uno en tiempo retrasado de alturas del nivel del mar grilladas y variables derivadas (velocidades geostróficas) de varias misiones altimétricas satelitales, calculadas con respecto a una

media de 21 años. Posee una resolución espacial de ~25 km y temporal diaria, cubriendo desde 1993 hasta septiembre 2018 (se actualiza bianualmente). Además, Copernicus pone a disposición un producto en tiempo casi real consistente y homogéneo con el anterior mencionado que cubre desde el 2017 hasta el presente. Con las velocidades geostroóficas proporcionadas por Copernicus determinamos la EKE a partir de:

$$EKE = \frac{(u_g^2 + v_g^2)}{2}$$

Ecuación 16

- b) Identificación y seguimiento de remolinos: Durante mntoreos anteriores se ha optado por utilizar el producto *Mesoscale Eddy Trajectory Atlas* (META; Schlax & Chelton, 2016), debido a su disponibilidad (casi en tiempo real) y validación (Chelton et al., 2011; Pujol et al., 2016; Schlax & Chelton, 2016). Este producto, distribuido por AVISO+ (<https://www.aviso.altimetry.fr/>), basa la identificación y seguimiento de remolinos en una nueva versión del algoritmo de Chelton *et al.* (2011). Los remolinos identificados son separados por tipo (cyclónico/anticiclónico), y cuentan con la información de su ubicación cada día, velocidad, radio, amplitud y otros metadatos asociados. Este producto cuenta con 3 versiones. En el estudio son utilizadas las versiones 2exp (META2.0) y 3exp (META3.0). META2.0 cuenta con la identificación de remolinos desde 1993 hasta 2017, mientras que META3.0 proporciona datos del seguimiento de remolinos desde enero/2018 hasta 15 días anteriores al presente. Los remolinos con amplitudes menores a 1 cm son despreciados. En el informe se presenta la cantidad de remolinos anuales que arribaron a los sistemas de ID y AJF, entre 1993 y 2021.
- c) Temperatura superficial del mar (resolución espacial de 1 Km). Se utilizaron datos de SST obtenidos desde el producto Multi-scale Ultra-high Resolution (MUR; <https://mur.jpl.nasa.gov/>). Los datos MUR proveen de datos globales de SST diarios con una resolución espacial de ~1 km. Este producto combina datos de SST extraídos de MODIS, AMSR-E y AVHRR. Para tratar los problemas de muestreo (falta de datos por nubes, obstrucción por aerosoles o tierra), MUR utiliza una técnica llamada Análisis Variacional de Resolución Múltiple (MRVA), la cual consiste en un método de interpolación estadística basado en la descomposición wavelet (ondeletas). MRVA utiliza una transformada ortonormal de las señales dentro de un campo espacial, lo que le permite controlar el suavizamiento de los campos SST sin perder la representatividad local. Actualmente, este producto se extiende desde el 1 de junio de 2002 hasta el presente (aproximadamente la cobertura temporal de MODIS-Aqua).
- d) Presión a nivel del mar (*Sea Level Pressure*, SLP). Las salidas diarias de la SLP se obtuvieron del Reanálisis ERA5 desarrollado por la *Climate Data Store de Copernicus* (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/>). Estas salidas son de ~25 km desde 1979 hasta el presente.
- e) Índices climáticos. Se obtuvieron índices climáticos:
- Oscilación Interdecadal del Pacífico (OIP), se obtuvo del Índice Tripolo de la OIP (ITP), índice clave de la variabilidad multidecadal de la TSM en el Pacífico. La serie del ITP es proporcionada por la NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/IPOTPI/>). Los

valores positivos de este índice se relacionan con anomalías positivas de SST en el Pacífico Tropical Central, denominándose “Fase Cálida” y, por otro lado, los valores negativos de este índice representan anomalías negativas de SST en el Pacífico Tropical, denominándose “Fase Fría”.

- El Índice de Oscilación Sur (IOS) para El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), calculado sobre la base de las diferencias en la anomalía de la presión del aire entre Tahití y Darwin, Australia. Los datos provienen de la NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>). Los períodos prolongados de valores de IOS negativos (positivos) coinciden con las aguas oceánicas anormalmente cálidas (frías) en el Pacífico oriental tropical típico de los episodios de El Niño (La Niña).
  - Índice del Modo Anular del Sur (iMAS), El iMAS utilizado es el calculado por Marshall (2003), quien usó información de presión atmosférica obtenida de los modelos de reanálisis NCEP/NCAR, ERA-15 y ERA-40 validados con información de estaciones *in situ* (<https://legacy.bas.ac.uk/met/gjma/sam.html>). Los valores positivos del índice iMAS se corresponden con vientos del oeste de mayor magnitud que el promedio en las latitudes medias-altas (50°S-70°S), y vientos del oeste más débiles en las latitudes medias (30°S-50°S). Esto significa que los valores positivos representan una contracción del cinturón de vientos del oeste que rodean a la Antártica hacia el polo Sur y los valores negativos representan una expansión del cinturón hacia el ecuador. En otras palabras, valores positivos del índice indican que las bajas presiones están más cerca de la Antártica, lo que las aleja del sur de Chile. Por otro lado, valores negativos implican que las bajas presiones están más al norte de lo usual (circulan más lejos de la Antártica), dando cuenta que los períodos de semanas o meses lluviosos son más probables en el sur de Chile.
  - El índice del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (IPPS) fue obtenido de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, Quintana y Aceituno, 2012), donde calcularon un índice anual de presión superficial como el primer componente principal de la presión superficial media en ocho estaciones ubicadas dentro del dominio del anticiclón: Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Santiago, Concepción, Juan Fernández e isla de Pascua. Actualmente se cuenta con los datos del índice desde 1970 hasta el presente. Los valores positivos (negativos) indican fortalecimiento (debilitamiento) de la intensidad del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur.
- f) Datos meteorológicos *in situ*. Se utilizaron los datos de la estación meteorológica ubicada en Bahía Cumberland (Noreste de Robinson Crusoe, localidad de San Juan Bautista), perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Dicha estación cuenta con datos históricos cada 10 minutos de dirección y velocidad del viento, temperatura del aire, presión, humedad, y precipitación desde 1960 hasta la actualidad. Esta información histórica se encuentra disponible en MeteoChile (<http://www.meteochile.cl>) de forma libre. Para este estudio se utilizaron los datos meteorológicos del año 2021. Además, en el ANEXO V se muestran los datos históricos de vientos, temperatura del aire y precipitación en la localidad de San Juan Bautista.
- g) **Anclaje costero “Estación langosta I” (salinidad, temperatura y oxígeno).** Debido a la pérdida del anclaje instalado en la Estación langosta I, se está gestionando junto con la Armada de Chile la instalación de un nuevo anclaje con nuevos sensores. Este anclaje costero se ubicó en el sector noreste de Robinson Crusoe, entre Punta Bacalao y Los Morros (33°38.608°S y 78°46.834°W, Estación langosta I). Se desplegó a ~120 metros de

profundidad, con sensores a los 5, 50 y 80 m (Figura 7). Cuenta con 3 sensores WiSens para datos de salinidad y temperatura, y 3 sensores MiniDOT logger para oxígeno disuelto y temperatura. Todos los sensores toman datos cada 10 minutos. Los sensores están ubicados a 10 metros del fondo con una separación de 1 metro entre ellos. Debido a las dificultades para coordinar tiempos de navegación en la isla (dada las malas condiciones y la disponibilidad de embarcación durante temporada de pesca), la extracción de datos a partir de estos sensores fue realizada cada 3 meses.

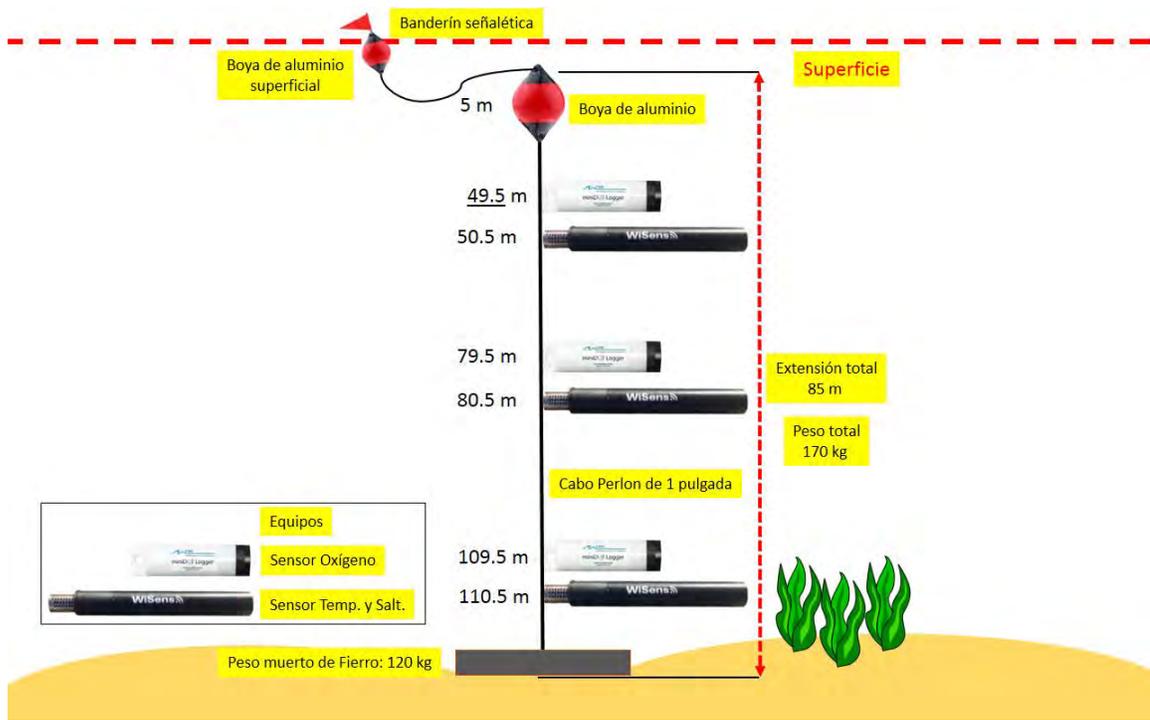


Figura 7 Esquema vertical del nuevo anclaje presentado a la Armada de Chile.

h) CMEMS GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHY\_001\_024 (CGLOPHY024). El producto CGLOPHY024, distribuido por CMEMS (<http://marine.copernicus.eu/>), es un modelo de pronóstico global diario (von Schuckmann et al., 2016). Es un modelo de alta resolución sobre una grilla regular  $1/12^\circ$  (~ 8 km) y 50 niveles de profundidad (desde la superficie a los 5500 m). El modelo cuenta con salidas desde enero de 2016 hasta el presente (más 14 días de pronóstico). Está basado en el modelo NEMO v3.1 y diariamente asimila datos satelitales de altimetría y temperatura superficial del mar, junto con perfiles verticales de temperatura y salinidad.

### 3.8.3 Relación entre indicadores ambientales y pesqueros

Para analizar la relación entre indicadores ambientales y las tasas de captura de langostas retenidas y no retenidas en el subsistema RC-SC, se consideraron las siguientes variables predictoras:

- Temperatura del agua (superficie y a 100 metros de profundidad)

- Salinidad del agua (superficie y a 100 metros de profundidad)
- Oxígeno del agua (superficie y a 100 metros de profundidad)
- Índice de energía cinética (EKE)
- Velocidad del viento (componentes NS y EW)
- Clorofila superficial

Las variables fueron integradas en una zona cercana a (33.6666°S, 78.9166° W), por día y para los años 2000 y 2021. La fuente de las bases de datos y su resolución temporal y espacial se detallan en la.

Tabla 9  
Características de datos fuentes de datos ambientales empleadas

Variable	Fuente	Resolución espacial	Resolución temporal	Periodo
Temperatura	GLORYS12V1	1/12° (H) 50n (V)	Diarios	2000-2020
Temperatura	OMGOAF	1/12° (H) 50n (V)	Diarios	2020-2021
Oxígeno	GOBH	1/4° (H) 75n (V)	Diarios	2000-2019
Oxígeno	OMOBGOAF	1/4° (H) 50n (V)	Diarios	2020-2021
Clorofila	GOBH	1/4° (H) 75n (V)	Diarios	2000-2019
Clorofila	OMOBGOAF	1/4° (H) 50n (V)	Diarios	2020-2021

A la base de datos de variables ambientales se le agregaron 2 variables dependientes, número de langostas retenidas (com) y no retenidas (non\_com). Para ellos se obtuvieron promedios diarios de rendimiento de pesca para cada variable. Los registros con NA fueron retirados de la base de datos. De esta forma, las variables dependientes pasaron de ser discretas a continuas, y su relación con las variables predictoras ambientales se estudió mediante modelos lineales con distribución gaussiana (regresiones simples y múltiple).

### 3.9 Objetivo 7

*Identificar los aspectos de mejora para el monitoreo costo-efectivo de las pesquerías que se desarrollan en el archipiélago de Juan Fernández e Islas Desventuradas, así como del ecosistema.*

Existen dos aspectos fundamentales considerados en la evaluación del desempeño del programa de monitoreo, (i) una pregunta estadística donde se evalúa estrategias de muestreo alternativas, comparándose el impacto sobre la incertidumbre en las estimaciones de los indicadores de interés (e.g. captura total, tasas de captura, estructuras de talla) y (ii) un diagnóstico sobre los métodos de evaluación que estarían disponibles para ser utilizados con la información generada por el actual programa de levantamiento de información y el tipo de inferencia alcanzable hacia el manejo con dichas aproximaciones.

#### 3.9.1 Evaluación de diseños de muestreo alternativos

Como se plantea en la metodología de este proyecto el programa de monitoreo utiliza una estrategia de muestreo trietápica, con estratos temporales (meses) y espaciales (subsistemas). Este objetivo se ha enfocado tanto en el muestreo pesquero como en el biológico, evaluándose el uso de distintas estrategias de muestreo respecto de la distribución del esfuerzo en cada una de las 3 etapas. Este análisis se realiza para las pesquerías de langosta, cangrejo y breca, debido a que se dispone de información más completa para estas pesquerías a través del tiempo. Siguiendo la metodología propuesta por McGarvey & Pennington (2001) se evalúa el impacto de diferentes estrategias sobre la precisión de las estimaciones de los estadísticos de interés, calculadas en base a la ecuación general que particiona la varianza en etapas y estratos. Las estrategias consistieron en utilizar diversas cantidades de componentes en cada una de las etapas, es decir i) unidad primaria de muestreo (embarcación), ii) unidad secundaria de muestreo (salida de pesca) y iii) unidad terciaria (trampa levantada).

Utilizando la información de las temporadas pasadas, los resultados de este trabajo permitían evaluar la performance de la estrategia actual y compararla con otras alternativas. Los resultados dependen de los niveles de variación en los estadísticos de interés en cada nivel, entre trampas, entre viajes y entre embarcaciones. McGarvey y Pennington (2011) encontraron que era más eficiente muestrear una trampa de todos los viajes de pesca, que muestrear todas las trampas de algunos viajes.

##### 3.9.1.1 Evaluación del uso de la información del programa de monitoreo

Teniendo en cuenta la gran diversidad de métodos de evaluación de stocks disponibles para pesquerías con datos limitados (Dowling et al., 2014; McDonald et al., 2014) se empleó un procedimiento conocido como FishPath. FishPath es una herramienta interactiva basada en la web que ha sido diseñada para orientar el proceso de monitoreo, evaluación y gestión de pesquerías que carecen de datos, recursos y/o capacidades institucionales con la finalidad de realizar, de manera más formal, una evaluación y gestión cuantitativa de las poblaciones marinas explotadas en función de la disponibilidad de información y contexto específico de cada pesquería (Dowling et al., 2016).

Esta herramienta consta de tres etapas: i) Colección de datos, ii) Evaluación y iii) Medidas de manejo. Cada una se encuentra conformada por una serie de preguntas a modo de cuestionario en donde se abordan temas relacionados a la disponibilidad de datos (dependientes o independientes de la pesquería), atributos históricos de vida de las especies evaluadas, características operacionales de la pesquería, así como también los aspectos socio-económicos y de gobernanza (Figura 8). En la primera etapa, la herramienta incluye una amplia variedad de opciones de colección de datos (desde encuestas en mercado hasta bitácoras de pesca y programas de observación). Estas se encuentran categorizadas en función a lo que informan pudiendo ser a) una comprensión básica de la pesquería, b) información biológica, c) tendencias en el tiempo y d) datos de entrada para una evaluación de stock basada en modelos. En la segunda etapa, la herramienta permite al usuario conocer cuáles de los más de 40 métodos disponibles en FishPath son los más apropiados para evaluar el estado de los stocks de peces. Los métodos se encuentran categorizados desde enfoques cualitativos (juicio experto, análisis de riesgo, entre otros) hasta modelos dinámicos de poblaciones de peces. La tercera y última etapa se focaliza sobre las medidas de manejo. Es importante mencionar que FishPath no prescribe una forma específica de monitorear, evaluar o administrar una pesquería, ni realiza evaluaciones. Más bien, sirve como marco organizacional para agilizar el proceso de selección de métodos apropiados. Aquí se abordó exclusivamente la etapa I y II de FishPath.

El jueves 14 de octubre del 2021 se realizó un conversatorio virtual con el propósito de usar la herramienta FishPath y el conocimiento local para identificar la información pesquera colectada por los diferentes programas de monitoreo y, a partir del mismo, un conjunto selecto de metodologías de evaluación con datos limitados para las pesquerías de crustáceos (*Jasus frontalis* y *Chaceon chilensis*) y peces (*Nemadactylus gayi*) en el archipiélago Juan Fernández. Los participantes del taller representaron a diferentes instituciones como el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA), Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA), presidente del sindicato de pescadores de Juan Fernández e investigadores a fines del área (ONG's, universidades).



Figura 8 Herramienta FishPath. Aproximación general. Adaptado de: <https://fishpath.github.io/FishPath-Tool-User-Guide/intro.html>.

## 4 RESULTADOS

---

El presente documento integra la información obtenida a través de la ejecución del proyecto de monitoreo de las pesquerías de crustáceos en los subsistemas: i) islas Robinson Crusoe-Santa Clara (RC-SC), ii) isla Alejandro Selkirk (AS) y iii) archipiélago Islas Desventuradas durante el año 2021. Los resultados involucran la información biológico-pesquera de la temporada 2020/21 de la langosta de Juan Fernández (octubre del 2020 a mayo del 2021) e inicios de la temporada 2021/22 (octubre a diciembre del 2021), registros de cangrejo dorado y breca del período enero – diciembre del 2021 y el análisis de variables ambientales. La planificación y ejecución de las actividades programadas se incluyen en el ANEXO II.

### 4.1 Objetivo 1

*Caracterizar la actividad pesquera de crustáceos y peces en su fase extractiva, considerando los aspectos técnicos en las unidades extractivas y a través de la estimación de indicadores pesqueros y el análisis de variaciones espacio-temporales.*

#### 4.1.1 Langosta de Juan Fernández

##### *Estimaciones puntuales*

Las estimaciones puntuales de los indicadores pesqueros que aquí se presentan provienen de la base de datos de bitácora de pesca de los pescadores que participan en el programa de seguimiento de la pesquería. La importancia de reportar la información no censal obtenida es que es la forma en que se pueden tener indicadores espaciales más detallados, no solo a nivel de subsistema, sino también de las zonas presentadas previamente (Figura 3).

*Subsistema islas Robinson Crusoe-Santa Clara* (Tabla 10): Si bien la estadística que se colecta a través del programa de bitácoras de los pescadores no es censal, tiene una amplia cobertura respecto del esfuerzo total (número de viajes de pesca). Según los registros de las bitácoras de pesca la temporada 2020/21 las tasas de captura en las zonas 6 y 7 son de las más elevadas a través de la temporada en este subsistema, situación que se repite frecuentemente. La zona sur de la isla Robinson Crusoe y la zona de Santa Clara (zona 7) sustentan un elevado esfuerzo y fracción de la captura total que ocurre en este subsistema. La temporada 2021/22 inicia con mejores valores de CPUE en las zonas 4 y 5, homologando los valores entre zonas hacia diciembre.

*Subsistema isla Alejandro Selkirk* (Tabla 11): En la temporada 2020/21 es la zona 3 donde se registran las mayores capturas y esfuerzo, sin embargo, son las zonas 2 y 4 las que tienen mayor CPUE en este periodo (lado sur y oeste de la isla). Esta señal se repite a inicios de la temporada sumando mejores rendimientos en la zona 3. La CPUE de las zonas 1, 5 y 6 se reduce nuevamente durante el inicio de la temporada 2021/22 después de presentar altos valores hacia fines de la temporada 2020/21

*Subsistema archipiélago Islas Desventuradas* (Tabla 12): Durante la temporada 2019/20, 2020/21 y 2021/22 solo 3 embarcaciones se trasladaron a realizar faenas alrededor de las islas San Félix y

San Ambrosio, identificando que el despliegue de sus aparejos de pesca se hizo entre las zonas 1 y 2, es decir se mantuvieron **más cerca del refugio “La Potala”** en la isla San Ambrosio, sumando la zona 3 durante la temporada 2020/21 que inició en noviembre. Durante los meses de noviembre y diciembre de 2020 es la zona 2 la que presenta mejores rendimientos. Las faenas de la temporada 2021/22 se identificaron en la zona 1 y los rendimientos se observan aumentados respecto de 2020/21.

Tabla 10

Captura (número de individuos retenidos), Esfuerzo (número de trampas levantadas) y CPUE (número de individuos retenidos por trampa levantada) para langosta de Juan Fernández en el subsistema islas Robinson Crusoe – Santa Clara, por zona y mes durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22 (información no censal).

Indicador	Zona	Temporada 2020/21					Temporada 2021/22					
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
Captura (Número de langostas)	1	39	92	55	53	38	39	95	6	42	67	42
	2	29	58	61	59	31	15	2		161	180	98
	3	192	185	170	179	221	207	111	49	101	56	49
	4	3	22	4	13	0	10	14	0	293	723	135
	5	164	205	241	429	679	462	297	122	151	266	81
	6	136	183	107	159	144	109	99	6	34	44	25
	7	620	461	351	360	486	547	313	134	586	464	446
	8	55	57	124	60	151	193	60		77	57	35
	9	123	162	248	213	279	420	150	69	51	36	28
	10	138	429	183	48	146	151	88	71	229	258	206
	11	71	67	83	21	19	31	16	15	120	269	122
Esfuerzo (trampas levantadas)	1	187	180	144	92	100	59	26	4	153	139	90
	2	104	104	98	90	64	47	21		265	327	224
	3	412	329	379	254	208	204	134	33	123	94	105
	4	13	34	27	28	1	8	12	3	106	217	249
	5	289	317	458	458	476	377	282	85	96	168	162
	6	170	108	164	195	141	93	68	14	53	69	43
	7	718	533	545	432	479	512	341	107	978	613	572
	8	132	87	148	119	130	204	104	5	194	118	124
	9	293	302	425	250	261	399	186	95	352	254	154
	10	194	189	196	108	105	199	114	66	701	562	531
	11	207	132	136	38	44	55	24	18	493	390	298
CPUE (# langostas por trampa)	1	0.21	0.51	0.38	0.58	0.38	0.66	3.65	1.50	0.27	0.48	0.47
	2	0.28	0.56	0.62	0.66	0.48	0.32	0.10		0.61	0.55	0.44
	3	0.47	0.56	0.45	0.70	1.06	1.01	0.83	1.48	0.82	0.60	0.47
	4	0.23	0.65	0.15	0.46	0.00	1.25	1.17	0.00	2.76	3.33	0.54
	5	0.57	0.65	0.53	0.94	1.43	1.23	1.05	1.44	1.57	1.58	0.50
	6	0.80	1.69	0.65	0.82	1.02	1.17	1.46	0.43	0.64	0.64	0.58
	7	0.86	0.86	0.64	0.83	1.01	1.07	0.92	1.25	0.60	0.76	0.78
	8	0.42	0.66	0.84	0.50	1.16	0.95	0.58	0.00	0.40	0.48	0.28
	9	0.42	0.54	0.58	0.85	1.07	1.05	0.81	0.73	0.14	0.14	0.18
	10	0.71	2.27	0.93	0.44	1.39	0.76	0.77	1.08	0.33	0.46	0.39
	11	0.34	0.51	0.61	0.55	0.43	0.56	0.67	0.83	0.24	0.69	0.41

Tabla 11

Captura (número de individuos retenidos), Esfuerzo (número de trampas levantadas) y CPUE (número de individuos retenidos por trampa levantada) para langosta de Juan Fernández en el subsistema isla Alejandro Selkirk, por zona y mes durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22 (información no censal).

Indicador	Zona	Temporada 2020/21							Temporada 2021/22			
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
Captura	1	94	275	140	173	94	99	60		268	123	153
	2	123	419	228	230	232	138	117		290	246	408
	3	263	819	637	786	664	476	306		795	666	770
	4	335	452	842	787	1065	632	306		327	367	246
	5	125	420	483	425	559	725	292		698	403	469
	6	90	214	87	54	89	173	51		241	103	64
Esfuerzo	1	111	320	153	109	62	70	49		360	172	148
	2	107	245	135	116	120	71	73		201	195	211
	3	249	745	600	644	569	457	224		617	542	495
	4	229	321	539	445	608	485	278		251	343	199
	5	143	360	344	251	281	325	180		620	510	532
	6	123	229	116	69	62	90	41		356	163	100
CPUE	1	0.85	0.86	0.92	1.59	1.52	1.41	1.22		0.74	0.72	1.03
	2	1.15	1.71	1.69	1.98	1.93	1.94	1.60		1.44	1.26	1.93
	3	1.06	1.10	1.06	1.22	1.17	1.04	1.37		1.29	1.23	1.56
	4	1.46	1.41	1.56	1.77	1.75	1.30	1.10		1.30	1.07	1.24
	5	0.87	1.17	1.40	1.69	1.99	2.23	1.62		1.13	0.79	0.88
	6	0.73	0.93	0.75	0.78	1.44	1.92	1.24		0.68	0.63	0.64

Tabla 12

Captura (número de individuos retenidos), Esfuerzo (número de trampas) y CPUE (número de individuos retenidos por trampa) para langosta de Juan Fernández en el subsistema archipiélago Islas Desventuradas, por zona y mes durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22 (información no censal).

Indicador	Zona	Temporada 2020/21						Temporada 2021/22		
		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Oct	Nov	Dic
Captura	1	506	570	305	2514	1371	217	<u>3571</u>	<u>2518</u>	<u>3938</u>
	2	82	64		107	25	48			
	3	52	447	179	184	41	41			
Esfuerzo	1	93	83	59	488	360	117	<u>539</u>	<u>388</u>	<u>494</u>
	2	6	6		20	9	20			
	3	10	48	29	27	20	26			
CPUE	1	5.4	6.9	5.2	5.2	3.8	1.9	<u>6.6</u>	<u>6.5</u>	<u>8.0</u>
	2	13.7	10.7		5.4	2.8	2.4			
	3	5.2	9.3	6.2	6.8	2.1	1.6			

### *Indicadores pesqueros estimados*

#### Esfuerzo de Pesca

El esfuerzo de pesca reportado se expresa como número total de viajes y número total de trampas levantadas. El primer estadístico es censal y proviene del Control de Tráfico Marítimo, el segundo proviene del programa de monitoreo basado en bitácoras de pesca (número promedio de trampas levantadas por viaje) e información censal.

#### Captura total retenida

La Tabla 13 señala las capturas retenidas totales estimadas por subsistema, desde octubre a mayo de la temporada 2020/21 e inicios de la temporada 2021/22 para la pesquería de la langosta. El esfuerzo en número de salidas es definido además del número de embarcaciones, por las condiciones de mar (cierre de puerto) durante el mes y por la inestabilidad de la demanda de langostas del último tiempo (crisis sanitaria 2020-2021 y repercusiones económicas debido a las consecuencias en el comercio de langostas hacia China – principal destino comercial).

El esfuerzo refleja el cierre temprano de la temporada de pesca de langosta 2020/21 en la isla Alejandro Selkirk. De acuerdo con las estimaciones presentadas, el mayor esfuerzo en viajes se realiza en el subsistema RC-SC, triplicando aproximadamente el número de salidas mensuales, consecuente con el número de embarcaciones que operan en este subsistema. En cuanto al número de trampas revisadas por viaje, es mayor en AS durante toda la temporada, en 10 o más unidades.

En el subsistema ID el número de trampas levantadas por viaje fluctúa entre 11 y 20 unidades, cantidad menor ya que trabajan con dos grupos de trampas.

En cuanto a la captura por viaje destaca la disminución durante el inicio de la temporada 2020/21 (octubre) en ambos subsistemas de AJF, aunque más deprimido en RC-SC, mientras que se mantiene superior durante toda la temporada en ID, alcanzando el mayor valor en noviembre (106.7 langostas retenidas por viaje). Los mejores rendimientos por viaje en AS son alcanzados en enero y febrero, y en febrero y marzo en RC-SC. En RC-SC el esfuerzo ejercido tanto en número de trampas como en número de viajes mensuales es mayor, no así el número de trampas revisadas por viaje; los rendimientos son menores y se encuentran entre 12.9 (octubre) y 24.7 (febrero) langostas retenidas por viaje de pesca; los rendimientos por viaje en este subsistema mejoran durante la segunda parte de la temporada. En el mes de octubre la captura total estimada fue mayor en RC-SC, condición que se revierte entre los meses noviembre y enero, donde es mayor en AS, mientras que desde febrero es mayor en RC-SC. La captura total en número de langostas retenidas estimadas asciende a 31240 y 52701 en AS y RC-SC respectivamente y 21627 en ID. De acuerdo con la estimación de la talla media de la captura retenida y asignando el peso medio mensual, se estima que la captura total retenida en peso alcanzó 86.6 ton durante esta temporada, siendo RC-SC poco menos del doble que AS, sumado a las 19.0 ton capturadas en ID. Durante el inicio de la temporada 2021/22 se estimó una biomasa captura de 35.1 ton, más de 10 ton respecto al inicio de la temporada 2020/21.

Por su parte, los meses iniciales de la temporada 2021/22 registran mayor esfuerzo en número de salidas en AS respecto al año anterior, además las trampas revisadas por viaje y los rendimientos por viaje son mayores respecto al año anterior. En RC-SC en cambio, el esfuerzo es un poco menor a lo observado el año anterior (2020/21), mientras que se evidencia un aumento en el número de

trampas revisadas por viaje. La captura por viaje presenta mejores rendimientos que el periodo octubre-diciembre de 2020, pero son menores comparados con la segunda parte de la temporada 2020/21. Desventuradas mantuvo sus altos rendimientos en lo que refiere a los meses de noviembre y diciembre, superando con creces a los otros dos subsistemas. Destaca también que la talla media de la captura retenida es cercana a 10 mm más que en AJF.

Tabla 13

Esfuerzo, captura retenida por viaje y por mes de langosta de Juan Fernández en los subsistem/as AS, RC-SC e ID. Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.

Estadístico	Subsistema	Temporada 2020/21								Temporada 2021/22			TOTAL	TOTAL
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	2020/21	2021/22
Esfuerzo (# de salidas)	AS	52	110	128	100	97	135	92	13	166	131	93	727	390
	RC-SC	341	247	317	285	276	320	241	108	289	280	232	2135	801
	ID	0	24	34	47	61	26	8	0	30	22	24	200	76
Trampas revisadas por viaje	AS	37.8	37.0	36.3	33.9	30.8	18.7	32.5	25.6	41.5	40.1	44.4		
	RC-SC	30.9	31.5	27.8	25.7	25.1	19.9	15.6	20.9	34.8	32.4	29.1		
	ID	5.0	18.3	18.0	<u>18.2</u>	21.0	20.5	20.4	0.0	18.0	17.6	20.6		
Trampas revisadas por mes	AS	1967	4070	4640	3389	2985	2525	2990	333	6889	5254	4131	22898	16274
	RC-SC	10545	7782	8817	7333	6929	6361	3753	2256	10047	9073	6749	53777	25868
	ID	0	440	612	854	1278	532	163	0	539	388	494	3879	1421
Captura por viaje	AS	36.8	30.3	44.3	59.4	55.1	33.1	43.5	43.5	45.2	39.8	55.6		
	RC-SC	9.4	8.5	10.3	35.4	56.3	34.4	21.1	22.3	18.1	17.0	19.2		
	ID	74.0	145.6	91.3	129.6	109.3	75.6	38.3	0.0	119.0	114.5	164.1		
Captura total por mes (Número)	AS	1913	3336	5670	5939	5342	4469	4006	566	7496	5207	5169	31240	17872
	RC-SC	3206	2105	3261	10094	15538	10996	5095	2404	5218	4746	4454	52701	14418
	ID	0	3495	3104	6091	6664	1966	306	0	3571	2518	3938	21627	10027
Total archipiélago. Juan Fernández (Número)												83941	32290	
Total archipiélago. Juan Fernández + Islas Desventuradas (Número)												105569	42317	
Talla Media por mes (C. Retenida)	AS	118.4	119.8	118.3	118.8	119.2	119.8	118.1	<u>118.1</u>	118.1	118.0	117.9		
	RC-SC	119.1	119.3	119.2	120.9	121.5	120.9	121.1	121.4	120.9	120.2	120.8		
	ID	132.0	128.8	130.1	129.4	129.4	<u>129.4</u>	<u>129.4</u>	-	<u>129.4</u>	<u>129.4</u>	<u>129.4</u>		
Peso Medio por mes (C. Retenida)	AS	775.5	799.5	774.0	782.1	789.2	800.7	770.1	763.1	762.9	761.7	759.2		
	RC-SC	787.0	791.1	789.8	818.9	831.0	820.4	823.7	823.5	814.1	801.1	810.8		
	ID	1034.3	968.6	994.9	981.7	981.7	979.2	979.2		979.2	979.2	979.2		
Captura total por mes (Peso)	AS	1.5	2.7	4.4	4.6	4.2	3.6	3.1	0.4	5.7	4.0	3.9	24.5	13.6
	RC-SC	2.5	1.7	2.6	8.3	12.9	9.0	4.2	2.0	4.2	3.8	3.6	43.1	11.7
	ID	0.0	3.4	3.1	6.0	6.5			0.0	3.5	2.5	3.9	19.0	9.8
Total archipiélago. Juan Fernández (Peso)												67.6	25.3	
Total archipiélago. Juan Fernández + Islas Desventuradas (Peso)												86.6	35.1	

### Captura por unidad de esfuerzo

Subistema RC-SC: En la Figura 9 se reportan las tasas de captura expresadas como número de langostas por trampa levantada por temporada y zona (11 zonas en RC-SC). Tanto para langostas retenidas como no retenidas, los rendimientos de las temporadas 2016/17 y 2017/18 por zona han sido estimados como los más bajos e incluso, durante la temporada 2017/18 en las zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 son aun más bajos que la temporada anterior. Sin embargo, estos muestran un aumento en la temporada 2018/19 con valores similares durante 2020/21, quedando dentro de la tendencia de años anteriores en el caso de la captura retenida.

Por su parte, la captura no retenida (ejemplares < 115 mm y hembras ovígeras) por trampa también presenta un aumento por zona respecto a 2017/18, mateniendo valores similares entre 2019/20 y 2020/21, sin embargo, desde 2016/17 son las zonas 7, 8, 9, 10 y 11 las que se mantienen bajas respecto a temporadas anteriores. El mayor número de langostas no retenidas por trampa durante la temporada 2020/21 (9.5) es alcanzado en la zona 5 (Sur), mientras que las zonas 5, 6 y 7 alcanzan el mayor valor de langostas retenidas (~1 unidad) durante la temporada, a diferencia de años anteriores donde la zona 7 es la de mejores rendimientos. La temporada 2020/21 inicia con valores de langostas retenidas por trampa más bajos que los reportados durante 2019/20 en las zonas 1-5, evidencia un alza en la zona 6 y se mantiene similar entre las zonas 7-11. La primera parte de la temporada 2021/22 coincide con los valores bajos observados en temporadas previas, sin embargo, destaca el mejor rendimiento en capturas de langostas retenidas en la zona 4 respecto a la serie. En el caso de las langostas no retenidas, en todas las zonas se observan valores similares o menores a lo reportado para la temporada completa 2019/20, mientras que el inicio de la temporada 2021/22 solo tiene mejores rendimientos en langostas no retenidas en la zona 5 respecto a las temporadas anteriores.

De la serie temporal de CPUE (langostas retenidas por trampa) por zonas presentada en la Figura 10 se observa que desde la temporada 2012/13, el indicador no superaba la unidad de langosta por trampa en ninguna zona, excepcionalmente, la zona 5 durante 2019/20 supera la unidad, y las zonas 3 y 9 están muy cerca, notando un ascenso desde la temporada anterior. Las zonas 7 y 8 presentaron una CPUE deprimida respecto al ascenso observado durante 2018/19. En el periodo reportado de la temporada 2020/21, destaca la fuerte alza de la zona 6, alcanzando rendimientos por sobre la unidad. Durante el inicio de la temporada 2021/22 destacan las zonas 4 y 5 con los mejores valores de langostas retenidas por trampa.

En cuanto a la CPUE nominal mensual de langostas retenidas, la temporada 2020/21 inició con rendimientos de langostas más altos que el 2019, y desde enero en adelante aumentó gradualmente, siguiendo una tendencia similar a la temporada 2018/19; la temporada 2021/22 presentó rendimientos similares a temporadas anteriores, sin embargo, destaca la disminución en diciembre de 2021. La CPUE de langostas no retenidas inicia con valores bajos, con un leve aumento entre meses siguientes, alcanzando el máximo en febrero (Figura 11). La CPUE no retenida durante 2020/21 es similar a lo observado durante las temporadas 2016/17 y 2018/19, mientras que la temporada 2021/22 presenta valores un poco más bajos (coincidiendo con los rendimientos más bajos de la serie reportados durante la temporada 2018/19).

La Figura 12 entrega los registros de las diferentes temporadas de pesca por intervalos de tiempo con la información de la CPUE acumulada. El período inicial de este indicador se posiciona como

un *proxy* de las capturas durante la temporada considerando los datos disponibles de todas las temporadas anteriormente registradas, mostrando un alto grado de correlación (Figura 13), lo que da una idea de cuán predictiva es la señal. De acuerdo con la figura, la CPUE de langostas retenidas es similar los 3 primeros meses de la temporada, mostrando una pendiente positiva hacia los valores acumulados a febrero y luego se estabiliza. La CPUE no retenida acumulada es más bien similar. De acuerdo con este *proxy*, para la totalidad de la temporada 2019/20 se esperaba una disminución en las capturas tanto de langostas retenidas (simil a la temporada 2011/12) como no retenidas (cercanos a lo observado durante 2018/19), sin embargo, el aumento en la segunda parte de la temporada, como fue descrito anteriormente, marca la diferencia con lo esperado. Para la temporada 2020/21, se observan rendimientos de langostas retenidas por sobre las 0.5 unidades durante toda la temporada posicionándose desde el inicio como una de las mejores temporadas de la serie (aunque sin alcanzar los mayores niveles de temporadas previas), sosteniendo los valores de langostas retenidas y no retenidas. Por su parte, según este *proxy* se espera que la temporada 2021/22 se mantenga sobre 0.5 langostas retenidas, siendo además la temporada con rendimientos más bajos de langostas no retenidas.

La Figura 14 muestra un desglose mensual, integrando la información espacial y estacional de la CPUE retenida y no retenida en el subsistema RC-SC. La línea punteada indica la media de la CPUE. La señal de cada temporada es similar, comienza con bajos rendimientos, luego aumentan hasta alcanzar el máximo y finalmente disminuyen con el transcurrir de la temporada, sin embargo y como ha sido notado anteriormente, la temporada 2017/18 finaliza con un aumento en ambos indicadores y aunque la temporada 2018/19 inicia con valores bajo el promedio, desde enero de 2019 hasta mayo se mantiene el rendimiento de langostas retenidas sobre la media de la serie, tendencia que no se observaba desde la temporada 2010/11 (Figura 14 a). En cuanto a la variabilidad intra-temporada 2019/20, inicia con rendimientos históricamente bajos, sin embargo, el aumento desde enero a abril está por sobre la media de la serie para langostas retenidas por trampa, así como para el indicador de langostas no retenidas, el aumento es consistente, sobrepasando la media de la serie en febrero, lo que no había sido alcanzado desde la temporada 2013/14. Ambos indicadores mostraron un declive más profuso durante el inicio de la temporada 2019/20, encontrándose entre los valores más bajos de la serie, sin embargo, la situación se revierte drásticamente hacia la segunda parte de la temporada; los valores vuelven a caer durante el inicio de la temporada 2020/21 pero no son los más bajos de la serie, por tanto, hay una recuperación de la CPUE de langostas retenidas en contraste con la temporada 2019/20. La temporada 2021/22 comienza con valores bajo la media histórica, y aunque en noviembre destaca un aumento mayor incluso a los rendimientos de la temporada 2020/21, este valor no logra sobrepasar la media.

En cuanto a los rendimientos de langostas no retenidas (Figura 14 b) se mantiene la tendencia a valores por debajo de la media histórica desde la temporada 2015/16, solo durante la temporada 2019/20 se sobrepasó la media, coincidiendo también con las langostas retenidas. Este indicador se expresa aun más deprimido al iniciar la temporada 2021/22.

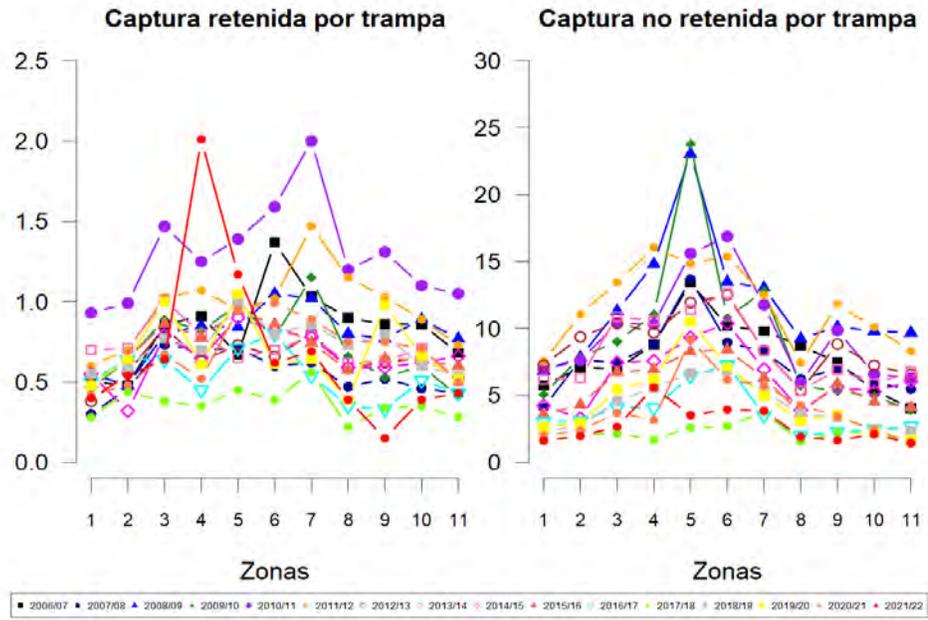


Figura 9 Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en las diferentes zonas de pesca del subsistema RC-SC desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.

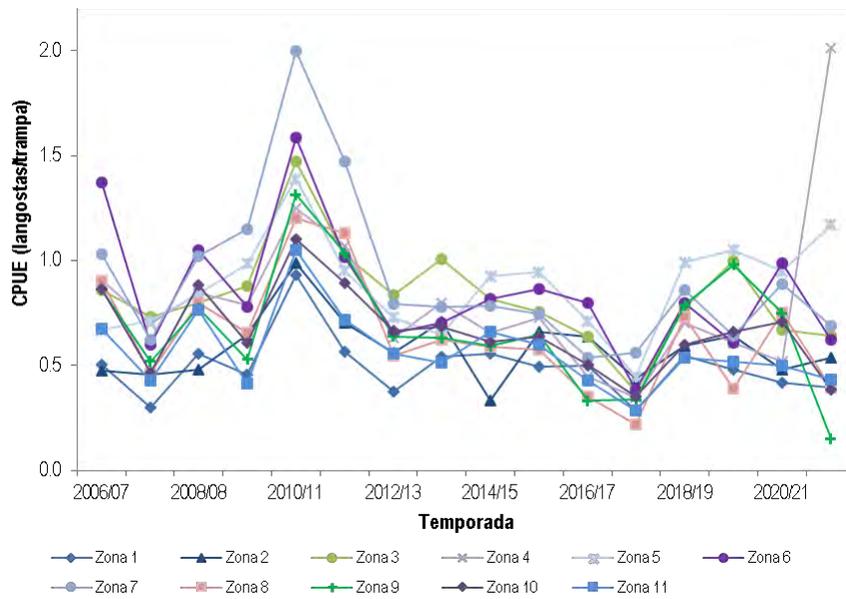


Figura 10 CPUE (número de langostas retenidas por trampa) por zona delimitada en el subsistema RC-SC desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.

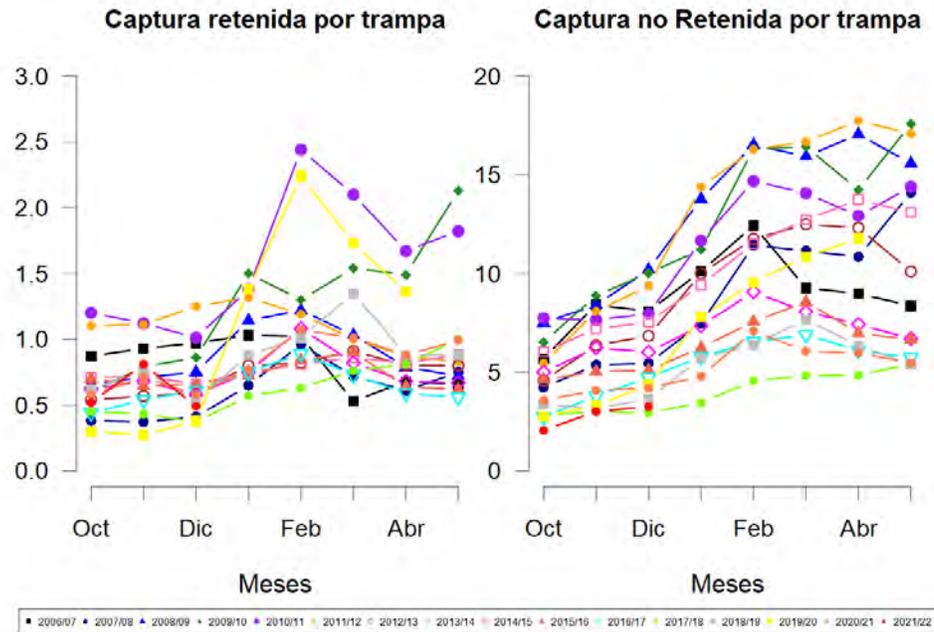


Figura 11 Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en los diferentes meses de pesca en el subsistema RC-SC desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.

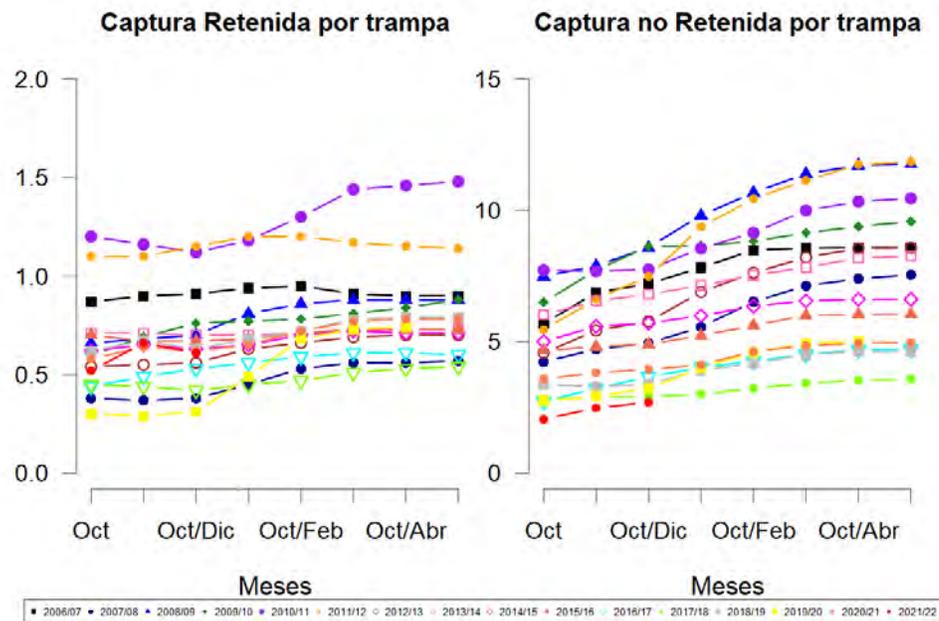


Figura 12 CPUE de langostas retenidas y no retenidas en las diferentes temporadas de pesca (desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22) en el subsistema RC-SC. El eje X representa distintos intervalos de tiempo durante las temporadas utilizados para el cálculo de la CPUE.



Figura 13 Grado de correlacion entre la CPUE acumulada a distintos intervalos de tiempo versus la CPUE de la temporada completa, desde la temporada 2006/07 a 2020/21 para el subsistema RC-SC.

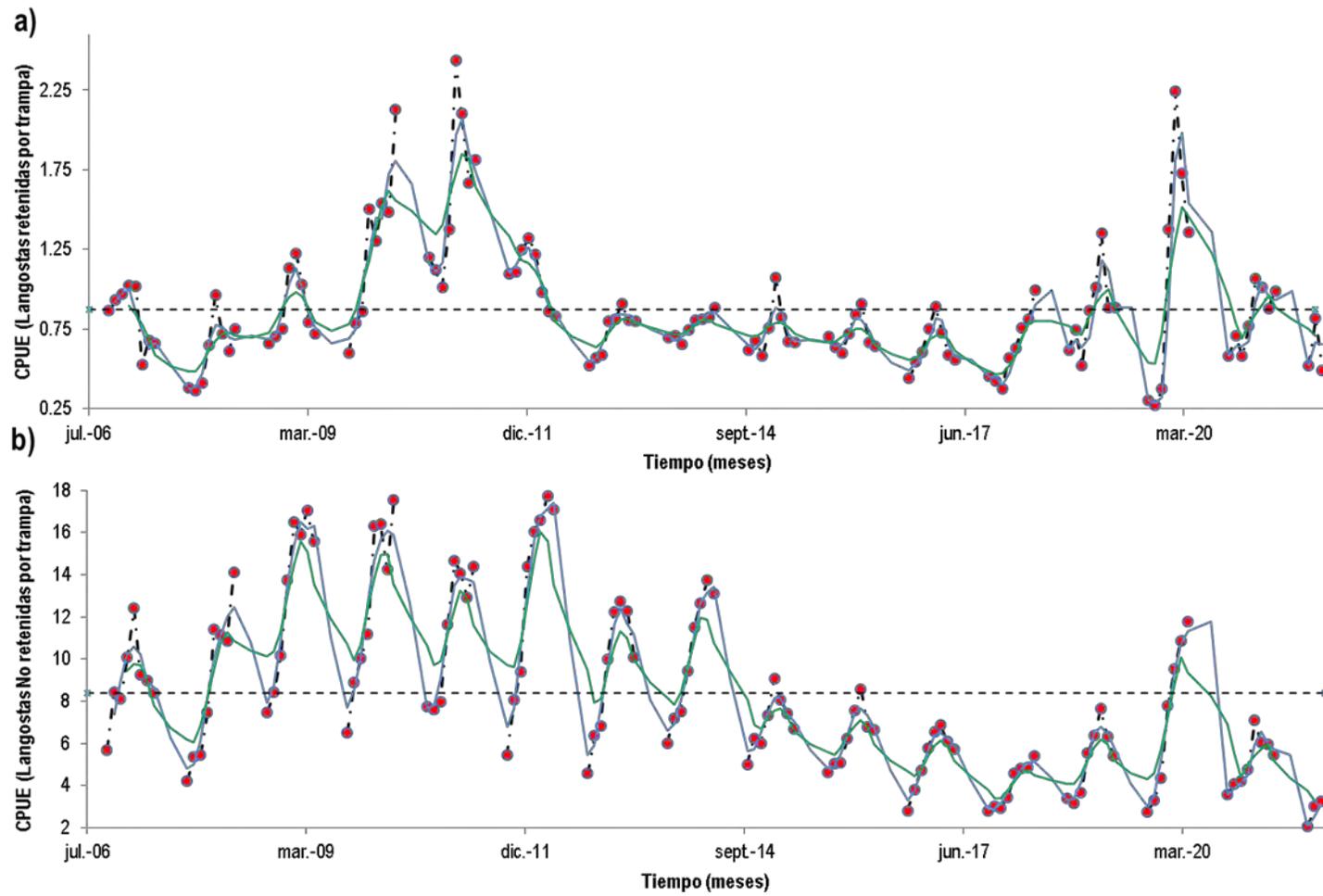


Figura 14 Serie de tiempo de CPUE de langostas retenidas (a) y no retenidas (b) por trampa levantada en el subsistema RC-SC. Los círculos rojos son los promedios mensuales de CPUE, la línea discontinua horizontal indica el promedio de las capturas durante toda la serie, en azul y verde se presentan las medias móviles. Periodo octubre 2006 a diciembre 2021.

Subsistema AS: Pese al descenso notable de la temporada 2017/18 en la CPUE tanto en langostas retenidas como no retenidas, el rendimiento por zona durante la temporada 2018/19 mostró una recuperación alejándose de los registros más bajos de la serie (temporadas 2007/08, 2014/15 y 2017/18, Figura 15). En la temporada 2020/21 se aprecian rendimientos medios a bajos en todas las áreas, siendo particularmente bajo en la zona 3, mientras que la temporada 2021/22 las zonas 5 y 6 están entre los rendimientos más bajos de la serie para langostas retenidas y no retenidas. En general la zona 2 ha destacado por presentar la mayor CPUE retenida y no retenida en todas las temporadas (a excepción de la 2006/07) aunque durante la temporada 2019/20 las otras zonas presentan valores similares. Se repiten mejores rendimientos de langostas retenidas en la zona 2 al iniciar la temporada 2020/21, mientras que es la zona 4 la que presenta mejores rendimientos de langostas no retenidas.

Desde la comparación de la serie de CPUE por zona entre temporadas presentada en la Figura 16 se puede apreciar que luego de la notable disminución en todas las zonas (acentuado en la zona 6) durante la temporada 2017/18, la temporada 2018/19 presenta rendimientos aumentados en todas las zonas, que vuelven a disminuir durante 2019/20, aunque se mantienen sobre la unidad de langostas por trampa. Los rendimientos de los primeros meses de la temporada 2020/21 bajan nuevamente en la zona 6. En la temporada 2021/22 todas las zonas presentan una disminución en los rendimientos observados durante 2020/21, a excepción de la zona 3 que tiene un leve aumento.

Bajo un punto de vista estacional al analizar la Figura 17 se observa que durante la temporada 2019/20 la CPUE de langostas retenidas tiene un *peak* desde enero a marzo, cercano a dos langostas retenidas por trampa, mientras que las langostas no retenidas alcanzan el mayor valor en febrero, sin superar las 20 langostas no retenidas por trampa. Este último indicador se muestra en marzo como el más bajo de la serie. A diferencia de lo observado en RC-SC, el rendimiento de langostas disminuyó respecto a la temporada anterior. Así, ambos indicadores se encuentran deprimidos en la temporada 2019/20. La temporada 2020/21 presenta rendimientos similares de langostas retenidas, mientras que, en el caso de las no retenidas, destacan las menos de 10 unidades registradas en octubre. Los primeros meses de la temporada 2021/22 muestran rendimientos cercanos a la unidad de langostas retenidas, y las langostas no retenidas por trampa presentan un leve aumento respecto a 2020/21.

Al igual que en RC-SC, las CPUEs agrupadas entregarían un patrón del comportamiento del indicador desde el inicio de la temporada (Figura 18), por lo que era de esperar que la temporada 2019/20 tuviera rendimientos cercanos a 1.0 langosta retenidas por trampa, manteniendo esta condición. La CPUE no retenida acumulada se mantuvo estable, sobre 10 langostas por trampa. Siguiendo este *proxy*, la temporada 2020/21 mantuvo una CPUE de langostas retenidas por trampa similar o superior a la unidad. Para ambos indicadores, el rango de variación presentado durante la temporada es descrito en los primeros meses sin mostrar la tendencia a aumentar durante la segunda parte de la temporada, como se había observado en periodos anteriores. De acuerdo con este *proxy* es esperable que la temporada 2021/22 tenga rendimientos similares a 2020/21 en cuanto a langostas retenidas y levemente superiores para langostas no retenidas (por sobre 10 unidades). La Figura 19 indica el grado de correlación de la CPUE acumulada, desde enero en adelante la correlación es cercana a 0.9.

La integración espacial y estacional de la CPUE de langostas retenidas y no retenidas en AS presentada en la Figura 20 muestra la fuerte caída de la CPUE durante la temporada 2017/18 y su

recuperación con valores sobre el promedio histórico durante la mayor parte de la temporada 2018/19. Sin embargo, este comportamiento no se replica durante 2019/20, mostrando nuevamente un bajo nivel durante los primeros meses. La CPUE retenida aumenta levemente por sobre la media de la serie entre enero-marzo de 2020, no así la CPUE no retenida, que no alcanza a superar la media y cae fuertemente en marzo. Los primeros meses de la temporada 2020/21 son similares en CPUE retenida, y van en ascenso, mientras que la CPUE no retenida se estima entre los valores más bajos de la serie durante octubre, con un notable aumento hacia diciembre. La temporada 2021/22 inicia con valores similares para langostas retenidas con relación a los meses del 2020 (todos bajo la media histórica), ascendiendo hacia diciembre. El indicador de langostas no retenidas se recupera los primeros meses de la temporada 2021/22, sin superar la media, lo que no se ha observado desde la temporada 2018/19.

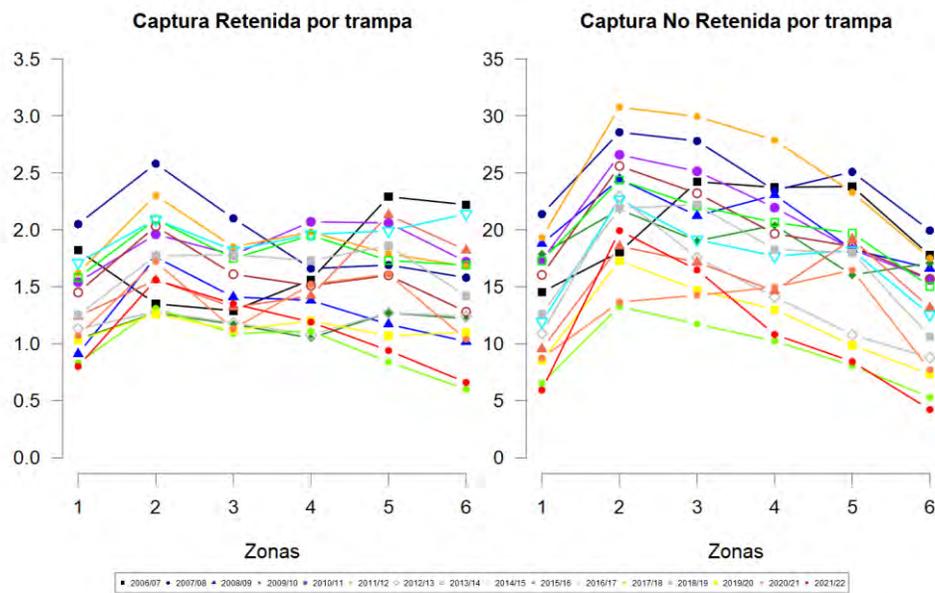


Figura 15 Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en las diferentes zonas de pesca del subsistema AS desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.

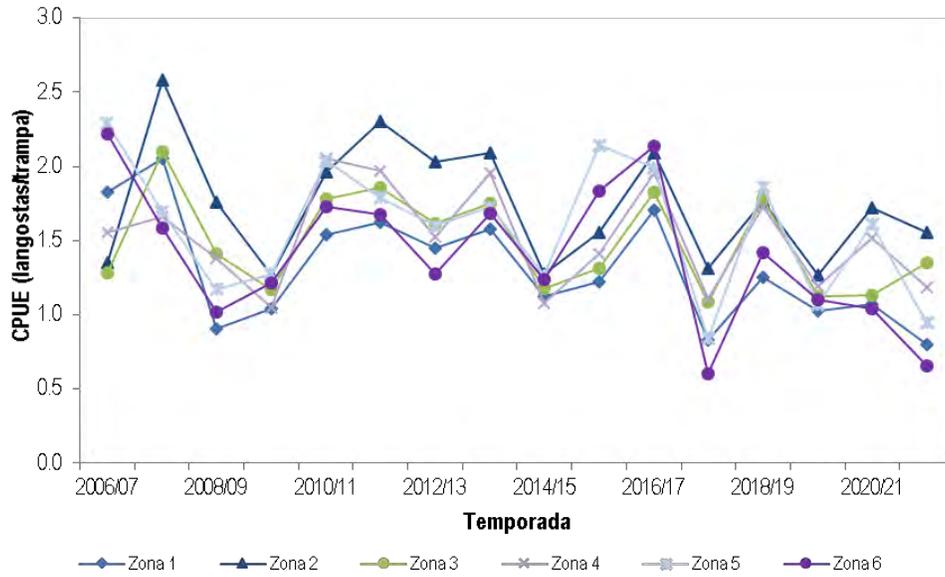


Figura 16 CPUE (número de langostas retenidas por trampa) por zonas delimitadas del subsistema AS desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.

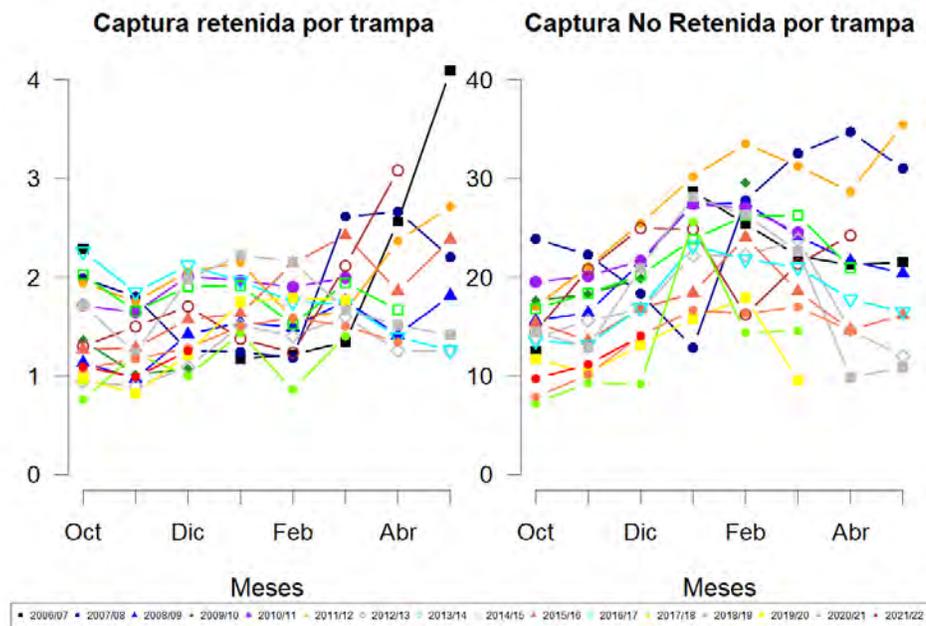


Figura 17 Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en los diferentes meses en el subsistema AS desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.

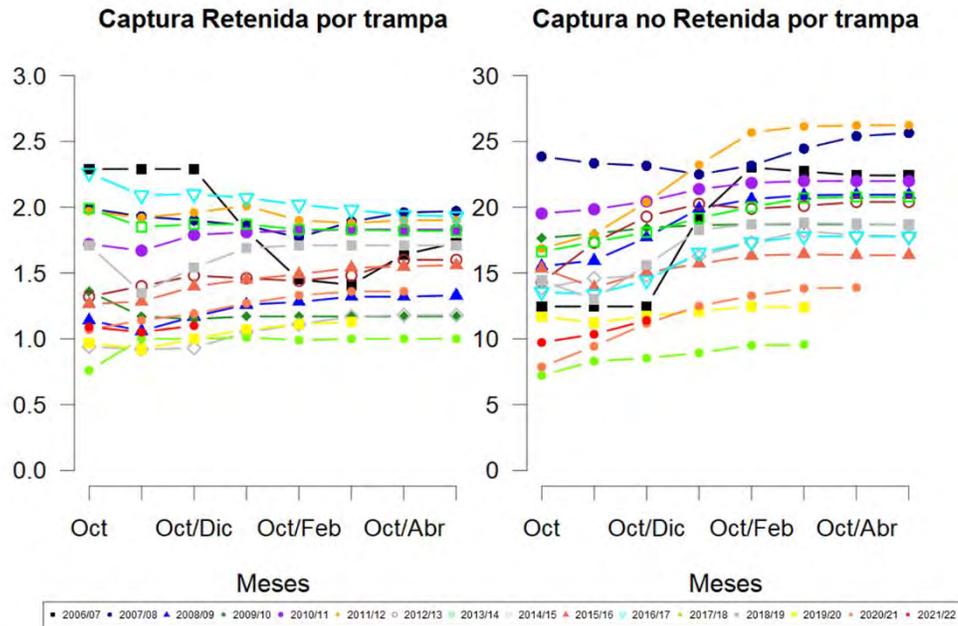


Figura 18 CPUE de langostas retenidas y no retenidas en las diferentes temporadas de pesca (desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22) en el subsistema AS. El eje X representa distintos intervalos de tiempo durante la temporada utilizados para el cálculo de la CPUE.

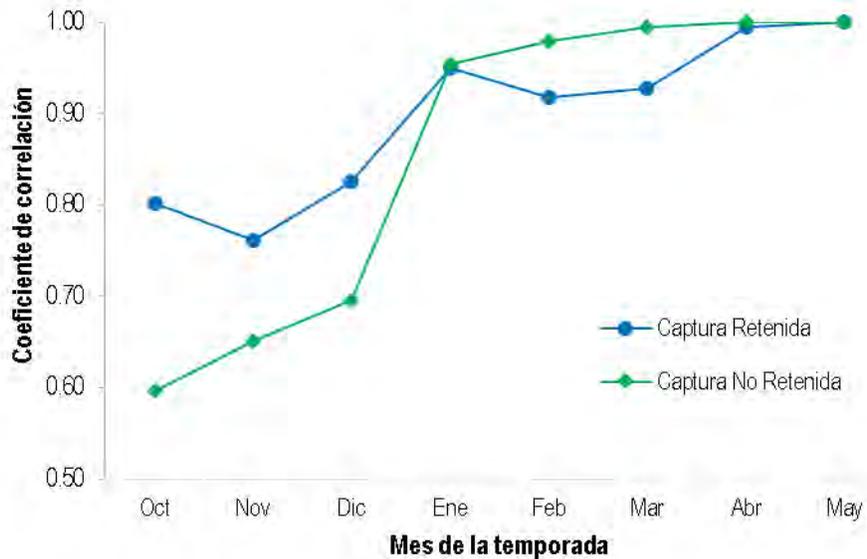


Figura 19 Grado de correlación entre la CPUE acumulada a distintos intervalos de tiempo versus la CPUE de la temporada completa, desde la temporada 2006/07 a la temporada 2020/21 para el subsistema AS.

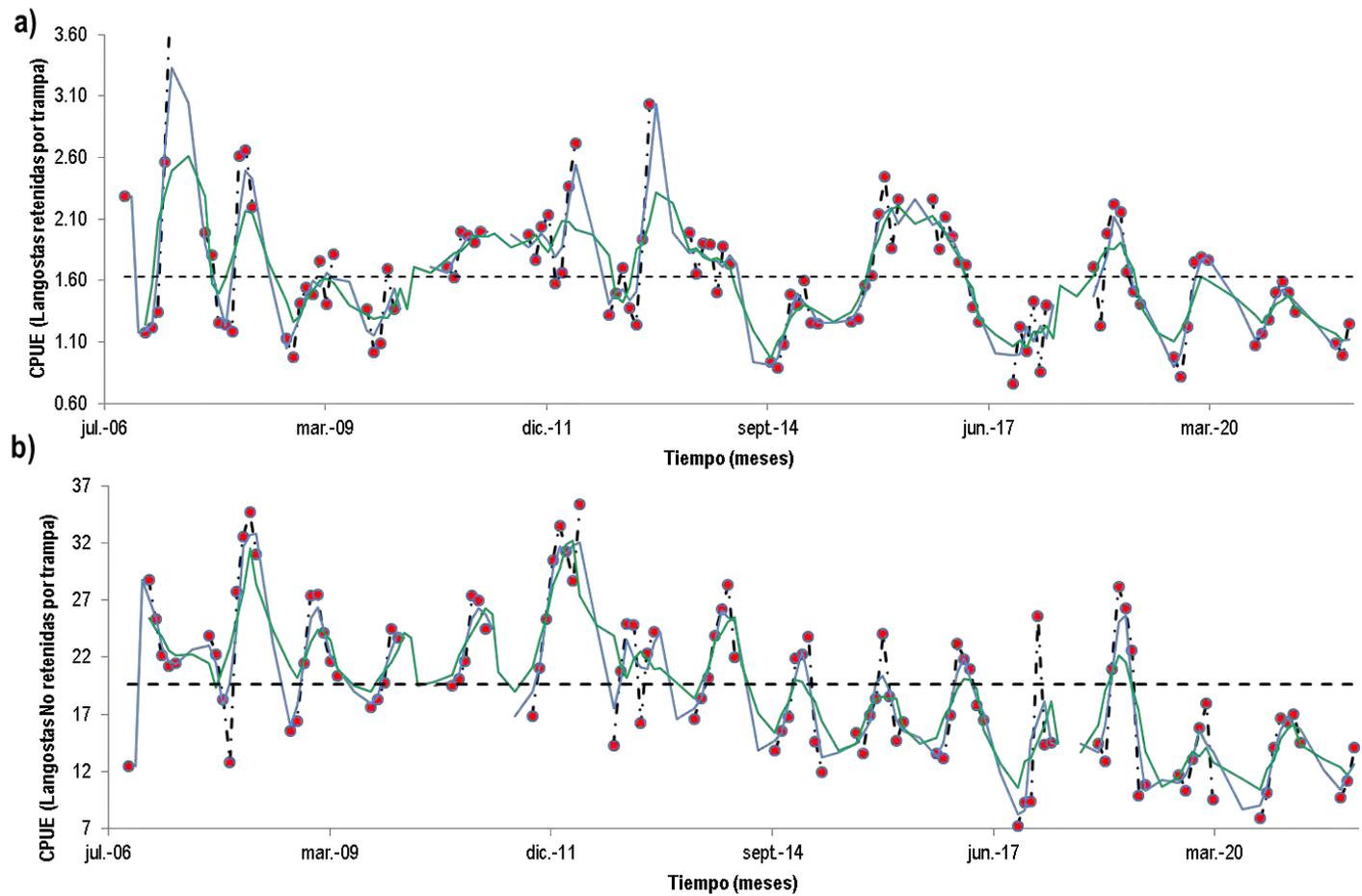


Figura 20 Serie de tiempo de CPUE de langostas retenidas (a) y no retenidas (b) por trampa levantada en el subsistema AS. Los círculos rojos son los promedios mensuales de CPUE, la línea discontinua horizontal indica el promedio de las capturas durante toda la serie, en azul y verde se presentan las medias móviles. Periodo octubre 2006 a diciembre 2021.

Subsistema ID: El desarrollo de la pesquería de la langosta en este subsistema es inconsistente entre temporadas y meses, aunque desde la temporada 2014/15 se había desarrollado por lo menos durante los primeros 3 meses (octubre – diciembre), durante la temporada 2018/19 los pescadores no se trasladaron hasta la isla San Ambrosio. La temporada 2019/20 inició de forma tardía los últimos días de octubre al igual que la temporada 2020/21 que partió en noviembre.

La Figura 21 presenta la CPUE mensual, mostrando en la pasada temporada 2019/20 el registro de valores históricamente altos para las capturas retenidas, entretanto la captura no retenida es parecida a temporadas anteriores; la temporada 2020/21 inicia con valores de CPUE altos para langostas retenidas que destacan en la serie, mientras que las langostas no retenidas en diciembre indican los valores más bajos de la serie. La temporada 2021/22 presenta una mejoría respecto al 2020/21 para langostas retenidas y los valores más altos de la serie para langostas no retenidas. Lo anterior es aún más evidente en la integración espacio temporal de los rendimientos de la pesquería (Figura 22). De acuerdo con lo presentado, la CPUE retenida durante la temporada 2020/21 es la segunda más alta de la serie (después de 2019/20) y la temporada 2021/22 tiene valores muy cercanos al máximo estimado para la temporada 2019/20. La integración de langostas no retenidas presenta un alza importante durante la temporada, registrando un máximo sobre las 20 unidades, acercándose a las 30 unidades durante 2021/22. El análisis de la CPUE agrupada por intervalos de tiempo (Figura 23) evidencia durante la temporada 2020/21, el alza de langostas retenidas, por lo que era esperable que toda la temporada notara rendimientos similares o superiores a 6 langostas retenidas por trampa y cerca de 15 langostas no retenidas. Si continuamos considerando que este indicador es un *proxy* del comportamiento de la temporada, para el periodo 2021/22 es de esperar rendimientos por sobre las 6 y 30 unidades de langostas retenidas y no retenidas respectivamente.

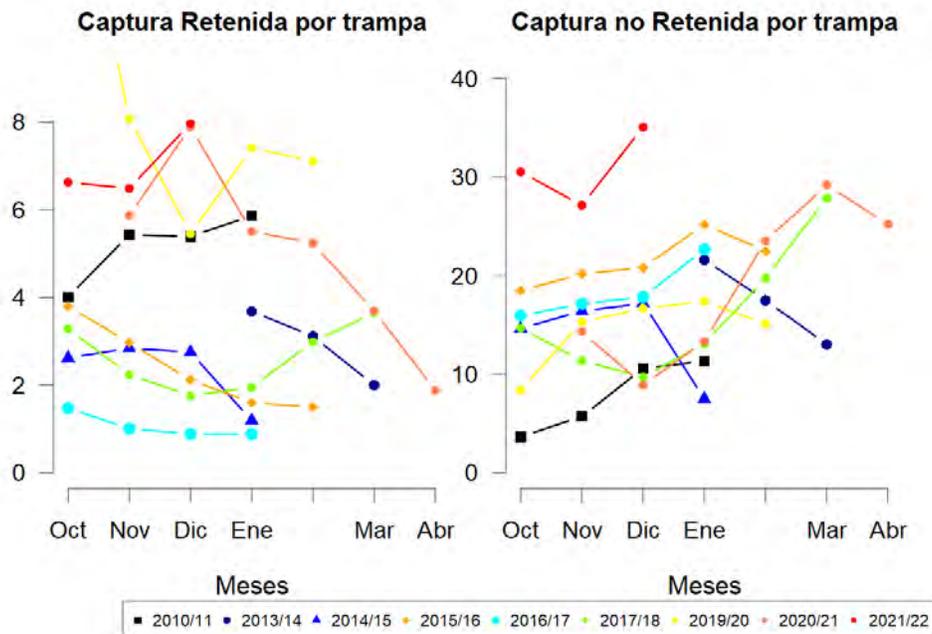


Figura 21 Número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) en las diferentes zonas de pesca del subsistema ID desde la temporada 2006/07 hasta inicios de la temporada 2021/22.

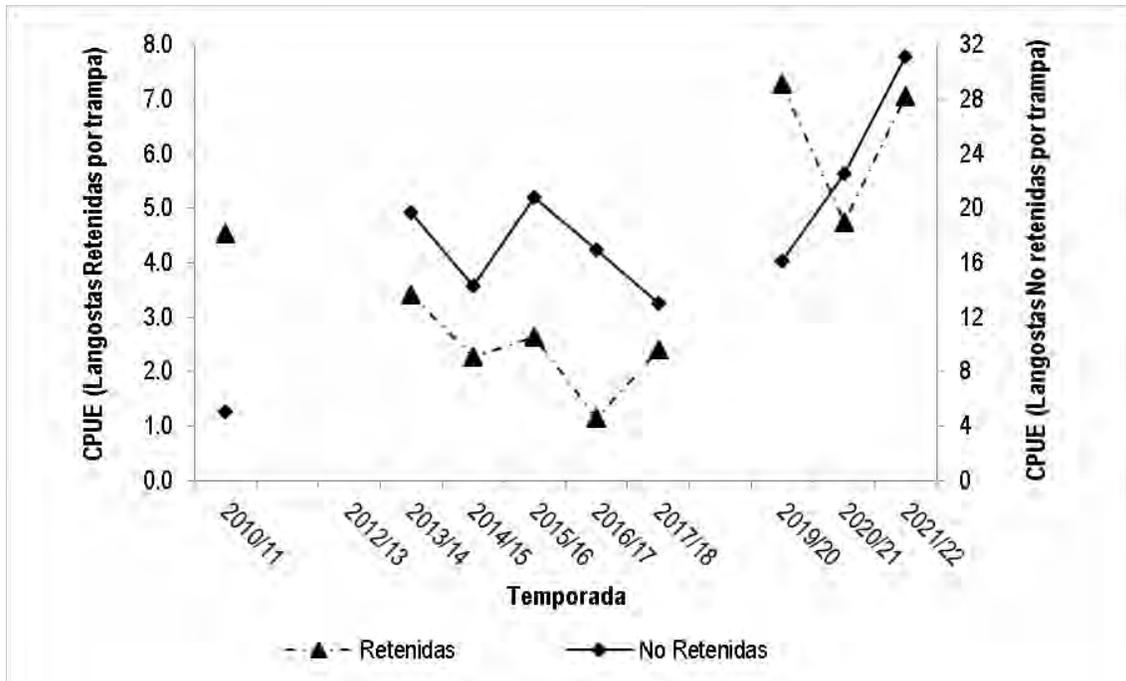


Figura 22 Serie de tiempo del número de langostas retenidas y no retenidas capturadas por trampa levantada (CPUE) por temporada en el subsistema ID.

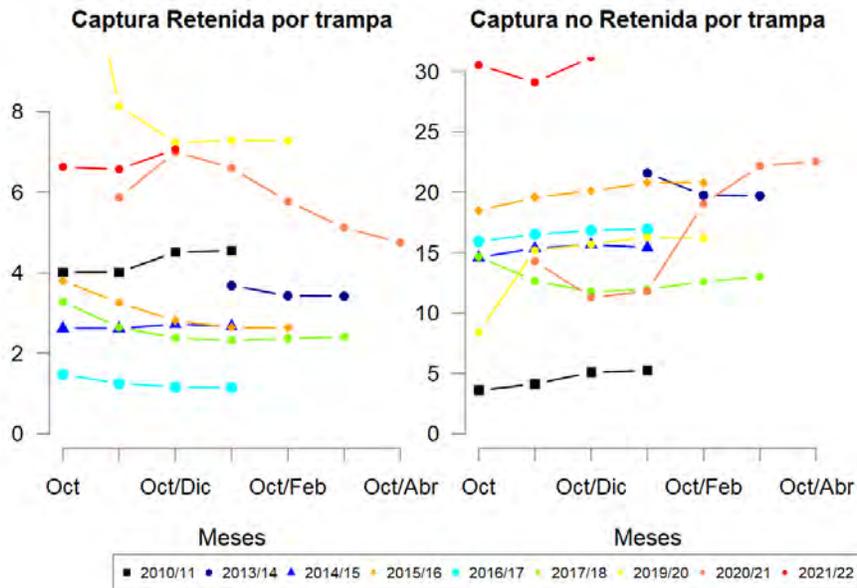


Figura 23 CPUE de langostas retenidas y no retenidas en las diferentes temporadas de pesca en el subsistema ID. El eje X representa distintos intervalos de tiempo durante la temporada utilizados para el cálculo de la CPUE.

### Estandarización de la CPUE

El modelo que presenta mejor ajuste en la estandarización de la CPUE de langostas retenidas y no retenidas para los subsistemas RC-SC y AS fue el modelo 6, que considera las variables categóricas espacial (zona), operacional (bote) y temporal (mes y temporada) (Tabla 14 y Tabla 15).

La CPUE estandarizada de langostas retenidas y no retenidas en el subsistema RC-SC (Figura 24) presenta una caída sistemática desde la temporada 2013/14, alcanzando los más bajos rendimientos en la temporada 2017/18, incluso más bajos que hace 10 años atrás. Sin embargo, se advierte su recuperación desde la temporada 2018/19, alcanzando sobre 2 langostas retenidas y sobre 3 langostas no retenidas por trampa, este último, sigue siendo bajo comparado con la serie completa.

En AS, la CPUE estandarizada de langostas retenidas (Figura 25) muestra fluctuaciones entre temporadas sin un patrón de crecimiento o decrecimiento acentuado, sino más bien un zig-zag entre 1 y 1.5 langostas retenidas. La temporada 2016/17 está entre los mayores rendimientos de langostas retenidas por trampa, cayendo abruptamente en la temporada 2017/18 que alcanza los niveles más bajos de la serie, cercanos a 0.8. La CPUE venía en aumento después del fuerte descenso observado durante 2014/15, pero está aún más reducida en la temporada 2017/18. La temporada 2018/19 muestra un aumento favorable, semejando el valor alcanzado durante 2015/16, pero vuelve a decaer en 2019/20, presentando una mejora en la temporada 2020/21. El patrón de la CPUE estandarizada de langostas no retenidas presenta una disminución desde la temporada 2013/14 disminuyendo fuertemente en la temporada 2017/18, que alcanza el mínimo histórico de la serie estandarizada. Si bien las temporadas 2018/19 y 2019/20 presentan un aumento próximo a las 20 unidades, aun es un valor bajo en la serie.

Tabla 14  
Resultados de la estandarización de CPUE según modelos ajustados a las capturas retenidas y no retenidas de langosta en el subsistema RC-SC.

Modelo	Langostas Retenidas		Langostas No retenidas	
	df	AIC	df	AIC
Modelo 1: Com ~ 1	1	825933	1	3017249
Modelo 2: Com ~ as.ordered(Temporada)	16	810530	15	2748917
Modelo 3: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes)	21	803786	20	2584737
Modelo 4: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes) + as.factor(Zona)	31	800952	30	2498699
Modelo 5: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes) + as.factor(Bote)	39	796733	38	2477955
Modelo 6: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes) + as.factor(Zona) + as.factor(Bote)	49	791983	48	2431952

Tabla 15  
Resultados de la estandarización de CPUE según modelos ajustados a las capturas retenidas y no retenidas de langosta en el subsistema AS.

Modelo	Langostas Retenidas		Langostas No retenidas	
	df	AIC	df	AIC
Modelo 1: Com ~ 1	1	488791.1	1	1865441
Modelo 2: Com ~ as.ordered(Temporada)	15	480386.3	15	1759812
Modelo 3: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes)	22	478588.3	22	1667892
Modelo 4: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes) + as.factor(Zona)	27	477414.6	27	1627407
Modelo 5: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes) + as.factor(Bote)	31	474089.3	31	1569609
Modelo 6: Com ~ as.ordered(Temporada) + as.ordered(Mes) + as.factor(Zona) + as.factor(Bote)	36	473133.2	36	1549772

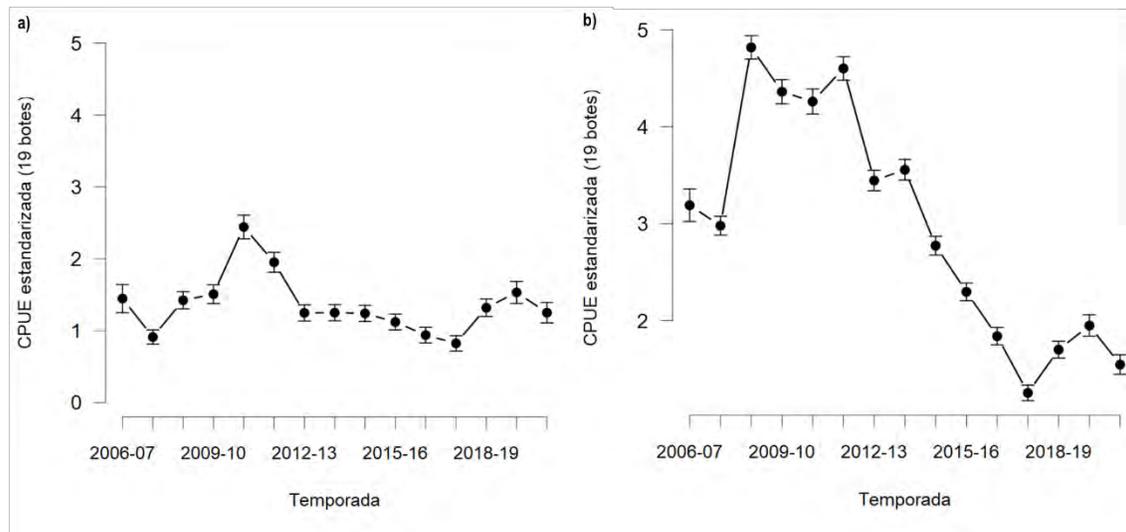


Figura 24 Estandarización de la CPUE de langostas retenidas (a) y No retenidas (b) en RC-SC. Temporadas 2006/07 a 2020/21.

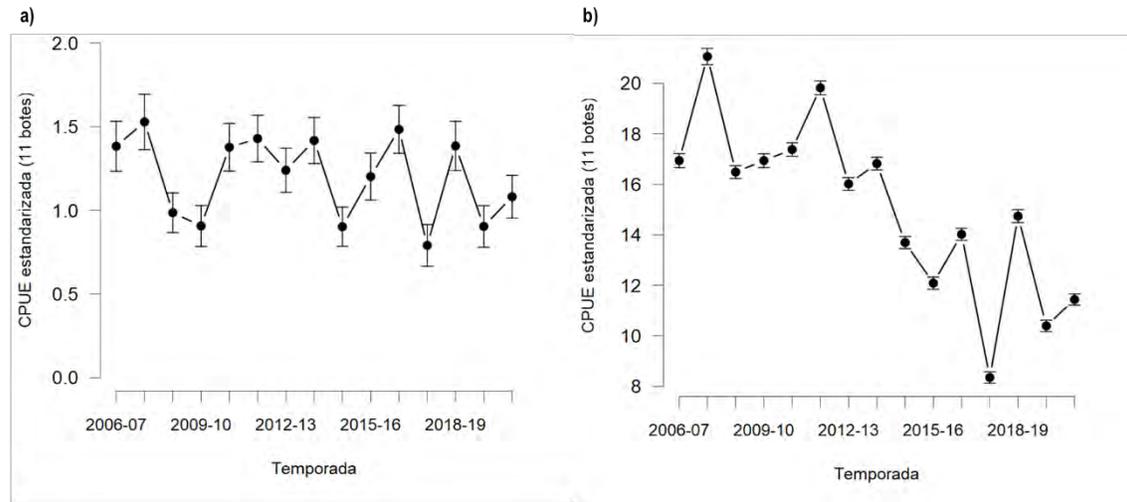


Figura 25 Estandarización de la CPUE de langostas retenidas (a) y No retenidas (b) en AS. Temporadas 2006/07 a 2020/21.

#### 4.1.2 Cangrejo dorado

##### *Indicadores pesqueros estimados*

##### **Capturas y CPUE**

Dado que la captura retenida de cangrejo dorado no está sometida a una talla mínima de retención, el concepto de crustáceo retenido no tiene un significado absoluto como en el caso de la langosta de Juan Fernández. Si bien las capturas retenidas en la pesquería pueden ser estimadas a partir de la base de datos de bitácoras de los pescadores o del muestreo biológico, un índice comparable de tasas de captura (*i.e.* entre embarcaciones) debe ser producido a partir de las bitácoras de los muestreadores científicos, ya que implica el uso de la distribución de tamaños de la captura. Por ello, en el marco de este reporte se presentan las tasas de captura de ejemplares retenidos y no retenidos (Tabla 17), y el número esperado de cangrejos sobre los 110, 120 y 130 mm de ancho de cefalotórax (Tabla 18) obtenidos desde el monitoreo biológico.

En el periodo documentado, se observa que el mayor valor de captura retenida fue alcanzado en junio, al igual que la CPUE por viaje más alta, seguida de diciembre. Los meses con capturas sobre 1000 unidades fueron junio, mayo y diciembre (en orden decreciente). La captura de aquellos individuos regresados al mar también se estimó mayor en junio, al igual que la CPUE no retenida. La CPUE más baja para ambos indicadores se obtuvo en enero. Los rendimientos no se relacionan directamente con el esfuerzo empleado. En esta pesquería, la CPUE retenida es más alta que la CPUE de cangrejos no retenidos (caso contrario que la langosta) y el esfuerzo en número de trampas por viaje no superó el despliegue de 8 aparejos (considerar que en esta pesquería se suelen utilizar 2 trampas por línea).

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 18, si consideramos una talla mínima de captura de 130 mm, las tasas de captura retenida esperadas durante el periodo documentado serían cercanas a 2.5 cangrejos por trampa, cuadruplicándose este valor cuando la talla de retención disminuye a 120 mm. La mayoría de los individuos capturados están sobre 110 mm de ancho cefalotorácico (0.88-0.96).

En la Figura 26 se observa la talla media mensual de cangrejos capturados como serie histórica de registros. Desde esta se desprende que la talla media retenida había estado sobre los 120 mm de ancho cefalotorácico, mientras que la talla media mínima de captura retenida es 110 mm de AC aproximadamente, alcanzada en julio de 2013; sin embargo, durante el periodo reportado de 2021 la talla media de la captura retenida ha disminuido algunos milímetros y la tendencia de la serie muestra un descenso general de la talla de retención. La talla de la captura retenida sigue siendo igual o superior a la talla media de la captura total.

Tabla 16

Esfuerzo, captura por viaje y captura por mes de cangrejo dorado, año 2021. Los valores subrayados indican promedios anuales utilizados en esos meses.

Estadístico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Esfuerzo (# de salidas)	5	5	9	7	11	4	4	1	1	2	7	8	64
Trampas revisadas por viaje	2	2	<u>2</u>	3.5	4	6	3	4	5	<u>3.5</u>	<u>3.5</u>	6	
Trampas revisadas por mes	10	10	18	25	44	24	12	4	5	7	25	48	231
Captura retenida por viaje	14	37	<u>26</u>	97	103	340	13	160	131	<u>102</u>	<u>102</u>	<u>139.8</u>	
Captura retenida total por mes	70	185	229.5	679	1133	1360	52	160	131	204.6	715.9	1118	6038

Tabla 17

Captura (número de individuos), esfuerzo (número de trampas) y CPUE de cangrejo dorado retenido y no retenido en el subsistema RC-SC obtenidos desde muestreo biológico mensual (las capturas no son censales). Año 2021.

Mes	Captura			# Trampas		CPUE		
	Retenida	No Retenida	Total	Retenida	No Retenida	Total		
Ene	14		14	4		3.5	0.0	3.5
Feb	37	10	47	2		18.5	5.0	23.5
Mar								
Abr	388	40	428	14		27.7	2.9	30.6
May	206	28	234	8		25.8	3.5	29.3
Jun	340	126	466	6		56.7	21.0	77.7
Jul	13	37	50	3		4.3	12.3	16.7
Ago	160	4	164	4		40.0	1.0	41.0
Sep	131	34	165	5		26.2	6.8	33.0
Oct								
Nov								
Dic	522	0	522	6		87.0	0.0	87.0

Tabla 18  
 CPUE de cangrejo dorado retenido (sobre 110, 120 y 130 mm de AC respectivamente) en el subsistema RC-SC obtenidos desde muestreo biológico. Año 2021.

Mes	Proporción mayor a			C/trampa	Captura por trampa		
	110 mm	120 mm	130 mm		>=110 mm	>=120 mm	>=130 mm
Ene-May	0.96	0.49	0.11	23.0	22.2	11.3	2.5
Jun - Dic	0.88	0.57	0.27	48.58	42.6	27.8	13.1

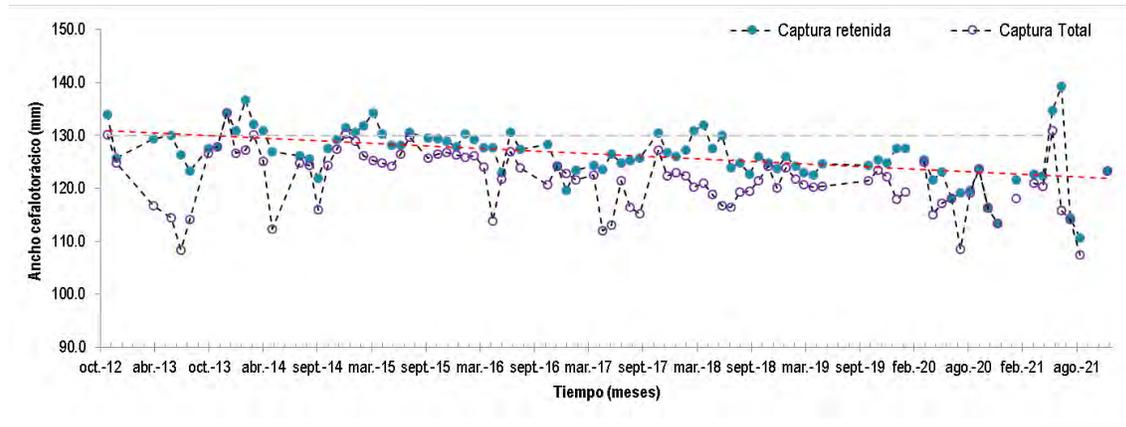


Figura 26 Serie de tiempo mensual de talla media de las capturas retenidas y total de cangrejo dorado. Periodo noviembre 2012 a diciembre 2021. La línea gris horizontal discontinua indica la talla comercial adoptada voluntariamente (130 mm de AC) y la línea roja corresponde a la tendencia de la captura retenida.

#### 4.1.3 Breca de Juan Fernández

En la Figura 27 se indica la CPUE media en la captura de la especie breca de Juan Fernández para los subsistemas RC-SC y AS. Las capturas tendían a ser mayores en AS aunque en los años 2019 y 2020 muestran ser más bajas, e ir en disminución desde el año 2016. En el caso de RC-SC, la captura media tiende a estar entre 0.2 a 0.3 breca por anzuelo.

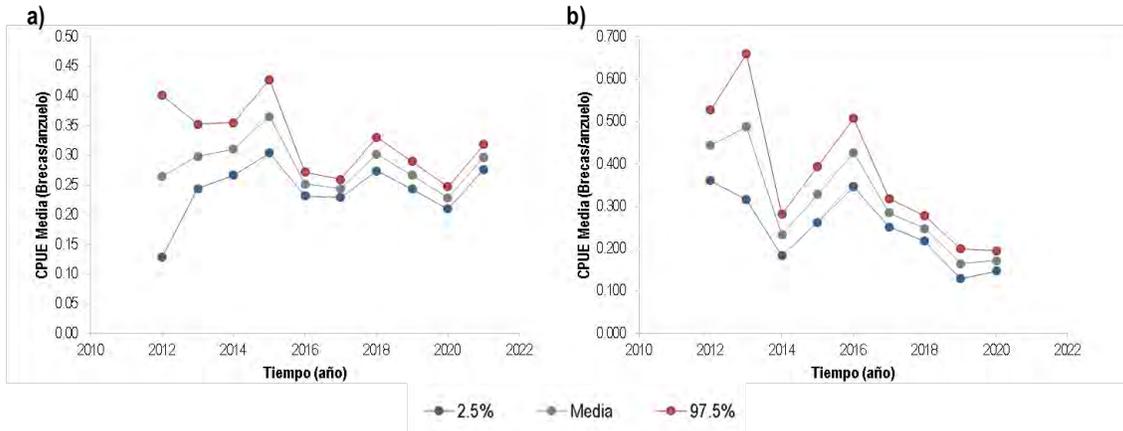


Figura 27 Captura por unidad de esfuerzo año 2021 de breca de Juan Fernández. a) Subsistema RC-SC; b) Subsistema AS.

#### 4.1.4 Otras especies ícticas

Bacalao de Juan Fernández: para efectos del proyecto se comprometió la estimación de una BPUE a partir del bycatch en espineles de breca y una estimación captura anual. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 28. Fue registrado en las salidas con muestreador científico un fuerte aumento en la captura de bacalao con espineles verticales de breca en 2020 y 2021. Adicionalmente, en la Figura 29 se presenta la talla media de las capturas de bacalao desde los registros del programa entre los años 2013 al 2021.

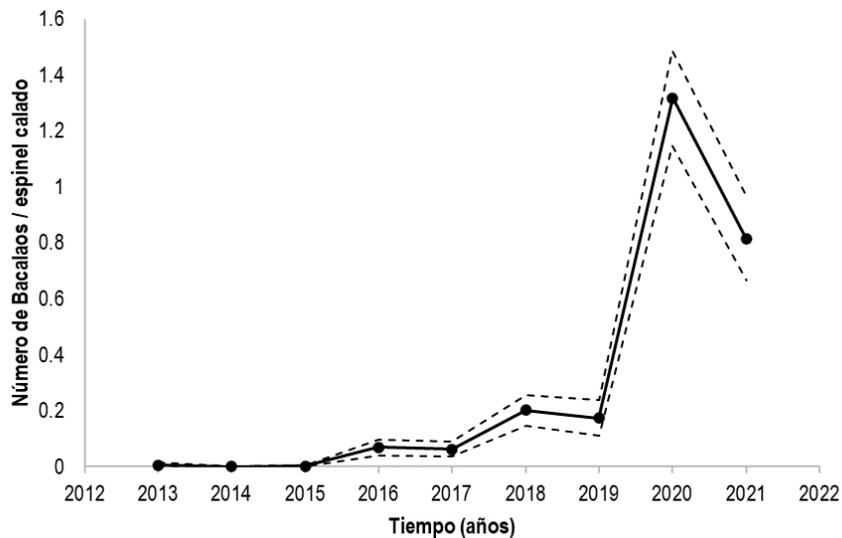


Figura 28 BPUE bacalao de Juan Fernandez en espineles verticales de breca. La línea discontinua indica el intervalo de confianza.

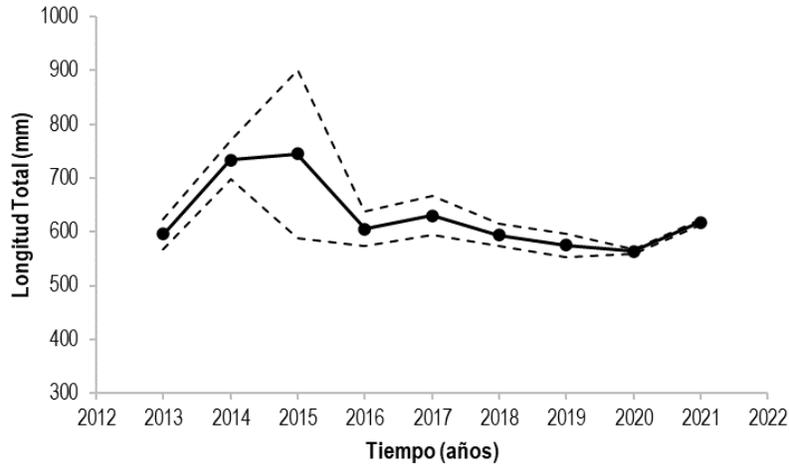


Figura 29 Talla media (Longitud Total) de las capturas bacalao de Jual Fernandez entre 2013 y 2021. La línea discontinua indica el intervalo de confianza.

#### 4.1.5 Aspectos técnicos de las embarcaciones y equipamiento a bordo

De acuerdo con la información obtenida desde los registros de Capitanía de Puerto de Juan Fernández, el universo de embarcaciones circunscritas y activas en el archipiélago Juan Fernández corresponde a 67. En relación con el tamaño de las embarcaciones (Figura 30), la mayoría de ellas es de 8 a 9 metros de eslora. El punto atípico inferior corresponde a un bote auxiliar y el punto superior a una lancha de acarreo. Las embarcaciones utilizan motores fuera de borda para su desplazamiento.

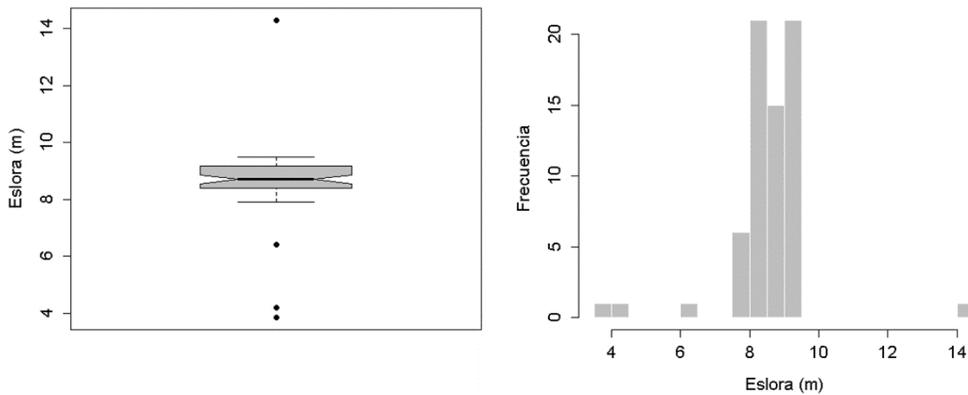


Figura 30 Distribución de frecuencias (derecha) y gráfico de cajas (izquierda) del tamaño de embarcaciones de AJF. Información año 2021.

#### 4.1.5.1 Caracterización del aparejo de pesca

La trampa de langosta y de cangrejo consiste en un paralelepípedo cuyas caras son construídas con listones de madera, principalmente eucaliptus y combinación eucaliptus-maqui, e incorpora otros materiales como malla **para cerrar más las distancias entre varillas. El diseño en “L” se ha** mantenido y se conforma por la primera entrada circular, cuadrada o tubular, de pvc, polipropileno o nylon y la entrada hacia la segunda cámara de la trampa es un buche tubular tejido de polipropileno o nylon. De acuerdo con el levantamiento de información realizado el 2020 la distancia entre las varillas laterales y frontales, que se utilizarían como vía de escape de langostas de menor talla, presentando uniformidad respecto a la distancia de 5 cm entre varillas, similar a lo que ya se había registrado como mediana de los años previos. Las trampas de cangrejo son ligeramente de mayor tamaño en comparación a las trampas de langosta al igual que mayor es la distancia que separa las varillas.

Las trampas de langosta y cangrejo operan como aparejos de pesca estacionarios anclados al fondo desde la cara inferior del paralelepípedo (piso), a través de la utilización de piedras como pesos, **operando a diferentes profundidades según las “marcas” y estrategia** de pesca del pescador. En el caso de la pesquería de langosta, las trampas son viradas cada dos noches para revisar la captura y reponer la carnada y son caladas en el fondo en líneas individuales con solo una trampa asociada y un baticulo con 3 a 5 boyas. En la pesquería de cangrejo en cambio, las trampas son revisadas con menor frecuencia y son dispuestas en tenas de hasta 2 trampas por línea o líneas con solo una trampa.

El principio general de captura es atraer a los crustáceos a ingresar a la estructura de la cual luego les es imposible escapar. La forma de atracción es utilizando carnada, de manera que los crustáceos entran por el buche ubicado en la cara superior (f) y luego se desplazan hacia la segunda cámara a través del buche interior (g), es allí donde quedan atrapados. Al virar las trampas, el pescador desmonta la puerta ubicada en la cara superior (tapa), remueve la captura y encarna nuevamente la trampa. Los ejemplares de menor talla pueden escapar a través de la distancia que queda entre las varillas.

Con relación a los aparejos de pesca de peces, las trampas de anguila corresponden también a paralelepípedos de madera, de menor tamaño que las trampas de crustáceos y con solo una cámara en el interior por la que entran las anguilas (morenas) a través de un buche tejido o de plástico, atraídas por la carnada que instalan los pescadores. Se diferencian también en que no tienen separación entre las varillas y son utilizadas a menor profundidad.

En el caso de los espineles, la materialidad es similar, líneas de nylon con anzuelos Mustand tipo J y los tamaños varían según la especie a capturar. El espinel vertical en general cuenta entre 10 y 40 anzuelos, mientras que con el horizontal despliegan entre 25 y 100 anzuelos a ras del suelo marino.

Por otra parte, de acuerdo con una encuesta aplicada en marzo de 2021, habría 6 plantas de proceso (no todas funcionando o con funcionamiento intermitente) que comercializan Bacalao, Vidriola, Breca, Jurel de JF, Pulpo, Cangrejo dorado, Lenguado, Langosta, entre otros peces, para consumo humano directo tanto en la isla como enviando al continente.

#### 4.1.6 Reconstrucción de desembarques

La continuidad de los desembarques reconstruidos por subsistemas en base a los registros oficiales del anuario de Sernapesca se presenta en la Figura 31. Esta reconstrucción se generó a partir de 3 fuentes de datos, i) estimaciones obtenidas desde el programa de monitoreo, ii) anuarios de Sernapesca y iii) Declaración de desembarque entregados a Sernapesca. Se observa similitud en la tendencia obtenida por los registros del anuario y las estimaciones desde las bitácoras de pescadores de este programa de monitoreo. Cabe señalar que AJF cuenta con 2 caletas, Juan Fernández y Selkirk y los desembarques de ID son imputados a la primera, no especificando la procedencia de las capturas. Durante las temporadas 2019/20 y 2020/21 las estimaciones obtenidas desde el proyecto de monitoreo son menores a las obtenidas desde Sernapesca. Sin embargo, las tendencias a todas las series son bastante similares.

La Figura 32, Figura 33 y Figura 34 actualizan la reconstrucción de las series de esfuerzo, número de trampas revisadas y número de salidas por embarcación, con la información obtenida durante la temporada 2020/21. En el caso del número de trampas revisadas por subsistema durante la temporada, entre las temporadas 2013/14 a 2016/17 se aprecia los mayores valores en RC-SC, presentando durante la temporada 2019/20 una disminución más notoria, asociada a la disminución de las salidas de pesca hacia el final de la temporada dado el contexto de pandemia. Posteriormente crece en la temporada 2020/21, pero aun siendo de las más bajas de la serie. En el caso de Selkirk, la tendencia a la baja se observa desde la temporada 2014/15, luego aumenta durante la temporada 2017/18 y se mantiene más bien parecida hasta 2019/20, situación que no cambia en la reciente temporada. El número de trampas revisadas se condice con el número de trampas revisadas por salida de pesca en esta última temporada, ambos levemente disminuidos, mientras que en ID la temporada 2020/21 presenta el más bajo esfuerzo de la serie considerando el número de trampas revisadas por salida, tanto para el subsistema, como al compararlo con AJF. Finalmente, el número de salidas de pesca por temporada se ha mantenido estable entre temporadas en RC-SC y AS, marcando fuertemente la disminución en RC-SC durante 2019/20, y es mucho mayor en RC-SC dado el mayor número de embarcaciones que participa de la pesquería de langosta. En este último indicador, no es evidente la incorporación de las embarcaciones que no se trasladaron a Islas Desventuradas durante la temporada 2018/19 al esfuerzo en número de salidas, respecto a temporadas anteriores. Se evidencia un alza en el número de salidas de pesca en la reciente temporada respecto de 2019/20.

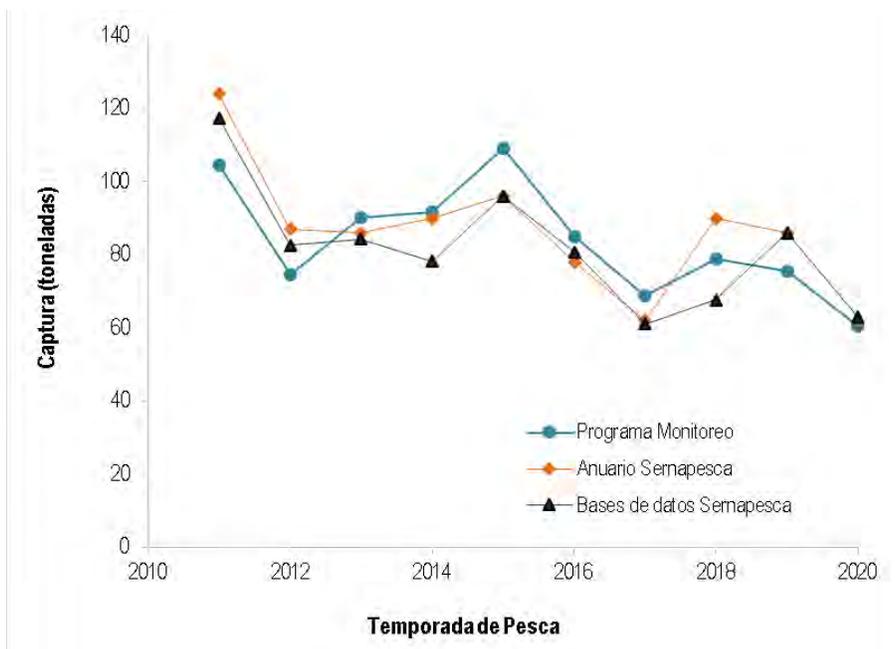


Figura 31 Reconstrucción de desembarques y comparación con las estimaciones obtenidas desde el programa de monitoreo de la pesquería.

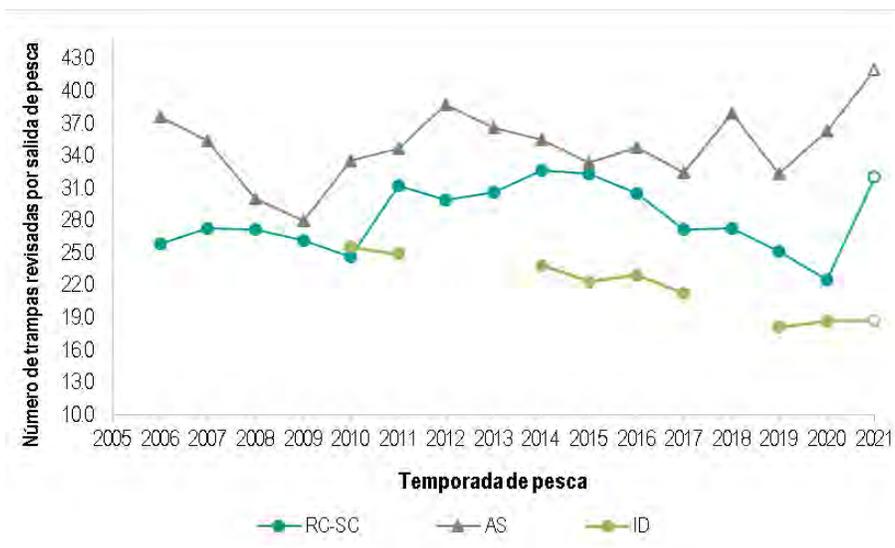


Figura 32 Serie de tiempo de registros de esfuerzo total en número de trampas revisadas con captura retenida y no retenida por temporada de pesca en los subsistemas RC-SC y AS. El último registro corresponde a los tres primeros meses de la temporada 2021/22.

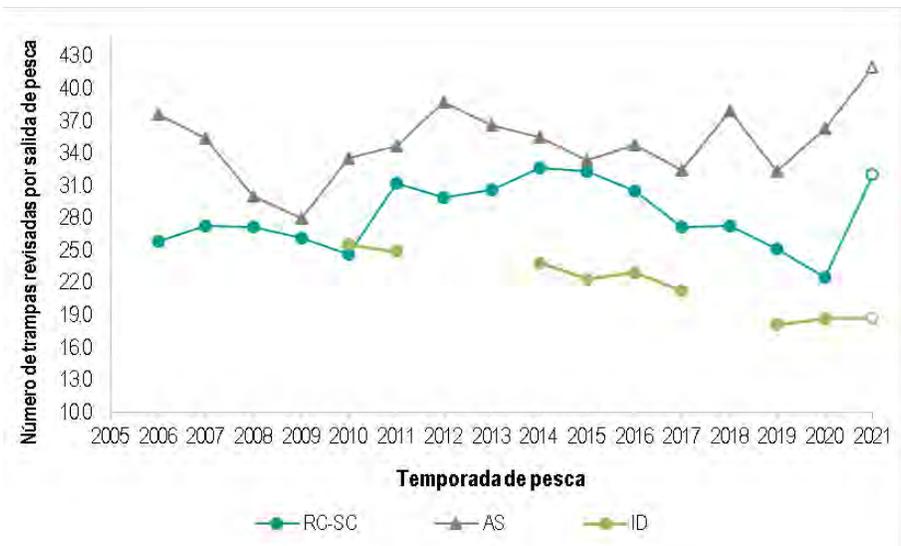


Figura 33 Serie de tiempo de número de trampas revisadas por salida de pesca en las diferentes temporadas para los subsistemas RC-SC, AS e ID. El último registro corresponde a los tres primeros meses de la temporada 2021/22.

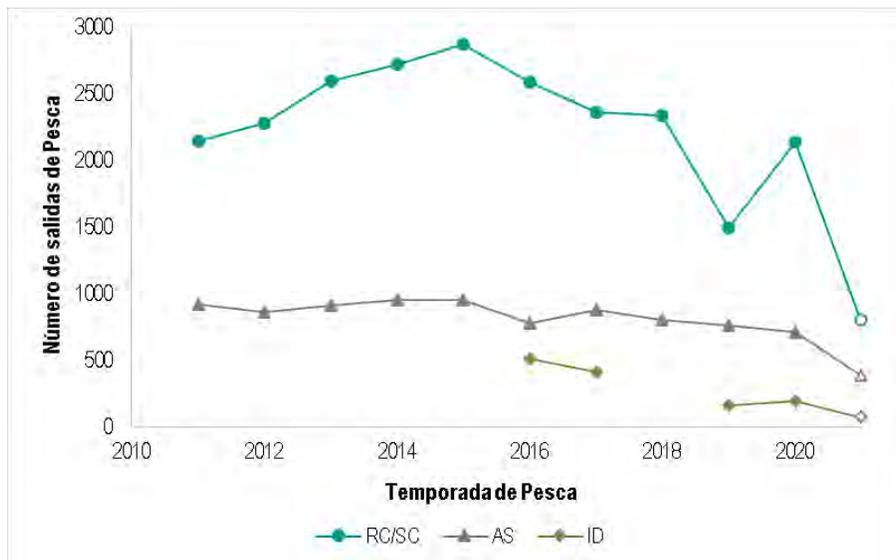


Figura 34 Serie de tiempo del número de salidas de pesca de langosta por temporada en los subsistemas RC-SC, AS e ID. El último registro corresponde a los tres primeros meses de la temporada 2021/22.

## 4.2 Objetivo 2

*Determinar indicadores biológicos de las especies capturadas que den cuenta de la estructura del stock explotado en langosta de Juan Fernández, cangrejo dorado, breca de Juan Fernández, vidriola y bacalao de Juan Fernández.*

### 4.2.1 Langosta de Juan Fernández

Las estimaciones puntuales de los indicadores biológicos que aquí se presentan provienen de la base de datos del muestreo biológico realizado durante la temporada 2019/20, donde se pudo contar también con un muestreador científico en el subsistema ID.

#### *Proporción sexual*

En la Tabla 19 se despliega la información de la proporción sexual, considerando el número de hembras registradas sobre el total de ejemplares capturados en cada subsistema a nivel de zona y mes. De acuerdo con ello, en RC-SC las hembras dominaron más las capturas por zonas desde enero, mostrando un amplio predominio de machos en octubre y noviembre, mismo patrón percibido al inicio de la temporada 2021/22. En promedio, la composición sexual de las capturas en todas las zonas es de 57 % de hembras. La temporada 2021/22 inicia con similar proporción de hembras en comparación a 2020/21, en casi todas las zonas y ambos subsistemas. En AS en cambio destaca el dominio de las hembras durante toda la temporada 2020/21 en todas las zonas. En promedio, la composición sexual de las capturas en todas las zonas durante 2020/21 es de 80 % de hembras y 84% para el periodo reportado de la temporada 2021/22, más alto que lo observado a inicios de la temporada 2020/21.

#### *Talla media*

RC-SC presenta variaciones entre meses y zonas durante la temporada 2020/21, solo la zona 1 supera la talla mínima (115 mm de LC) y las tallas medias por zona van en el rango de 100 a 117 mm. Las capturas realizadas al norte de la isla RC (zonas 1, 8, 9, 10 y 11) presentan valores más altos de talla media registrados durante toda la temporada. En AS por su parte, la talla media por zona y mes se encuentra entre 105 y 110 mm de LC, promediando 107.8 mm (Tabla 20). Además, los registros dan cuenta de una diferencia de talla media menor entre zona y mes a la observada para RC-SC. La talla media durante el inicio de la temporada 2021/22 presenta un patrón similar a lo observado durante 2020, aunque algunos milímetros menor. La talla media en AS durante la temporada 2020/21 es similar a RC-SC, y aumenta un poco durante el inicio de la temporada 2021/22.

En la Figura 35 se puede observar en serie los cambios de la talla media de langostas retenidas por subsistema, notándose que esta es mayor en RC-SC. En ambos subsistemas la línea de tendencia muestra una pendiente positiva sutil, sin embargo, el inicio de la temporada 2020/21 es distinto entre AS y RC-SC, presentando AS una disminución de la talla media respecto al mismo periodo del año anterior, señal que se replica también al inicio de 2021/22. La talla media tiene a aumentar hacia la segunda parte de la temporada.

### *Estructura de tallas*

Las Figura 36 y Figura 37 muestran la estructura de tallas mensual de hembras y machos de langostas capturadas en los subsistemas RC-SC y AS respectivamente. La proporción a la talla para cada sexo es presentada mensualmente para totalidad de las temporadas 2020/21 y 2021/22. En todos los casos documentados se puede observar que la mayor proporción de individuos se encuentra bajo los 115 mm de longitud (línea vertical punteada) que corresponde a la talla de mínima de retención de langostas.

En el caso de las hembras en RC-SC, entre octubre 2020 y mayo 2021 se evidencia una disminución en la propoción de ejemplares por sobre los 115 mm de LC, representando probablemente una depleción de los ejemplares comerciales. En el caso de los machos, el comportamiento es similar a las temporadas pasadas, sin embargo, no hay un peak cercano a los 115 mm como en otras temporadas.

Para el subsistema AS (Figura 37) la distribución de tallas presenta menor variabilidad entre los meses y entre las temporadas. Se observa durante 2020/21 un incremento en la proporción de machos *ad portas* de alcanzar la talla mínima legal, así como también un grupo importante entre los 105 y 115 mm de LC. En relación con los machos, destaca una disminución de la proporción de ejemplares sobre la talla entre los meses de octubre y diciembre de 2020. En el caso de las hembras también existe un *peak ad portas de alcanzar la talla de retención ("langostas de pelo")*.

La estructura de tallas por sexo se presenta en la Figura 38 y Figura 39 para RC-SC y AS respectivamente. En ambas figuras se comparan 7 temporadas completas de pesca de langosta (2011/12, 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20 y 2020/21) y se incluyen los meses iniciales de la temporada 2021/22. En la Figura 38 se puede apreciar que durante el periodo octubre – diciembre de 2020, las hembras presentan una mayor proporción de ejemplares sobre 115 mm que en la segunda mitad de la temporada. En el caso de los machos, durante el primer periodo 2020/21 se presenta un *peak* importante cercano a los 115 mm de LC que luego se desplaza hacia la derecha en la segunda parte de la temporada, asociado probablemente con el crecimiento de verano.

En AS se aprecia una mayor proporción de machos sobre la talla de retención en el segundo periodo de la temporada 2020/21 (Figura 39), señal que se observa en el periodo octubre – diciembre del 2021.

En el caso de Desventuradas (Figura 40), la reciente temporada 2020/21 muestra un aumento en la proporción de hembras sobre la talla mínima de retención con relación a las 2 temporadas anteriores, aunque el *peak* más alto se encuentra a la izquierda de la talla mínima legal. En el caso de los machos una alta proporción de estos se encuentran a la derecha de la talla mínima legal, incluyendo las mayores proporciones y extendiendo el rango de tallas que se había registrado anteriormente.

En la Figura 41 y Figura 42 se presenta la descomposición modal por sexo de las capturas de la temporada 2019/20 y 2020/21 para los subsistemas RC-SC y AS respectivamente. De este análisis se desprenden entre 6 y 7 modas cuyos parámetros son presentados en la Tabla 21. En RC-SC, las medias modales estimadas de hembras en la temporada 2020/21 son en su mayoría más altas que 2021/22, al contrario, ocurrió con lo observado para machos. En AS también disminuyeron las

medias por grupo modal en hembras y también en machos (esto último excluyendo los primeros dos grupos).

#### *Proporción de portación de huevos*

De la Tabla 22 se observa como la proporción de hembras portadoras varía durante la presente temporada. Así, en RC-SC los primeros 3 meses de la temporada 2020/21 la proporción de hembras portadoras es mayor, declinando con el avance de los meses, lo que se observa en todas las zonas, entre las zonas 6 a la 11, durante el mes de enero, la proporción se mantiene cercana a 0.1, pero muy por debajo de lo observado en octubre. En Selkirk la proporción es menor respecto a RC-SC, pero nota el mismo comportamiento, es decir, un decrecimiento hacia enero y muy baja portación hasta marzo. En ambos subsistemas la temporada 2021/22 inicia mostrando el mismo patrón, solo que levemente más alto en general.

En la Figura 43 se presenta la proporción de portación a la talla para cada mes de la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22 para los subsistemas RC-SC y AS. En RC-SC, entre octubre y noviembre además de una mayor proporción de hembras portadoras, el rango de tamaño se extiende desde las más pequeñas a las más grandes, sin embargo, la mayor proporción se concentra en las hembras de menor talla, como se observa en diciembre y enero. En AS se observa una conducta similar, aunque la proporción de hembras de tallas < a 115 mm de LC es menor en relación con RC-SC, se percibe un aumento en la proporción de hembras de mayor talla (> 115 mm) portando durante diciembre, y entre enero y abril de 2021.

Adicionalmente la Figura 44 y Figura 45 evidencian la modelación de los datos de portación mensual y las diferencias existentes entre los subsistemas AS y RC-SC así como las variaciones entre meses. Así, los meses de enero a abril presentan menor proporción de portación en todas las tallas en RC-SC, mientras que AS evidencia un pequeño aumento de la portación de hembras de mayor tamaño en el mismo periodo. Con la modelación generada se obtuvo la proporción mensual de portación (Figura 46), de la que se puede observar una mayor proporción en RC-SC, destacando el mes de octubre, pues desde noviembre en adelante tienden a ser menores las diferencias. Observando las estimaciones para la temporada 2020/21, se identifican que, con el avance de la temporada, si bien disminuye la proporción de portación, esta sería más alta que en RC-SC. Además, esta proporción comienza a aumentar entre marzo y abril en AS, por lo que se podría inferir que la portación comienza antes que en RC-SC.

#### *Relación Talla-Peso*

A partir de trabajos realizados en temporadas anteriores se cuenta con datos que han permitido caracterizar la relación funcional por sexo entre las variables talla y peso. Así como se ha reportado en anteriores oportunidades (*e.g.* Ernst *et al.*, 2015), tanto hembras como machos portadoras de langosta presentan mayor peso a la talla que los machos. La crisis sanitaria mundial y las restricciones de desplazamiento no permitieron continuar con el muestreo durante la temporada 2020/21 y solo se logró retomar en enero de 2022, pudiendo medir langostas de inicios de la temporada 2021/22.

La desventaja que conlleva tomar estas medidas debido a las dificultades operativas a las que se ven enfrentados los muestreadores científicos al trabajar sobre embarcaciones muy inestables

debido a su tamaño y condiciones climáticas ha llevado a desarrollar de forma alternativa el muestreo talla-peso en los viveros. Así, los resultados del muestreo de langosta de talla comercial durante el año 2019 (temporada 2018/19 y 2019/20) fue presentado en el informe final del proyecto 2019 (Ernst et al., 2020) para cada uno de los meses en que se desarrolló el muestreo de langostas exportadas desde Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk que se encontraban en viveros. Las vicisitudes provocadas por la pandemia obstaculizaron la continuidad del muestreo durante el año 2021.

La conversión de talla a peso para ambos sexos y sexos combinados de acuerdo a la relación talla – peso obtenida corresponde a: una langosta hembra de 115 mm de LC debería pesar cerca de 736 g, un macho 678 g y estimado para sexos combinados el peso es de 711 g (Figura 47 y Tabla 23)

Tabla 19  
Proporción de sexual de ejemplares muestreados en cada subsistema, por zona y mes de estudio (hembras respecto del total). Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.

Subsistema	Zona	Temporada 2020/21								Temporada 2021/22		
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
RC-SC	1	0.38	0.67	0.46	0.45	0.62	0.69	0.89		0.30	0.461	0.47
	2	0.50	0.50	0.57	0.62	0.94	0.91	1.00	0.86	0.25	0.231	0.46
	3	0.26	0.39	0.58	0.58	0.58	0.61	0.71		0.28	0.392	0.50
	4	0.25	0.53		0.63	0.83	0.62			0.28	0.458	0.43
	5	0.33	0.47	0.42	0.60	0.60	0.71	0.52		0.35	0.459	0.47
	6	0.54	0.68	0.59	0.66	0.64	0.82	0.59		0.73	0.535	0.55
	7	0.40	0.35	0.48	0.52	0.64	0.65	0.62	0.67	0.31	0.4	0.44
	8	0.18	0.16	0.32	0.51	0.61	0.64	0.60	0.45	0.40	0.2	0.47
	9	0.24	0.43	0.59	0.59	0.74	0.72	0.67	0.64	0.41	0.36	0.42
	10	0.35	0.37	0.53	0.55	0.54	0.63	0.60	0.70	0.29	0.367	0.49
	11	0.47	0.73	0.69	0.56	0.57	0.67	0.51	0.45	0.34	0.497	0.60
AS	1	0.94	0.88	0.85	0.75	0.97	0.95	0.97		0.90	0.941	0.91
	2	0.68	0.56	0.73	0.77	0.85	0.88	0.85		0.84	0.853	0.87
	3	0.67	0.52	0.61	0.82	0.90	0.88	0.81		0.80	0.845	0.88
	4	0.76	0.59	0.63	0.81	0.92	0.89	0.83		0.81	0.766	0.80
	5	0.71	0.60	0.62	0.73	0.98	0.91	0.86		0.88	0.851	0.68
	6	0.85	0.87	0.82	0.82		0.89	0.98		0.92	0.776	0.84

Tabla 20  
 Longitud cefalotorácica media (mm) de ejemplares muestreados en cada subsistema, por zona y mes de estudio. Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.

Subsistema	Zona	Temporada 2020/21									Temporada 2021/22		
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	
RC-SC	1	107.0	112.3	117.7	105.7	105.8	106.3	105.6		113.1	105.9	105.0	
	2	105.2	107.4	108.5	104.0	101.7	108.5	102.4		105.7	107.4	105.0	
	3	107.3	112.1	110.3	106.2	105.9	106.8	110.6		112.1	108.1	108.3	
	4	109.0	100.5		105.4	106.8	105.6			106.6	105.8	108.2	
	5	106.8	104.8	106.3	106.4	104.7	104.5	108.1		107.5	106.3	104.4	
	6	108.6	108.1	109.1	107.6	106.0	107.0	110.2		105.8	109.9	105.8	
	7	107.9	107.5	107.3	107.1	106.7	106.6	107.7	107.9	108.8	109.8	107.4	
	8	110.4	111.6	111.6	110.2	110.0	108.4	108.3	100.9	108.6	114.1	111.2	
	9	109.1	110.2	109.9	107.0	105.5	107.6	108.1	107.6	107.3	102.8	103.8	
	10	109.5	111.3	109.7	105.9	109.3	107.3	109.1	109.9	107.6	106.3	105.7	
	11	109.5	111.7	110.3	105.4	102.7	106.4	108.0	114.4	107.6	109.0	108.3	
AS	1	108.9	109.1	107.7	109.2	110.2	108.5	106.7		108.8	110.4	107.7	
	2	107.9	109.3	108.6	109.0	109.0	108.3	108.5		108.6	108.6	107.7	
	3	106.6	107.1	105.2	106.7	106.2	105.5	106.0		107.1	106.6	106.6	
	4	107.3	108.3	108.1	108.1	106.7	106.9	106.3		108.1	106.4	107.5	
	5	108.2	109.0	107.7	107.2	107.3	107.4	105.6		108.9	106.5	111.1	
	6	109.7	110.0	107.5	110.3		109.7	105.2		111.2	109.4	111.3	

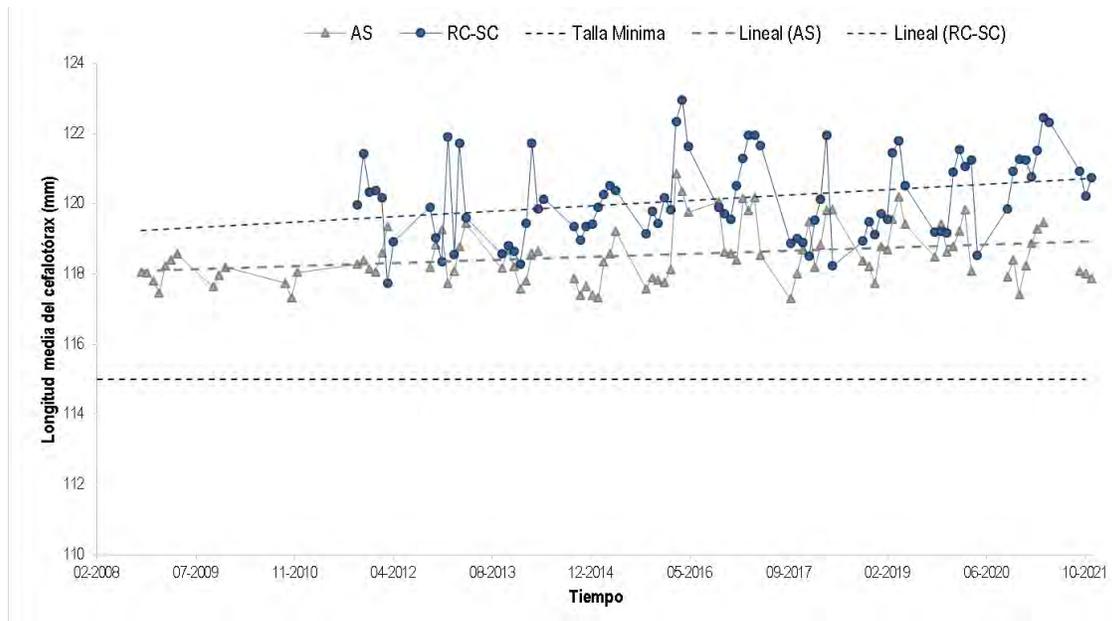


Figura 35 Serie de tiempo de la talla media de langostas retenidas por subsistema. Periodo 2008/09- inicios 2021/22. La línea discontinua negra indica la talla mínima legal (115 mm).

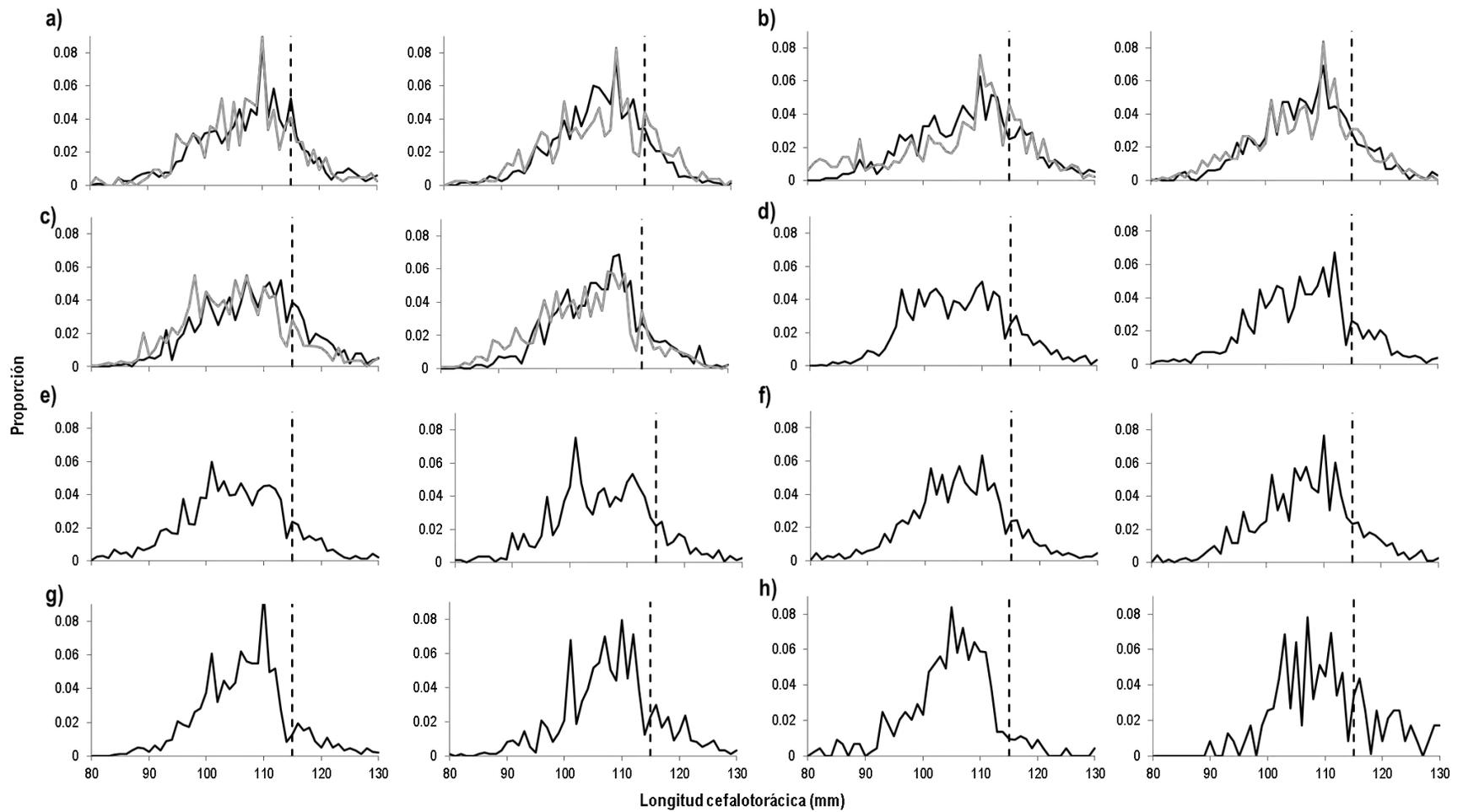


Figura 36 Proporción de tallas de langosta de Juan Fernández por sexo (hembras a la izquierda y machos a la derecha) capturadas mensualmente a) Octubre; b) Noviembre; c) Diciembre; d) Enero; e) Febrero; f) Marzo, g) Abril y h) Mayo, durante las temporadas 2020/21 (negro) e inicios de la temporada 2021/22 (gris) en el subsistema RC-SC. La línea punteada indica la talla mínima legal de retención (115 mm de LC).

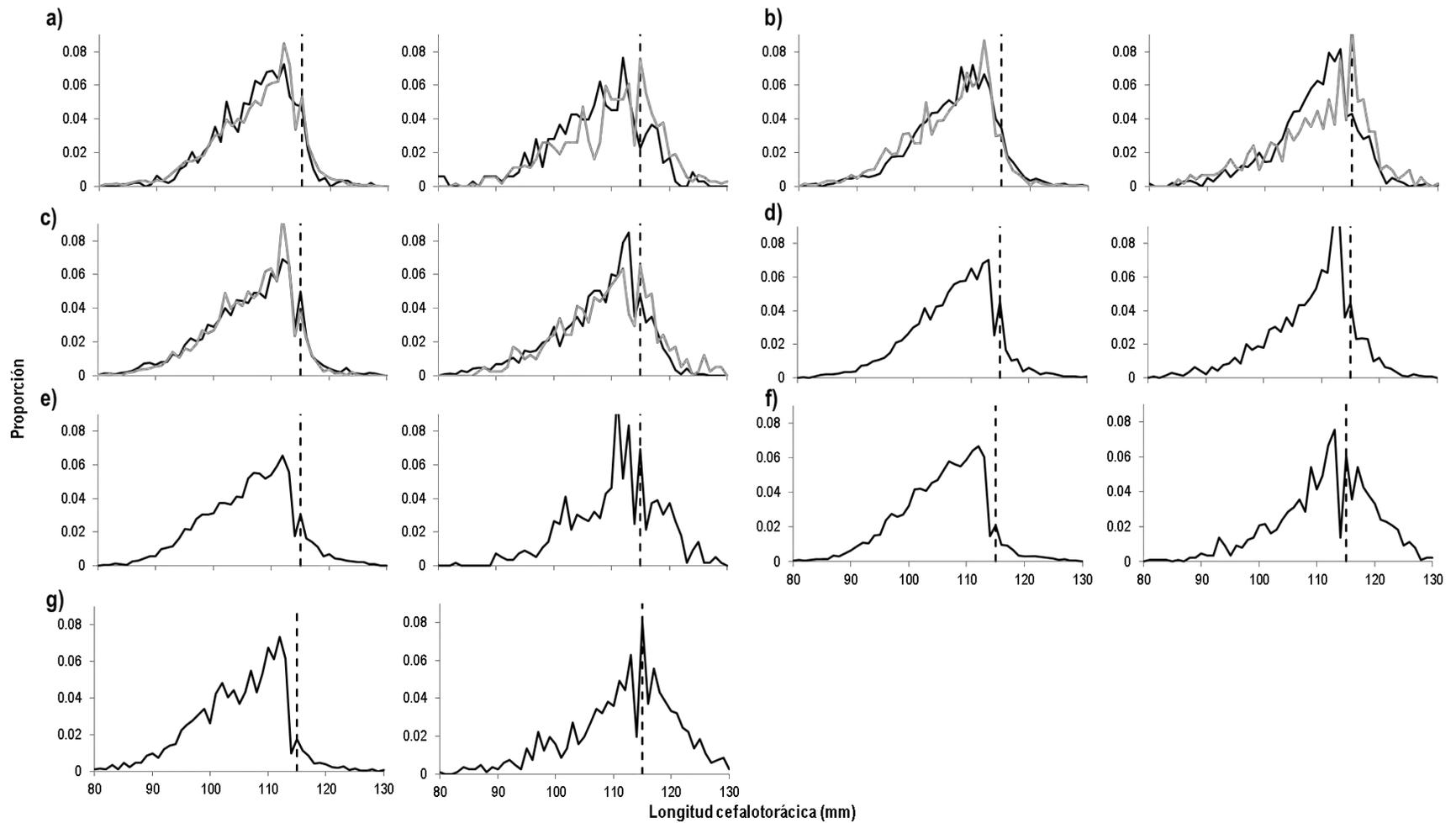


Figura 37 Proporción de tallas de langosta de Juan Fernández por sexo (hembras a la izquierda y machos a la derecha) capturadas mensualmente a) Octubre; b) Noviembre; c) Diciembre; d) Enero; e) Febrero; f) Marzo y g) Abril, durante las temporadas 2020/21 (negro) e inicios de la temporada 2021/22 (gris) en el subsistema AS. La línea punteada indica la talla mínima legal de retención (115 mm de LC).

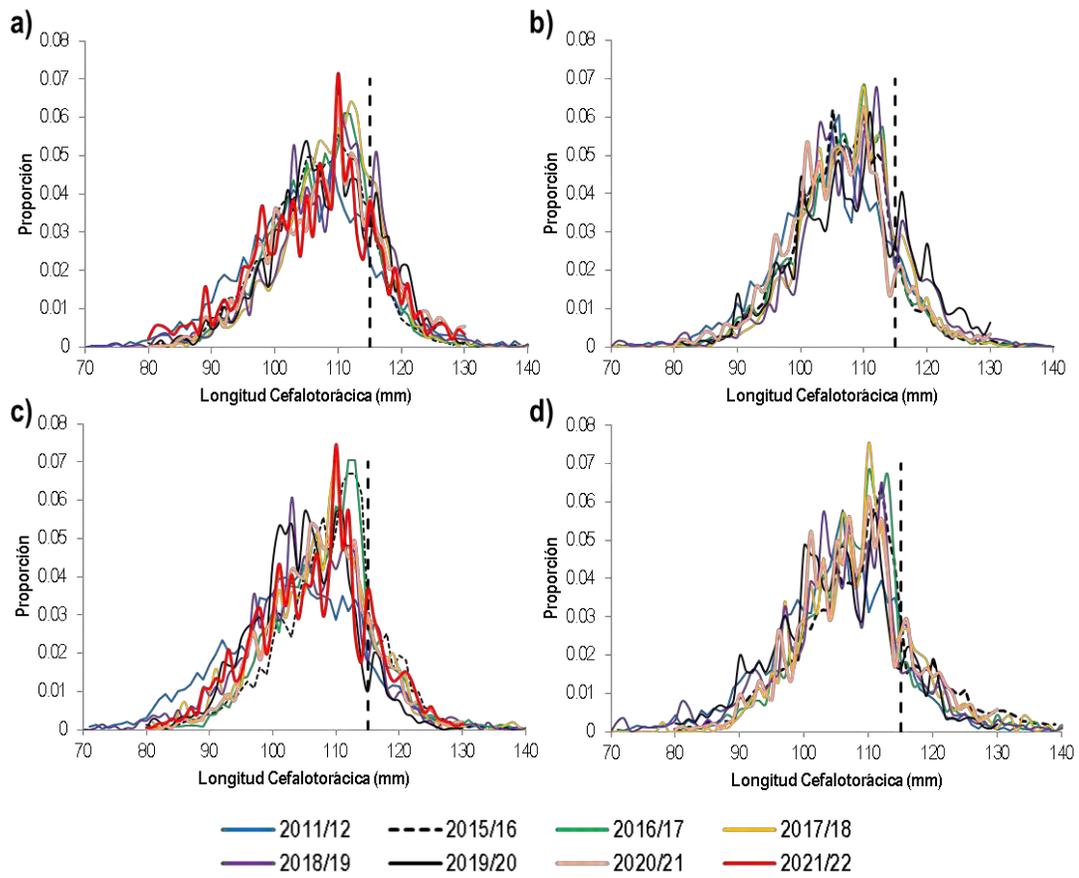


Figura 38 Estructura de tallas de langosta del subsistema RC-SC temporadas 2011/2012, 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22. (a) Hembras Octubre- Diciembre; (b) Hembras Enero-Mayo; (c) Machos Octubre-Diciembre; (d) Machos Enero-Mayo.

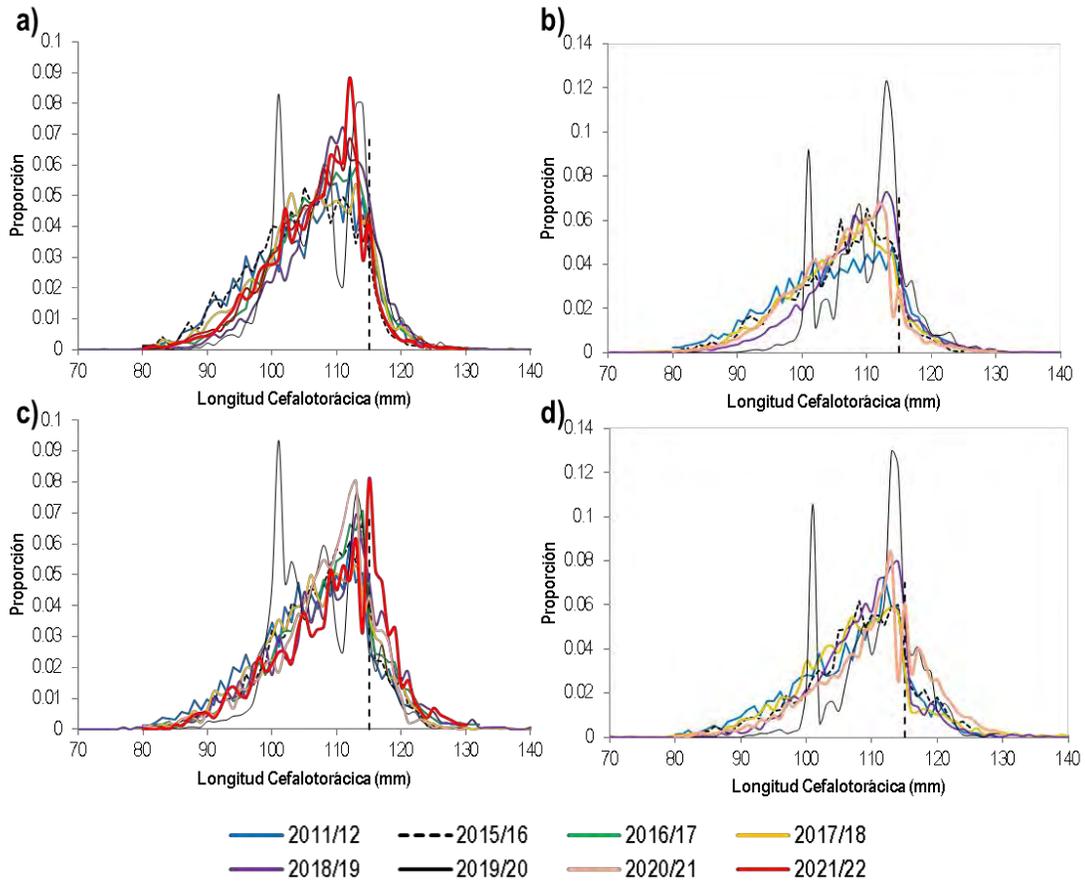


Figura 39 Estructura de tallas de langosta del subsistema AS, temporadas 2011/2012, 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20, 2020/21 y 2021/22 (a) Hembras Octubre- Diciembre; (b) Hembras Enero-Mayo; (c) Machos Octubre-Diciembre; (d) Machos Enero-Mayo.

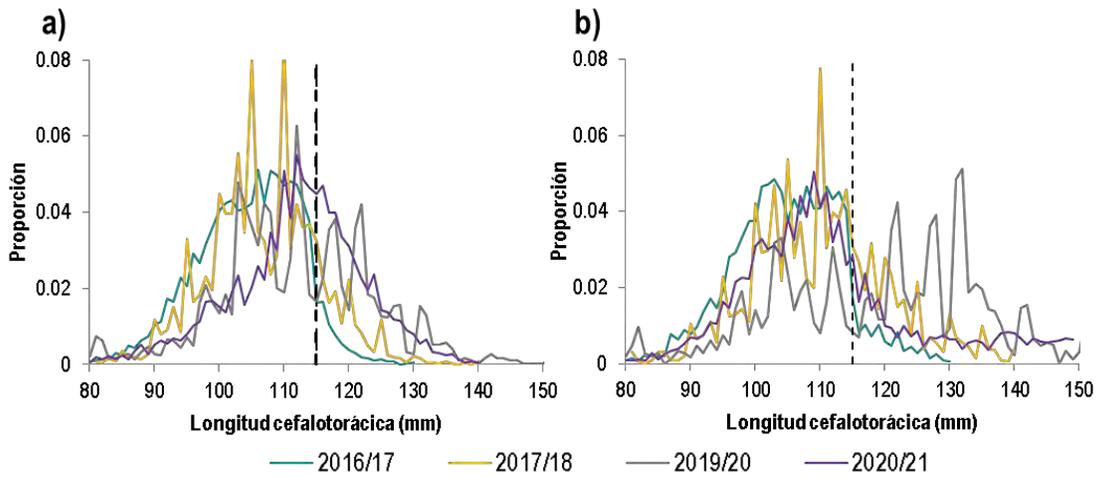


Figura 40 Estructura de tallas de langosta del subsistema ID, temporadas 2016/17, 2017/18, 2019/20 y 2020/21 (a) Hembras y (b) Machos.

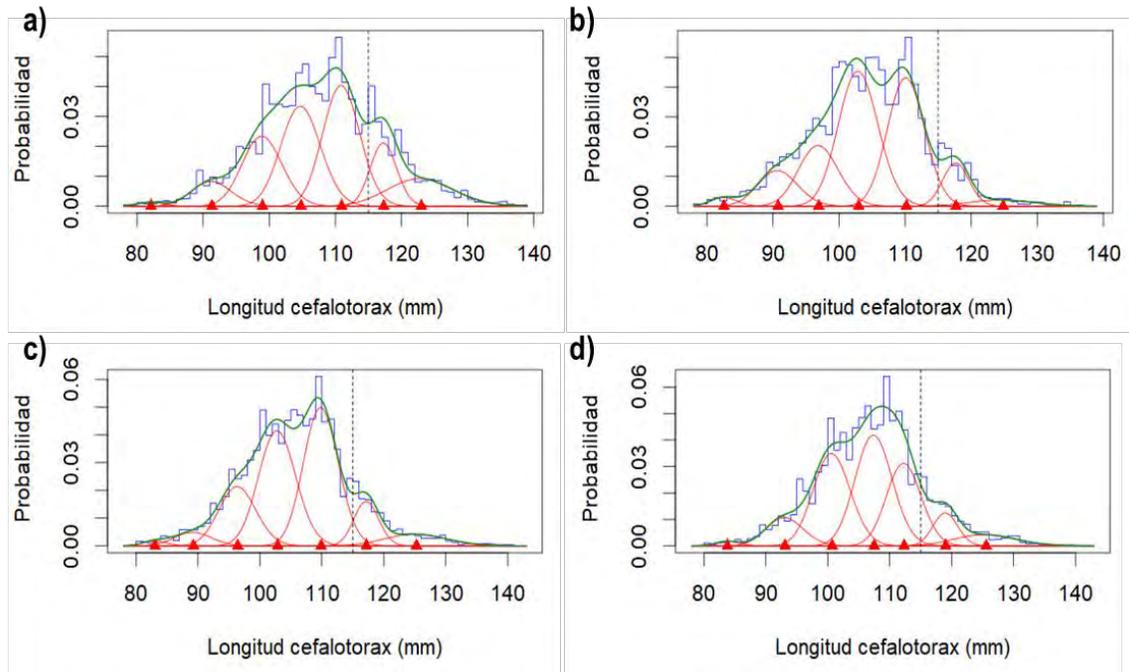


Figura 41 Descomposición modal de la estructura de tallas de las capturas de langosta en RC-SC. (a) Hembras temporada 2019/20; (b) Hembras temporada 2020/21; (c) Machos temporada 2019/20; (d) Machos temporada 2020/21.

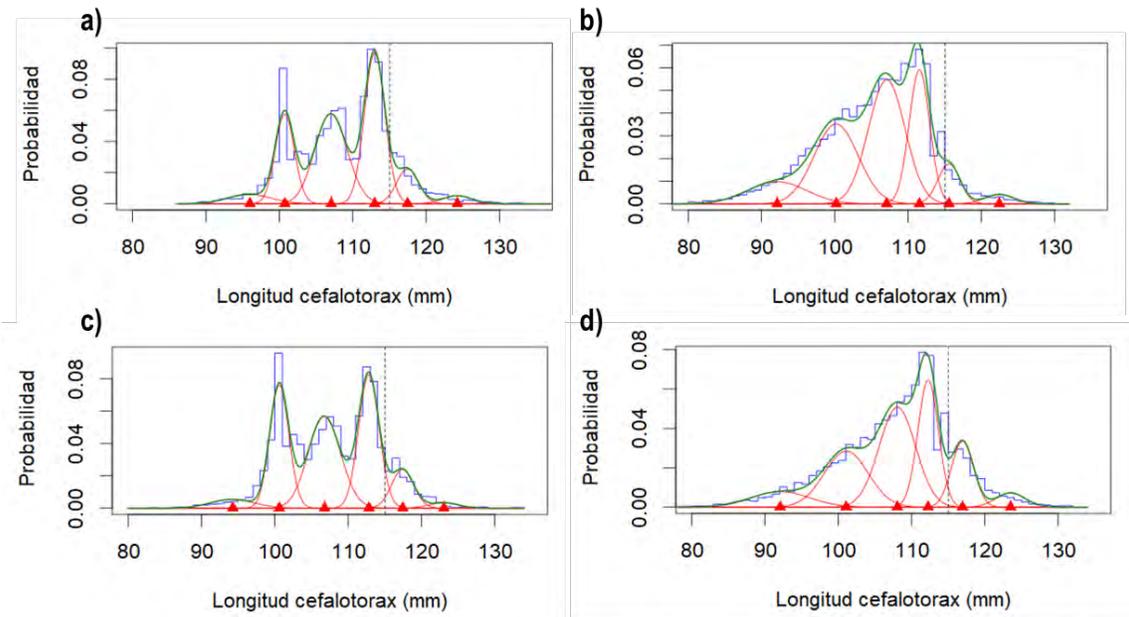


Figura 42 Descomposición modal de la estructura de tallas de las capturas de langosta en el subsistema AS. (a) Hembras temporada 2019/20; (b) Hembras temporada 2020/21; (c) Machos temporada 2019/20; (d) Machos temporada 2020/21.

Tabla 21

Parámetros de la distribución modal por sexos para las capturas de los subsistemas RC-SC y AS durante las temporadas 2020/21.

Subsistema	Grupo Modal	Hembras						Machos					
		Temporada 2020/21			Temporada 2021/22			Temporada 2020/21			Temporada 2021/22		
		p	mu	sigma									
RC-SC	1	0.007	82.1	2	0.009	83.1	2	0.015	82.6	2	0.009	83.8	2
	2	0.062	91.3	3	0.037	89.3	3	0.090	90.8	3	0.081	93.1	3
	3	0.176	99.0	3	0.161	96.5	3	0.153	96.9	3	0.262	100.7	3
	4	0.251	104.8	3	0.312	102.9	3	0.341	103.0	3	0.314	107.5	3
	5	0.283	111.0	2.8	0.349	109.9	2.8	0.303	110.2	2.8	0.219	112.3	2.8
	6	0.106	117.3	2	0.080	117.2	2	0.073	117.7	2	0.062	119.0	2
	7	0.115	123.0	5	0.053	125.3	5	0.026	124.8	5	0.053	125.6	5
AS	1	0.045	96.0	3	0.098	92.1	4	0.137	95.8	3	0.079	92.1	4
	2	0.186	100.7	1.3	0.265	100.2	3	0.109	102.3	1.3	0.214	101.1	3
	3	0.319	107.0	2.2	0.343	107.1	2.5	0.358	107.8	2.2	0.318	108.1	2.5
	4	0.340	113.0	1.4	0.207	111.5	1.4	0.303	113.0	1.4	0.227	112.3	1.4
	5	0.085	117.5	1.5	0.067	115.6	1.5	0.078	119.0	1.5	0.126	116.9	1.5
	6	0.026	124.4	2	0.021	122.4	2	0.015	127.7	2	0.036	123.5	2

Tabla 22

Proporción de portación respecto al total de hembras muestreadas en cada subsistema, por zona y mes de estudio. Temporada 2020/21 e inicios de 2021/22.

Subsistema	Zona	Temporada 2020/21								Temporada 2021/22		
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic
RC-SC	1	0.45	0.17	0.33	0.14	0.00	0.00	0.00		0.60	0.17	0.21
	2	0.25	0.33	0.23	0.14	0.00	0.00	0.00		0.50	0.33	0.13
	3	0.60	0.17	0.31	0.09	0.05	0.02	0.00		0.50	0.38	0.25
	4	0.00	0.20		0.08	0.00	0.00			0.31	0.45	0.20
	5	0.39	0.34	0.24	0.07	0.01	0.00	0.00		0.56	0.22	0.20
	6	0.36	0.29	0.18	0.09	0.02	0.01	0.02		0.48	0.24	0.19
	7	0.37	0.31	0.18	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.36	0.15	0.20
	8	0.21	0.27	0.22	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	0.19
	9	0.39	0.20	0.15	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00	0.27	0.29	0.22
	10	0.40	0.13	0.24	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.27	0.20	0.12
	11	0.28	0.11	0.11	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.58	0.32	0.18
AS	1	0.33	0.24	0.11	0.03	0.05	0.00	0.02		0.31	0.21	0.15
	2	0.20	0.11	0.06	0.03	0.05	0.03	0.05		0.31	0.15	0.08
	3	0.25	0.15	0.07	0.04	0.03	0.02	0.04		0.25	0.15	0.07
	4	0.17	0.18	0.09	0.05	0.04	0.02	0.03		0.20	0.17	0.06
	5	0.19	0.16	0.16	0.07	0.07	0.02	0.03		0.22	0.19	0.08
	6	0.30	0.31	0.21	0.10		0.03	0.00		0.38	0.29	0.24

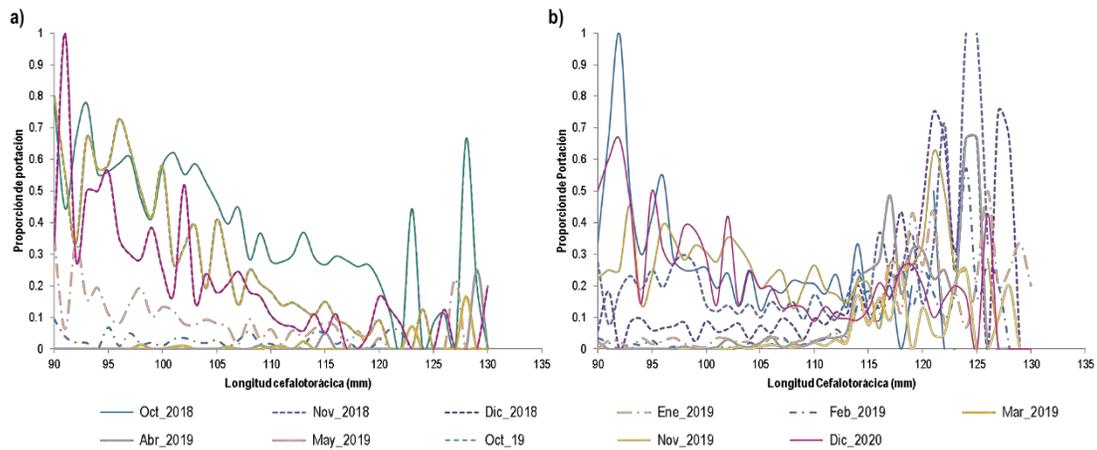


Figura 43 Proporción de portación a la talla mensual. (a) Subsistema RC-SC temporadas 2020/21 – 2021/22; (b) subsistema AS temporadas 2020/21 – 2021/22.

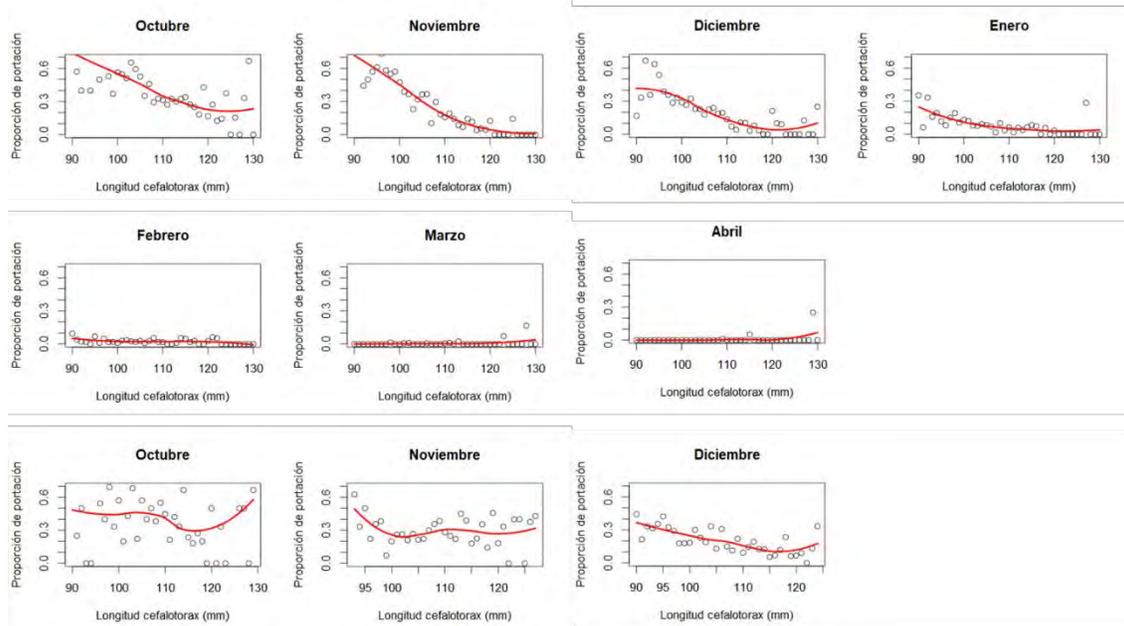


Figura 44 Ajuste de modelo LOESS (regresión local) a la proporción de portación a la talla mensual en el subsistema RC-SC temporada 2020/21 e inicios 2021/22.

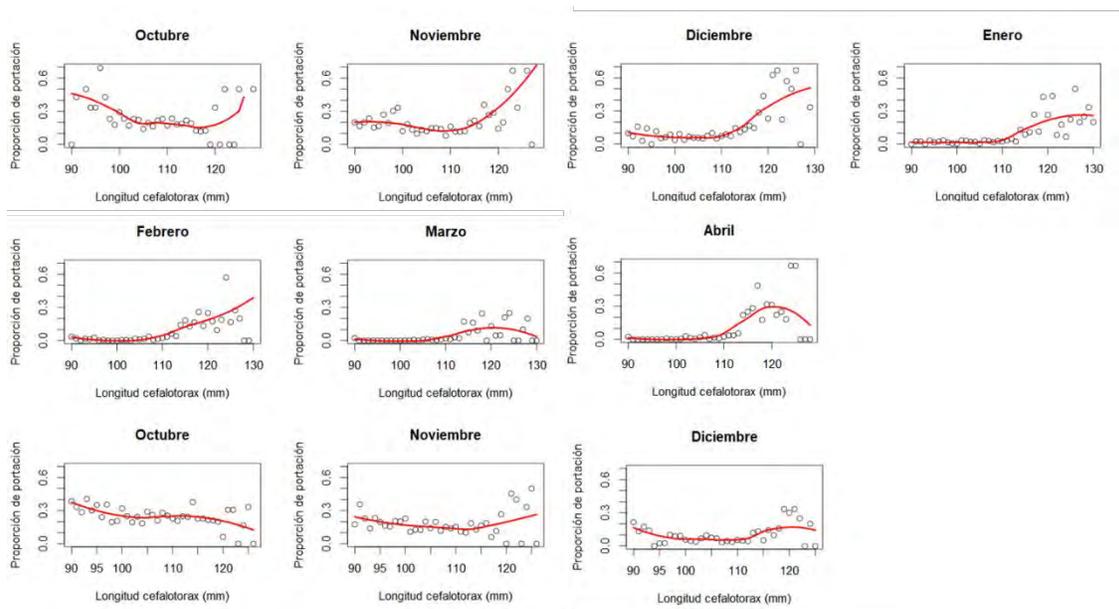


Figura 45 Ajuste de modelo LOESS (regresión local) a la proporción de portación a la talla mensual en el subsistema AS temporada 2020/21 e inicios 2021/22

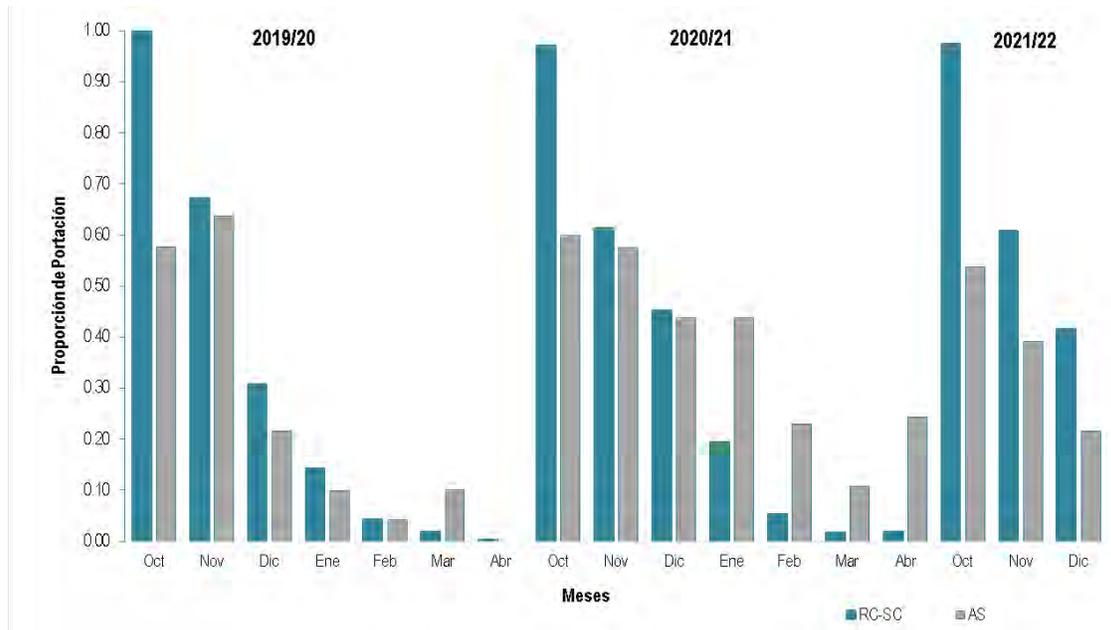


Figura 46 Proporción de portación mensual obtenida de la modelación de la proporción de portación para RC-SC y AS. Periodo octubre 2018 hasta diciembre 2021.

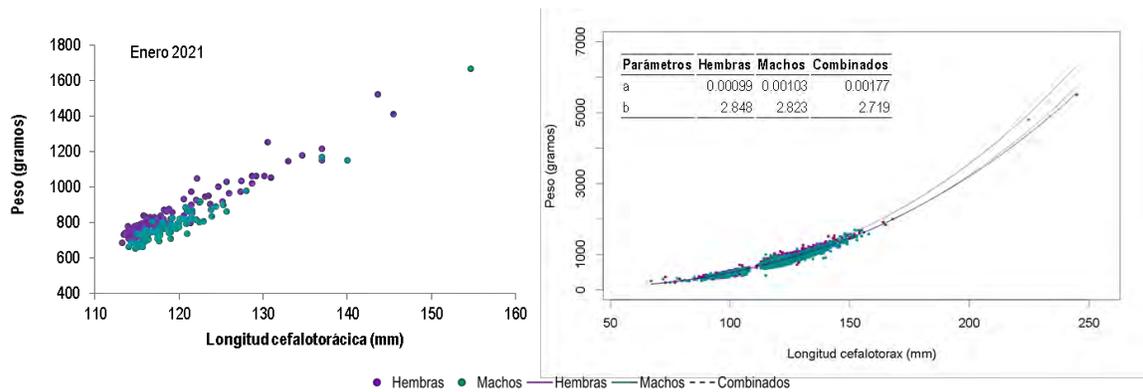


Figura 47 Relación talla-peso de langostas exportadas, mantenidas en viveros en la región de Valparaíso. (a) Medidas en enero 2020; (b) relación talla-peso histórica (datos obtenidos durante varias temporadas de pesca), se indican los parámetros de la relación alométrica.

Tabla 23

Actualización del peso medio a la talla estimado de langostas diferenciadas por sexo y sexos combinados.

LC (mm)	Peso total (gramos)			LC (mm)	Peso total (gramos)		
	Hembras	Machos	Combinados		Hembras	Machos	Combinados
100	494	457	486	178	2553	2326	2331
103	537	497	527	181	2677	2438	2439
106	583	538	569	184	2805	2554	2550
109	631	583	614	187	2938	2673	2665
112	682	629	661	190	3074	2796	2783
115	736	678	711	193	3214	2923	2904
118	792	729	762	196	3359	3053	3028
121	850	782	816	199	3507	3187	3156
124	912	838	872	202	3660	3324	3287
127	976	897	931	205	3817	3465	3422
130	1043	958	992	208	3978	3610	3559
133	1113	1022	1055	211	4144	3759	3701
136	1186	1088	1121	214	4314	3912	3846
139	1262	1157	1190	217	4488	4069	3994
142	1341	1229	1261	220	4667	4230	4146
145	1423	1304	1334	223	4851	4395	4301
148	1509	1381	1411	226	5039	4563	4461
151	1598	1462	1490	229	5232	4737	4623
154	1690	1545	1572	232	5429	4914	4790
157	1785	1632	1657	235	5632	5095	4960
160	1884	1722	1744	238	5839	5281	5134
163	1987	1814	1834	241	6051	5471	5312
166	2092	1910	1928	244	6268	5666	5494
169	2202	2009	2024	247	6490	5864	5679
172	2315	2111	2123	250	6717	6068	5869
175	2432	2217	2225				

#### 4.2.2 Cangrejo dorado

Las salidas de pesca con objetivo de capturar cangrejo dorado son escasas durante todo el año (Tabla 1), por lo que los tamaños muestrales de viajes con investigadores son bajos pero informativos de lo que pasa con la pesquería. Durante el periodo reportado los registros provienen de 2 zonas de pesca alrededor de RC-SC, en el sector norte.

##### *Madurez sexual y portación*

La información biológica que se obtiene del monitoreo de las capturas de cangrejo dorado no permite estimar directamente una función de madurez de las hembras para esta especie ni la curva de portación, debido al bajo número de hembras portadoras que aparecen en las capturas (Tabla 24). Historicamente las capturas han estado compuestas por una alta proporción de machos (número de individuos capturados), existiendo baja captura de hembras y hembras ovígeras. En el periodo analizado solo se registraron hembras con masa ovígera enero. Una investigación complementaria para incrementar la información disponible sobre la talla de madurez sexual está en proceso, pero ha requerido de esfuerzo extra para alcanzar los tamaños muestrales necesarios para individuos pequeños que el aparejo de pesca no captura y/o no se encuentran en las áreas de pesca.

##### *Proporción sexual*

La proporción de hembras respecto a machos durante el periodo reportado mantiene su característico patrón, en las capturas generalmente hay ausencia de hembras (Tabla 24). En la presente temporada se capturaron registraron hembras todos los meses, a excepción de febrero, julio, agosto y diciembre, sin embargo, estas no estaban portando masa ovígera (Tabla 25)

##### *Distribución de tallas*

En relación con la talla media de las capturas (Tabla 24), entre los meses reportados, junio es el mes con mayor talla media, mientras que en la zona 1 en julio se alcanza el mayor valor para la talla media de las capturas retenidas (139.3 mm).

La Figura 48 representa la distribución de tallas de cangrejos (machos y hembras) capturados en el subsistema RC-SC durante el año 2021. Al igual que en años anteriores se registra en las trampas la presencia de machos de mayor tamaño que las hembras, mayoritariamente entre 116 mm y 136 mm de AC. En las capturas registradas, las hembras no alcanzaron tamaños superiores a 114 mm. No se registran ejemplares menores a 80 mm de ancho cefalotorácico, la proporción de machos menores a 99 mm de AC es muy baja.

Finalmente, la captura retenida está compuesta por machos que mayoritariamente se distribuyen entre 100 y 135 mm de AC. La proporción de hembras capturadas, al igual que otros años, sigue siendo baja.

De acuerdo con la Figura 49 de forma similar a lo observado durante 2020, sobre 120 mm de AC la proporción de captura acumulada alcanza el 50%. Se observan dos *peaks* de captura retenida bajo 130 mm de AC, una entre 115 mm y 120 y otro entre 120 y 130 mm de AC.

*Relación talla peso*

La Figura 50 presenta la relación talla peso de cangrejo dorado para ambos sexos, con registros tomados en tierra utilizando balanza digital. Según estos, un cangrejo macho de 120 mm de AC podría pesar alrededor de medio kilogramo.

Tabla 24

Proporción sexual de cangrejo (hembras sobre el total), de portación (respecto del total de hembras) y ancho cefelotorácico medio (talla media en mm) de la captura total y retenida muestreadas en el subsistema RC-SC por zona y mes de estudio. Año 2021.

Indicador	Zonas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Portación	1				0.00		0.00	0.00					
	2					0.00							0
	10	0.07	0.00		0.00	0.00			0.00	0.00			
Proporción sexual	1				0.00		0.00	0.02					
	2					0.00							0
	10	1.00	0.00		0.05	0.01			0.00	0.01			
Talla Med. Capt Tot (mm)	1				123.6		130.9	115.9					
	2					120.9							123.2
	10	94.0	118.2		119.1	120.4			114.2	107.4			
Talla Med. Capt Ret (mm)	1				124.2		134.8	139.3					
	2					121.9							123.2
	10	94.0	121.7		121.4	122.4			114.4	110.6			

Tabla 25

Promedio mensual de la proporción sexual y talla media de la captura total de cangrejo dorado. Año 2021.

Indicador	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Proporción sexual	1.000	0.000		0.028	0.009	0.004	0.020	0.000	0.012			0.000
Talla Med. Capt Tot	94.0	118.2		121.0	120.4	130.9	115.9	114.2	107.4			123.2

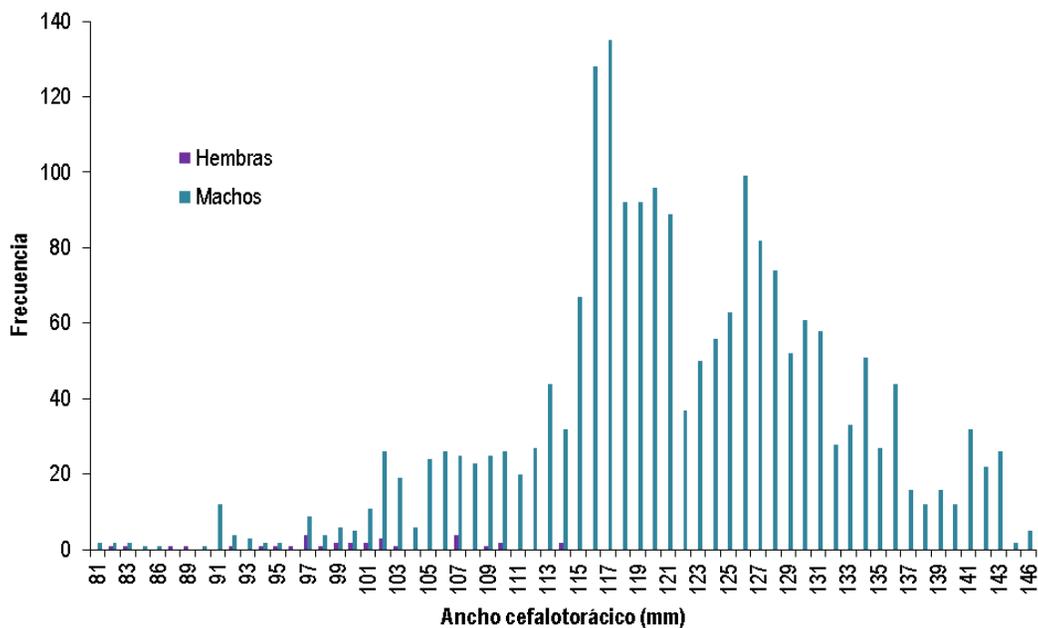


Figura 48 Frecuencia de distribución de tallas de cangrejo dorado del muestreo de las capturas en el subsistema RC-SC durante el período enero – diciembre 2021.

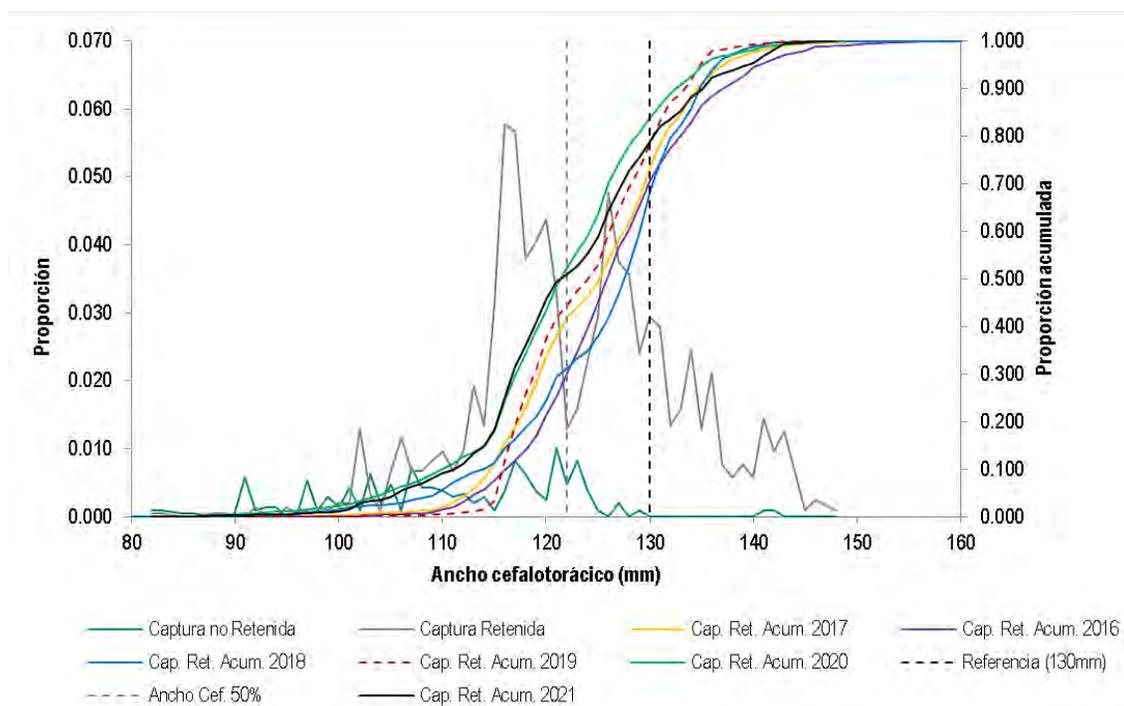


Figura 49 Proporción de tallas de la captura retenida y devuelta al mar (captura no retenida) de cangrejo dorado en el subsistema RC-SC. Período enero – diciembre 2021.

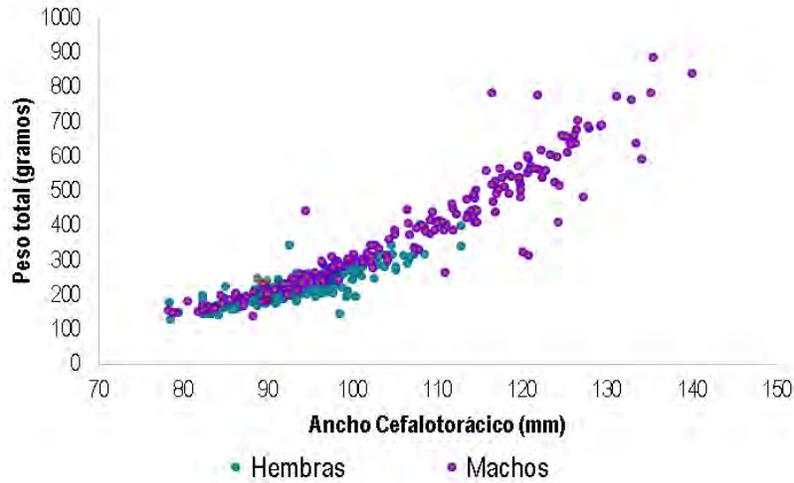


Figura 50 Relación talla-peso de cangrejo dorado por sexo. Registros tomados en laboratorio en la isla Robinson Crusoe durante el 2020.

#### 4.2.3 Breca de Juan Fernández

Se obtuvieron lecturas de madurez gonadal de 32 nuevas hembras de breca, pero se consideraron 4 lecturas como no conclusivas y anómalas, y por ende para su posterior análisis se consideraron 2 casos, uno excluyendo esas muestras (modelo 1) y otra incluyéndolas (modelo 2).

La Tabla 26 reporta la estimación de los parámetros de la función de madurez para ambos modelos. Según se observa además en la Figura 51, la talla media de madurez sexual alcanzó un valor 283 mm de longitud el ajuste de los modelos 1 (línea roja) y 2 (línea azul) y los datos expresados como proporción a la talla. Se aprecia un menor impacto de los datos sobre el parámetro talla media de madurez sexual que sobre  $L_{95}$ .

Tabla 26  
Parámetros de la función de madurez sexual para hembras de breca de la isla Robinson Crusoe estimados a partir de datos obtenidos por Rivara (2013) y este trabajo.

Parámetro	Modelo 1		Modelo 2	
	MLE	s.e.	MLE	s.e.
$L_{50}$	282.7	16.6	261.2	26.1
$L_{95}$	437.7	41.3	473.7	60.9

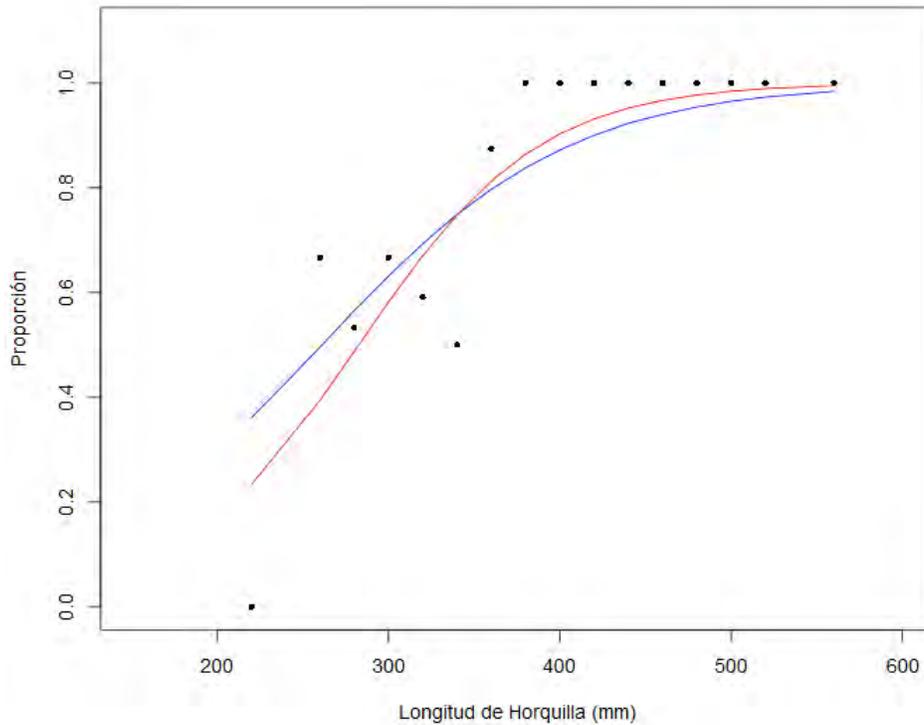


Figura 51 Función de madurez sexual a la talla de hembras de breca de Juan Fernández. Ajuste del modelo 1 en rojo y modelo 2 en azul.

#### 4.2.4 Muestreo de especies ícticas

Si bien se había propuesto un muestreo en tierra para la determinación del sexo y condición reproductiva en hembras, debido a diversas consideraciones operacionales no se pudo realizar el muestreo biológico-reproductivo de Vidriola y Bacalao de Juan Fernández, y por ende tampoco analizar su condición reproductiva durante el año, esperando realizarlo en el futuro cercano.

Se obtuvieron registros de estructura de tallas de las vidriolas capturadas a partir de los muestreos realizados por los muestreadores científicos a bordo de las embarcaciones, resultados indicados en el objetivo 5., mientras que la estructura de tallas de bacalao se presentó en el objetivo 1.

### 4.3 Objetivo 3

*Determinar la composición específica de las capturas en las operaciones de pesca dirigidas a la langosta de Juan Fernández, cangrejo dorado y en operaciones de pesca dirigidas a peces.*

La cuantificación de fauna acompañante<sup>2</sup> y captura incidental<sup>3</sup> solo es posible a partir de las bitácoras biológicas, ítem incluido desde el año 2013 (temporada 2012/13) para las especies capturadas en las trampas de crustáceos. Además, ha sido incorporado al formato el registro de captura incidental en los aparejos de pesca de especies ícticas, iniciándose el registro durante el invierno de 2016.

Los resultados de los indicadores de este objetivo son reportados para la totalidad del año 2021, continuando el reporte particular de distribución y abundancia de erizos alrededor de RC-SC, cuyo impacto en fondos someros ha sido tema de particular interés para la comunidad de Juan Fernández.

#### 4.3.1 Fauna acompañante

Dado que los aparejos como espineles y líneas de mano son desplegados para la captura de carnada, se consideran multiespecíficos ya que las especies ícticas capturadas son utilizadas en su totalidad como carnada, se presentan resultados de la composición de la fauna capturada por espineles verticales durante el año 2021 en RC-SC de acuerdo con los registros obtenidos por los muestreadores científicos (Figura 52). Las capturas son en su mayoría compuestas por breca, notando su dominio durante la temporada de langosta (en decrecimiento desde enero a junio) y la fuerte presencia de captura de bacalao de Juan Fernández desde Julio en adelante, sobre todo en septiembre. Por otra parte, operación de aparejos como la línea de mano de superficie permite a los pescadores ser muy selectivos en la captura de los cardúmenes de jurel de Juan Fernández (*Pseudocaranx chilensis*) y pampanito (*Pseudocaranx chilensis*) por ello no se presentan registros de otras especies capturadas.

De acuerdo con el listado presentado (ANEXO III), se reporta en detalle la captura de fauna acompañante de la pesquería de la langosta durante cada mes del año, considerando el número de individuos registrados por especie y el índice de ocurrencia calculado sobre el número total de trampas registradas por los muestreadores científicos (Tabla 27). En el caso de la pesquería de cangrejo dorado, si bien se cubrieron salidas de pesca, los muestreadores científicos no reportaron fauna acompañante en las trampas cangrejeras.

Se identificaron 18 especies distintas en RC-SC, 6 en AS 6 en ID, pertenecientes a 6 fila diferentes durante el año 2021. **Según lo presentado, todas las especies son clasificadas como R (“especie rara”,  $S0 < 25\%$ ) por su baja presencia en relación con el número de trampas levantadas, incluyendo a los erizos de mar que en registros anteriores fueron indicados como “Especie poco común (U)” en**

---

<sup>2</sup> Fauna acompañante: es la conformada por especies hidrobiológicas que ocupan temporal o permanentemente un espacio marítimo común con la especie objetivo, y que, por efecto tecnológico del arte o aparejo de pesca, se capturan cuando las naves pesqueras orientan su esfuerzo de pesca a la explotación de las especies objetivo. (Art. 2°, numeral 21 Ley general de pesca y acuicultura 20.657)

<sup>3</sup> Pesca incidental: aquella conformada por especies que no son parte de la fauna acompañante y que está constituida por reptiles marinos, aves marinas y mamíferos marinos (Art. 2°, numeral 21 bis Ley general de pesca y acuicultura 20.657)

RC-SC, no obstante la cantidad registrada sigue siendo alta. Al clasificarlos en grupos taxonómicos mayores (Figura 53) se observa que en RC-SC prima la presencia de equinodermos mientras que en AS es la presencia de moluscos (pulpo) y crustáceos (centolla principalmente) y de acuerdo a lo registrado en ID, serían los crustáceos (capturas de centollas). Dado que los aparejos de pesca utilizados son pasivos, especies como erizos, estrellas, pulpos, entre otros, ingresan a las trampas para alimentarse.

Para la pesquería de cangrejo se registraron solo capturas de centollas mayoritariamente, caracoles blancos y una langosta en las trampas, en tan solo 3 salidas distintas coincidiendo en los meses de enero y abril.

Considerando la alta presencia de erizos en relación a las otras especies, se presenta su distribución y abundancia obtenida desde los registros de los muestreadores científicos durante el 2021 (Figura 54). La Figura nos permite observar aquellos sectores que han recurrido en mayor presencia de estos ejemplares en las trampas, destacando el sector norte y noroeste de Robinson Crusoe y el sector suroeste de Santa Clara. Además de la alta presencia en el sector sureste de Robinson Crusoe (El Verdugo) y nuevos registros en el sector frente a Bahía el Padre al sur de la isla RC.

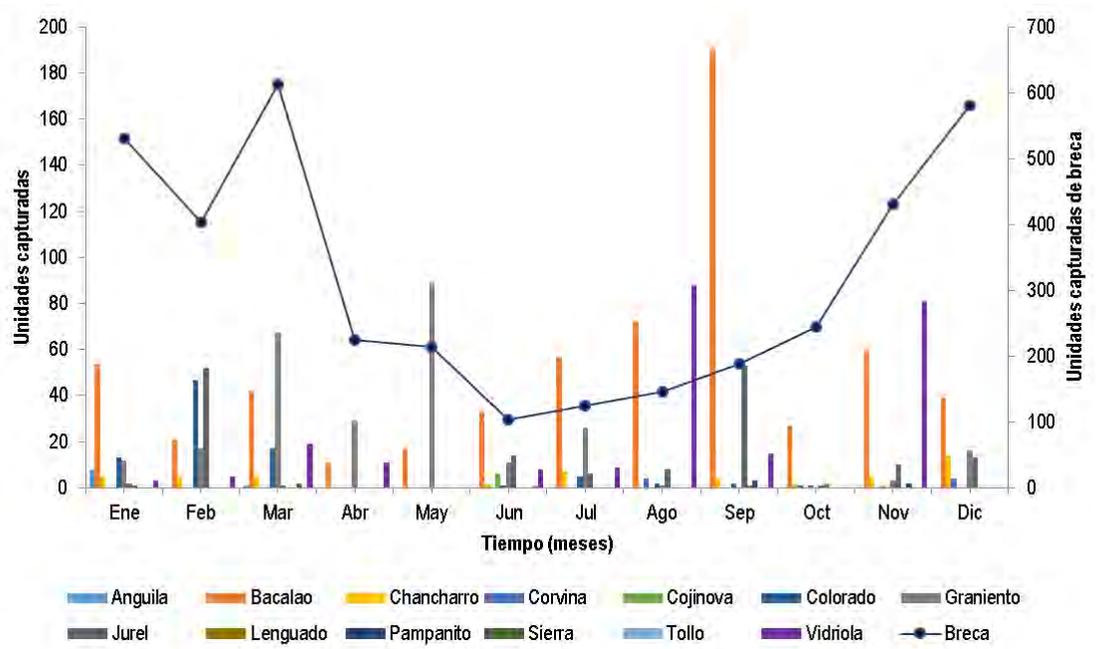


Figura 52 Composición de las capturas utilizando espinel vertical durante el año 2020 en RC-SC.

Tabla 27

Número de individuos registrados por especie capturada en las trampas de langostas e Índice de ocurrencia de fauna acompañante S0%. Registros mensuales durante el año 2021 por subsistema. Incluye meses iniciales de la temporada de langosta 2020/21.

Subsistema	Grupo	ID	Especie	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	Temporada 2020/21	Total 2021 (ni)	S <sub>0</sub> (%) 2021	Clasif.	Estimación Captura esperada	
ID	Peces	1	Cabrilla			2									2	0	0.00	R	0	
	Crustáceos	2	Cangrejo dorado					1							1	1	0.19	R	5	
		3	Centolla					6							6	6	1.11	R	32	
	Equinodermos	4	Erizo		1			1							2	1	0.19	R	5	
		5	Estrella			1									1	0	0.00	R	0	
	Moluscos	6	Pulpo			1	3	1							5	4	0.74	R	22	
RC-SC	Peces	1	Anguila	4	5	3	5	3	2	1	2	4	1	4	25	22	0.37	R	181	
		2	Breca	1	1	1	2	1	3						9	7	0.12	R	58	
		3	Cabrilla			1			2				2		3	4	0.07	R	33	
		4	Congrio	1					1				1		2	2	0.03	R	16	
		5	Pampanito		1										1	0	0.00	R	0	
		6	Pez escorpion											1		0	1	0.02	R	8
		7	Piloto JF	1												1	0	0.00	R	0
		8	Chancharro				1			1						2	1	0.02	U	8
		9	Corvina					2	1							3	3	0.05	R	25
	Crustáceos	10	Centolla						3	1		1	2	2	4	9	0.15	R	74	
		11	Cigarra				1								1	1	0.02	R	8	
		12	Jaiba						1						1	1	0.02	R	8	
	Cnidarios	13	Coral negro							2					2	2	0.03	R	16	
	Equinodermos	14	Erizo	132	78	125	172	116	69	31	4	75	51	154	727	672	11.25	R	5539	
		15	Estrella	83	19	24	25	5	4				78	23	49	160	184	3.08	R	1517
	Porifera	16	Espanja	3											3	0	0.00	R	0	
	Molusco	17	Caracol blanco						1						1	1	0.02	R	8	
		18	Pulpo	24	7	11	16	37	49	14	2	2	3	5	160	128	2.14	R	1055	
AS	Peces	1	Breca				1								1	2	0.07	R	20	
	Crustáceos	2	Centolla						17	11		3	6	4	28	41	1.53	R	414	
	Cnidarios	3	Coral negro					1							1	1	0.04	R	10	
	Equinodermos	4	Erizo	6	6	1		5	2				16	2	1	20	26	0.97	R	263
		5	Estrella	1									4	4		1	8	0.30	R	81
	Moluscos	6	Pulpo			3	7	7	9	7			10	3	2	33	45	1.68	R	454

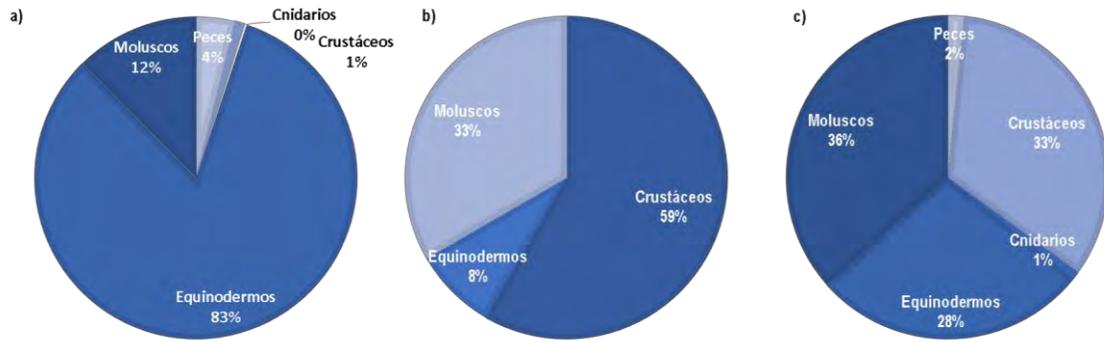


Figura 53 Fauna acompañante expresada según la frecuencia de ejemplares por grupo taxonómico mayor, capturados durante el año 2021 en la pesquería de langosta. a) Subsistema RC-SC; b) subsistema ID; c) subsistema AS.

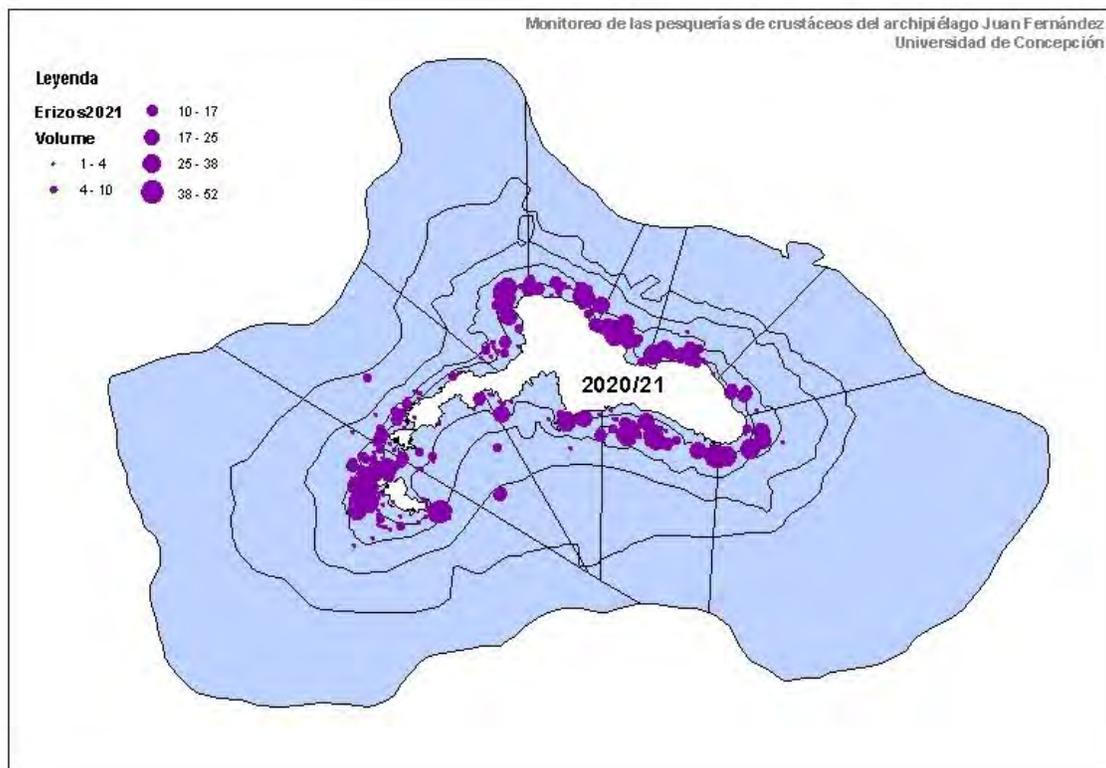


Figura 54 Distribución espacial de abundancia de erizos en trampas de langosta, temporada 2020/21. Los círculos violetas corresponden a presencia de erizos en las trampas. El tamaño de los círculos es de acuerdo con la abundancia por trampa. Las líneas alrededor de las islas corresponden a la profundidad e indican intervalos de 50m, iniciando en el estrato de 0 – 50m (Registros desde el programa de monitoreo con muestreadores científicos a bordo).

## 4.3.2 Investigación de erizos

### 4.3.2.1 Caracterización de la comunidad submareal

#### 4.3.2.1.1 Cobertura de organismos sésiles bentónicos

En el año 2014 los organismos sésiles estuvieron representados por 38 especies. El promedio de riqueza de los sitios de la zona protegida (PR) fue  $10.33 \pm DE 3.98$  mientras que en la zona semiexpuesta (EX)  $17.33 \pm 2.50$  y en la zona expuesta (EX)  $16.66 \pm 3.32$ . Se encontró diferencias significativas entre la riqueza de especies reportadas para cada zona ( $F = 8.09$ ,  $P < 0.01$ ), donde la riqueza de la zona protegida (PR) fue menor que la correspondiente a la zona semiexpuesta (SE) y expuesta ( $P < 0.01$ ) (EX).

En la zona protegida (PR) las algas coralinas incrustantes alcanzaron un 41% de cobertura. Las algas pardas reportaron un 37% de la cobertura y fueron representadas por *Lobophora* sp. (21%), *Padina* sp. (13%), *Colpomenia sinuosa* (1%), *Glossophora kunthii* (1%) y *Dictyota* sp. (1%). Las algas formadoras de turf ocuparon un 6% de cobertura mientras que las rocas desnudas, cascajos y cantos rodados un 5%. En la zona semiexpuesta (SE) las algas pardas reportaron un 54% de cobertura y estuvieron conformadas por la presencia de *Padina* sp. (17%), *Lobophora* sp. (16%), *Dictyota* sp. (8%). En esta zona el porcentaje de cobertura reportado para las algas coralinas incrustantes fue de un 24% mientras que las algas formadoras de turf representaron un 9% de cobertura. En la zona expuesta (EX) el porcentaje de cobertura de las algas pardas fue de un 28% y estuvo representado por *Lobophora* sp. (9%), *Padina* sp. (8%), *Glossophora kunthii* (8%) y *Dictyota* sp. (5%). Las algas coralinas incrustantes representaron un 20% mientras que las algas formadoras de turf 10%. Las algas verdes, los cirripedios y la esponja *Ircinia* sp. reportaron 9%, 7% y 6% respectivamente (Figura 55).

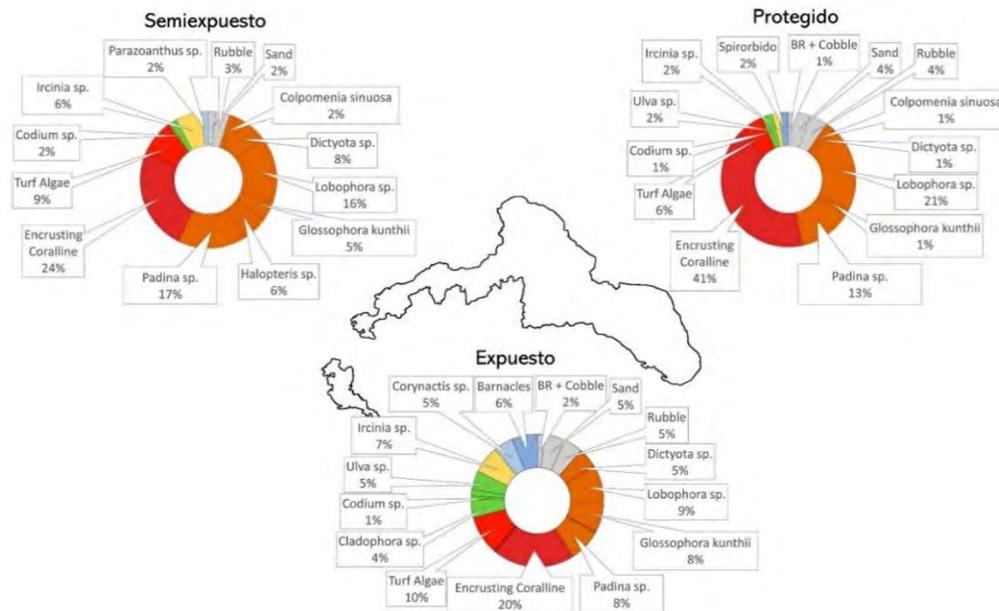


Figura 55 Promedio de porcentaje de cobertura de organismos sésiles y sustrato registrados el año 2014 para la zona protegida (PR), la zona semiexpuesta (SE) y la zona expuesta (EX). En la imagen se observan los promedios obtenidos para ambas profundidades (10 m y 20 m). BR = Roca desnuda.

En el año 2017 los organismos sésiles estuvieron representados por 39 especies. El promedio de riqueza de los sitios de la zona protegida (PR) fue  $8.91 \pm DE 2.57$ , mientras que la zona semiexpuesta (SE)  $15.5 \pm 2.46$  y la zona expuesta (EX)  $13.42 \pm 3.90$ . Se encontraron diferencias significativas entre la riqueza de especies de cada zona ( $F = 14.75$ ,  $P < 0.01$ ). Similar a lo reportado en 2014, la riqueza de la zona protegida mostró diferencias respecto a la zona semiexpuesta ( $P < 0.01$ ) y expuesta ( $P < 0.01$ ).

Durante 2017 la cobertura de organismos sésiles presentó una riqueza de 40 especies. Para la zona protegida (PR) se reportaron porcentajes de cobertura de 42% para las algas coralinas incrustantes, un 28% de cobertura de algas pardas representadas por *Lobophora* sp. (20%), *Padina* sp. (4%), *Colpomenia sinuosa* (3%) y *Dictyota* sp. (2%). Similarmente las algas formadoras de turf y roca desnuda representaron un 11% de la cobertura. En la zona semiexpuesta (SE) los porcentajes fueron similares salvo una disminución de las algas coralinas incrustantes (28%) y un aumento de *Lobophora* sp. (31%). La zona expuesta (EX) las algas pardas reportaron un 43% de la cobertura representadas por *Dictyota* sp. (19%), *Lobophora* sp. (11%), *Padina* sp. (9%) y *Colpomenia sinuosa* (3%). Las algas formadoras de turf ocuparon un 21% de la cobertura mientras que las algas verdes 14% y las algas coralinas incrustantes 11% (Figura 56).

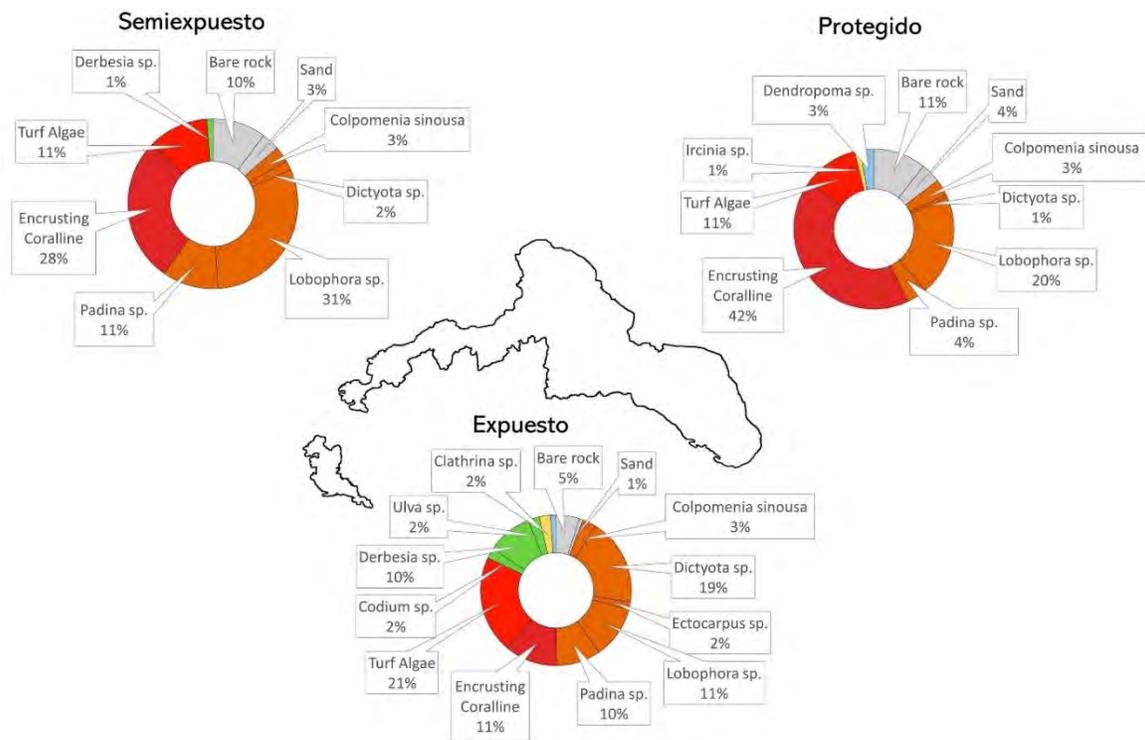


Figura 56 Promedio de porcentaje de cobertura de organismos sésiles y sustrato registrados el año 2017 para la zona protegida (PR), la zona semiexpuesta (SE) y la zona expuesta (EX). En la imagen se observan los promedios obtenidos para ambas profundidades (10 m y 20 m).

Similar a lo observado en expediciones anteriores, los hábitats bentónicos de los sitios monitoreados estuvieron compuestos por fondos de roca y cantos rodados. Sin embargo, los sitios de Bahía Cumberland (RC18 y RC19) presentaron fondos blanqueados correspondientes a más del 70% de la cobertura, en el caso de los sitios someros (10 m). Concordando con estudios anteriores, la cobertura de fondos blanqueados en el sector El Arenal (RC26) y en Santa Clara (RC27) fue relativamente menor a los sitios de la zona protegida (PR) aunque la cobertura asociada a fondos blanqueados fue mayor en comparación con años anteriores alcanzando hasta un 75% de cobertura en Santa Clara en los sitios someros (10 m).

La cobertura registrada en los cuatro sitios estuvo representada por 8 especies de algas (4 pardas, 1 roja, 3 verdes). Los sitios de la zona protegida (PR) presentaron una riqueza de 5 (RC18) y 4 especies (RC19) mientras que los sitios de la zona expuesta (EX) 6 (RC26) y 6 (RC27).

En la zona protegida (PR) los sitios mostraron una cobertura de algas menor (1.3%) comparados con los sitios de la zona expuesta (3%). En la zona protegida (PR), las algas pardas *Dictyota* sp. y *Padina* sp. representaron el 0.42% y el 0.26% de la cobertura. En la zona expuesta (EX) las algas pardas *Padina* sp. (7.92%), *Lobophora* sp. (3.92%) y *Dictyota* sp. (2.55%) representaron aproximadamente el 14 % de la cobertura total (Figura 56). En Bahía Cumberland (RC19) la roca desnuda, los cantos rodados y los guijarros registraron una cobertura del 87% de la cobertura seguido de arena (12%). Las algas pardas registraron un 1.44% de la cobertura mientras que las algas formadoras de turf un 0.10%. En el caso de El Palillo (RC18) la cobertura de roca desnuda, cantos rodados y guijarros representó un 81% seguido de presencia de arena (12%) y una asociación de algas coralinas incrustantes sobre roca desnuda (7%). En este sitio las algas pardas representaron un 0.44% de la cobertura, mientras que *Ulva* sp. un 0.26% y las algas formadoras de turf (0.14%) (Figura 56).

En la zona expuesta (EX) se observó mayor riqueza de especies representado por algas pardas, algas verdes y algas formadoras de turf. En El Arenal (RC26) la roca desnuda, cantos rodados y guijarros mostraron una cobertura de 35% seguido de arena (20%). En este sitio, la cobertura de las algas coralinas incrustantes fue 18% similar a lo observado para las algas pardas (18.92%). Las algas pardas registradas correspondieron a *Padina* sp. (6.6%), *Lobophora* sp. (5.65%), *Dictyota* sp. (3.73%) y *Colpomenia sinuosa* (2.94%). Las algas verdes representaron un 4.95% y las algas formadoras de turf 2.19%. Por otro lado, en el sitio de Santa Clara (RC27) la roca desnuda, cantos rodados y guijarros presentaron una cobertura de 64% mientras que la arena un 20%. Las algas pardas mostraron una cobertura de 12.82% representados por *Padina* sp. (9.24%), *Lobophora* sp. (2.20%) y *Dictyota* sp. (1.38%). Finalmente, las algas formadoras de turf mostraron un 2.56% de cobertura mientras que las algas verdes un 1.13%.

Se encontraron diferencias significativas en las riquezas de organismos sésiles entre los años ( $F = 5.80$ ,  $P < 0.01$ ), donde en 2020 se diferenció respecto a 2014 ( $P < 0.01$ ) y 2017 ( $P < 0.01$ ). Estos resultados demuestran principalmente una clara disminución en la riqueza de organismos sésiles a través de los años.

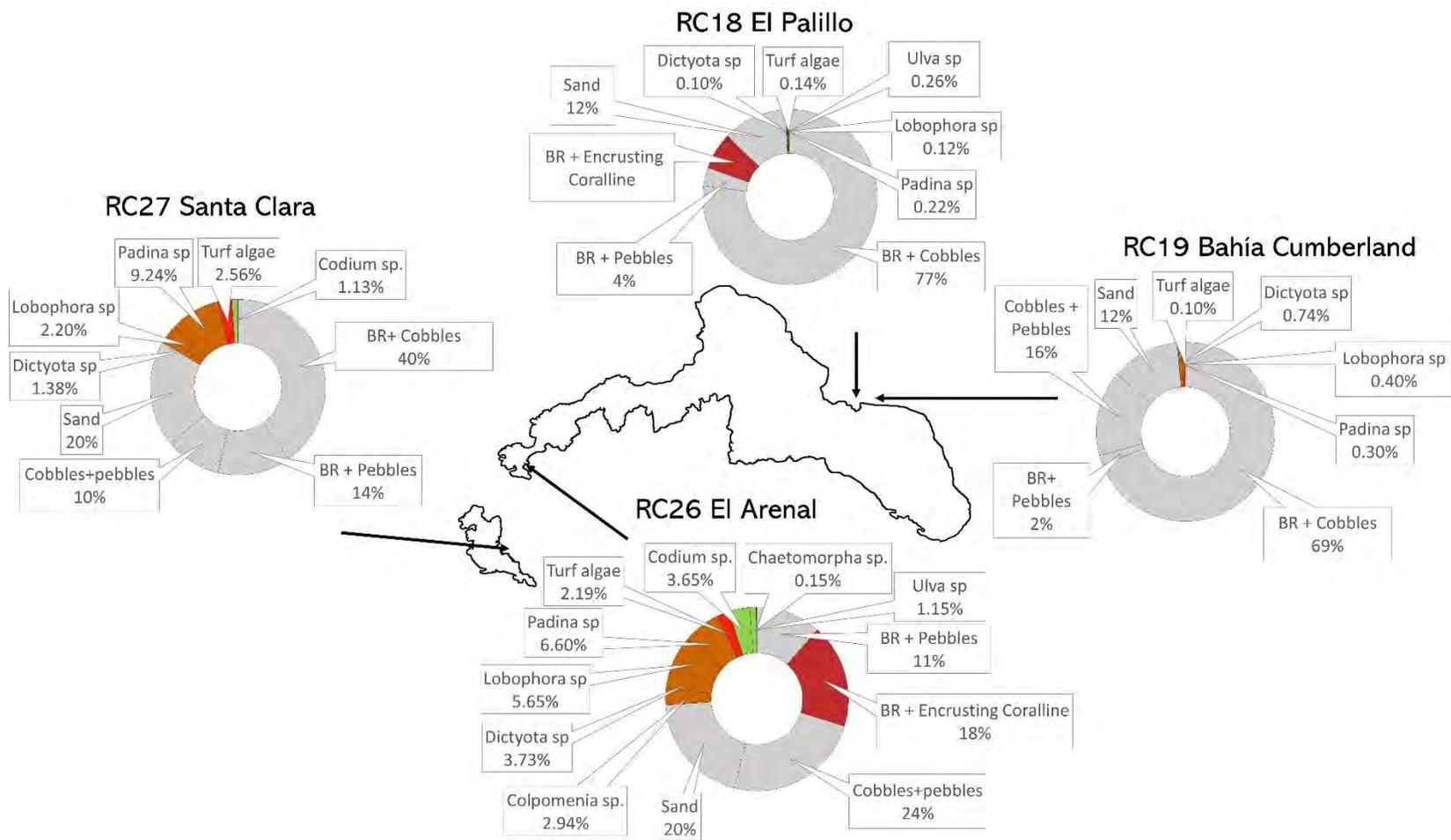


Figura 57 Promedio de porcentaje de cobertura de organismos sésiles y sustrato registrados durante la última expedición (año 2020) en los sitios de la zona protegida (RC18, RC19) y los sitios de la zona expuesta (RC26, RC27). En la imagen se observan los promedios obtenidos para ambas profundidades (10 m y 20 m).

#### 4.3.2.1.2 Comunidad de Invertebrados móviles

La fauna de invertebrados móviles, al igual que estudios previos, estuvo compuesta principalmente por la presencia de *Centrostephanus* sp. registrándose abundancias superiores a 30 ind\*m<sup>2</sup> en promedio en los sitios de Bahía Cumberland (RC18 y RC19), superando en casi el doble de las abundancias de erizos reportadas previamente por Friedlander *et al.* (2016, 2017). El 2020 se observó una mayor abundancia de invertebrados en ambos sectores de la isla en comparación con años anteriores. Este aumento fue mayormente explicado por el aumento del número de erizos *Centrostephanus* sp., los cuales alcanzaron valores de hasta 12 ind m<sup>2</sup> en profundidades de 10 m. En la zona protegida, la riqueza de los invertebrados registrada fue  $3.50 \pm 0.14$  en sitios someros (10 m) y  $4.00 \pm 0.28$  en sitios profundos (20 m). Mientras que en la zona expuesta la riqueza fue  $4.00 \pm 0.00$  en sitios someros (10 m) y  $3.00 \pm 0.28$  en sitios profundos (20 m). No se encontraron diferencias significativas en la riqueza de invertebrados entre los sitios de la zona protegida y zona expuesta (Mann-Whitney = 7.50,  $P = 1.00$ ) (Figura 58).

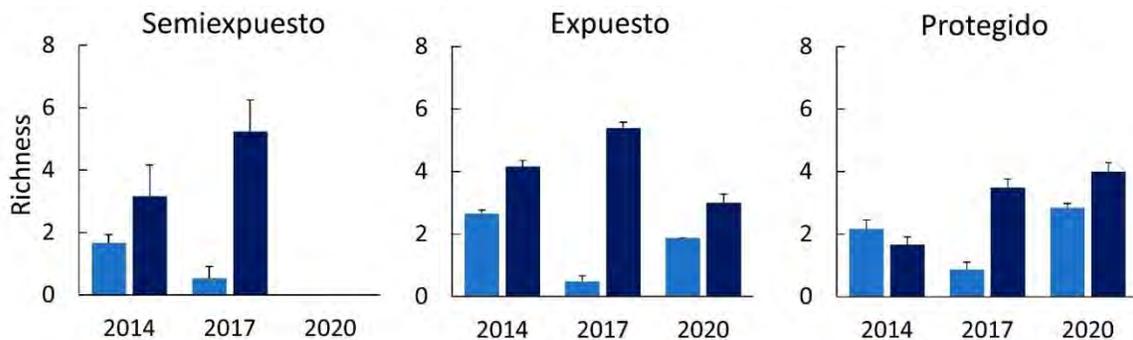


Figura 58 Riqueza de invertebrados móviles presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades (10 m en azul claro, 20 m en azul oscuro).

La zona protegida tuvo una abundancia de invertebrados de  $2.84 \pm 1.00$  (ind 0.25m<sup>2</sup>) en sitios someros (10 m) y  $2.10 \pm 0.96$  en sitios profundos (20 m). En la zona protegida la abundancia de invertebrados varió entre 2.13 y 3.55 (ind 0.25m<sup>2</sup>) en sitios someros (10 m) y entre 1.51 y 2.68 en sitios profundos (20 m). En cambio, en la zona expuesta, la abundancia de invertebrados fue  $1.88 \pm 0.89$  de los sitios someros (10 m) y de  $0.85 \pm 0.71$  en los sitios profundos (20 m). En sitios someros (10 m) la abundancia varió entre 1.47 y 2.28 (ind 0.25m<sup>2</sup>) y entre 0.72 y 0.98 entre sitios profundos (20 m) (Figura 59).

En la zona protegida no se encontraron diferencias significativas en las abundancias entre los sitios someros (10 m) y protegidos (20 m) (Mann-Whitney U = 14074,  $P = 0.235$ ). En cambio, se encontraron diferencias significativas en las abundancias de la zona expuesta entre sitios someros (10 m) y profundos (20 m) (Mann-Whitney U = 14829,  $P = 0.027$ ). Por último, se encontraron diferencias significativas entre las abundancias de invertebrados entre la zona protegida y la zona expuesta (Mann-Whitney U = 44735,  $P < 0.01$ ).

Se encontraron diferencias significativas en la abundancia de invertebrados de sitios someros (10 m) y profundos (20 m) de cada zona ( $\chi^2 = 10.56$ ,  $P < 0.01$ ), donde las mayores abundancias del pepino *Mertensiothuria platei* y la almeja *Chama pellucida* se presentaron en los sitios someros (10 m) de la zona expuesta ( $P < 0.01$ ).

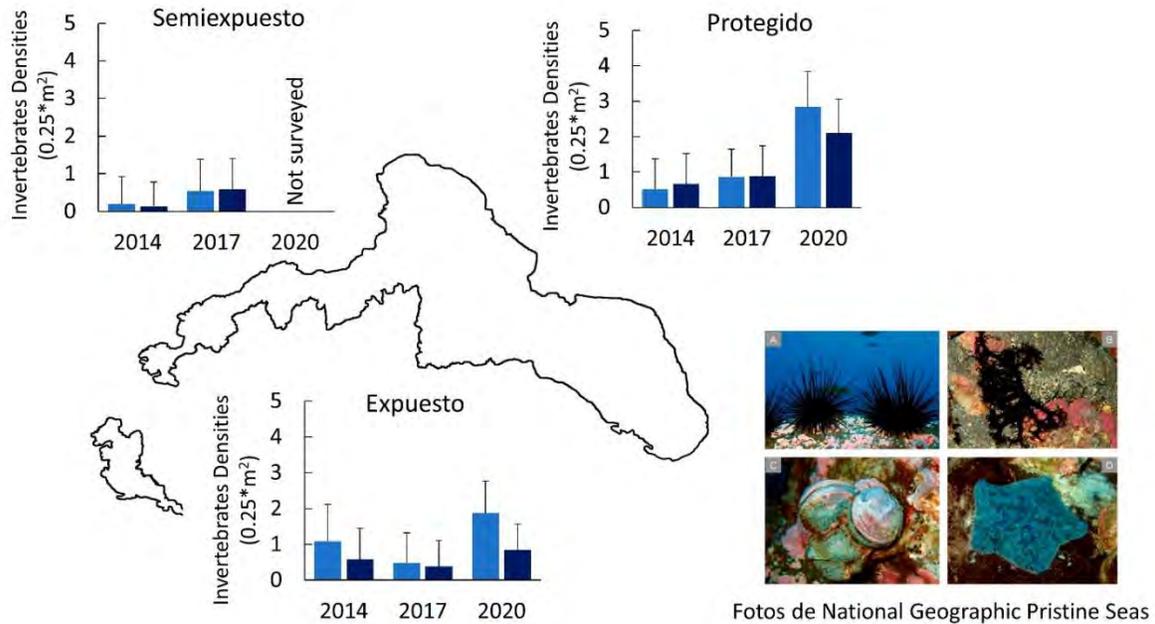


Figura 59 Densidad de invertebrados móviles presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades (10 m en azul claro, 20 m en azul oscuro). Fotografías de las especies más abundantes: a) El erizo negro *Centrostephanus* sp. b) El pepino de mar *Mertensiothuria platei*. c) La almeja *Chama pellucida*. d) La estrella *Patiriella calcarata*.

Por último, se encontraron diferencias significativas en las abundancias entre distintos años ( $\chi^2 = 17.68$ ,  $P < 0.01$ ) y entre zonas de la isla ( $\chi^2 = 7.69$ ,  $P = 0.021$ ). Las diferencias ocurrieron entre las abundancias de 2014 y 2020 ( $P < 0.01$ ) y entre las abundancias de 2017 y 2020 ( $P < 0.01$ ), pero no entre las abundancias de 2014 y 2017 ( $P = 0.116$ ). (Figura 6). Con respecto a las zonas, se encontraron diferencias significativas entre las abundancias registradas para las zonas semiexpuesta y expuesta ( $P = 0.01$ ) (Figura 60)

Se encontraron diferencias significativas entre las abundancias de invertebrados móviles entre años (R global = 0.034,  $P = 0.001$ ) y entre las zonas de la isla (R global = 0.337,  $P = 0.01$ ). Las especies que contribuyeron con los porcentajes de similitud entre los sitios el 2014 (28.94%) fueron *Centrostephanus* sp. (64.71%) y *Mertensiothuria platei* (28.33). El 2017 el porcentaje de similitud entre los sitios aumentó a 41.42% donde nuevamente el erizo *Centrostephanus* sp y el pepino *M. platei* contribuyeron con el 81.89% y el 11.66% del porcentaje de similitud. Finalmente, el 2020 el porcentaje de similitud aumentó a 61.40% entre los sitios monitoreados donde *Centrostephanus* sp. contribuyó con un 92.17% (Tabla 28).

Las especies que contribuyeron con mayor porcentaje de disimilitud (78.34%) entre 2014 y 2017 correspondieron a *Centrostephanus* sp. (35.23%), *Mertensiothuria platei* (28.55%) y *Patriella calcarata* (14.55%). Mientras que entre 2017 y 2020, las especies con mayor porcentaje de contribución a la disimilitud (79.73%) fueron *Centrostephanus* sp. (40.38%), *M. platei* (26.11%) y *Chama pellucida* (13.24%), explicado básicamente por el aumento explosivo de las poblaciones de erizos (Tabla 28).

Se encontraron diferencias significativas en las composiciones de los invertebrados móviles entre años (Pseudo-F = 26.591,  $P < 0.01$ ). Similarmente, también se encontraron diferencias significativas entre las zonas de la isla (Pseudo-F = 144.38,  $P < 0.01$ ) y en la interacción de ambos factores (Pseudo-F = 9.148,  $P < 0.01$ ) (Tabla 29).

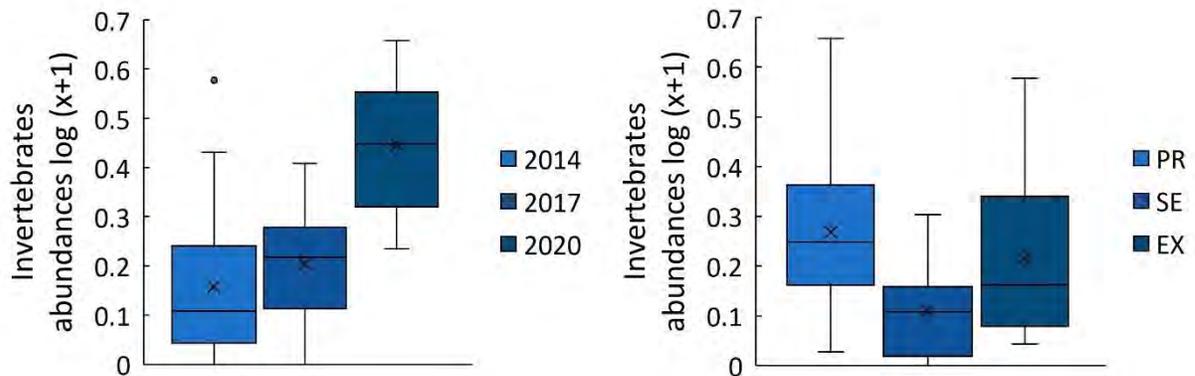


Figura 60 Gráfico de cajas y bigotes con las abundancias de invertebrados para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha).

Tabla 28

Resultados del análisis de similitud de porcentaje (SIMPER) de los invertebrados entre los años 2014, 2017 y 2020 a partir de la matriz de similitud de sus abundancias transformadas a raíz cuarta.

Group: 2014 survey						
Average similarity: 28.93	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Centrostephanus sp.</i>	0.51	18.72	0.51	64.71	64.71	
<i>Mertensiothuria platei</i>	0.43	8.2	0.34	28.33	93.03	
Group: 2017 survey						
Average similarity: 41.42	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Centrostephanus sp.</i>	0.85	33.91	0.91	81.89	81.89	
<i>Mertensiothuria platei</i>	0.34	4.83	0.27	11.66	93.55	
Group: 2020 survey						
Average similarity: 61.40	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Centrostephanus sp.</i>	1.4	56.59	1.77	92.17	92.17	
Groups: 2014 & 2017 survey						
Average dissimilarity = 67.14	Group 2014	Group 2017				
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Centrostephanus sp.</i>	0.51	0.85	23.67	1.16	35.25	35.25
<i>Mertensiothuria platei</i>	0.43	0.34	19.16	0.86	28.55	63.8
<i>Patiriella calcarata</i>	0.19	0.16	9.76	0.55	14.54	78.34
<i>Chama pellucida</i>	0.06	0.19	6.99	0.49	10.41	88.75
<i>Nudibranchs</i>	0.07	0.02	3.01	0.29	4.48	93.23
Groups 2014 & 2020 survey						
Average dissimilarity = 65.27	Group 2014	Group 2020				
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Centrostephanus sp.</i>	0.51	1.4	30.01	1.5	45.98	45.98
<i>Mertensiothuria platei</i>	0.43	0.38	16.41	0.87	25.14	71.12
<i>Patiriella calcarata</i>	0.19	0	5.2	0.39	7.96	79.08
<i>Chama pellucida</i>	0.06	0.15	4.77	0.43	7.31	86.39
<i>Concholepas concholepas</i>	0.03	0.18	4.42	0.4	6.77	93.16
Groups: 2017 & 2020 survey						
Average dissimilarity = 53.29	Group 2017	Group 2020				
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Centrostephanus sp.</i>	0.85	1.4	21.52	1.14	40.38	40.38
<i>Mertensiothuria platei</i>	0.34	0.38	13.91	0.81	26.11	66.49
<i>Chama pellucida</i>	0.19	0.15	7.06	0.57	13.24	79.73
<i>Patiriella calcarata</i>	0.16	0	4.09	0.38	7.67	87.4
<i>Concholepas concholepas</i>	0	0.18	3.33	0.37	6.24	93.64

Av.Abund = promedio de abundancia, Av.Sim = promedio de similitud, Sim/SD = desviación estándar del promedio de similitud, Contrib% = porcentaje de contribución para similitud, Cum.% = porcentaje acumulado de contribución a la similitud.

Tabla 29

Resultados del análisis de permutación de la varianza (PERMANOVA) demostrando diferencias significativas entre las composiciones de invertebrados según su abundancia entre distintos años y zonas de la isla Robinson Crusoe basado en matrices de similitud de Bray-Curtis.

Source	Df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Year	2	1.02E+05	51006	26.591	0.001
Zone	2	5.54E+05	2.77E+05	144.38	0.001
Year x Zone	3	52646	17549	9.1484	0.001
Res	1106	2.12E+06	1918.2		
Total	1113	2.97E+06			

#### 4.3.2.1.3 Abundancias del erizo *Centrostephanus* sp.

En los sitios de la zona protegida *Centrostephanus* sp. presentó una abundancia de  $9.36 \pm 1.08$  en sitios someros (10 m) y  $7.66 \pm 0.81$  en sitios profundos (20 m). La abundancia de *Centrostephanus* sp. en la zona protegida varió entre 8.28 y 10.44 en sitios someros (10 m) y entre 7.40 y 7.91 en sitios profundos (20 m). En la zona expuesta se registró una abundancia de  $3.71 \pm 1.17$  erizos en sitios someros (10 m) y  $2.86 \pm 0.90$  en sitios profundos (20 m). La zona expuesta de la isla la abundancia varió entre 2.14 y 5.28 en sitios someros (10 m) y entre 2.22 y 3.50 en sitios profundos (20 m) (Figura 61).

En la zona protegida se encontraron diferencias significativas en las abundancias de *Centrostephanus* sp. entre profundidades (Mann-Whitney U = 872.5,  $P = 0.013$ ). Por el contrario, en la zona expuesta no se encontraron diferencias significativas en las abundancias de los sitios someros (10 m) y profundos (20 m) (Mann-Whitney U = 489,  $P = 0.804$ ). No se encontraron diferencias significativas entre la abundancia de los erizos entre los sitios de la zona protegido y los sitios de la zona expuesta (Mann-Whitney U = 2936,  $P = 0.206$ ).

Se encontraron diferencias significativas en las abundancias de *Centrostephanus* sp. entre los años ( $\chi^2 = 372.3$ ,  $P < 0.01$ ) y también entre zonas de la isla ( $\chi^2 = 319.5$ ,  $P < 0.01$ ). La mayor abundancia de *Centrostephanus* sp. se observó en 2020 (mediana = 5.00, MAD = 3.60) en comparación con 2017 (1.00, 1.32) y 2014 (0.00, 0.55) (Figura 62).

En este caso, la zona protegida presentó una mayor abundancia de *Centrostephanus* sp. (1.00, 2.34) comparado con la zona expuesta (0.00, 0.93) y semiexpuesta (0.00, 0.51). Estos resultados evidencian un aumento de la abundancia de erizos a través de los años. Los resultados obtenidos son concordantes con los registrados anteriormente por Friedlander et al. (2017) donde se observó una mayor abundancia de *Centrostephanus* sp. en el sector protegido, pero el 2020 con abundancias alrededor de 3 veces más elevadas.

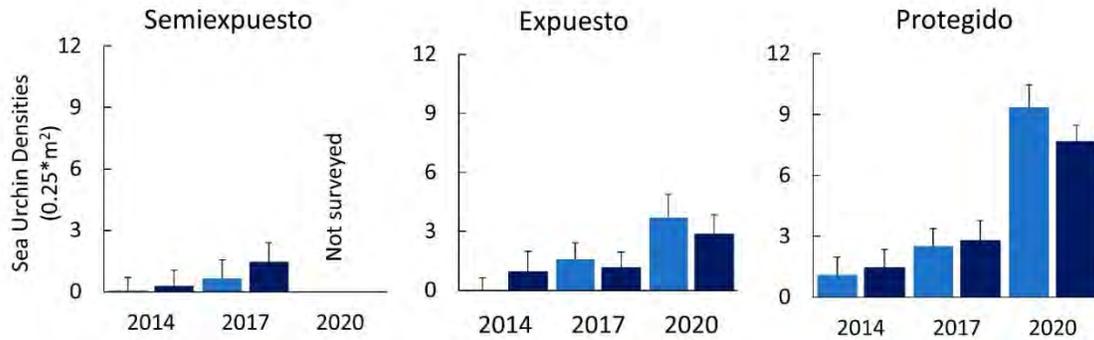


Figura 61 Abundancia de *Centrostephanus* sp. presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro).

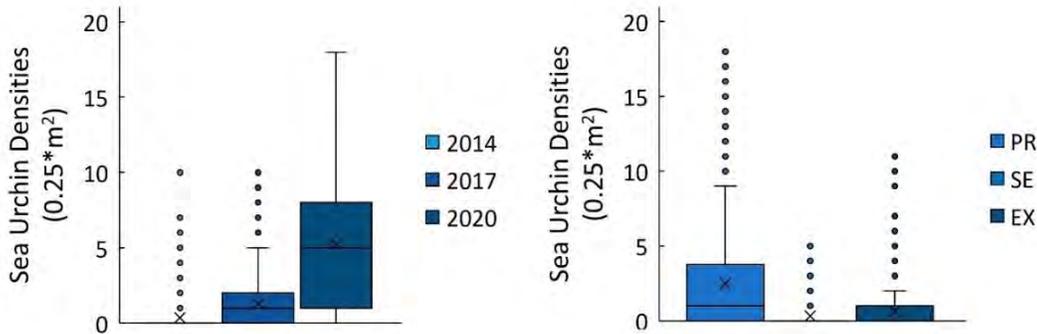


Figura 62 Gráfico de cajas y bigotes con las abundancias de *Centrostephanus* sp. para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha).

#### 4.3.2.1.4 Comunidad de peces

En el caso de la comunidad de peces, la abundancia presentó un patrón similar a lo reportado previamente por Friedlander et al (2017). En estas expediciones se registró una mayor abundancia y riqueza de especies en sitios protegidos de Bahía Cumberland (RC 18 y RC19) comparado con los sitios expuestos del lado opuesto de la isla como el Arenal (RC26) y Santa Clara (RC27).

La riqueza de especies en la zona protegida fue de  $11.00 \pm 0.57$  en los sitios someros (10 m) y  $13.50 \pm 0.14$  en los sitios profundos (20 m). En cambio, en la zona expuesta la riqueza fue  $6.00 \pm 0.28$  en sitios someros (10 m) y  $7.00 \pm 0.57$  en sitios profundos (20 m). Se encontraron diferencias significativas en la riqueza entre la zona protegida (PR) y la zona expuesta (Mann-Whitney = 0.5,  $P = 0.03$ ) (Figura 63).

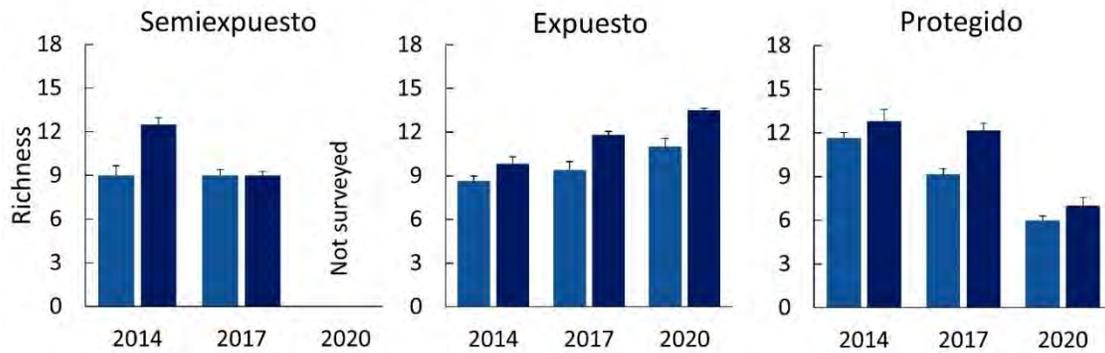


Figura 63 Riqueza de peces presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro).

#### 4.3.2.1.5 Abundancia de peces

La abundancia de peces en la zona protegida fue  $25.83 \pm 1.06$  (ind 100m<sup>2</sup>) en sitios someros (10 m) y  $34.36 \pm 2.29$  en sitios profundos (20 m). En la zona protegida la abundancia varió entre 22.09 y 29.57 en sitios someros (10 m) y entre 26.29 y 42.47 en sitios profundos (20 m). En la zona expuesta la abundancia registrada fue de  $107.56 \pm 25.68$  en sitios someros (10 m) y  $36.88 \pm 1.60$  en sitios profundos (20 m). La abundancia en la zona expuesta varió entre 22.79 y 192.33 en los sitios someros (10 m) y entre 31.22 y 42.54 en los sitios profundos (20 m) (Figura 64).

En la zona protegida no se encontraron diferencias significativas en las abundancias entre sitios someros (10 m) y profundos (20 m) (Mann-Whitney U = 684.5,  $P = 0.06$ ). Similarmente, no se encontraron diferencias significativas entre las abundancias de la zona expuesta entre los sitios someros (10 m) y profundos (20 m) (Mann-Whitney U = 4962.5,  $P = 0.09$ ). Finalmente, no se encontraron diferencias significativas en las abundancias de peces entre la zona protegida y la zona expuesta (Mann-Whitney U = 8360.5,  $P = 0.160$ ).

Se encontraron diferencias significativas las abundancias entre las zonas cuando fueron consideradas ambas profundidades ( $\chi^2_{2020} = 9.536$ ,  $P = 0.02$ ). Esta diferencia fue determinada por una mayor abundancia de peces de los sitios someros (10 m) debido a la presencia de cardúmenes de *Pseudolabrus gayi* y *Caprodon longimanus* en los sitios someros (10 m) de la zona protegida ( $P = 0.01$ ).

También, se encontraron diferencias significativas en las abundancias de peces entre distintos años ( $\chi^2 = 9.86$ ,  $P < 0.01$ ). Las abundancias presentaron diferencias entre 2014 y 2017 ( $P = 0.040$ ) y entre 2017 y 2020 ( $P < 0.01$ ) (Figura 65). Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas en las abundancias entre las zonas de la isla ( $\chi^2 = 5.64$ ,  $P = 0.057$ ).

Se encontraron diferencias significativas en las abundancias de los peces entre distintos sectores de la isla (R global = 0.114,  $P < 0.01$ ) y también entre años (R global = 0.200,  $P < 0.01$ ). Similarmente se encontraron diferencias significativas en las biomásas entre sectores (R global = 0.114,  $P < 0.01$ ) y entre años (R global = 0.200,  $P < 0.01$ ).

Las especies de peces que contribuyeron con el mayor porcentaje de similitud en la abundancia entre sitios el 2014 (60.34%) fueron *P. gayi* (28.87%), *M. reticulatus* (23.68%), *S. chilensis* (12.20%) y *S. variolatus* (11.12%). El año 2017 las especies que más contribuyeron a la similitud entre sitios (61.15%) correspondieron a *P. gayi* (31.34%), *M. reticulatus* (19.24%), *S. chilensis* (15.81%), *S. variolatus* (9.07%). Los monitoreos 2020 demostraron un porcentaje de similitud entre sitios de un 50.80%. Las especies que más contribuyeron al porcentaje de similitud en la abundancia fueron *P. gayi* (41.22%), *S. variolatus* (12.04%), *C. longimanus* (11.74%) y *Hypoplectrodes semicinctum* (10.24%) (Tabla 30).

Las especies que contribuyeron a la disimilitud respecto a las abundancias entre 2014-2017 fueron *Pseudocaranx chilensis* (10.15%), *Scorpis chilensis* (9.62%), *Pseudolabrus gayi* (8.85%) y *Malapterus reticulatus* (8.21%). Por otro lado, las especies que más contribuyeron a los porcentajes de disimilitud entre 2017-2020 correspondieron a *M. reticulatus* (13.12%), *S. chilensis* (10.62%), *Caprodon longimanus* (9.62%) y *P. chilensis* (9.12%) (Tabla 30).

Finalmente, se encontraron diferencias significativas en las composiciones de los peces según su abundancia entre los años (Pseudo-F = 5.941,  $P < 0.01$ ) y entre sectores de la isla (Pseudo-F = 6.720,  $P < 0.01$ ). No obstante, no se encontraron diferencias significativas en las composiciones en la interacción de ambos factores (Pseudo-F = 1.437,  $P = 0.088$ ) (Tabla 32 a).

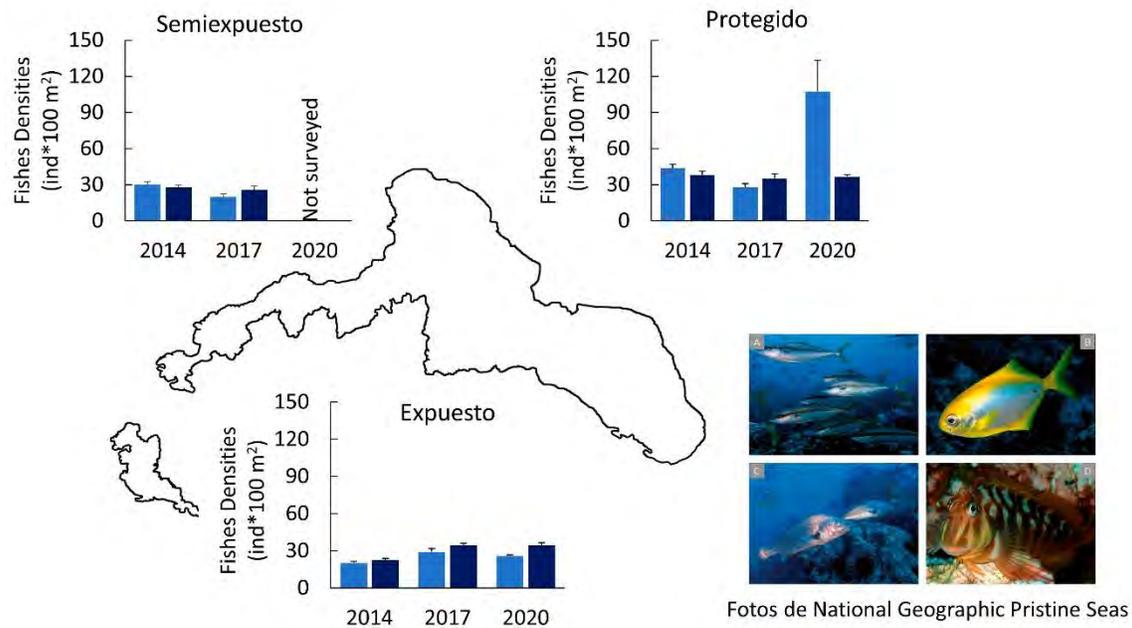


Figura 64 Densidad de peces presentados en escala temporal según sector de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro). Fotografías de especies de peces de Robinson Crusoe: a) Vidriola *Seriola lalandi* sp. b) Pampanito *Scorpis chilensis*. c) Corvina *Umbrina reedi*. d) Borrachilla *Scartichthys variolatus*.

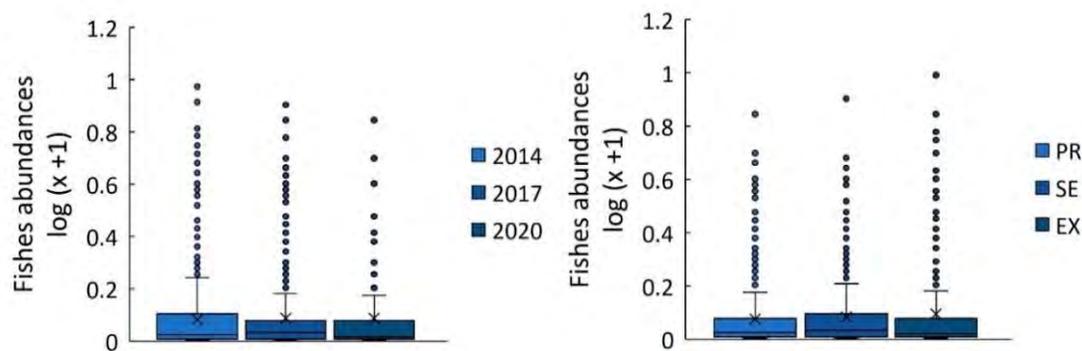


Figura 65 Gráfico de cajas y bigotes con las abundancias de peces para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha).

Tabla 30

Resultados del análisis de similitud de porcentaje (SIMPER) de la estructura de peces a partir de datos de abundancia obtenido en las expediciones científicas de 2014, 2017 y 2020.

Group: 2014 survey					
Average similarity: 60.34	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.15	17.42	3.31	28.87	28.87
<i>Malapterus reticulatus</i>	0.96	14.29	2.52	23.68	52.55
<i>Scorpius chilensis</i>	0.64	7.36	1.37	12.2	64.75
<i>Scartichthys variolatus</i>	0.49	6.71	1.49	11.12	75.87
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	0.42	4.55	1.14	7.54	83.4
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	0.48	3.91	0.84	6.47	89.87
Group: 2017 survey					
Average similarity: 61.15	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.22	19.17	2.89	31.34	31.34
<i>Malapterus reticulatus</i>	0.71	11.77	2.54	19.24	50.59
<i>Scorpius chilensis</i>	0.72	9.67	1.54	15.81	66.4
<i>Scartichthys variolatus</i>	0.43	5.55	1.26	9.07	75.47
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	0.43	5.27	1.2	8.62	84.09
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	0.41	3.44	0.74	5.62	89.71
<i>Caprodon longimanus</i>	0.35	2.63	0.64	4.31	94.02
Group: 2020 survey					
Average similarity: 50.80	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.14	20.94	1.59	41.22	41.22
<i>Scartichthys variolatus</i>	0.38	6.11	1.16	12.04	53.26
<i>Caprodon longimanus</i>	0.49	5.96	0.97	11.74	64.99
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	0.42	5.2	0.95	10.24	75.24
<i>Scorpius chilensis</i>	0.38	4.19	0.71	8.25	83.49
<i>Malapterus reticulatus</i>	0.46	3.52	0.43	6.94	90.42
Groups: 2014 & 2017 survey					
	Group 2014	Group 2017			

Average dissimilarity = 41.00	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	0.48	0.41	4.16	1.26	10.15	10.15
<i>Scorpius chilensis</i>	0.64	0.72	3.94	1.09	9.62	19.77
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.15	1.22	3.63	0.98	8.85	28.62
<i>Malapterus reticulatus</i>	0.96	0.71	3.36	1.12	8.21	36.82
<i>Caprodon longimanus</i>	0.2	0.35	3.28	1.06	8	44.83
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	0.42	0.43	2.61	1.03	6.37	51.2
<i>Scartichthys variolatus</i>	0.49	0.43	2.39	0.92	5.84	57.03
<i>Nemadactylus gayi</i>	0.21	0.1	2.04	0.91	4.97	62
<i>Girella albostrata</i>	0.17	0.16	1.94	1	4.74	66.74
<i>Suezichthys sp.</i>	0.14	0.07	1.81	0.55	4.43	71.17
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.15	0.09	1.7	0.64	4.16	75.33
<i>Scorpaena fernandeziana</i>	0.12	0.11	1.7	0.7	4.14	79.46
<i>Parapercis dockinsi</i>	0.13	0.13	1.7	0.83	4.14	83.6
<i>Callanthias platei</i>	0.02	0.18	1.61	0.71	3.94	87.54
<i>Gymnothorax porphyreus</i>	0.11	0.07	1.26	0.79	3.07	90.61
<i>Scorpaena fernandeziana</i>	0.12	0.11	1.7	0.7	4.14	79.46
<i>Parapercis dockinsi</i>	0.13	0.13	1.7	0.83	4.14	83.6
<i>Callanthias platei</i>	0.02	0.18	1.61	0.71	3.94	87.54
<i>Gymnothorax porphyreus</i>	0.11	0.07	1.26	0.79	3.07	90.61
Groups: 2014 & 2020 survey						
	Group 2014	Group 2020				
Average dissimilarity = 49.32	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Malapterus reticulatus</i>	0.96	0.46	7.14	1.43	14.48	14.48
<i>Scorpius chilensis</i>	0.64	0.38	4.59	1.19	9.31	23.79
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	0.48	0.08	4.47	1.19	9.07	32.86
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.15	1.14	4.45	0.93	9.02	41.89
<i>Caprodon longimanus</i>	0.2	0.49	4.33	1.23	8.78	50.66
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	0.42	0.42	3.08	1.03	6.25	56.91
<i>Nemadactylus gayi</i>	0.21	0.24	2.71	1.05	5.48	62.4
<i>Scartichthys variolatus</i>	0.49	0.38	2.63	0.98	5.34	67.74
<i>Parapercis dockinsi</i>	0.13	0.19	2.22	0.87	4.5	72.24
<i>Girella albostrata</i>	0.17	0.14	2.15	0.93	4.36	76.6
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.15	0.06	1.66	0.59	3.36	79.95
<i>Gymnothorax porphyreus</i>	0.11	0.11	1.62	0.86	3.28	83.23
<i>Suezichthys sp.</i>	0.14	0	1.59	0.45	3.22	86.46
<i>Scorpaena fernandeziana</i>	0.12	0.02	1.2	0.66	2.44	88.9
<i>Amphichaetodon melbae</i>	0.07	0.07	1.08	0.61	2.2	91.1
Groups: 2017 & 2020 survey						
	Group 2017	Group 2020				
Average dissimilarity = 48.30	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Malapterus reticulatus</i>	0.71	0.46	6.34	1.69	13.12	13.12
<i>Scorpius chilensis</i>	0.72	0.38	5.13	1.23	10.62	23.74
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.22	1.14	4.65	0.86	9.62	33.37
<i>Caprodon longimanus</i>	0.35	0.49	4.4	1.24	9.12	42.49
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	0.41	0.08	4.09	1.12	8.46	50.95
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	0.43	0.42	3.19	1.05	6.6	57.55
<i>Scartichthys variolatus</i>	0.43	0.38	2.65	1	5.48	63.03
<i>Nemadactylus gayi</i>	0.1	0.24	2.38	0.98	4.93	67.96

<i>Parapercis dockinsi</i>	0.13	0.19	2.34	0.88	4.85	72.81
<i>Girella albostrata</i>	0.16	0.14	2.19	0.96	4.53	77.34
<i>Callanthias platei</i>	0.18	0	1.75	0.68	3.63	80.96
<i>Gymnothorax porphyreus</i>	0.07	0.11	1.53	0.8	3.17	84.14
<i>Scorpaena fernandeziana</i>	0.11	0.02	1.35	0.47	2.79	86.93
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.09	0.06	1.27	0.47	2.64	89.57
<i>Seriola lalandi</i>	0.03	0.08	0.97	0.58	2.01	91.58

Av.Abund = promedio de abundancia, Av.Sim = promedio de similitud, Sim/SD = desviación estándar del promedio de similitud, Contrib% = porcentaje de contribución para similitud, Cum.% = porcentaje acumulado de contribución a la similitud.

#### 4.3.2.1.6 Biomasa de Peces

En la zona protegida se registró una biomasa de peces de  $333.91 \pm 3.58$  (kg 100m<sup>2</sup>) en sitios someros (10 m) y  $803.02 \pm 23.67$  en sitios profundos (20 m). En esta zona, la biomasa varió entre 321.26 y 346.57 en los sitios someros (10 m) y entre 719.35 y 886.70 en los sitios profundos (20 m). En cambio, en la zona expuesta la biomasa registrada fue  $1635.01 \pm 131.90$  en los sitios someros (10 m) mientras que en los sitios profundos  $871.84 \pm 26.28$  (20 m). Los rangos de biomasa de los peces variaron entre 1168.67 y 2101.35 en sitios someros (10 m) y entre  $778.93 \pm 267.14$  y  $964.74 \pm 178.25$  en sitios profundos (20 m) (Figura 66).

Se encontraron diferencias significativas en los valores de biomasa entre las zona protegida y expuesta (Mann-Whitney U = 7257,  $P < 0.01$ ). Adicionalmente, en la zona protegida también se encontraron diferencias significativas en las biomásas entre los sitios someros (10 m) y profundos (20 m) (Mann-Whitney U = 4134,  $P < 0.01$ ). Similarmente, la zona expuesta también mostró diferencias significativas entre los sitios someros (10 m) y profundos (20 m) (Mann-Whitney U = 644,  $P = 0.03$ ).

Se encontraron diferencias significativas cuando se compararon las biomásas entre zonas (PR y EX) y sus profundidades (10 m y 20 m) ( $\chi^2_{2020} = 43.85$ ,  $P < 0.01$ ). En este caso, las biomásas no presentaron diferencias significativas entre los sitios someros (10 m) de la zona expuesta y los sitios profundos de la zona protegida ( $P = 0.085$ ), pero si entre los otros grupos ( $P < 0.05$ ).

Por otro lado, se encontraron diferencias significativas en las biomásas de peces entre años ( $\chi^2 = 16.51$ ,  $P < 0.01$ ) y también entre zonas de la isla ( $\chi^2 = 52.52$ ,  $P < 0.01$ ). Las diferencias entre años fueron generadas por las biomásas registradas entre 2014 y 2017 ( $P < 0.05$ ), y entre 2017 y 2020 ( $P < 0.01$ ). En el caso de las biomásas entre zonas se encontraron diferencias significativas entre la zona protegida (PR) y la zona semiexpuesta (SE) ( $P < 0.01$ ), y la zona protegida (PR) y la zona expuesta (EX) ( $P < 0.01$ ), pero no entre la zona semiexpuesta (SE) y la zona expuesta (EX) ( $P = 0.059$ ) (Figura 67).

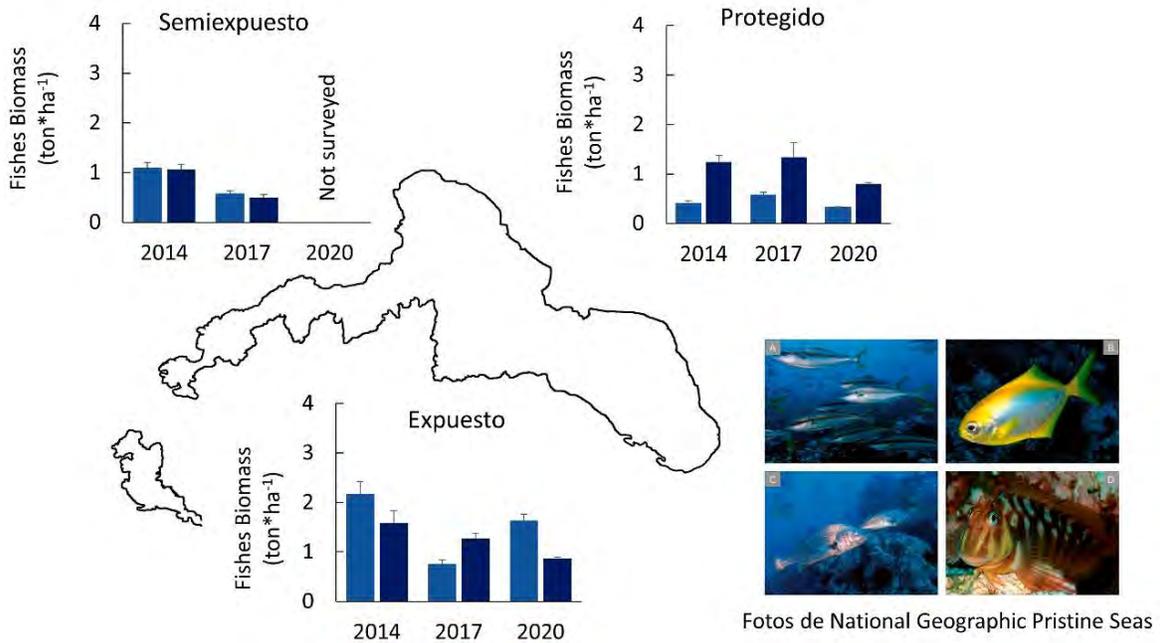


Figura 66 Biomasa de peces presentados en escala temporal según zona de la isla Robinson Crusoe. Los colores indican 2 profundidades: sitios someros (10 m, en azul claro) y sitios profundos (20 m, en azul oscuro).

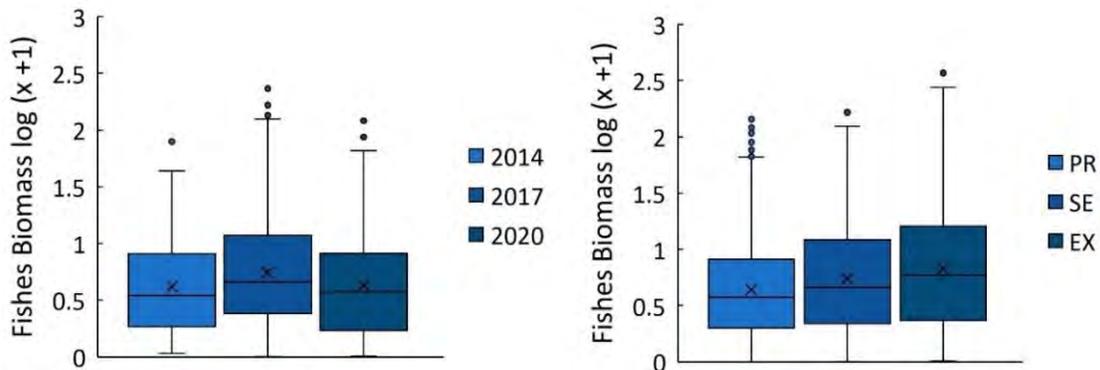


Figura 67 Gráfico de cajas y bigotes con las biomazas de peces para los años 2014, 2017 y 2020 (izquierda), y para las zonas protegida (PR), semiexpuesta (SE) y expuesta (EX) de la isla Robinson Crusoe (derecha).

En el caso de la biomasa de peces, las especies que contribuyeron con mayor porcentaje de similitud el 2014 (54.24%) fueron *M. reticulatus* (21.28%), *P. gayi* (20.11%), *S. chilensis* (14.66%) y *S. variolatus* (13.26%). Mientras que el año 2017 (56.44%) correspondieron a *P. gayi* (20.37%), *S. chilensis* (19.43%), *M. reticulatus* (17.31%) y *S. variolatus* (11.74%). El 2020 las especies que contribuyeron al porcentaje de similitud (42.48%) fueron *P. gayi* (31.53%), *C. longimanus* (14.48%), *S. variolatus* (13.29%) y *H. semicinatum* (10.89%). Por otra parte, las especies que contribuyeron

con los mayores porcentajes de disimilitud entre 2014 y 2017 correspondieron a *P. chilensis* (10.68%), *S. chilensis* (9.47%), *Girella albostrata* (9.11%) y *C. longimanus* (8.80%). Mientras que entre 2017 y 2020, las especies con mayor porcentaje de contribución fueron *S. chilensis* (10.70%), *P. chilensis* (9.01%), *M. reticulatus* (9.01%) y *C. longimanus* (8.88%) (Tabla 31).

Se encontraron diferencias significativas en las composiciones de peces según su biomasa entre años (Pseudo-F = 5.785,  $P < 0.01$ ) y entre los sectores de la isla (Pseudo-F = 8.347,  $P < 0.01$ ) (Tabla 5a). Finalmente, también se encontraron diferencias significativas entre la interacción de ambos factores (Pseudo-F = 1.567,  $P = 0.043$ ) (Tabla 32 b)

Tabla 31  
Resultados del análisis de similitud de porcentaje (SIMPER) de la estructura de peces a partir de datos de biomasa obtenido en las expediciones científicas de 2014, 2017 y 2020.

Group: 2014 survey						
Average similarity: 54.24	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Malapterus reticulatus</i>	2.04	11.54	2.39	21.28	21.28	
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.97	10.91	3.01	20.11	41.39	
<i>Scorpius chilensis</i>	1.92	7.95	1.33	14.66	56.05	
<i>Scartichthys variolatus</i>	1.47	7.19	1.46	13.26	69.31	
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	1.59	5.08	0.85	9.37	78.68	
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	1.04	4.15	1.12	7.65	86.32	
<i>Girella albostrata</i>	0.9	1.82	0.44	3.36	89.68	
<i>Caprodon longimanus</i>	0.71	1.23	0.39	2.27	91.95	
Group: 2017 survey						
Average similarity: 56.44	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.93	11.49	2.61	20.37	20.37	
<i>Scorpius chilensis</i>	2.03	10.97	1.81	19.43	39.8	
<i>Malapterus reticulatus</i>	1.55	9.77	2.3	17.31	57.11	
<i>Scartichthys variolatus</i>	1.26	6.63	1.53	11.74	68.85	
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	1.09	5.17	1.16	9.16	78.01	
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	1.19	3.94	0.71	6.98	85	
<i>Caprodon longimanus</i>	1.13	3.18	0.65	5.63	90.63	
Group: 2020 survey						
Average similarity: 42.84	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%	
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.77	13.51	1.41	31.53	31.53	
<i>Caprodon longimanus</i>	1.24	6.2	1.01	14.48	46.01	
<i>Scartichthys variolatus</i>	1.07	5.69	1.09	13.29	59.3	
<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>	0.96	4.66	0.92	10.89	70.19	
<i>Scorpius chilensis</i>	0.92	3.97	0.7	9.27	79.45	
<i>Malapterus reticulatus</i>	0.81	2.8	0.41	6.54	85.99	
<i>Nemadactylus gayi</i>	0.72	1.78	0.49	4.14	90.14	
Groups: 2014 & 2017 survey						
Average dissimilarity = 46.43	Group 2014 Av.Abund	Group 2017 Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%

<i>Pseudocaranx chilensis</i>	1.59	1.19	4.96	1.23	10.68	10.68
<i>Scorpius chilensis</i>	1.92	2.03	4.4	1.11	9.47	20.14
<i>Girella albostrata</i>	0.9	1.01	4.23	1.01	9.11	29.25
<i>Caprodon longimanus</i>	0.71	1.13	4.09	1.05	8.8	38.05
<i>Scartichthys variolatus</i>	1.47	1.26	2.77	1.04	5.96	44.02
<i>Malapterus reticulatus</i>	2.04	1.55	2.74	1.05	5.9	49.91
<i>Hypoplectrodes semicinctorum</i>	1.04	1.09	2.61	1.05	5.63	55.55
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.97	1.93	2.53	1.06	5.44	60.99
<i>Gymnothorax porphyreus</i>	0.56	0.39	2.49	0.79	5.36	66.35
<i>Nemadactylus gayi</i>	0.52	0.36	2.2	0.9	4.75	71.1
<i>Callanthias platei</i>	0.09	0.63	2.13	0.77	4.58	75.68
<i>Seriola lalandi</i>	0.41	0.26	1.97	0.49	4.23	79.91
<i>Parapercis dockinsi</i>	0.39	0.34	1.84	0.81	3.96	83.88
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.31	0.28	1.63	0.58	3.51	87.39
<i>Scorpaena fernandeziana</i>	0.32	0.14	1.33	0.72	2.88	90.27
<i>Parapercis dockinsi</i>	0.39	0.34	1.84	0.81	3.96	83.88
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.31	0.28	1.63	0.58	3.51	87.39
<i>Scorpaena fernandeziana</i>	0.32	0.14	1.33	0.72	2.88	90.27
Groups: 2014 & 2020 survey						
	Group 2014	Group 2020				
Average dissimilarity = 56.51	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Malapterus reticulatus</i>	2.04	0.81	5.91	1.39	10.45	10.45
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	1.59	0.28	5.8	1.18	10.27	20.72
<i>Scorpius chilensis</i>	1.92	0.92	5.61	1.2	9.92	30.64
<i>Caprodon longimanus</i>	0.71	1.24	4.56	1.19	8.07	38.71
<i>Girella albostrata</i>	0.9	0.73	4.37	0.93	7.73	46.44
<i>Scartichthys variolatus</i>	1.47	1.07	3.75	1.2	6.64	53.07
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.97	1.77	3.23	1.04	5.72	58.79
<i>Hypoplectrodes semicinctorum</i>	1.04	0.96	3.09	1.08	5.48	64.27
<i>Nemadactylus gayi</i>	0.52	0.72	3.04	1.05	5.38	69.64
<i>Gymnothorax porphyreus</i>	0.56	0.39	2.82	0.9	5	74.64
<i>Seriola lalandi</i>	0.41	0.49	2.82	0.6	5	79.64
<i>Parapercis dockinsi</i>	0.39	0.36	2.17	0.79	3.84	83.47
<i>Lotella fernandeziana</i>	0.32	0.17	1.46	0.63	2.58	86.05
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.31	0.18	1.45	0.53	2.57	88.63
<i>Amphichaetodon melbae</i>	0.2	0.27	1.43	0.6	2.54	91.16
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.31	0.18	1.45	0.53	2.57	88.63
<i>Amphichaetodon melbae</i>	0.2	0.27	1.43	0.6	2.54	91.16
Groups 2017 & 2020 survey						
	Group 2017	Group 2020				
Average dissimilarity = 54.67	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Scorpius chilensis</i>	2.03	0.92	5.85	1.27	10.7	10.7
<i>Pseudocaranx chilensis</i>	1.19	0.28	4.93	1.08	9.01	19.71
<i>Malapterus reticulatus</i>	1.55	0.81	4.93	1.41	9.01	28.72
<i>Girella albostrata</i>	1.01	0.73	4.86	0.95	8.88	37.61
<i>Caprodon longimanus</i>	1.13	1.24	4.84	1.22	8.86	46.47
<i>Scartichthys variolatus</i>	1.26	1.07	3.4	1.16	6.23	52.69
<i>Pseudolabrus gayi</i>	1.93	1.77	3.26	0.96	5.95	58.65

<i>Hypoplectrodes semicinatum</i>	1.09	0.96	3.22	1.06	5.89	64.54
<i>Nemadactylus gayi</i>	0.36	0.72	2.99	0.98	5.47	70.01
<i>Gymnothorax porphyreus</i>	0.39	0.39	2.6	0.82	4.75	74.76
<i>Callanthias platei</i>	0.63	0	2.38	0.73	4.35	79.11
<i>Seriola lalandi</i>	0.26	0.49	2.33	0.58	4.27	83.38
<i>Parapercis dockinsi</i>	0.34	0.36	2.1	0.79	3.84	87.22
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.28	0.18	1.48	0.47	2.7	89.92
<i>Amphichaetodon melbae</i>	0.09	0.27	1.22	0.51	2.22	92.15
<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>	0.28	0.18	1.48	0.47	2.7	89.92
<i>Amphichaetodon melbae</i>	0.09	0.27	1.22	0.51	2.22	92.15

Av.Abund = promedio de abundancia, Av.Sim = promedio de similitud, Sim/SD = desviación estándar del promedio de similitud, Contrib% = porcentaje de contribución para similitud, Cum.% = porcentaje acumulado de contribución a la similitud.

Tabla 32

Resultados del análisis de permutación de la varianza (PERMANOVA) demostrando diferencias significativas entre las composiciones de peces según (a) abundancia y (b) biomasa entre años y sectores de la isla Robinson Crusoe. El análisis fue basado en matrices de similitud de Bray-Curtis.

a) Fishes assemblage (abundance)					
Source	Df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Year	2	10464	5231.9	5.941	0.0001
Zone	2	11836	5918.2	6.7203	0.0001
Year x Zone	3	3798.2	1266.1	1.4376	0.0889
Res	145	1.28E+05	880.64		
Total	152	1.56E+05			

b) Fishes assemblage (biomass)					
Source	Df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)
Year	2	12629	6314.6	5.7586	0.0001
Zone	2	18307	9153.5	8.3476	0.0001
Year x Zone	3	5156.8	1718.9	1.5676	0.0438
Res	145	1.59E+05	1096.5		
Total	152	1.97E+05			

#### 4.3.2.2 Ciclo reproductivo de *Centrostephanus* sp.

##### 4.3.2.2.1 Índice gonadosomático (IGS).

El IGS presentó una variación entre  $3.5 \pm 1.6\%$  y  $22.4 \pm 6.7\%$  durante el año de muestro. Los IGS más altos se encontraron a partir de febrero alcanzando los mayores valores durante el mes de mayo (fines del verano) (Figura 68). El IGS disminuye durante el invierno y comienza su aumento hacia diciembre.

Se encontraron diferencias significativas en los IGS entre meses ( $H = 232.5$ ,  $p < 0.05$ ). Febrero fue el mes que presentó estas diferencias respecto al año completo. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en los IGS entre los meses de junio a diciembre ( $p > 0.05$ ). Las fotografías presentadas en la Figura 69 evidencian el cambio observable en tamaño y coloración de las gónadas extraídas.

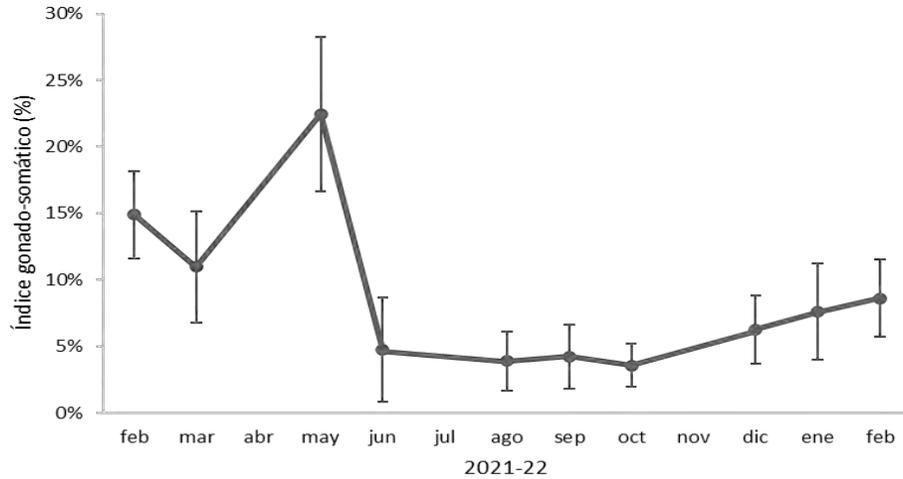


Figura 68 Porcentajes del Índice gonadosomáticos (promedio  $\pm$  DE) mensual de *Centrostephanus* sp. obtenidos de individuos recolectados en Bahía Cumberland, isla Robinson Crusoe.



Figura 69 Fotografías de gónadas extraídas de *Centrostephanus* sp. obtenidas a partir de individuos recolectados en Bahía Cumberland, isla de Robinson Crusoe.

#### 4.3.2.2.2 Índice intestinal (IIN).

Se observó un rango de IIN entre  $6.1 \pm 3.0\%$  y  $14.2 \pm 4.3\%$  (Figura 2). Durante el año, los individuos presentaron IIN más altos en el mes de marzo con un abrupto descenso en mayo. A partir del mes de junio hasta agosto desciende gradualmente hasta alcanzar sus menores valores los meses de enero y febrero.

Se encontraron diferencias significativas en el IIN entre los meses ( $H = 106.1$ ,  $p < 0.05$ ). En relación con el IGS, se observó un descenso del IIN correspondiente.

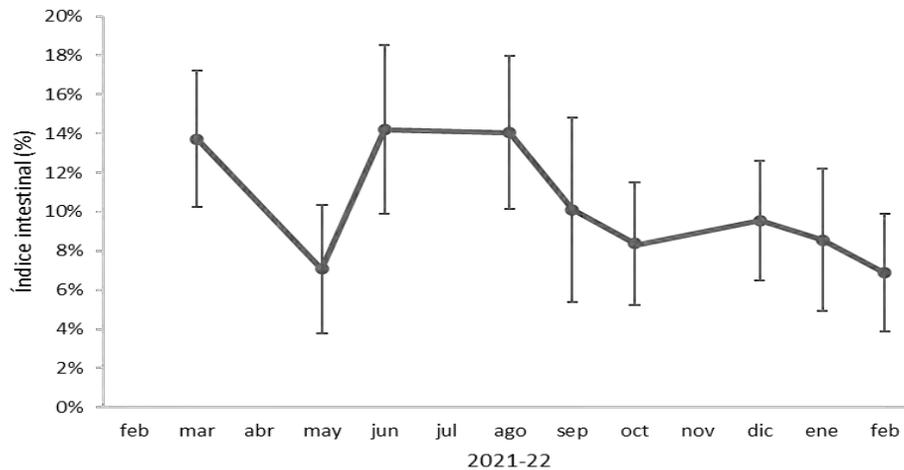


Figura 70 Porcentajes del Índice intestinal (promedio  $\pm$  DE) mensual de *Centrostephanus* sp. obtenidos a partir de individuos recolectados en Bahía Cumberland, isla Robinson Crusoe.

#### 4.4 Objetivo 4

*Caracterizar la captura incidental (aves, mamíferos y reptiles), a través de la estimación de indicadores y el análisis de sus variaciones espacio-temporales.*

En las pesquerías de crustáceos no existieron reportes de captura incidental de aves mamíferos y/o reptiles en el periodo considerado en este informe, así como tampoco de las especies consideradas ETP (ANEXO III). Existen solo registros de aves capturadas incidentalmente con aparejos de pesca de peces, estos fueron un albatros con espinel vertical en noviembre, una fardela blanca también con espinel vertical y a utilizando curricán se registraron 5 fardelas capturadas. Cabe destacar que el curricán es una línea de mano que se hunde a poca profundidad y se utiliza con la embarcación a poca velocidad para la captura de especies ícticas como vidriola, jurel y sierra.

Se reportan además todos los registros de captura incidental observada por los muestreadores científicos en el periodo 2015-2021. Destacamos el bajo impacto de las operaciones de pesca considerando el esfuerzo que se realiza alrededor de AJF e ID. Los aparejos de pesca pasivos como trampas de langosta y cangrejo no registran interacción con aves, mamíferos y/o reptiles marinos. Interactuando solo con corales y cada vez en menor frecuencia. Considerando los aparejos de pesca de peces, los espineles no serían una amenaza ya que estos se hunden rápidamente y con su accionar no se han registrado capturas incidentales. El curricán tiene efectos sobre aves ya que se utiliza a poca profundidad (Tabla 33).

Tabla 33

Registros de captura incidental observada por los muestreadores científicos durante el periodo 2015-2021

Año	Captura	n	Aparejo
2015	Fardela	1	Línea de mano
2016	Albatros	1	Currican
2017	Fardela	1	Na
2021	Fardela	6	Currican
	Albatros	1	Currican

#### 4.5 Objetivo 5

*Identificar y cuantificar la captura de especies utilizadas como carnada por las pesquerías de langosta y cangrejo dorado.*

Continuando con lo descrito en años anteriores, los resultados de este objetivo son reportados para la totalidad del año 2021 utilizando la captura media por viaje de pesca, para la estimación de la captura de las cuatro especies identificadas como carnadas principales: morena (anguila), breca de Juan Fernández, jurel de Juan Fernández (incluye jureles juveniles) y vidriola (Tabla 34).

Adicionalmente, se mantiene un continuo registro de las capturas de especies ícticas durante las salidas efectuadas con muestreadores científicos a bordo de las embarcaciones, lo que permite reportar la captura por unidad de esfuerzo (Figura 27) y estructura de tallas de Breca de Juan Fernández (Figura 71) y la talla media de las capturas anual para las 4 principales especies mencionadas (Figura 72).

En el caso de la estructura de tallas de breca, en el subsistema RC-SC marca una forma de campana, aunque se observa más conspicua en torno a los 400 mm de LT en cambio en AS, la forma de distribución de tallas presenta dos peaks, en torno a los 300 mm de LT y sobre 400 mm. En ambos subsistemas se observa una menor proporción de ejemplares de tallas mayores.

Tabla 34

Biomasa (ton) total anual de especies ícticas capturadas y reportadas en el archipiélago Juan Fernández según registros de SERNAPESCA

Año	Breca	Jurel	Anguila	Vidriola
2011	93.4	28.1	67.1	8.1
2012	108.9	43.3	83.0	17.8
2013	96.4	39.5	62.1	12.7
2014	87.4	30.2	67.7	12.3
2015	81.7	23.3	43.4	24.1
2016	91.7	41.7	52.8	41.4
2017	88.3	34.5	40.3	28.1
2018	76.6	23.3	32.7	25.3
2019	42.2	12.6	11.8	36.8
2020	30.4	7.4	8.3	66.0
2021	23.3	10.1	12.6	109.2

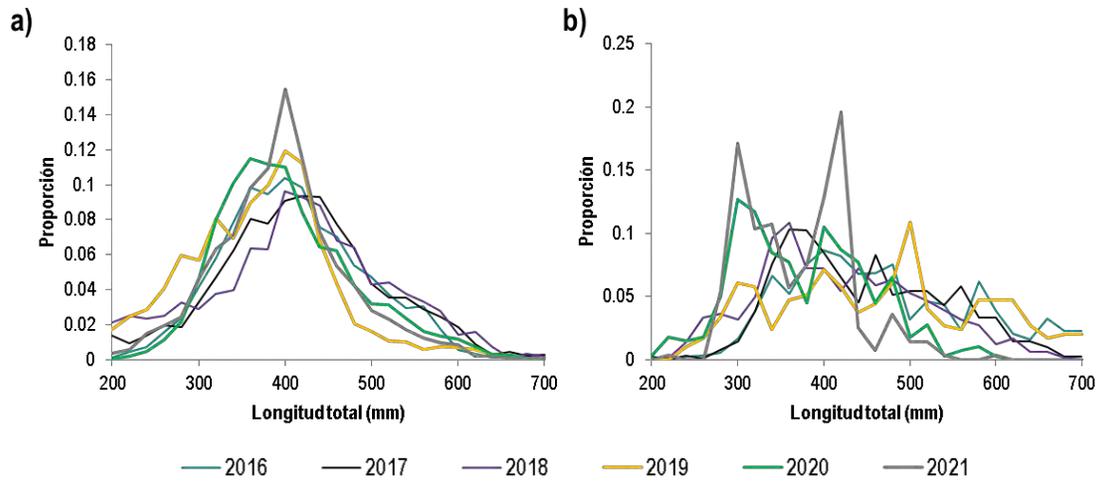


Figura 71 Proporción a la talla (LT) de las capturas de Breca por año calendario. (a) Subsistema RC-SC; (b) Subsistema AS.

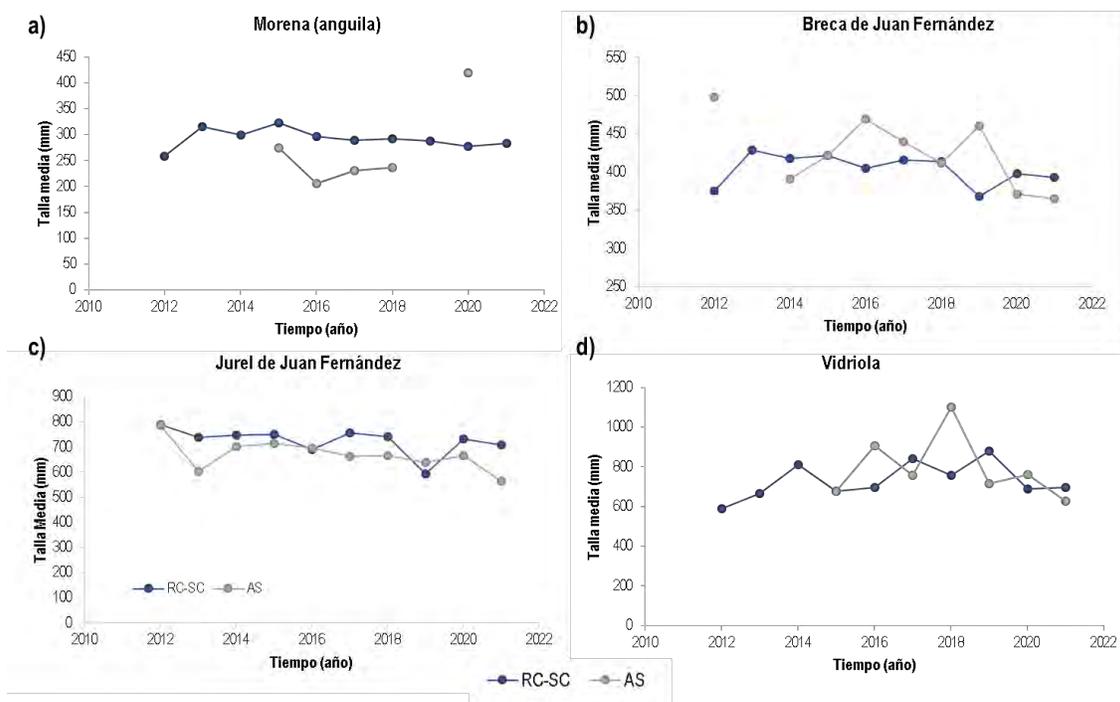


Figura 72 Talla media (Longitud Total) de las capturas de las principales especies utilizadas como carnada entre los años 2012 y 2021. a) Morena (anguila); b) breca de Juan Fernández; c) jurel de Juan Fernández; d) vidriola

## 4.6 Objetivo 6

*Explorar la relación entre los indicadores biológicos pesqueros y características ambientales del archipiélago Juan Fernández e Islas Desventuradas.*

### 4.6.1 Indicadores del estado del ambiente físico del sistema

En esta sección se presentan índices destinados a proporcionar información detallada y actualizaciones sobre el estado y las tendencias de los componentes físicos del ecosistema relacionado al ID y AJF. De esta manera, se incorpora como un producto permanente y continuo, permitiendo así la comparación entre temporadas.

#### 4.6.1.1 Escala Regional

##### **Nombre del índice: Presión al Nivel del Mar (SLP)**

Estado y Tendencia: La progresiva tendencia positiva de que inicia el 2016 (respecto a los valores identificados el año 2015) y que solo se ha visto interrumpida durante la primavera/2018, se mantuvo durante todo el 2021 en todos los sistemas (Figura 73). A escala anual, ID y RC-SC experimentaron durante el 2021 una leve reducción en esta tendencia respecto al año 2020 (<10 hPa, Figura 73 a, c). En tanto, en AS los niveles de SLP se mantuvieron más bien constantes durante el 2021, experimentando solo una mejoría de 1 hPa respecto al 2020 (Figura 73 b). En los tres subsistemas insulares los valores anuales siguen siendo valores con tendencia a valores extremos, sobre todo en ID. Durante el verano/2021, en RC-SC y AS las anomalías presentaron valores menores a los experimentados por estos sistemas en el mismo período durante el 2020 (Figura 73 a, b). En tanto en ID se observó un leve aumento en los niveles de SLP durante el 2021 respecto al año 2020. Durante el 2021 en RC-SC también se experimentó una leve disminución respecto al otoño/2020. A diferencia del verano, en ID las anomalías de SLP de otoño mostraron una disminución cercana al 33% respecto a los valores del otoño anterior. En AS, las anomalías de presión de otoño presentaron un alza de ~10 hPa respecto al otoño/2020. Durante el invierno/2021, en los 3 sistemas se experimentaron valores mayores de SLP respecto al año 2020 (Figura 73). Este incremento fue cercano al 34% respecto al 2020, siendo RC-SC el que experimentó la mayor diferencia (cercana a un 42% respecto al año anterior). En ID se alcanzaron valores cercanos a valores extremos durante el invierno/2021, con valores muy similares a los experimentados en la primavera/2020 (Figura 73 c). Una disminución en los valores de SLP se pudo observar durante la primavera/2021 en los 3 subsistemas insulares respecto a los valores observados para el mismo periodo en 2020. Estos últimos, bordearon los niveles extremos positivos.



Figura 73 Series temporales de anomalías estacionales de SLP respecto a la climatología obtenida del período 1989-2018, para a) RC-SC, b) AS y c) ID. Las barras de color rojo intenso son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho y el año se coloca en el otoño.

**Nombre del índice: Índice de mesoescala**

Estado y Tendencia: A escala anual, solo ID experimentó un incremento en los niveles de EKE (Figura 74 c). RC-SC desde el año 2019 experimenta una fase negativa en los niveles de EKE alrededor del sistema, el cual tuvo un leve incremento durante el 2020, pero que durante el 2021 experimentó una disminución. Similar ocurrió en AS, sin embargo, durante el 2020 este sistema experimentó una leve fase positiva, que durante el 2021 paso a una fase negativa neutral. En cuanto a ID, se mantiene a escala anual en una fase positiva, a pesar de las anomalías estacionales negativas experimentadas durante el 2020.

Entre RC-SC y AS se mantiene el desfase estacional identificado desde finales del 2019 en el comportamiento de las anomalías de EKE alrededor de 2 sistemas (Figura 74 a, b). Mientras AS presentó un aumento en los niveles de EKE (a pesar de mantener valores negativos) respecto al verano/2020 (caso negativo extremo, Figura 74 b), RC-SC e ID experimentaron una reducción aún mayor que la observada durante el 2020 en cuanto a los niveles de EKE en estos sistemas (Figura 74 a, c). En ID estos valores se acercaron a valores negativos extremos. En tanto, durante el otoño/2021 los niveles de EKE en los 3 sistemas experimentaron un aumento respecto a las anomalías negativas observadas en otoño/2020. Mientras que en AS los valores se mantuvieron en anomalías negativas (Figura 74 b), en RC-SC e ID se experimentaron anomalías positivas de EKE (Figura 74 a, c). Las anomalías positivas experimentadas por el sistema de RC-SC solo alcanzan a representar el 30% de la anomalía positiva identificadas para el mismo periodo durante 2020.

Desde el 2018 que no se experimentaban anomalías positivas de EKE en ID. Las anomalías negativas experimentadas por AS durante otoño/2021 corresponden al 60% de las observadas en otoño/2020 en este sistema. Durante el invierno/2021, el sistema RC-SC experimentó anomalías positivas neutrales, muy por debajo a las anomalías positivas experimentadas en el mismo sistema durante el invierno/2020, representando solo el 10% de la anomalía experimentada en 2020. Las anomalías positivas observadas durante el último invierno en AS alcanzaron valores correspondientes al 28% de los valores positivos obtenidos durante el invierno/2020, los cuales fueron los valores más altos desde el otoño/2009. En ID, anomalías positivas como las observadas en el invierno/2021 no se experimentaban en el sistema desde el invierno/2012, siendo las del 2021 las más altas de invierno experimentadas en la última década (2011-2021; Figura 74 c). Respecto a la primavera/2021, en el sistema RC-SC se identifican anomalías negativas de EKE comparables solo con las experimentadas en la primavera/2015. Durante la primavera/2020, estas anomalías fueron negativas, pero neutrales (cerca de 0; Figura 74a). En AS e ID se observan anomalías positivas, mientras en AS estas solo alcanzan a representar el 45% de las obtenidas en primavera/2020, en ID éstas alcanzan valores que bordean las de eventos extremos, contrario a las anomalías negativas desarrolladas durante el 2020 para el mismo periodo (Figura 74 c). A diferencia de AS y RC-SC, ID muestra una tendencia negativa de EKE posterior al 2017.



Figura 74 Series temporales de anomalías estacionales de la EKE respecto a la climatología obtenida del período 1989-2018, para a) RC-SC, b) AS y c) ID. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho y el año se coloca en el otoño. La línea gris es la posición de 0 para anomalía anual.

Respecto al 2020, en donde el sistema RC-SC mostró una fase negativa respecto a la llegada total de remolinos, el 2021 se identificó un aumento en la llegada de remolinos alcanzando una fase positiva por sobre a valores neutrales positivos (Figura 75 a). Este aumento viene sostenido por la mayor llegada de remolinos ciclónicos respecto al 2020 (Figura 75 b) y al aumento de las anomalías negativas (neutrales durante 2021) experimentadas por el número de remolinos anticiclónicos que interactúan con el sistema (Figura 75 c).

En cuanto al arribo mensual de remolinos a RC-SC, respecto al número total no se observa ningún caso extremo como la anomalía negativa alcanzada en septiembre/2020 (Figura 75 a). Pero, al analizar la cantidad de remolinos según tipo (ciclónico o anticiclónico) se observa que, durante el 2021 el arribo de remolinos ciclónicos (Figura 75 b) al sistema desarrolló 3 eventos extremos, 2 positivos (marzo y abril/2021) y negativo (agosto/2021). Durante el 2020 se observa solo 1 evento extremo (abril/2020). Valores similares a los experimentados por sistema de islas en marzo-abril/2021 son observados también en los años 2003 y 2004 en el mismo periodo. El extremo negativo de agosto/2021 presenta un comportamiento inverso a las anomalías positivas observadas en agosto/2020 (Figura 75 b). Por otro lado, los remolinos anticiclónicos desarrollaron 2 eventos extremos, 1 positivo en agosto/2021 y 1 negativo en octubre/2021. El desarrollo de extremos negativos en octubre es un patrón identificado en otros años, pero que se ha mantenido como característica permanente del sistema desde el 2019 (Figura 75 c). El valor extremo positivo de remolinos anticiclónicos de abril/2021 pudo compensar (de cierta manera) la falta de remolinos ciclónicos experimentada en el mismo periodo en el sistema RC-SC, lo que se puede observar a partir de las anomalías mensuales del número de remolinos totales (Figura 75 a).

Con respecto al arribo anual de remolinos a AS, pasamos durante el 2021 a una fase positiva (Figura 76 a), luego de haber experimentado importantes anomalías negativas durante el 2020 (reflejado en una fase negativa) a causa de la significativa reducción en la llegada de remolinos anticiclónicos (Informe 2020). Los remolinos ciclónicos siguen experimentando una fase positiva que comenzó en el año 2018 (Figura 76 b), la cual presentó una reducción durante el 2020 a pesar de haberse desarrollado 2 eventos extremos positivos en mayo y junio/2020 (valores positivos que no se alcanzaban desde 2015; Ernst et al., 2021). En cuanto a los anticiclónicos, pasamos de un 2020 con valores negativos anuales por debajo de los valores extremos negativos a valores positivos cercanos a los observados el 2019 (Figura 76c).

Entre el periodo febrero-septiembre/2021 es donde se observaron la anomalías positivas de arribo de remolinos ciclónicos a AS (Figura 76 b), las que se extendieron un mes más que el periodo de anomalías positivas experimentado en 2020 (marzo-septiembre/2021). A diferencia del 2020 donde se experimentaron 2 eventos extremos positivos (Ernst et al., 2021), en 2021 se experimentó 1 evento extremo negativo durante el mes de octubre y similar a lo ocurrido en noviembre/2020, las anomalías negativas de remolinos ciclónicos de noviembre/2021 bordearon los valores extremos.

Con respecto al arribo de remolinos anticiclónicos a AS, a diferencia del 2020 donde se experimentaron 10 meses con anomalías negativas (incluyendo el evento negativo extremo de agosto/2020), durante el 2021 solo se identifican 3 meses con esta tendencia (abril-junio/2021), marcando esto la mayor diferencia entre el 2020 y el 2021. Inclusive, se logra identificar un evento extremo positivo durante diciembre/2021, totalmente opuesto a la tendencia mostrada para el mismo mes durante el 2020.

Respecto al arribo total de remolinos, a diferencia de los otros 2 subsistemas (AS y RC-SC) que han mantenido una fase positiva (exceptuando 2020) desde 2018, ID se mantuvo en una fase negativa entre 2017-2019 (Figura 77 a), generando un cambio de fase el año 2020 que se mantuvo durante el 2021, principalmente debido al aumento en el arribo de remolinos ciclónicos al sistema de islas. De esta manera, el 2021 se posicionó como el tercer año con mayor arribo de remolinos desde 2003, siendo levemente superado por el número de remolinos totales que arribaron a ID en 2007 y 2016. Se identifica el 2021 como el año con mayor arribo de remolinos ciclónicos desde 2007 (donde supera los valores extremos; Figura 77 b). A pesar del gran número de remolinos ciclónicos arribados a ID en 2007, la diferencia entre el número total de remolinos de 2007 y 2021 es leve. Esto como consecuencia de la ausencia de remolinos anticiclónicos en 2007 (segundo *peak* negativo; Figura 77 c) más que por los valores neutrales de arribo de remolinos anticiclónicos experimentados en 2021 (similares a los experimentados en 2020).

El 2021 partió con un enero caracterizado por anomalías negativas en el número total de remolinos arribados a las islas de ID (Figura 77 a), pasando a anomalías positivas durante febrero, las cuales en general (exceptuando junio/2021) presentaron un aumento progresivo hasta llegar a valores extremos en noviembre/2021. A pesar de que octubre muestra mayor arribo de remolinos ciclónicos y anticiclónicos que los experimentados en noviembre, este mes no se presenta como un evento extremo en el número total de remolinos. Esto es claro reflejo de que climatológicamente a ID llegan más remolinos en octubre que en noviembre. Los valores negativos en diciembre/2021 en el número total de remolinos es resultado de la falta (extrema) de arribo de remolinos anticiclónicos (Figura 77 c). En síntesis, a pesar de no contar con eventos extremos positivos el 2021 respecto a la llegada de remolinos ciclónicos y anticiclónicos, a diferencia del 2020 la llegada de remolinos se volvió un patrón constante mes a mes durante el 2021 en ID.



Figura 75

Series temporales desde 2003 a marzo/2022 de anomalías mensuales de número de remolinos con respecto a la climatología 1999-2018 alrededor de RC-SC, a) número total de remolinos, b) ciclónicos (CC) y c) remolinos anticiclónicos (AC), respectivamente. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho.

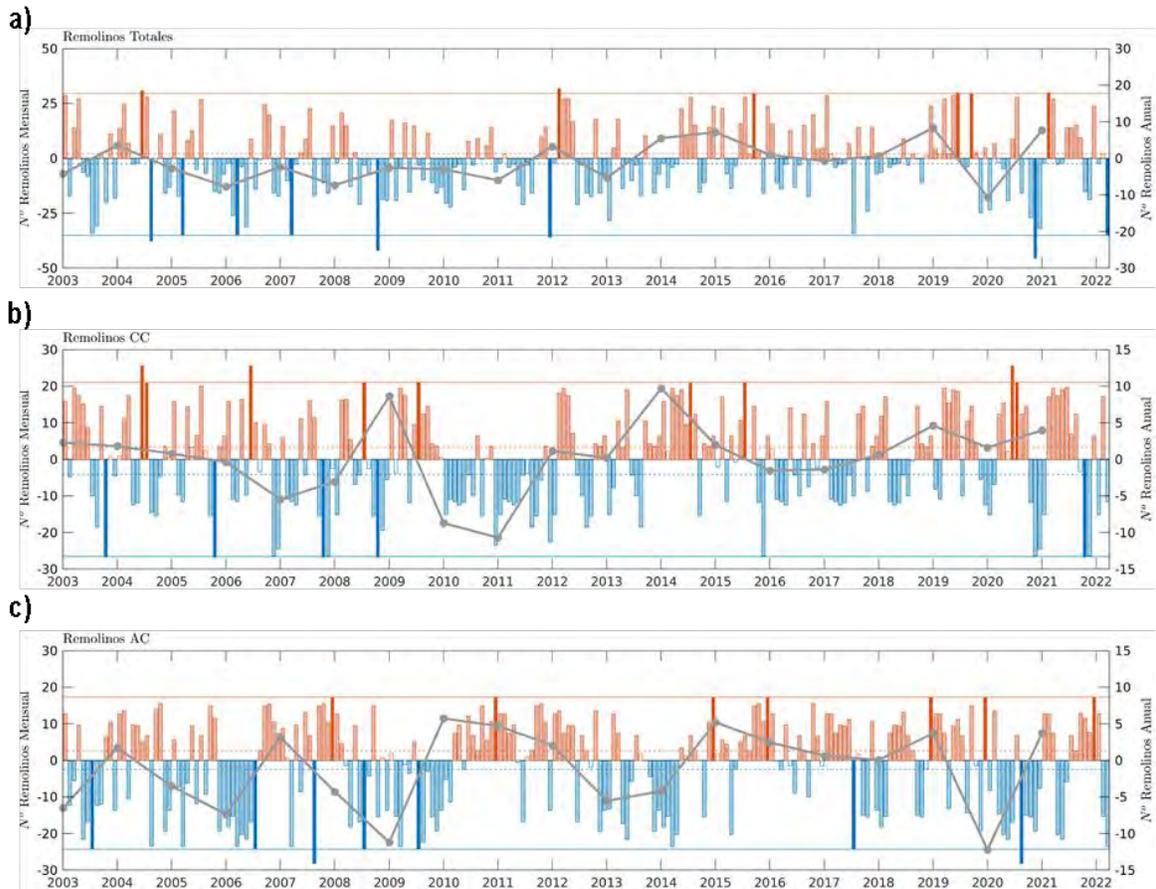


Figura 76 Series temporales desde 2003 a marzo/2022 de anomalías mensuales de número de remolinos con respecto a la climatología 1999-2018 alrededor de AS, a) número total de remolinos, b) ciclónicos (CC) y c) remolinos anticiclónicos (AC), respectivamente. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho.

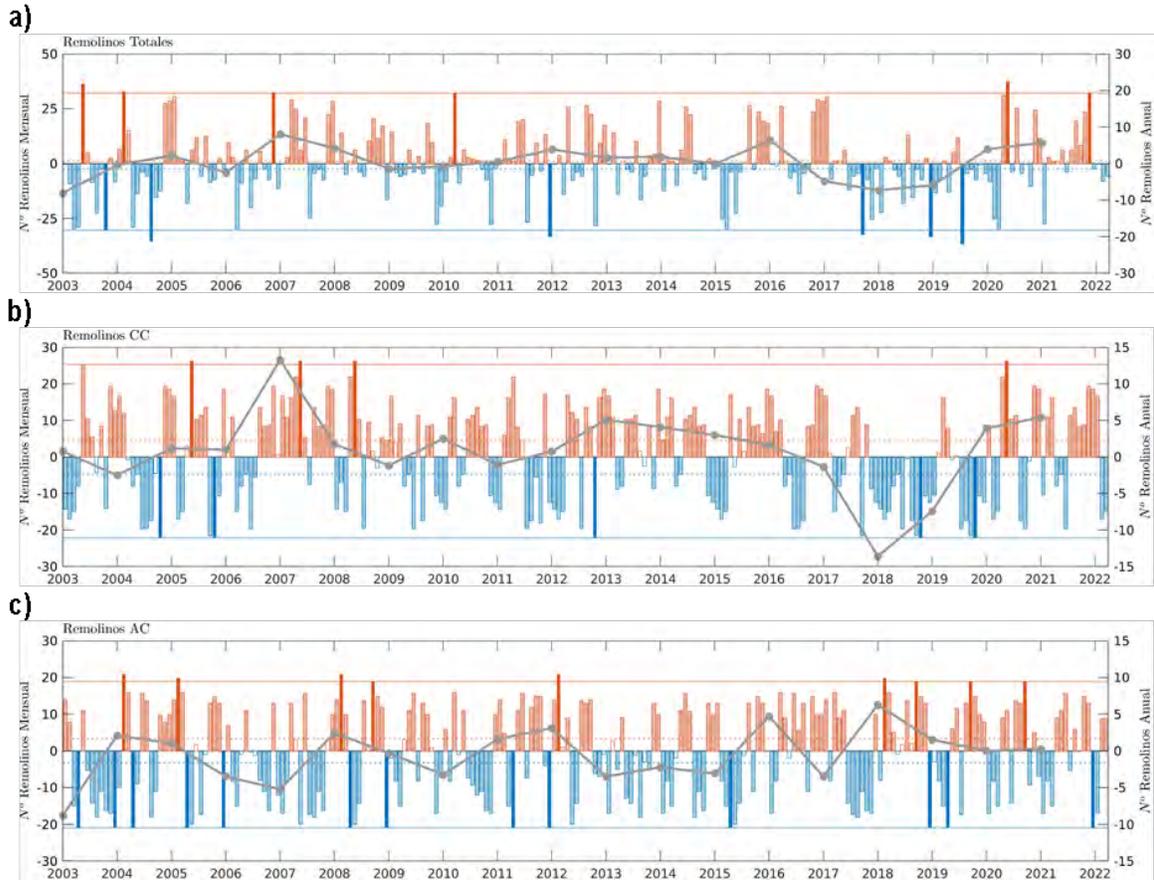


Figura 77 Series temporales desde 2003 a marzo 2022 de anomalías mensuales de número de remolinos con respecto a la climatología 1999-2018 alrededor de ID, a) número total de remolinos, b) ciclónicos (CC) y c) remolinos anticiclónicos (AC), respectivamente. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho.

### **Nombre del índice: Índices Climáticos**

Estado y Tendencia: respecto a los índices climáticos, para el periodo 2021, el IOS presenta de manera permanente valores positivos (condiciones frías, Figura 78 a), identificándose un evento extremo en enero/2021. Esta fase positiva de IOS se ha mantenido desde julio/2020. Esta tendencia ha llevado a posicionar al 2021 como el año con el tercer peak anual de valores positivos de la IOS, superado solo por los valores presentados en 2008 y 2011 (este es el año con mayor cantidad de eventos extremos a escala mensual desde 2003). La permanencia temporal durante la primera mitad del 2020 de la fase negativa experimentada en 2019 es la que genera la diferencia entre estos dos años.

El patrón anual de variabilidad del ITP es inverso al patrón anual del IOS (Figura 78 b), teniendo al 2015 como el año con mayores anomalías positivas en contraste al IOS que experimenta su año más negativo (Evento extremo de El Niño). El ITP se ha mantenido en una fase negativa desde 2017, que en escala decadal se ha mantenido desde 2007 (las anomalías positivas presentadas en 2009-2010 y 2015-2016 fueron eventos de escala anual). Las anomalías negativas experimentadas durante el 2021 por el ITP son comparables a las experimentadas entre 2011-2012. Con respecto al 2020 las diferencias con el 2021 vienen definidas (al igual que el IOS) por la primera mitad del 2020. De hecho, el evento extremo experimentado en noviembre/2020 tiene una magnitud casi similar a la anomalía extrema experimentada en noviembre/2021, condición que se mantuvo durante diciembre/2021.

Exceptuando la fase negativa de 2019 del IMAS, donde inclusive se alcanzó el único valor extremo negativo desde 2003 en noviembre/2019 (Figura 78 c), se ha mantenido en una fase positiva desde el 2008 (inclusive la fase positiva se puede comenzar a considerar desde 2003; Figura 78 c). A diferencia del 2020 donde se experimentaron anomalías negativas en 5 meses del año (principalmente entre julio-septiembre/2020) durante el 2021 solo se presentaron 2 meses con esa condición (marzo y julio/2021), el resto del año se presentaron anomalías positivas. Las anomalías de primavera/2021 presentan valores mayores a los experimentados en el mismo periodo en el 2020. Al igual que los 2 indicadores climáticos anteriores, las diferencias entre el 2020 y el 2021 radican en su extensión.

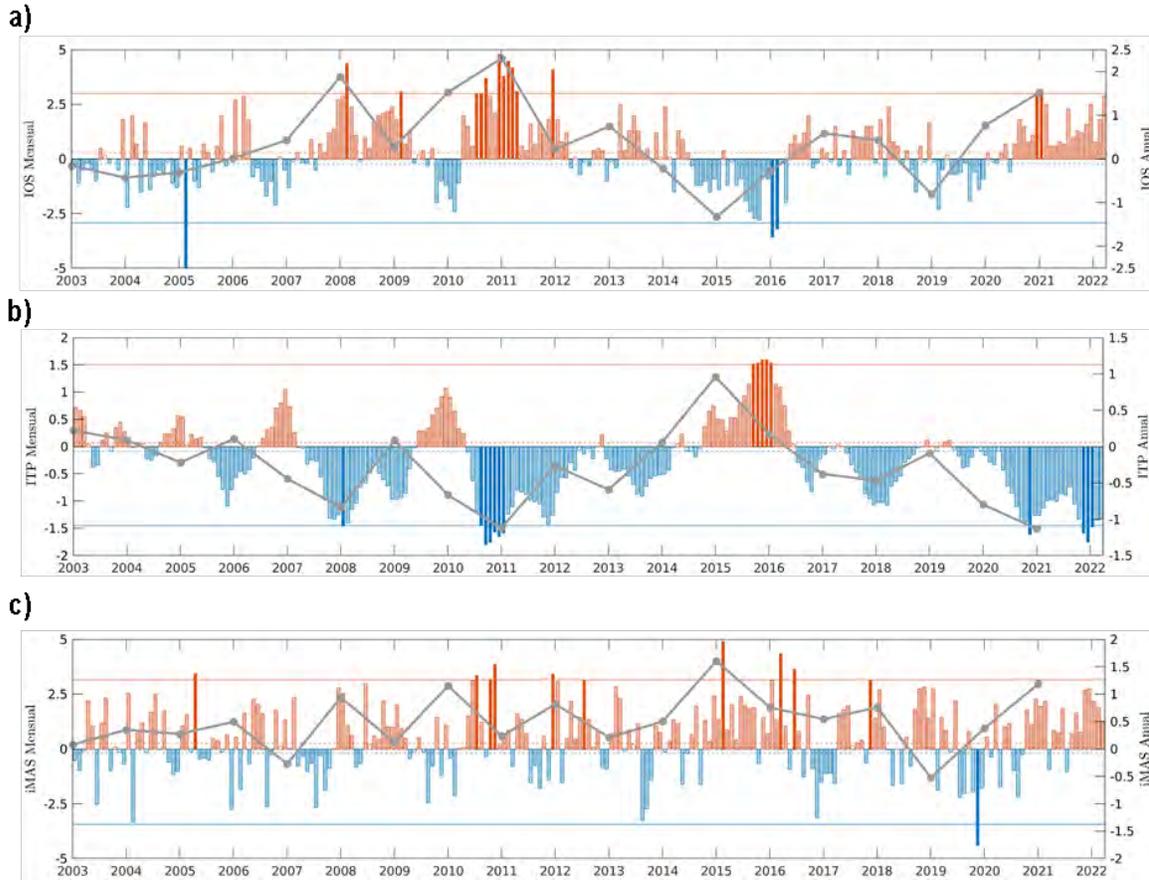


Figura 78 Series temporales mensuales de los índices climáticos a) IOS, b) ITP, c) IPPS y d) iMAS. Las barras de color rojo intenso son anomalías positivas extremas y las barras azules intenso son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es el promedio anual cuya escala está en el eje derecho.

#### 4.6.1.2 Escala Local

##### **Nombre del índice: Temperatura satelital de 1 km (permanente)**

Estado y Tendencia: En cuanto a las anomalías de SST (Figura 79), los 3 sistemas muestran regímenes de fases anuales similares, solo diferenciándose entre sí principalmente por las magnitudes de las anomalías. Desde el año 2018 se experimenta en los sistemas una fase negativa de las anomalías de SST, siendo levemente más intensa en ID. En este sistema inclusive en el verano/2021 se alcanzan valores negativos extremos (Figura 79 c). Durante el otoño/2021, el sistema RC-SC presentó anomalías positivas neutrales y en AS anomalías negativas neutrales, diferenciándose de este modo del otoño/2020 donde se experimentaron claramente anomalías positivas en ambos subsistemas de AJF.

En ID se presentaron anomalías negativas 3 veces mayor a las anomalías negativas experimentadas en el mismo periodo en el 2020. En el invierno/2021 solo AS experimentó anomalías positivas de SST (Figura 79 b) que contrastan con las anomalías negativas del invierno/2020. RC-SC e ID mostraron anomalías negativas, siendo anomalías neutrales en ID. Estas anomalías contrastan con las anomalías positivas experimentadas en 2020 para el mismo periodo. Durante la primavera/2021 en los 3 sistemas se experimentaron anomalías negativas, siendo en ID las más intensas y comparables a las estimadas para el mismo periodo en el 2020.



Figura 79 Series temporales desde 2003 a marzo 2022 de anomalías mensuales de SST con respecto a la climatología 2009-2018 alrededor de a) RC-SC, b) AS y c) ID. Las barras de color rojo opaco son anomalías positivas extremas y las barras azules intensas son las anomalías negativas extremas. Las barras rojas (azules) claras representan las anomalías moderadas positivas (negativas). Las barras rojas (azules) casi-transparentes son las anomalías positivas (negativas) neutras. La línea recta roja (azul) continua representa el percentil 95 (percentil 5) de los datos a partir del cual consideramos anomalías extremas (sobre el P95 para anomalías positivas y bajo el P5 para anomalías negativas). Las líneas rojas y azules segmentadas representan el percentil 10% superior (línea roja discontinua) y el percentil 10% inferior (línea azul discontinua) al percentil donde se encuentra el cero (0), dentro de este rango se consideran anomalías neutras. Entre las líneas continuas y segmentadas se encuentra el rango de anomalías moderadas, tanto para valores positivos como negativos. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho.

### **Nombre del índice: Salinidad, Temperatura y Oxígeno - Modelo de reanálisis y monitoreo in situ**

Estado y Tendencia: En informes pasados se dió cuenta del buen desempeño, por parte del modelo de reanálisis CGLOPHY24, de las salidas en la reproducción de la columna de agua alrededor de RC-SC. De hecho, correlaciones realizadas con los nuevos datos obtenidos de la **estación “Langosta I” lo confirman (particularmente sobre la columna entre 0-100m)**, siendo capaz de reproducir y capturar de manera ejemplar las perturbaciones influenciadas por el arribo de remolinos.

El diagrama temporal de salinidad de la columna de agua promedio obtenido a partir de CGLOPHY24 se presenta en la Figura 80. En el 2021 se identifican menos perturbaciones de salinidad (o mejor dicho, perturbaciones con menores intensidades) respecto al 2020 donde fue clara la permanente influencia de estructuras salinas externas al sistema de islas RC-SC. Al igual que años ya registrados en informes anteriores, la mayor perturbación en la columna de agua respecto a niveles de salinidad se desarrolló entre finales de febrero/2021 y marzo/2021, y el mayor impacto respecto a la extensión vertical se desarrolla en julio/2021. Sin embargo, existen señales de salinidad que siguen sin responder a un patrón de variabilidad claro (Ernst et al., 2021). Dados los niveles de los valores de salinidad obtenidos durante el año 2020 (Ernst et al., 2021), fue considerado como el periodo con los menores niveles de salinidad de los últimos 4 años en particular en los meses iniciales de la temporada de la langosta (octubre-noviembre). Con los datos obtenidos durante el 2021, posiciona a esta última temporada como el año con menores niveles de salinidad desde la temporada 2007 (identificado como el año con los menores niveles de salinidad promedio desde 1993 al presente,  $\approx 34$  PSU). Es claro además el acoplamiento de la isoterma de 13°C (línea punteada Figura f11) con la forma de las perturbaciones de salinidad y su entrada sobre los 100m.

El 2021, a pesar de presentar el promedio de temperatura más bajo para la columna de agua entre la superficie y los 100m desde 2011 (segundo año más frío considerando el año 2007) sobre los 60m se experimentó un núcleo de temperaturas similar al observado el año 2018 (Figura 81) con temperaturas inclusive superiores a las del año 2019. Sin embargo, respecto al año 2020, fue un año más frío, temporal y espacialmente dentro de la columna de agua. Durante el 2021 la presencia de temperaturas menores a 13°C sobre los 100m fue característica permanente entre febrero y mediados de junio. Durante el 2020 esto solo ocurre durante el mes de noviembre (Figura 81) y no se observaba una perturbación similar y permanente desde 2011-2012 (diagrama temporal de temperatura Informe 2020), posicionando así al 2021 como el año más frío de la década.

La tendencia negativa de las temperaturas sobre los 100m que se identifica con una señal clara desde 2017 (diferencia de 1°C a diciembre/2021), pero que ha estado presente desde 1993 (diferencia de 0.2°C a diciembre/2021), se mantuvo durante el 2021 (Figura 82), generando una diferencia de temperatura respecto al 2020 de 1.3°C. Respecto al promedio de la temperatura de la columna de agua, se registran diferencias entre 1-3°C respecto a los valores marcados durante el año 2020, identificando las mayores diferencias entre los 80 y 100m (~3°C).

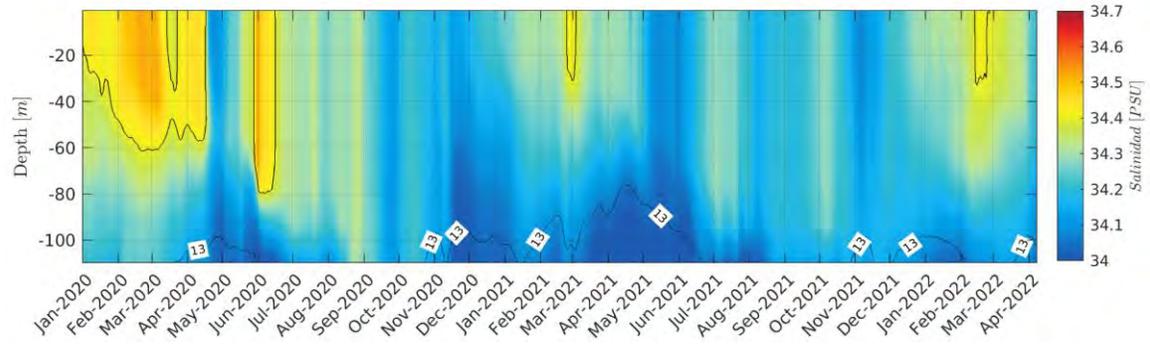


Figura 80 Diagramas temporales de salinidad durante el período enero/2020-marzo/2022 de los perfiles promedio de salinidad alrededor de RC-SC obtenidos del modelo CGLOPHY24 sumado a datos *in situ*.

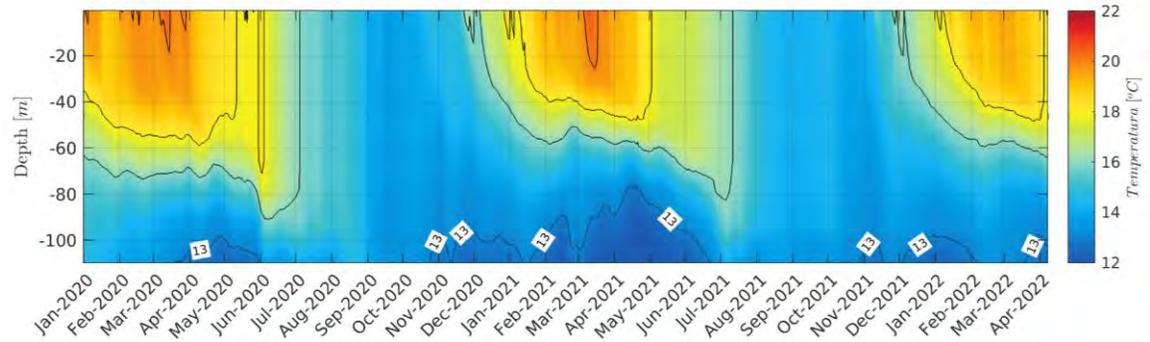


Figura 81 Diagramas temporales de temperatura durante el período enero/2020-marzo/2022 de los perfiles promedio de temperatura alrededor de RC-SC obtenidos del modelo CGLOPHY24 sumado a datos *in situ*.

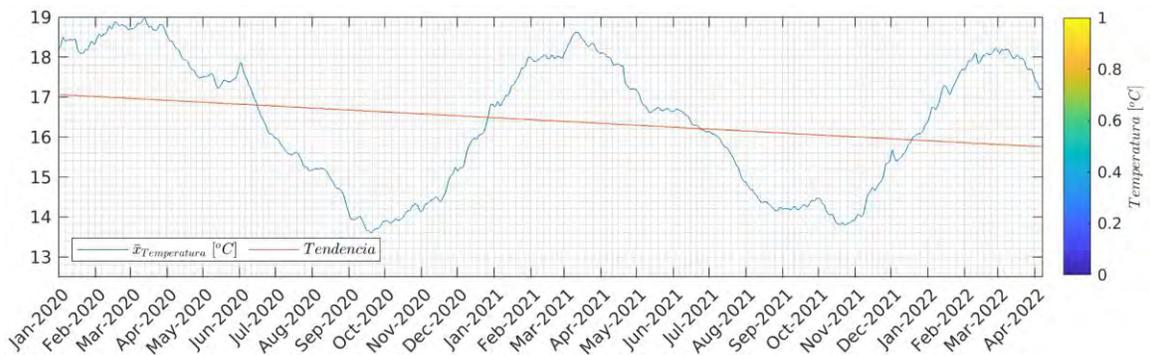


Figura 82 Serie promedio de temperatura basada en los datos presentados en la Fig. 20a (curva azul). Además, se incorpora la tendencia asociada a estos valores durante el período enero/2020-marzo/2022 (curva roja).

Con respecto al monitoreo *in situ*, después de una larga y extenuante gestión que tuvo que lidiar con las complicaciones relacionadas con la pandemia por SARSCoV-2 y la dificultad de enviar los equipos a la isla, se logró instalar la nueva versión de la estación Langosta I a mediados de enero/2022. Desde su fecha de despliegue (14 de enero del 2022) hasta su primer retiro y descarga de datos (6 de abril de 2022), la estación logró presenciar la influencia del arribo de 3 remolinos anticiclónicos al sistema de islas RC-SC (Figura 83), uno con origen dentro del sistema de AJF (influencia entre 27/enero-7/febrero) y dos con su origen en la zona de transición costera (Hormazabal et al., 2004). El primero de ellos, con su origen en los  $\sim 75.2^{\circ}\text{O}$  y  $\sim 35.7^{\circ}\text{S}$ , interactuó con el sistema de islas entre el 9/febrero y el 24/febrero. Y el segundo de ellos, con su origen frente a Punta Lavapié en los  $\sim 75.3^{\circ}\text{O}$  y  $\sim 37.1^{\circ}\text{S}$ , hasta la fecha del primer retiro del anclaje en el sistema de islas se estaba presentando la influencia del borde exterior del remolino, principalmente la influencia del cizalle de este remolino en el flujo colindante. Este flujo colindante aporta en la conectividad que se desarrolla a partir de los frentes de frontogénesis desarrollados por los remolinos y el exterior, flujos que serían mecanismos esenciales dentro de la conectividad del AJF y Chile Central (Cornejo-Guzmán et al 2022).

La evolución temporal del remolino, los niveles de salinidad y los flujos de corriente asociados a los 100m (tanto dentro como en el borde del remolino) son presentados en la Figura 84. Se logra identificar la influencia de un flujo de baja salinidad (respecto a los niveles del interior del remolino), el cual toma contacto o comienza influir en las concentraciones de salinidad de RC-SC el 24 de marzo del 2022. Este flujo de baja salinidad tiene su origen también en Punta Lavapié a principios de diciembre/2021 y viaja a AJF gracias al cizalle de los remolinos desarrollados en la región, lo que van configurando a causa de la zona de frentes (frontogénesis) un flujo transportador que conecta a Chile central con RC-SC en tan solo 4 meses. Recién el núcleo del remolino toma contacto con el sistema de islas el 19/abril y hasta el 29/abril aún sigue interactuando con RC-SC, y según el pronóstico de Copernicus (<https://myocean.marine.copernicus.eu/>) este remolino seguirá influyendo hasta el 14/mayo (proyección disponible con fecha 29/04/2022).

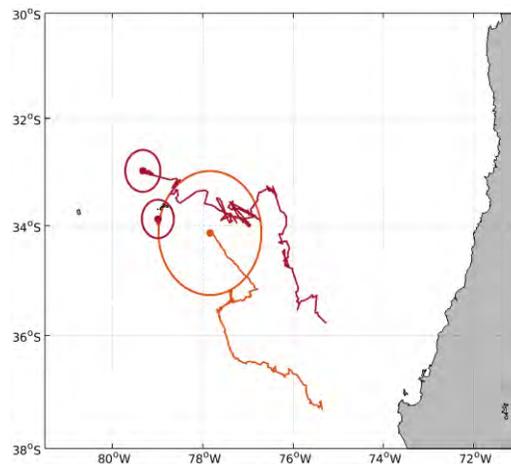


Figura 83 Remolinos anticiclónicos que han arribado a RC-SC entre enero/2022 y abril/2022, donde sus influencias sobre la columna de agua del sistema de islas han sido medidas por la nueva estación “Langosta I”.

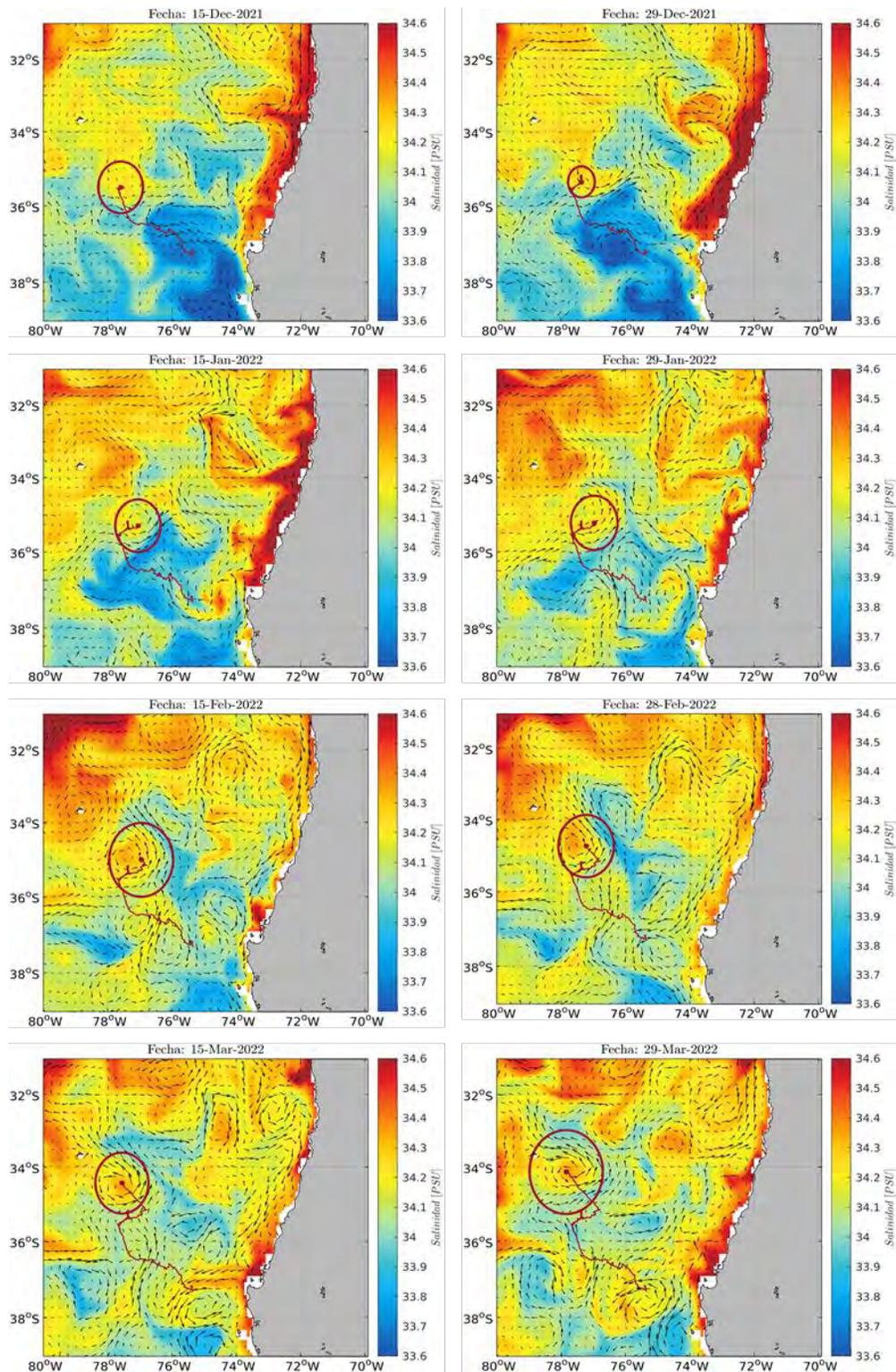


Figura 84 Evolución temporal del remolino anticiclónico formado frente a Punta Lavapié a inicios de julio/2021 y graficado desde 15 de diciembre de 2021. La paleta de colores representa los niveles de salinidad en PSU a los 100m y las flechas negras corresponden a los flujos de velocidad a la misma profundidad a partir de las salidas del modelo CGLORYS24.

**La nueva estación “Langosta I” nos permitió visualizar la diferencia entre las perturbaciones** generadas sobre RC-SC por parte de los 3 remolinos anticiclónicos identificados durante la primera parte del 2022 sobre los niveles de salinidad, temperatura y oxígeno (Figura 85, Figura 86 y Figura 87).

Respecto a los remolinos identificados entre el 27/enero y el 24/febrero no se presentan como una perturbación clara en la columna respecto al periodo previo a la llegada de estos. De hecho, la salinidad (Figura 85) se presenta más bien constante en sus concentraciones hasta finales de febrero, donde se desarrolla una disminución en la salinidad entre los 80 y 90m (Figura 85 b) de profundidad. Esta señal no se observa en las otras 2 capas (Figura 85 a, c), lo que sería señal de la respuesta diferida de la columna de agua a la influencia de remolinos en el sistema y su interacción con la batimetría alrededor de las islas. Esta disminución en la salinidad se comienza a desarrollar luego de que el remolino proveniente de la zona de transición costera dejara de dominar sobre las aguas alrededor de RC-SC, lo que puede ser una consecuencia de las perturbaciones que puede generar el borde externo de un remolino en asociación con los flujos colindantes y la interacción con las islas. Esta señal de disminución en la salinidad a pesar de que en general no se ven perturbaciones claras en la temperatura del agua debido a la influencia de estos 2 remolinos (Figura 86), si se desarrolla un aumento de la temperatura a los 50m (Figura 86 a) paralelo a la reducción de la salinidad a 80m (en el oxígeno no se observa a ningún nivel una perturbación relacionada al mismo evento; Figura 87). A pesar de no ser clara la señal de los remolinos sobre la temperatura, en el periodo enero-febrero es donde se registra el *peak* de temperatura del agua **según lo medido por la estación “Langosta I”**. Solo a los 100m el oxígeno muestra un comportamiento similar a la temperatura respecto al periodo de impacto de los remolinos (Figura 87 c), mejorando las concentraciones de oxígeno en  $\sim 0.3$  mg/L durante el periodo de influencia de los remolinos.

La influencia del tercer remolino genera en primera instancia una rápida profundización de los **sensores de la estación “Langosta I” de al menos unos 15m** y llegando a la máxima profundidad del periodo de medición de los sensores en tan solo 5 días. Esto puede ser señal de los flujos verticales ageostróficos asociados al desarrollo de frontogenesis en los bordes de los remolinos (McWilliams 2016; 2017; 2019; 2021). Se observa además una disminución de la salinidad (Figura 85) en las 3 profundidades, señal clara la mayor influencia vertical en la columna de agua de este remolino respecto a los otros dos identificados. Una señal de incremento de la temperatura también se comienza a experimentar en RC-SC frente a la llegada de este remolinos, llegando a subir la temperatura  $1^{\circ}\text{C}$  (Figura 86 a),  $0.6^{\circ}\text{C}$  (Figura 86 b) y  $0.4^{\circ}\text{C}$  (Figura 86 c), respectivamente, en 10 días. En cuanto al oxígeno muestra 2 comportamientos dependiendo de la profundidad de la medición. Sobre los 100m (Figura 87 a, b) es clara una señal de disminución del oxígeno posterior al 24/marzo de entre 0.2-0.4 mg/L, siendo más intensa a los 80m. Bajo los 100m esta señal no se identifica (Figura 87 c), inclusive los niveles de oxígeno se mantienen más bien estables desde el 13/marzo. Otra señal de la influencia diferida de los remolinos sobre la columna de agua de RC-SC, la que se hace más clara si observamos la estructura de la columna de agua obtenida de CGLORYS24 (Figura 80 y Figura 81)

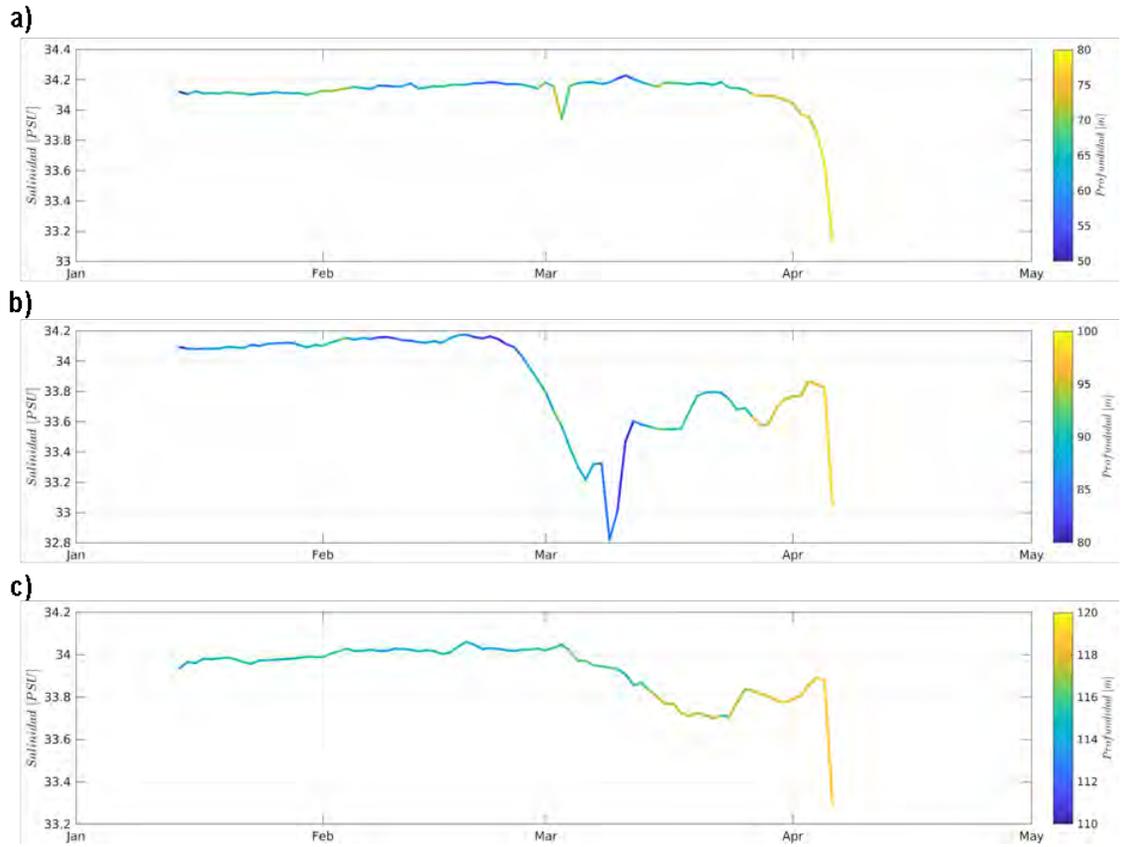


Figura 85 Salinidad anclaje entre el 14 de enero del 2022 y 6 de abril del 2022. a) 50 m, b) 80 m, y c) 110 m. La paleta de colores representa la profundidad del sensor debido al movimiento de las corrientes verticales.

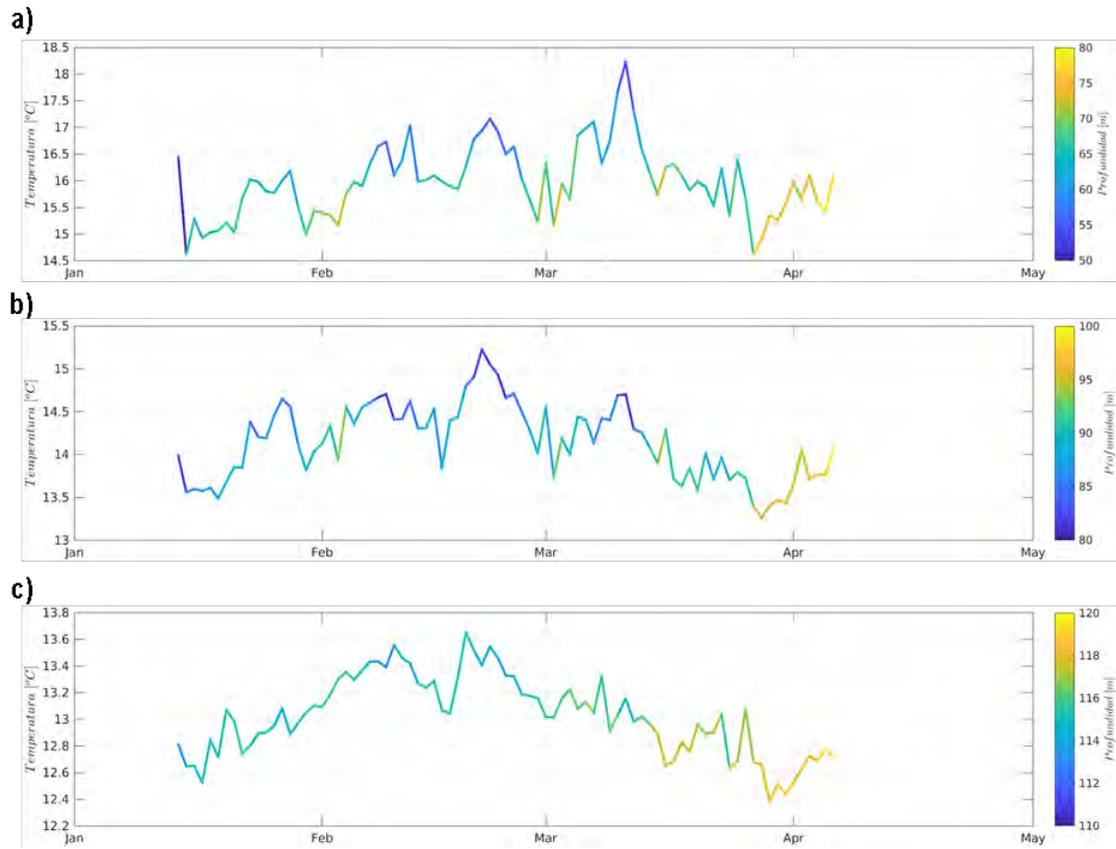


Figura 86 Temperatura anclaje entre el 14 de enero del 2022 y 6 de abril del 2022. a) 50 m, b) 80 m, y c) 110 m. La paleta de colores representa la profundidad del sensor debido al movimiento de las corrientes verticales.

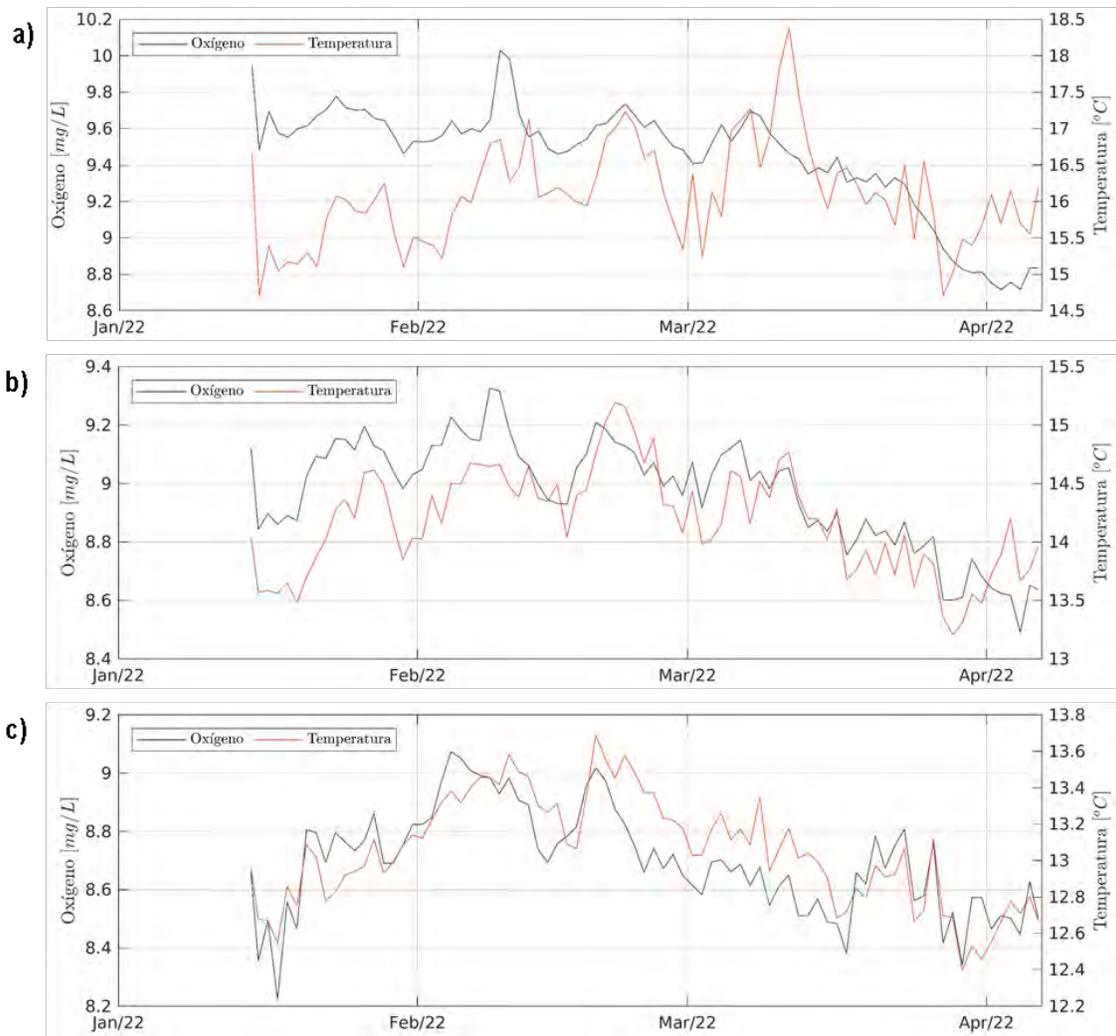


Figura 87 Oxígeno y Temperatura obtenida por los sensores MiniDOT anclaje entre el 14 de enero del 2022 y 6 de abril del 2022. a) 50 m, b) 80 m, y c) 110 m.

**Nombre del índice: Meteorológico**

Estado y Tendencia: La tendencia negativa anual de precipitación que se ha mantenido como una característica en la isla RC desde 2010 (exceptuando la mejoría vivida entre 2017 y 2018) alcanzando valores neutrales durante el 2021 (Figura 88 a), alejándose de los bajos índices de precipitación (anomalía negativa extrema) registrados durante el 2019 y valores de precipitación negativos normales durante el año 2020. Los meses de enero, abril, agosto y diciembre/2021 es caracterizaron por presentar por anomalías positivas, siendo la más importante dentro del año la observada en abril/2021, mes que solo había experimentado anomalías positivas en los años 2016 y 2018 dentro de los últimos 20 años. En mayo/2021 se desarrolló un déficit de precipitación similar al observado en mayo/2020. Dicho mes anteriormente se había caracterizado por presentar

anomalías de precipitación importantes, en particular la presentada en 2018. Los niveles de precipitación de invierno posicionan al invierno/2021 como el más lluvioso de los últimos 3 años.

Desde mediados de 2017 se viene desarrollando una fase negativa de temperatura del aire en RC (Figura 88 b) alcanzando el 2021 el mínimo de temperatura anual de la última década, siendo solo superado por las anomalías negativas de 2007 y 2010. El mes de diciembre más frío de los últimos 20 años se desarrolló durante el 2021. El 2020 fue un año en que la tendencia negativa de la **temperatura del aire tuvo una “leve” mejoría respecto al 2019**, alza atribuible a las anomalías positivas de enero y el otoño/2020, condiciones que no se replicaron en el 2021, donde se registró uno de los meses de enero más helados, solo superado por enero/2004 y la anomalía negativa extrema experimentada en 2019.

En cuanto a la presión atmosférica en RC (Figura 88 c), durante el año 2021 se presentaron las mayores anomalías negativas de la última década, inclusive de los últimos 20 años, siendo solo comparables la primavera/2019 con la primavera/2021 (anomalías negativas similares). Sin embargo, anomalías como las presentadas en el verano-otoño/2021 solo se logran observar en lo que va del 2022. A pesar de haber sido un año dominado por bajas presiones (respecto a la climatología 1979-2018) el nivel de precipitaciones alcanzando (Figura 88 a) no sobresale de años con precipitación normal (ej. 2017 y 2018), por lo que estas bajas presiones serían las responsables de las bajas temperaturas en la isla (Figura 88 b) debido a la falta de agua precipitable (Holton, 2004).

La intensidad del viento en RC se vió drásticamente reducida durante el 2021 (Figura 88 d), registrando una anomalía negativa anual histórica, la más intensa en los últimos 40 años. La última anomalía registrada con esta intensidad fue en 1979, anomalía negativa que se mantuvo (pero con menor intensidad) hasta 1983. Se registraron 3 meses con anomalías negativas extremas (febrero, septiembre y diciembre), otros tres meses con valores negativos cercanos a extremos (enero, marzo y julio) y el resto de los meses por sobre la media de las anomalías negativas normales ( $< -2$  m/s). Respecto a la tendencia decadal negativa que se viene presentando desde el 2007 en la isla, este evento mantendría esta tendencia (y como se aprecia en la Figura 88 d continua en lo que va de 2022), mostrando el término de la tendencia positiva que se comenzó a desarrollar desde el 2017 en RC y que salvo los eventos de 2019, se volvió a valores positivos en 2020.

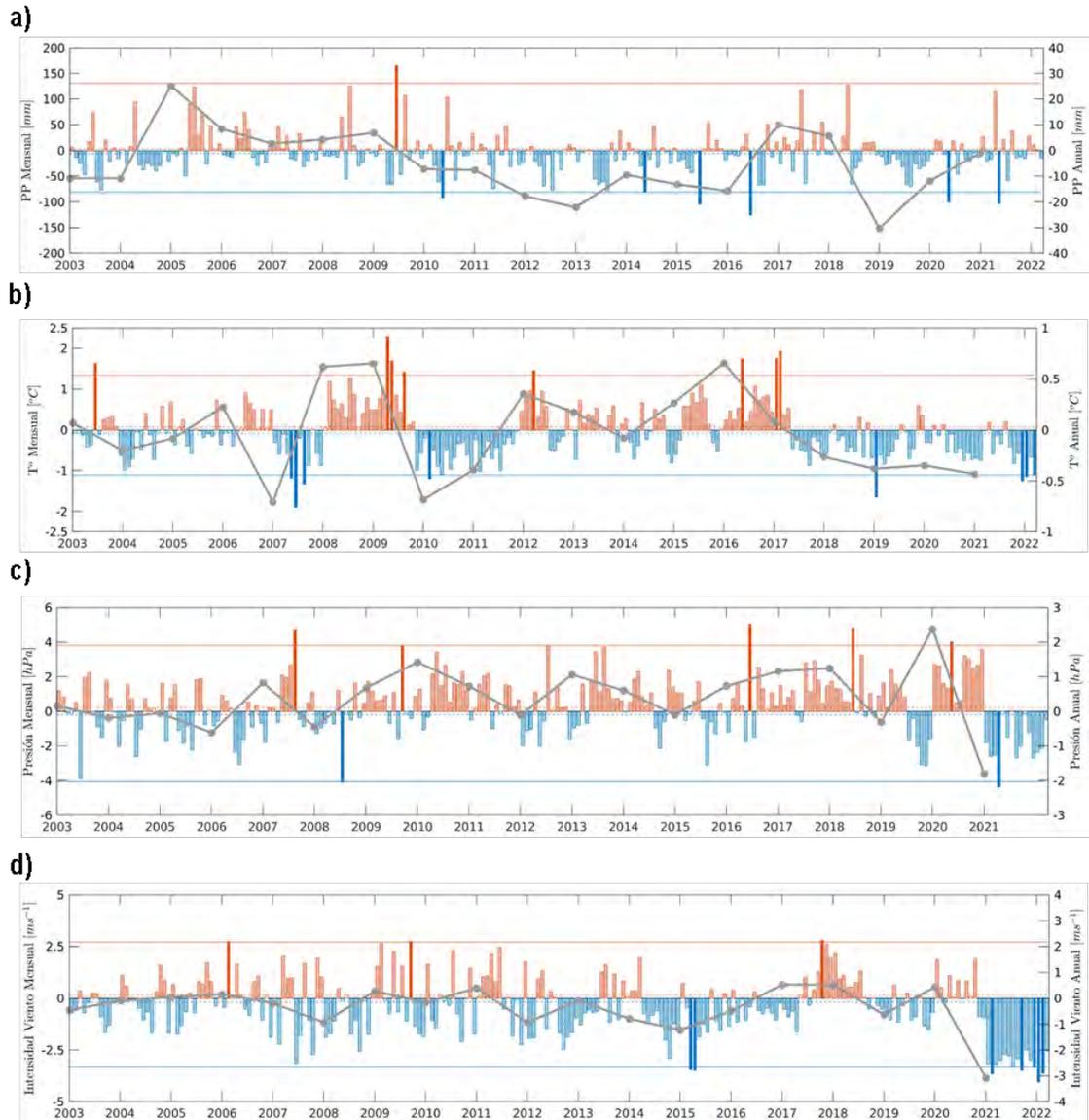


Figura 88 Series de tiempo de las anomalías mensuales de las variables a) Precipitación, b) Temperatura del Aire, c) Presión Atmosférica y d) Intensidad del viento, medidas por la estación meteorológica entre 2003 y 2021. La escala es el eje izquierdo y el rojo es anomalías positivas y azul anomalías negativas. La línea gris con puntos es la anomalía anual cuya escala está en el eje derecho y se coloca en el otoño de cada año. La línea gris es la posición de 0 para anomalía anual.

#### 4.6.2 Relación entre indicadores ambientales y pesqueros

Las Figura 89 y Figura 90 muestran la relación entre variables ambientales y rendimiento de langostas retenidas y no retenidas (número de langostas capturadas por trampa), respectivamente. Tanto para TSM y Oxígeno se aprecia una tendencia lineal en el rango de los datos observados. La Tabla 35 refuerza esta apreciación visual a través del coeficiente de correlación, que indica la proporción de la varianza total explicada por la variable predictora en forma individual y conjunta. La Tabla 36 indica que las variables clorofila y oxígeno de fondo no son significativas para el modelo con langostas retenidas y las variables Temperatura de fondo, oxígeno de fondo y EKE no son significativas. Sin embargo, son las variables de temperatura y oxígeno superficial las que muestran un mayor valor de coeficiente de correlación es sus respectivos modelos para ambas variables dependientes.

Si bien las variables temperatura y oxígeno son las que explican de mayor grado la varianza de los rendimientos de langostas retenidas y no retenidas, los valores no superan el 0.23, considerándose baja.

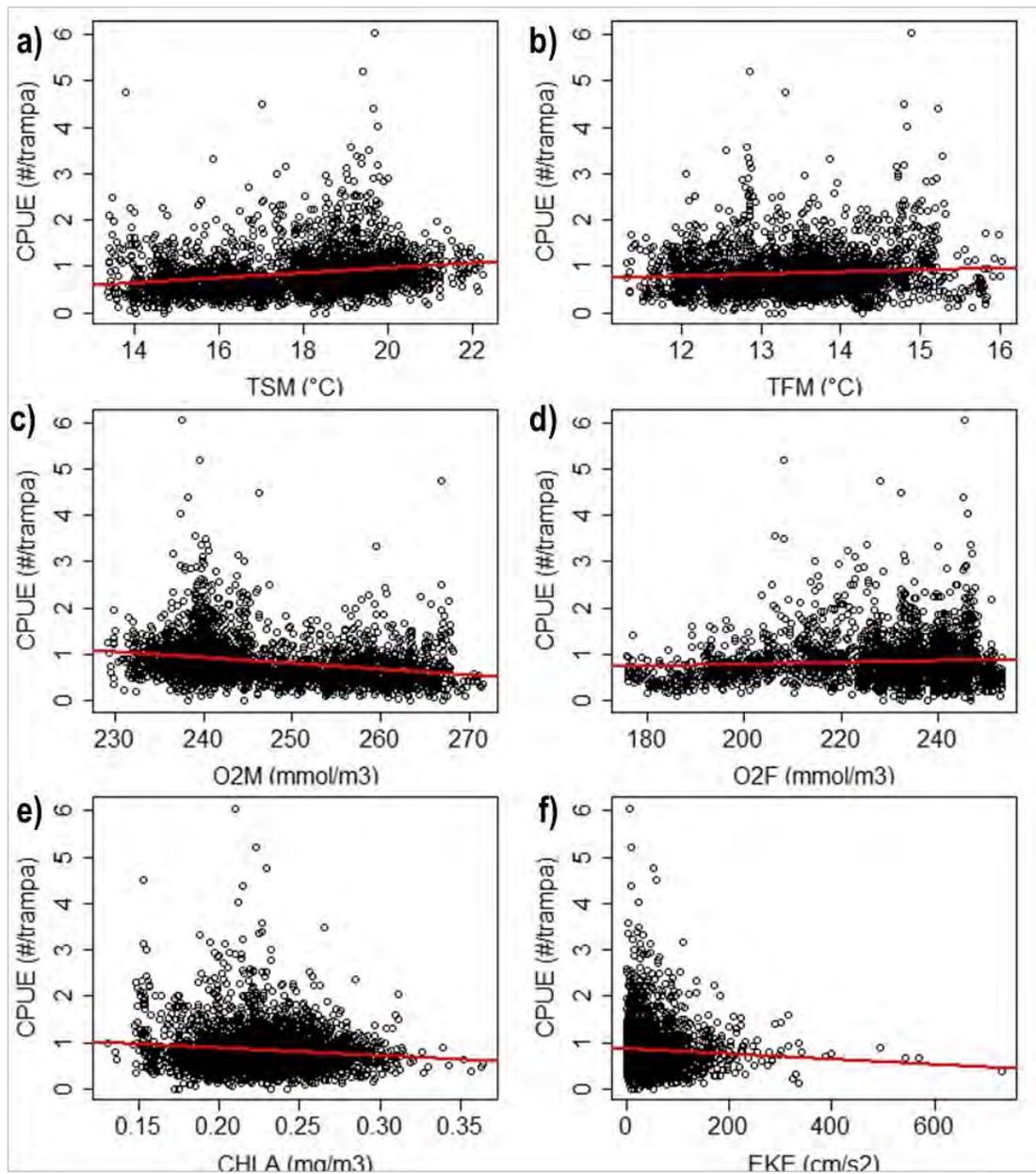


Figura 89 Gráficos de dispersión de rendimientos de langostas retenidas respecto de las variables ambientales: a) Temperatura superficial del mar (TSM), b) Temperatura de fondo (TFM, a 100 metros de profundidad), c) Oxígeno disuelto en superficie(O2M), d) Oxígeno disuelto en fondo (O2F, a 100 metros de profundidad), e) Clorofila (CHLA) y f) energía cinética (EKE). Línea roja representa ajuste de modelo lineal.

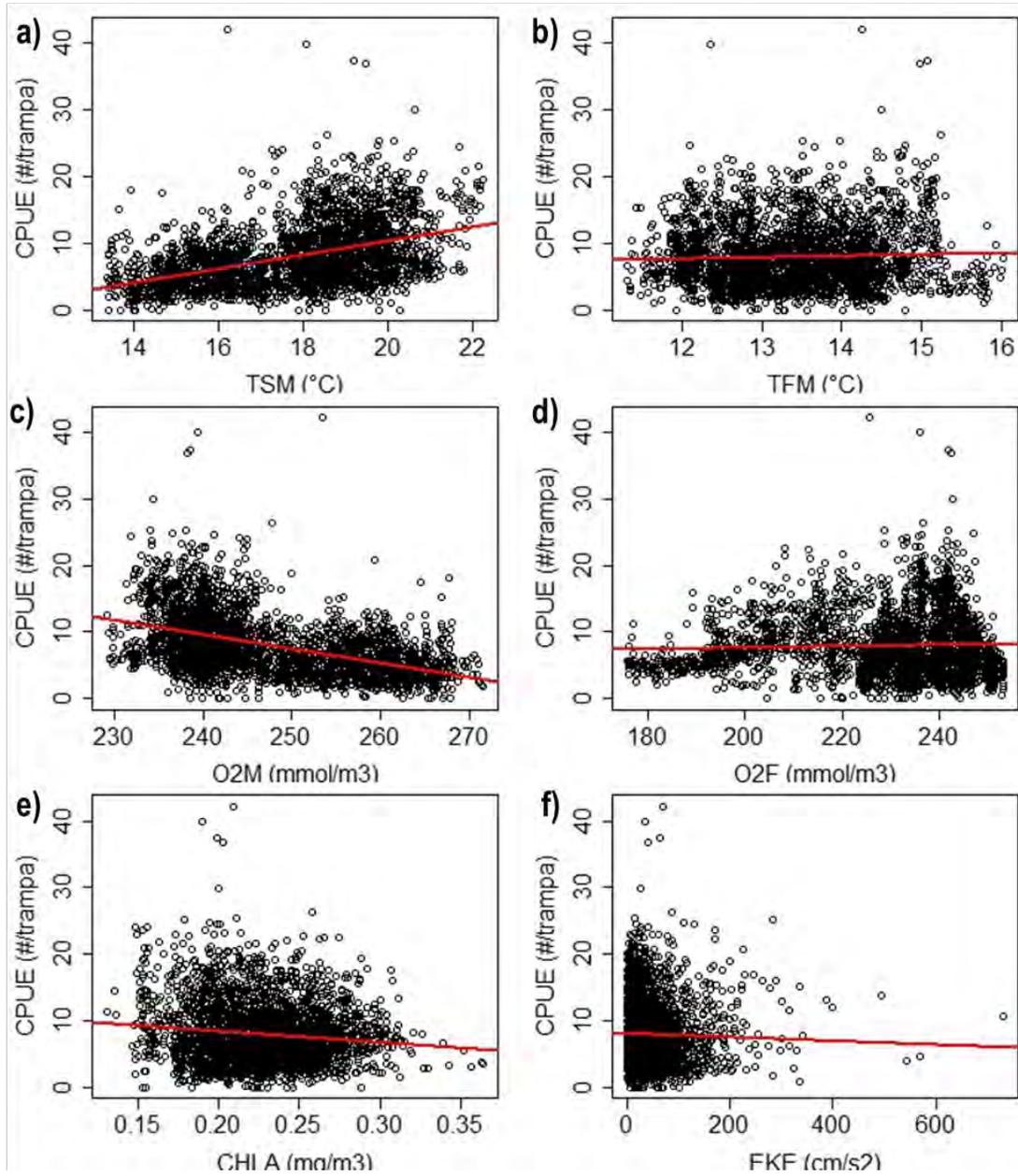


Figura 90 Gráficos de dispersión de rendimientos de langostas no retenidas respecto de las variables ambientales: a) Temperatura superficial del mar (TSM), b) Temperatura de fondo (TFM, a 100 metros de profundidad), c) Oxígeno disuelto en superficie(O2M), d) Oxígeno disuelto en fondo (O2F, a 100 metros de profundidad), e) Clorofila (CHLA) y f) energía cinética (EKE). Línea roja representa ajuste de modelo lineal.

Tabla 35

Coefficientes de correlación para variables ambientales y número de langostas retenidas y no retenidas. Full representa al modelo lineal que incluye a todas las variables para las temporadas 2006-2021.

Variable ambiental	Coeficiente correlación	
	Langostas retenidas	Langostas No retenidas
Temperatura superficial del mar (TSM)	0.0520	0.2036
Temperatura de fondo (TFM)	0.0076	0.0017
Oxígeno disuelto en superficie (O2S)	0.0692	0.2186
Oxígeno disuelto en fondo (O2F)	0.0044	0.001
Clorofila-a (CHLA)	0.0113	0.0139
Energía cinética (EKE)	0.0036	0.0009
Variables conjuntas	0.0858	0.2267

Tabla 36

Análisis de Varianza para la regresión múltiple entre variables ambientales y rendimientos de pesca de langostas retenidas y no retenidas para las temporadas 2006 – 2021.

Modelo	Variable	DF	SSQ	Mean SQ	F	Pr(>F)	Significancia
<b>Captura Retenida</b>	TSM	1	36.81	36.81	168.6848	2.20E-16	***
	TFM	1	2.06	2.065	9.4618	0.002117	**
	O2S	1	18.79	18.785	86.0836	2.20E-16	***
	O2F	1	1.03	1.027	4.7069	0.030122	*
	CHLA	1	0.4	0.398	1.8222	0.177159	
	EKE	1	1.68	1.682	7.7097	0.005527	**
<b>Captura NO Retenida</b>	TSM	1	13028	13027.7	780.4749	2.20E-16	***
	TFM	1	43	43.4	2.6014	0.1069	
	O2S	1	944	943.8	56.5411	7.25E-14	***
	O2F	1	1	1.1	0.0655	0.798	
	CHLA	1	490	490.4	29.3787	6.43E-08	***
	EKE	1	0	0	0.0006	0.9805	

## 4.7 Objetivo 7

*Identificar los aspectos de mejora para el monitoreo costo-efectivo de las pesquerías que se desarrollan en el archipiélago de Juan Fernández e Islas Desventuradas, así como del ecosistema.*

### 4.7.1 Etapa I: Evaluación programa de colecta de datos

De acuerdo con la información obtenida durante las conversaciones del taller, las principales fuentes de información pesquera para los recursos breca, langosta de Juan Fernández y cangrejo dorado provienen de tres programas de monitoreo catalogadas en FishPath como: a) bitácoras formales, b) observadores a bordo y c) Snapshot (proyectos específicos). A continuación, se detallan cada uno de estos programas y los datos colectados por los mismos:

- a) *Programa de Bitácora.* Son los registros de captura y esfuerzo de pesca que declara obligatoriamente el pescador para ser partícipe de una pesquería en Chile. Las bitácoras formales se encuentran diseñadas para proveer registros continuos de las operaciones de pesca realizadas por el pescador. Por tanto, los datos colectados por este programa de seguimiento para cada viaje de pesca incluyen: fecha de zarpe y arribo, identificación de especies, estimación general de la composición y capturas por especie, uso de aparejos de pesca, zona y profundidad de pesca, nombre de la embarcación, esfuerzo de pesca y el destino de la captura.
- b) *Observadores a bordo.* Consiste en tener a un especialista independiente que trabaja a bordo de las embarcaciones pesqueras comerciales. Recopilan información sobre la pesquería, las especies objetivo, fauna acompañante y captura incidental. Con este tipo de monitoreo se puede coleccionar una amplia gama de información muy detallada, incluido datos de captura y esfuerzo de pesca, descarte, aspectos biológicos de las especies, así como la interacción de las actividades de pesca con mamíferos marinos, aves marinas, tortugas marinas y el medio marino. Sin embargo, debido a la alta demanda de recursos económicos, la cobertura de observadores por embarcación es a menudo baja respecto al total de flotas. Los observadores a bordo suelen seguir protocolos formales y requieren una amplia formación. Realizan tareas de muestreo por separado a las realizadas por la tripulación de la embarcación y toman nota de cualquier incidente u observación inusual además de las dificultades operacionales durante el viaje. Los datos que se obtienen a partir de este monitoreo incluyen: identificación de especies, estimación general de capturas, origen de la captura (ubicación/profundidad), aparejo de pesca, georreferenciación, especies descartadas, tiempo de operación (tiempo de calado, reposo, entre otros), composición por tallas y pesos, esfuerzo de pesca, CPUE, identificación del sexo, condición de madurez/reproducción. Cabe mencionar que, si bien existen periodos donde se cuentan con registros de los pesos, actualmente estos datos se dejaron de monitorear debido a las dificultades operacionales propias de la actividad.
- c) *Recopilación de datos en un periodo específico de tiempo o snapshot.* La recopilación de datos instantáneos se utiliza para obtener información pesquera de un momento específico. A menudo esta forma de coleccionar datos ocurre como resultado de oportunidades de financiamiento únicas o proyectos de investigación. No provee una serie de datos consistentes a través del tiempo. Sin embargo, si se llevan a cabo dos o más procesos de recopilación de datos utilizando los mismos protocolos en el mismo momento del año puede haber una oportunidad de comprender las tendencias básicas, siempre que se tenga en cuenta los

cambios en las características operativas de la pesquería. La comparación cuantitativa de registros históricos, tanto ecológicos como socioeconómicos puede usarse para comprender los cambios que han ocurrido dentro de una pesquería. Algunos datos que han sido colectados por este tipo de monitoreo incluyen identificación de especies, sexo, estado de madurez/reproducción, mediciones biométricas, estudios de marcaje y recaptura, muestras de otolitos y muestras genéticas. Esta información resulta valiosa para detallar los aspectos biológicos y otras características de historia de vida de breca, langosta y cangrejo dorado los cuales pueden ser empleadas posteriormente para informar a un modelo de evaluación de stock.

A continuación, se detalla un esquema que resume los diferentes ámbitos de contribución de la información colectada por los actuales programas de monitoreos del archipiélago Juan Fernández (Tabla 37).

Tabla 37  
Contribución de la información colectada ssegún programa identificado

Programa	Ámbito de contribución	Datos colectados
Bitácoras	<i>Tendencias temporales:</i> Seguimiento de los patrones temporales en indicadores de rendimiento pesquero, ecosistémicos y/o biológicos.	Identificación de especies, estimación general de la captura, esfuerzo de pesca (número de viajes de pesca), composición de especies, aparejo de pesca utilizado, tipo de embarcación.
Observadores a bordo	<i>Aspectos básicos de una pesquería:</i> Información de las características operacionales básicas de una pesquería	Composición y tamaño de la flota (número de embarcaciones activas), identificación de las áreas de pesca, determinar los tipos de aparejos de pesca empleados.
	<i>Tendencias temporales:</i> Seguimiento de los patrones temporales en indicadores de rendimiento pesquero, ecosistémicos y/o biológicos.	Captura total (número/peso), composición de especies, composición por tallas, esfuerzo pesquero (número de lances de pesca y número de trampas levantadas). Además, para la langosta se cuenta también con registros de capturas comerciales y no comerciales, presencia de escape y tipo de carnada empleada en su captura.  *Es importante mencionar que también se cuenta con una serie de registros de pesos, pero actualmente estos datos se dejaron de monitorear por las dificultades propias de la operación de pesca.
	<i>Información biológica:</i> Proveen información relevante de los parámetros de historia de vida (ej. crecimiento y tasa de reproducción)	Este tipo de información se orienta exclusivamente a los crustáceos e incluye identificación y proporción por sexo, estado de madurez/reproductivo e información biométrica.
	<i>Evaluación de stocks:</i> Proveen un indicador del estado actual de un stock el cual puede ser comparado con un punto de referencia a elección.	Series de captura, esfuerzo de pesca, captura por unidad de esfuerzo, composición de tallas y pesos, densidad dependiente de la pesca (para langosta).
Snapshot (proyectos específicos)	<i>Información biológica:</i> Proveen información relevante de los parámetros de histórica de vida (ej. crecimiento y tasa de reproducción)	Identificación de sexos, estado reproductivo o de madurez, composición biométrica, muestras de otolitos y escamas (breca), muestras genéticas (langosta), marcaje y recaptura (langosta).

#### 4.7.2 Etapa II: metodologías de evaluación

La sección de evaluación de FishPath tiene 49 métodos de evaluación para pesquerías con datos **limitados. Cada una se encuentra categorizada en 3 niveles** “Categoría de evaluación”, “Resultado de la evaluación” y “Nivel de evaluación”. **La primera categoría está relacionada con el tipo de dato requerido** (*Indicadores de abundancia, capturas, condición general del stock, métodos basados en la historia de vida, áreas marinas protegidas o reservas marinas, indicadores múltiples, modelos de dinámica poblacional, análisis de riesgo/vulnerabilidad, tallas*). La segunda, son unidades que la evaluación del stock puede proveer (*límite de captura, tasa de pesca, estado del stock, escala del stock y otras métricas de reglas de control*). La tercera, se encuentra asociada con el nivel de complejidad de cada modelo en función a la cantidad de datos que integran (*preevaluación – priorización del stock, puntos de referencia basados en la historia de vida -; extremadamente deficientes en datos; nivel medio; nivel alto*). Los métodos son habilitados o deshabilitados en función a la información disponible; es decir, mientras se cuente con una mayor cantidad de información más métodos se harán disponibles en la plataforma.

Los métodos analíticos disponibles en FishPath tienden a aumentar a medida que se incrementan los datos e información biológica de los recursos evaluados. Esto permite disponer de diferentes opciones, algunas menos demandantes de datos en comparación con otras. Por tanto, los métodos más simples pueden ya no ser la mejor opción cuando se comparan con otros que requieren más datos y se encuentran disponibles.

En ese contexto, el criterio de priorización para la selección de los potenciales métodos de evaluación fue el nivel de complejidad del modelo en función a la cantidad de datos que integran. Se optó siempre por los modelos más complejos y que integren una mayor cantidad de datos por categoría de evaluación. Sin embargo, se recomienda considerar los costos y beneficios de cada una de estas metodologías disponible y aún las de menor complejidad ya que, aunque requieran de menor cantidad de datos, pueden informar aspectos relevantes de una pesquería (Ej. conocimiento experto local, encuestas, entre otros). En función a la información disponible, los potenciales métodos de evaluación de stocks identificados para cada especie fueron los siguientes:

##### 4.7.2.1 Métodos de evaluación para *Nemadactylus gayi* (breca)

En total se examinaron 49 métodos de evaluación de stock de las cuales 30 estuvieron disponibles para breca. De este total, 16 fueron considerados como métodos con un nivel medio de complejidad; es decir, métodos que requieren una cantidad moderada de datos que usualmente son colectados a lo largo de una serie de tiempo. No se contaron con metodologías de evaluación con un nivel superior (modelos dinámicos) debido a limitaciones de la información. A continuación, se muestran las principales metodologías de evaluación identificadas para breca en función a la información disponible:

Tabla 38  
Metodologías de evaluación identificadas para breca en función de la información disponible:

Nemadactylus gayi (Breca)		
Métodos basados en capturas		
Método	Inputs / outputs	Consideraciones/advertencias
1) Depletion analysis	Capturas, CPUE / abundancia relativa, tasa de pesca	Tener cuidado con el uso de la CPUE. Se recomienda consultar a expertos locales para comprender el grado en que la tecnología o la capturabilidad pueden haber cambiado en el tiempo-espacio. Se recomienda estandarizar los valores de la CPUE. Este método puede ser aplicado, pero será de mayor valor si se pueden definirse puntos de referencia objetivo y límites. Así mismo, se debe tener en cuenta los supuestos los cuales son: a) no hay procesos de inmigración ni emigración (población cerrada); b) el nivel de compensación de la especie <b>es alto ("steepness")</b> ; c) <b>no ocurre mortalidad natural dentro</b> de la temporada de pesca.
2) Stochastic Stock Reduction Analysis (SRA)	M, L50, parámetros de VB, capturas / estimación de MSY, Umsy y biomasa	Este método puede ayudar a estimar el tamaño de la población en función del tamaño necesario para producir la serie temporal de los desembarques observados. Sin embargo, se requieren de algunos parámetros como capturas, rango de valores para RMS y Umsy, información sobre el ciclo de vida, estimaciones de la biomasa inicial y explotación. Se asume que la biomasa inicial es constante. Los valores de la tasa de explotación anual que produce el RMS en equilibrio puede inicialmente ser un valor amplio, luego puede ser refinado. Es importante tener en cuenta que este enfoque no considera los cambios de régimen, las principales intervenciones de gestión o algún otro factor externo. Resulta de mayor valor si se pueden definirse puntos de referencia objetivo y límites.
3) Boosted Regression Tree (BRT) model for stock depletion using catch data	Capturas, L50 / MSY	Funciona bien para poblaciones muy explotadas. Los resultados pueden ser usados para proporcionar antecedentes de agotamiento para otras evaluaciones con datos limitados o para estimar directamente de que el agotamiento esté por debajo de un umbral. Resulta de mayor valor si se pueden definirse puntos de referencia objetivo y límites.
4) Only Reliable Catch Stocks (ORCS)	Capturas, estado relativo del stock (fuente experta) / límite de capturas	Produce estimaciones útiles del estado y del límite de captura; sin embargo, su validación es un desafío debido a la subjetividad del método. Tener precaución de las fuentes usadas para catalogar un nivel relativo del stock pesquero. Resulta de mayor valor si se pueden definirse puntos de referencia objetivo y límites. Algunas evaluaciones adicionales pueden requerir capturas medias o medianas.
5) Modified Panel Regression Model (mPRM)	Capturas, M / B/Bmsy	Tener en cuenta que este enfoque no proporciona una estimación precisa del estado del stock, solo una idea general de lo que podría ser. Se recomienda evaluar previamente la calidad de los parámetros ingresados.
Métodos basados en talla/edad		
Método	Inputs/outputs	Consideraciones/advertencias
6) Length-based Spawning Potential Ratio (LB-SPR)	MK, Linf, L50, tallas, k / SPR y FM	Este método asume una población en equilibrio. Tener precaución con los datos de tallas, un mal muestreo puede subestimar o sobreestimar el SPR. Se asume una mortalidad independiente de la edad y el tiempo. Este método trata cada año como una estimación independiente. Los cambios en la

		selectividad a lo largo de los años pueden indicar eventos de reclutamiento, lo que puede conducir a un sesgo en las estimaciones de F y SPR. Se asume una selectividad del tipo logística. Tener precaución con las fuentes usadas para los valores de los inputs del modelo. Este método ha sido considerado como uno factible por la calidad de los datos con los que se cuenta para la especie.
7) Length-based Bayesian Biomass Estimation (LBB)	M, L50, parámetros de VB, tallas / B/Bo, B/Bmsy	Este método estima la abundancia relativa utilizando sólo datos de frecuencia de tallas colectados a partir de las capturas. Así mismo, se trata cada año como una estimación independiente. Los cambios en la selectividad a lo largo de los años pueden indicar eventos de reclutamiento, lo que puede conducir a un sesgo en las estimaciones de F y B/Bo. Los supuestos del modelo son equilibrio poblacional (crecimiento, reclutamiento constante), la composición de tallas es representativa de la fase explotable del stock. Se asume un valor para la variabilidad de la talla-edad (CV) de 0.1, aunque generalmente varía entre 0.05 y 0.2.
8) Analysis of sustainability indicators based on length-based reference points (LBRP)	L50, k, tallas / abundancia relativa del stock	Usa indicadores basados en tallas como la longitud óptima, longitud de madurez, la longitud de los megadesovadores y la talla objetivo. Resulta de mayor valor si se pueden definirse puntos de referencia objetivo y límites. Este método determina la selectividad como un valor resultante. Por tanto, la interpretación de los resultados puede ser sensible a los principales pulsos de reclutamiento.
9) Catch curve analysis	M, k, Linf, tallas / Z	Los datos pueden ser dependientes o independientes de la pesquería siempre y cuando sean representativos de la estructura relativa de edad/talla de la población. Conociendo M de otros estudios o fuentes, la mortalidad por pesca (F) puede ser estimada como $Z - M$ . Resulta de mayor valor si se pueden definirse puntos de referencia objetivo y límites. Este enfoque asume que la población se encuentra en equilibrio y la biomasa inicial es constante. La interpretación de los resultados puede ser sensible a los principales pulsos de reclutamiento.
10) Mean length mortality estimators	M, k, Linf, tallas / F	Se debe de tener cuidado con los parámetros de historia de vida, en especial si son usados de especies relacionadas. La interpretación de los resultados puede ser sensible a eventos importantes de reclutamiento. Considerar si la capturabilidad varía en el tiempo y espacio (Ej. si las condiciones ambientales, oceanográficas, meteorológicas u otros afectan la disponibilidad de peces o la eficacia de los aparejos de pesca).
11) Catch Curve Stock-Reduction Analysis (CC-SRA)	M, L50, parámetros LW, k, Linf, tallas, capturas / F	Este método combina un análisis de la curva de captura y un análisis de reducción de poblaciones para estimar la mortalidad por pesca y la captura sostenible. Resulta de mayor valor si se pueden definirse puntos de referencia objetivo y límites. Si sólo se cuenta con un año de datos, se asume condiciones de equilibrio.
Métodos basados en indicadores múltiples		
Método	Inputs/outputs	Consideraciones/advertencias
12) CUSUM Control Charts	Datos de composición de especies, tallas, capturas, esfuerzo, cpue, pesos, etc. /	Esté método realiza un seguimiento de las desviaciones persistentes de un valor central en los procesos observados y se puede usar en una serie de tiempo de cualquier tipo de dato monitoreado. CUSUM ha sido aplicado a pesquerías para diagnosticar tendencias en métricas pesqueras claves

	Noción indirecta del estado del stock mediante múltiples indicadores	como la captura y la CPUE. Si bien las tendencias reflejan con frecuencia el estado del stock, es importante señalar que este método no es una evaluación del estado del stock por sí mismo. Más bien, detecta desviaciones persistentes en los indicadores monitoreados. Puede ser necesario el juicio de expertos o datos adicionales para interpretar adecuadamente los resultados si se desea una estimación del estado de la población. Este método puede basarse en cualquier indicador (tamaño, captura, esfuerzo). Resulta útil para priorizar las poblaciones que requieren revisión o evaluación adicional.
13) Traffic lights	Múltiples indicadores (tallas, capturas, esfuerzo, cpue) / noción indirecta del estado del stock.	Este método se utiliza para monitorear uno o más indicadores. Asigna un color para indicar la condición del stock (verde: valores seguros, rojo: valores peligrosos y amarillo: valores intermedios). Resulta útil cuando se registran de manera confiable múltiples indicadores independientes, pero son dispares y no se relacionan fácilmente entre sí.
14) Hierarchical decisión trees	Múltiples indicadores (tallas, capturas, esfuerzo, cpue) / noción indirecta del estado del stock.	Este método combina evaluaciones y acciones de gestión en una serie secuencial de pasos. Resulta particularmente apropiado cuando existen varios indicadores disponibles, pero no se puede realizar una evaluación de stock formal.
15) Sequential trigger framework (single or multi-indicator)	Múltiples indicadores (tallas, capturas, esfuerzo, cpue)	Este método representa un marco general de estrategias de captura en la cual se evalúa múltiples indicadores relativos en función a un valor de referencia particular (triggers), este puede no estar asociado directamente con el estado del stock pero que se considera que corresponde a un estado del stock que requiere una respuesta de manejo (triggered). Resulta particularmente útil cuando se registran de manera confiable múltiples indicadores independientes, pero son dispares y no se relacionan fácilmente entre sí. Se pueden utilizar por sí solos o como parte de marcos de decisión jerárquicos. Se pretende que los indicadores propuestos sean todos inclusivos. Si los usuarios identifican nuevos indicadores relevantes para su pesquería, estos pueden ser agregados. Existe un alto riesgo respecto a establecer un punto de referencia ya que la suposición puede ser muy imprecisa.
Métodos basados en indicadores de abundancia		
Método	Inputs/outputs	Consideraciones/advertencias
16) Single-indicator analysis using standardized CPUE	CPUE / Proxy de abundancia	La CPUE estandarizada puede usarse como un indicador único o incorporarse en marcos de indicadores múltiples como <b>árboles de decisión, o usar como "inputs" en evaluaciones</b> más cuantitativas. Tener extrema precaución al usar un indicador de CPUE, se recomienda consultar a los expertos locales para entender el grado en que la tecnología o la capturabilidad pueden haber cambiado en el tiempo y espacio. Tener precaución con la hiperestabilidad debido a la focalización activa de las agregaciones. Considere si la capturabilidad varía en el tiempo o en el espacio (por ejemplo, si las condiciones ambientales, oceanográficas, climáticas o de temperatura afectan la disponibilidad de peces o la efectividad de los aparejos de pesca).

#### 4.7.2.2 *Métodos de evaluación para *Jasus frontalis* (langosta de Juan Fernández)*

En total se examinaron 49 métodos de evaluación de stocks de las cuales 44 estuvieron disponibles para la langosta de Juan Fernández. Los métodos que fueron descartados por la herramienta corresponden a metodologías que por el modo operacional o el sistema en estudio no están asociados directamente con estas (Ej. análisis basados en zonas dentro y fuera de áreas o reservas marinas protegidas, metodologías para evaluar pesquerías de arrecife de corales). Del total de metodologías disponibles, 4 fueron considerados como los métodos con un mayor nivel de complejidad, es decir, métodos que requieren una cantidad moderada - alta de datos que usualmente son colectados a lo largo de una serie de tiempo. Estas correspondieron a la categoría **de evaluación denominada como “Modelos de Dinámica Poblacional”**. Los detalles de cada metodología se muestran en el proyecto del Fondo de Investigación Pesquera N° 2021-15 el cual está orientado específicamente a la langosta.

## 5 DISCUSIÓN

---

La crisis sanitaria mundial provocada por el virus Covid-19 tuvo repercusiones tempranas en la economía del archipiélago Juan Fernández debido a la detención de las exportaciones hacia China, principal importador de langostas (alrededor del 95% de la captura de langosta se destinan a este país), hecho constatado públicamente a inicios de febrero de 2020, antes incluso de que se decretaran las primeras medidas sanitarias en el continente. La contingencia implicó un decaimiento en las salidas de pesca y el término anticipado de la temporada 2019/20, el quiebre de la relación de los pescadores de Desventuradas con el contratista (quedando estos varados en la isla San Ambrosio por cerca de 4 meses), dificultades para la incipiente cooperativa de pescadores de la isla Alejandro Selkirk, la reinención del mercado de destino (exportaciones con destino de venta en el continente), caída del precio por unidad de langosta y el sostenimiento de la economía insular en otras especies capturadas (como vidriola, breca, pulpo y cangrejo). Por otra parte, el ingreso a la isla Robinson Crusoe fue fuertemente restringido durante todo el año 2020 y el primer semestre del 2021, para evitar la llegada del virus hasta el poblado. Posteriormente se autorizó el ingreso, pero sujetos a largas cuarentenas y persistiendo dificultades logísticas para acceder al archipiélago, obstaculizando las expediciones programadas.

### 5.1 Programa de monitoreo

El Control de Tráfico Marino (CTM) recopilado por la Armada de Chile en el archipiélago Juan Fernández proporciona valiosos datos que permiten el escalamiento de los registros obtenidos por el programa de seguimiento, al total de la flota, ya que el CTM representa un censo de los viajes de pesca que se llevan a cabo dentro del archipiélago. Estos registros han sido comparados contra los **registros “censales” de SERNAPESCA, encontrándose coincidencia en las series tanto de esfuerzo** (e.g. cangrejo dorado) como en las capturas totales de langosta.

La importancia de este registro se ha reconocido, y desde el segundo semestre de 2017 comenzó la implementación del levantamiento de intención del zarpe, lo que permite reducir el error respecto a la interpretación de las salidas de pesca, robusteciendo el proceso de depuración de esta información. Esto está bien implementado en el subsistema RC-SC, pero en AS e ID aun está en vías de ser implementado por los alcaldes de mar en AS e ID por ordenanza de la Armada después de los acuerdos alcanzados en la V sesión del comité de manejo. De esta forma los zarpes en AS fueron documentados diariamente por el investigador.

La cobertura de los viajes de pesca a través de las bitácoras utilizadas a voluntad por los pescadores varía según los incentivos y compromisos que estos tengan. En RC-SC la cobertura ha ido en aumento desde que se inició el programa y el compromiso de toda la comunidad de pescadores se ha fortalecido a medida que se ha ido entendiendo su importancia en las distintas instancias de diálogo. Sin embargo, debido al impacto en las exportaciones y la incertidumbre en la venta producto de la crisis sanitaria mundial y su efecto sobre los mercados se redujo notablemente tanto el esfuerzo durante la segunda mitad de la temporada como también el porcentaje de participación. Así, también se ha logrado que los mismos pescadores que participan en ID, mantengan el monitoreo pesquero cada vez que viajan a Desventuradas. Nuevamente viajaron pescadores a ID, pero el esfuerzo en número de embarcaciones se redujo a 3. Por otra parte, AS mantiene el desafío

de la reactivación de la participación de los pescadores para contar con un alto porcentaje de registros.

En relación con la ejecución del programa con los muestreadores científicos, este ha funcionado sin problemas. El desplazamiento de los investigadores se planifica con anticipación para evitar grandes retrasos, contar con el consentimiento de los pescadores en el caso de ID y de CONAF en AS. Se actuó de la misma forma para cubrir el comienzo de la temporada 2019/20. Afortunadamente se contó con espacio a comienzos de la temporada 2019/20 en la embarcación de cabotaje que opero entre el AJF e islas Desventuradas para transportar a nuestro investigador. En el caso del muestreo de peces y cangrejo, el embarque de los muestreadores en la pesquería de cangrejo es más difícil debido a que un menor número de embarcaciones se dedican a la actividad, sin embargo, se alcanza una mayor cobertura de las salidas mensuales dado que estas son pocas. La dinámica de las actividades de explotación de recursos marinos en el archipiélago cambia bastante durante la veda de la langosta, pese a ello, los muestreadores continúan desarrollando sus tareas para cumplir con los objetivos de cobertura de salidas de pesca.

## 5.2 Indicadores pesqueros

A comienzos de la temporada 2019/20, entre octubre y diciembre, se alcanzó un valor promedio de 0.31 langostas por trampa, representando el valor más bajo que se ha alcanzado en los 16 años de desarrollo del programa de monitoreo. Esta situación se revierte claramente en la segunda parte de la temporada, donde los rendimientos superan las 2 langostas retenidas por trampa levantada, para finalmente cerrar la temporada con tasas de captura de 1.3. Esto elevó el promedio de la temporada a niveles más altos de las últimas 8 temporadas. Sin embargo, los niveles de esfuerzo fueron significativamente menores que en otras temporadas, debido a la menor venta y precios más bajos por causa de la crisis sanitaria. Las bajas temperaturas experimentadas a comienzos de temporada en la plataforma insular de RCSC pudo haber influido sobre la distribución espacial del recurso, respecto de la distribución tradicional de las trampas a comienzo de temporada (costera), como a su vez en la disponibilidad de langostas de talla comercial no ovígeras (esta temporada la portación se manifestó anómalamente alta entre octubre y diciembre de 2020), redundando en extremadamente bajas tasas de captura. En AS por su parte, la CPUE de langostas retenidas ha mostrado cambios más conspicuos, manifestándose también una tendencia a la baja en el largo plazo. Tanto del inicio de las temporadas 2020/21 y 2021/22 mostraron niveles similares de CPUE, con valores cercanos a 1.1 langostas por trampas.

Una característica muy conspicua de las tasas de captura de langostas retenidas en cada uno de los subsistemas es que la CPUE global de la temporada está fuertemente vinculada a la CPUE de octubre o noviembre. Es decir, la CPUE de los primeros meses es un buen predictor de la CPUE de la temporada, como se mencionó. La serie temporal de CPUE presentada permite hacer alcances en cuanto a los cambios notables en los rendimientos, sobre todo en el subsistema RC-SC. Sin embargo, durante esta temporada este patrón predictivo se rompe, dado que a comienzos de la temporada los rendimientos fueron muy bajos y luego la temporada se finalizó con valores extremadamente altos. Esto resalta la condición anómala de la pasada temporada.

Los rendimientos de langostas no retenidas mostraron entre las temporadas 2010 y comienzos de la temporada 2021 una fuerte tendencia negativa en los rendimientos de pesca. En el caso del

subsistema AS, las tasas de captura promedio por temporada habían disminuido desde 26 langostas por trampa levantada (2010) hasta 12 (2020 y 2021), representando una disminución del 50%. En RC-SC estos cambios han sido aun más pronunciados pasando de 12 langostas no retenidas por trampa a 2.5, reflejando una disminución del 80% (Figura 91). Si bien las tasas de cambio no son las mismas en cada serie, en ambos subsistemas se aprecia una clara y sistemática tendencia a la baja en las tasas de captura de langostas que representan el reclutamiento hacia la pesquería. Esta situación genera gran preocupación, dado que el rendimiento de langostas no retenidas representa en gran medida el reclutamiento hacia la pesquería. Por otra parte, la talla media de langostas retenidas ha ido aumentando lenta, pero sistemáticamente en ambos subsistemas. Juntado esta información con la fuerte disminución en las tasas de captura de langostas no retenidas, se puede interpretar que, al bajar sistemáticamente el reclutamiento a la pesquería, debiera comenzar a aumentar la talla media de langostas retenidas dado que las langostas han escapado la pesquería, continúan en un proceso de crecimiento.

En el subsistema ID los rendimientos de langostas comerciales alcanzaron los valores más altos observados desde la temporada 2011/12, con cifras entorno a 7 langostas retenidas por trampa levantada. Esta alza se puede interpretar por la ausencia de pesca durante la temporada 2018/19.

A la luz de estos resultados se plantean hipótesis respecto de los elementos que podrían dar origen a esta disminución en las tasas de captura de langostas: (i) conductuales y relacionado con la motivación de entrar a la trampa (cambios en la capturabilidad de las trampas); (ii) reducción en el reclutamiento por efectos ambientales o procesos post-asentamiento; (iii) disminución en el stock desovante que afecte el reclutamiento. Los resultados obtenidos durante el año 2018 (Ernst et al., 2019) permitieron concluir que no ha existido una modificación sistemática en la separación de las varillas que constituyen las paredes de las trampas langosteras, ni ha aumentado el número de trampas con anillos de escape (solo un bajo porcentaje de la flota los utiliza), de tal forma que los cambios en la CPUE no retenida NO podría deberse a un cambio operacional en los aparejos. Respecto de la primera hipótesis, existe un componente ambiental y un componente biológico (alimentación) que puede afectar la capturabilidad de la trampa. A pesar de que la relación entre la serie de tiempo de rendimientos de langostas no retenidas y factores ambientales no ha resultado significativa (Ernst et al., 2019), durante comienzos de la temporada 2019/20 la TSM mostró una anomalía negativa extrema (importante dentro de la última década), una proporción sexual extremadamente asimétrica hacia los machos y una proporción inusualmente alta de hembra ovigeras. La disminución en la presencia de hembras en las capturas para estos primeros meses respecto de la serie de tiempo de RC-SC podría indicar un cambio conductual en los desplazamientos y distribución estacional (Roman et al. 2018). Si este cambio no fue adecuadamente detectado por los pescadores durante los primeros meses de pesca, explicaría los bajos rendimientos de comienzos de temporada. En la segunda parte de la temporada se marca una fuerte presencia de hembras en las capturas, situación esperable por la muda de verano de los machos. Este patrón fue diferente en AS, donde la temporada comienza con un claro sesgo en la proporción sexual hacia los machos.

Por otro lado, con la información disponible para el subsistema RC-SC no ha sido posible contrastar la hipótesis de un cambio en la disponibilidad de alimento en el ambiente, que compita con la oferta alimentaria de la trampa (carnadas), dado que no se identifica ni cuantifica el alimento de la langosta de Juan Fernández en este programa de monitoreo, teniendo solo información de la carnada utilizada. Sin embargo, la cuantificación de la fauna acompañante ha permitido constatar un

aumento importante en el número de erizos presentes en la zona de pesca, mostrando un máximo durante la temporada 2019/20. Factores ambientales no analizados en este contexto podrían afectar la hipótesis (ii), es decir factores que disminuyan la sobrevivencia de las larvas de langosta durante la fase larvaria hacia el asentamiento. Para contrastar cuantitativamente la hipótesis (iii) habría que utilizar un modelo demográfico, pero con la información disponible en literatura respecto de crecimiento somático de las langostas se debiera esperar un aumento importante en la fuerza del reclutamiento de la fracción vulnerable desde las temporadas 2016 en adelante, dado que los máximos de CPUE (entre los años 2006 y 2018) de langostas reproductivas (retenidas y no retenidas) ocurrió entre los años 2009 y 2011, pero en cambio se ha apreciado una disminución sistemática en la fracción que se recluta a la pesquería.

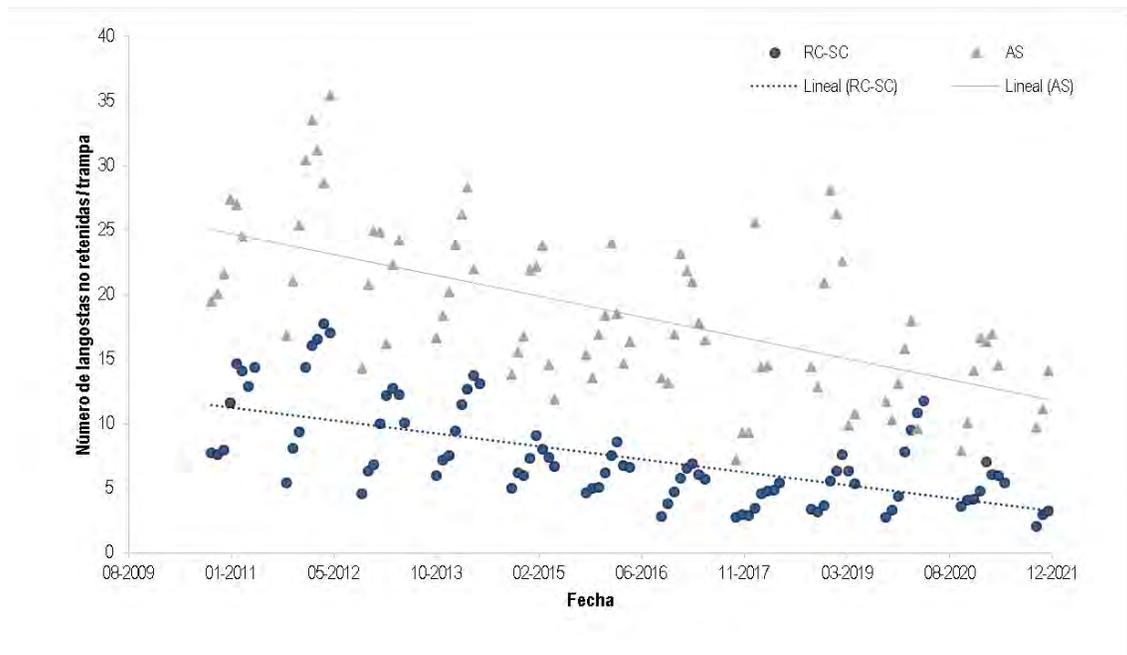


Figura 91 Tasas de captura de langostas no retenidas para los subsistemas RC-SC y AS entre las temporadas 2010/11 y 2020/21, por mes. Las líneas corresponden a la tendencia de cada serie.

Los niveles de esfuerzos totales (número de trampas levantadas por temporada) muestran tendencias distintas en los subsistemas AS y RC-SC. AS muestra una estabilidad entorno a las 32000 trampas levantadas entre el 2011 y 2015, luego una disminución en el 2016 para alcanzar los niveles previos en la temporada 2017 y finalmente una disminución en las últimas dos temporadas, llegando a 26006 trampas levantadas en la temporada 2020/21. En RC-SC en cambio se aprecia una tendencia a aumentar en el mismo periodo de 5 años desde 60000 a 90000, para bajar nuevamente en las últimas cuatro temporadas, llegando a un valor cercano a las 40000 trampas levantadas, atribuible principalmente a la baja comercialización.

El estudio de la CPUE del cangrejo dorado presenta desafíos respecto del de langosta de Juan Fernández, dado que se debe hacer un esfuerzo adicional para hacer comparables las estimaciones de CPUE a través de los años. En el presente trabajo se reportan las CPUEs esperadas para tallas

de 130, 120 y 110 mm de ancho de cefalotórax. Se ha apreciado desde años anteriores que la talla comercial acordada no representa una medida consistente de talla mínima y existiría una diferencia en tamaño entre los ejemplares que van a puerto para ser comercializados y los de consumo personal que estaría disminuyendo la talla de retención (*convs. pers.* Julio Chamorro Solís). La Figura 26 muestra oscilaciones temporales en la talla media de la captura de cangrejo dorado, marcando una tendencia negativa entre el período 2013 y 2020. Desde julio de 2018 la talla media de la captura retenida oscila cerca de 125 mm de AC.

Los programas de bitácoras de pesca que se han implementado desde el año 2006 en adelante en el archipiélago Juan Fernández han permitido describir cambios intra e interanuales, en las tasas de captura para langostas retenidas y no retenidas de AS y RC-SC (Ernst et al., 2010; 2013), algo impensado en la década de los 1980s y 1990s, donde se recopilaba información generalmente cada 10 años. Esto ha generado un gran cambio en el volumen de la información disponible para el desarrollo de una evaluación de stock y para el manejo. En recursos bentónicos como langostas la inferencia respecto de la dinámica poblacional del recurso NO se apoya en evaluaciones directas, sino en indicadores generados directamente del proceso de pesca (CPUE, estructuras de tallas, capturas, etc), dado la inviabilidad de obtener datos independientes por restricciones operacionales. Debido a las restricciones espaciales que impone el sistema de marcas a usuarios y vecinos (Ernst et al., 2013; Steneck et al., 2017), no se producirían procesos negativos como depleción secuencial e hiper estabilidad en los indicadores, situaciones que comprometen negativamente la calidad de los indicadores.

Estimaciones de captura obtenidas a través de nuestro programa de seguimiento que se basa en niveles censales de esfuerzo y estimaciones muestrales de CPUE permiten obtener niveles y tendencias de captura total de langostas de Juan Fernández cercanas a lo reportado en los anuarios y bases de datos por salida de pesca de SERNAPESCA entre las temporadas 2011/12 y 2019/20.

### 5.3 Indicadores biológicos

Como ha sido reportado anteriormente, el patrón de portación es conservativo, inicia la temporada con un alto porcentaje de hembras portando y va decreciendo con el avance de la temporada (Arana et al., 2006a; Ernst et al., 2013b; Ernst et al., 2015). Este comportamiento se marca mucho más en RC-SC ya que, en AS, aunque el decrecimiento en la proporción de portación es progresivo, las capturas durante la temporada dejan entrever un nuevo aumento hacia el final de la temporada, asociado a hembras de mayor tamaño que comienzan a portar huevos nuevamente. Si se considera que las hembras empezarían la muda entre abril hasta mediados de junio (Dupré y Guisado, 1996) y que existe una baja presencia de hembras mayores portando dentro de la temporada, cabe esperar que éstas estén portando antes del inicio de la temporada de pesca. Sin embargo, el período octubre-diciembre 2019 rompió con este patrón, mostrando niveles inusualmente altos de hembras portadoras, bajo un año con anomalías extremadamente negativas en la TSM.

En cuanto a la proporción sexual en las capturas totales, tanto en RCSC y AS suele predominar la captura de hembras, sobre todo a comienzos de temporada. Sin embargo, al igual que la condición anómala observada a comienzos de temporada para la proporción de portación, la presencia de hembras fue extramende baja en las capturas en ese mismo período. Esto podría atribuirse a un desfase temporal en la migración océano-costa que experimentan estacionalmente las langostas (Román et al 2017). Las

condiciones ambientales pudieron haber modificado el patrón clásico de desplazamiento de langostas comerciales costeras a comienzo de temporada.

La situación para la pesquería de cangrejo dorado también es conservativa. Las capturas siguen siendo sostenidas por machos, los que son en gran medida retenidos, mientras que las hembras son escasas y las hembras portando huevos no aparecieron en las capturas muestreadas durante el periodo analizado. Destaca una mayor proporción de hembras presentes en las capturas de la zona 3, al sureste de la isla Robinson Crusoe, a la fecha se había identificado la mayor presencia de hembras en caladeros ubicados frente a la bahía. El particular dominio de machos en la pesquería es también común en otras especies de gerionidos puesto que se caracterizan por la segregación de los sexos en relación a la profundidad, variando durante el ciclo anual debido a las zonas de copulación y desove (Pinho *et al.*, 2001; Gutiérrez *et al.*, 2011). Reconociendo que a menor profundidad es mayor la probabilidad de encontrar hembras (Ahumada y Arana, 2009) (las que por tamaño no son rentables), los pescadores tienden a evitar dichos lugares, pues disminuyen sus rendimientos y movidos por fines de conservación de la especie.

El seguimiento de los indicadores biológicos de las pesquerías es información importante para evaluar si las medidas administrativas implementadas cumplen con los objetivos propuestos, como la protección del potencial reproductivo de hembras. La distribución de tallas de los ejemplares capturados da cuenta de la estructura de tallas de la población de crustáceos vulnerable, aportando al análisis del estado de la población. La base de datos continua que se ha venido gestando en los últimos 14 años respecto de tasas de captura y desde 2011, respecto de información biológica, permitirá parametrizar un modelo de evaluación de stock para cada subsistema. De esta forma el comité de manejo se podrá nutrir en su gestión directamente sobre los indicadores o a través de los resultados de la modelación.

La talla media de madurez sexual para hembras de breca, a la luz de estos nuevos resultados, es similar a la obtenida por Rivara (2013), 283 mm y 296 mm, respectivamente. Sin embargo, se debe indicar que el modelo estadístico utilizado en el presente trabajo (verosimilitud binomial) tiene una estructura de error más apropiada que lo reportado por Rivara (2013), quien utilizó suma de cuadrados.

A pesar de que se incrementó en forma importante el tamaño muestral de ejemplares de hembras pequeñas, aún persiste la necesidad de obtener unos 30 ejemplares en el rango de tallas entre 190 y 260 mm de longitud de horquilla.

#### 5.4 Investigaciones de erizos

Los resultados de la última expedición científica demuestran una disminución de la riqueza de especies sésiles comparado a años anteriores (2014, 2017). La disminución de la riqueza se encuentra acompañada por un aumento de los fondos blanqueados tanto en sitios protegidos como expuestos de la isla (> 70% de la cobertura). En los sitios protegidos la cobertura de algas pardas fue de aproximadamente 1% mientras que en las zonas expuestas entre 15-18%. Similar a lo encontrado en expediciones anteriores, los sitios expuestos presentaron mayor diversidad de especies comparado con los sitios protegidos.

Respecto a los invertebrados móviles se observó un aumento en su abundancia principalmente debido a la presencia de un número mayor de erizos *Centrostephanus* sp., registrándose abundancias >30 ind\*m<sup>2</sup> en los sitios de la zona protegida. La composición de invertebrados móviles mostró diferencias espaciales y temporales. Las abundancias registradas durante 2020 representaron casi el doble de las abundancias de erizos reportadas anteriormente por Friedlander *et al.* (2016, 2017). Adicionalmente, en comparación a años anteriores se observó una disminución de la abundancia de pepinos *Mertensiothuria platei* en las zonas expuestas.

Por último, en esta expedición se demostró por primera vez que las abundancias de *Centrostephanus* sp. son similares en ambas zonas de la isla, contrario a los publicados en estudios de Friedlander *et al.* (2016, 2017), los cuales muestran una mayor abundancia de erizos en la zona protegida de la isla en comparación con la zona expuesta.

En 2020, las abundancias de los peces fueron similares entre sitios someros y profundos en cada zona de la isla, y a su vez entre ambas zonas de la isla. Sin embargo, las biomásas registradas fueron diferente entre los sitios someros y profundos para cada zona, y entre ambas zonas de la isla. La diferencia obtenida puede estar relacionada a una mayor abundancia de *Pseudolabrus gayi* y *Caprodon longimanus*.

En términos generales tanto la composición de especies, las abundancias, y las biomásas de peces mostraron diferencias espaciales y temporales. Finalmente, se observó una disminución de la abundancia y biomasa del pez carnívoro *Pseudocaranx chilensis* a través de los años. Estudios han demostrado que especies de este género depredan sobre erizos. Sin embargo, se requieren mayores estudios para establecer posibles causas del aumento explosivo de *Centrostephanus* sp. en el bentos somero de la isla de Robinson Crusoe.

Por otra parte, nuestros resultados sugieren que esta especie de erizo tiene un marcado ciclo reproductivo estacional. La maduración de la gónada ocurre durante el verano/otoño con la subsecuente liberación de gametos durante el invierno. Este desove estacional durante el invierno concuerda con lo reportado para otras especies del mismo género (Pecorino *et al.*, 2012). Los erizos del género *Centrostephanus* son especies dioicas (sexos separados), aunque ocasionalmente se han encontrado individuos hermafroditas (King *et al.* 1994). La madurez sexual se alcanza con un diámetro de 40-60 mm (King *et al.* 1994; Pecorino *et al.* 2012) y se ha reportado un pick de desove invernal (junio-agosto) (Byrne *et al.*, 1998; Ling *et al.*, 2008; Pecorino *et al.*, 2012). En este contexto, Byrne *et al.* (1998) encontraron un desarrollo sincrónico de gónadas a lo largo de siete grados de latitud, sugiriendo que la gametogénesis y el desove estarían controlados por factores abióticos como el fotoperíodo y/o ciclos lunares (Pearse & Cameron, 1991). El período de desove invernal puede durar solo un mes en algunos años y/o también pudiendo extenderse si la temperatura del mar permanece fría (Byrne *et al.*, 1998).

A nivel comunitario los erizos desempeñan un rol clave como controladores de las poblaciones algales y cuando sus poblaciones aumentan pueden generar una disminución dramática de la biodiversidad generando fondos blanqueados (Filbee-Dexter & Scheibling, 2014). Desde la ejecución de programas de monitoreo anteriores (Ernst *et al.*, 2021) se ha observado el incremento de erizos por trampa, así como la expansión de su distribución a distintos sectores y profundidades alrededor de la isla Robinson Crusoe y Santa Clara y el año 2021 no es la excepción observándose

una expansión hacia los sectores del sur de la isla Robinson Crusoe. Es en el subsistema RC-SC donde dominan la fauna acompañante registrada. Dar continuidad a las expediciones submareales y monitoreo de acciones en relación al erizo es de suma importancia ya que permite evaluar las condiciones de riqueza de especies en relación al aumento de fondos blanqueados y la posibilidad interpretar las condiciones en otros sectores y a otras profundidades.

## 5.5 Indicadores ambientales

Durante el 2021 se identificaron las mismas tendencias observadas desde 2017 en variables como el número de remolinos, presión y temperatura (superficial y columna de agua). Además de la continuación de la intensificación del Anticiclón del Pacífico Sur (IPPS) y la tendencia negativa de la Oscilación Interdecadal del Pacífico (ITP), el IMAS ha retomado desde 2020 su tendencia a valores positivos.

En relación con la actividad de los remolinos de mesoescala en los sistemas, se ha visto un aumento importante en el número total de remolinos (Figura 75 a, Figura 76 a, Figura 77 a). En RC-SC y AS, continúa la tendencia positiva registrada desde 2017. Esta continuidad de las anomalías respecto a la climatología, a pesar de la falta en el arribo de remolinos anticiclónicos a estos sistemas (Figura 76 c, Figura 77 c), es explicado por el significativo aumento en la llegada de remolinos ciclónicos en ambos sistemas (Figura 76 b, Figura 77 b). En particular, en RC-SC el arribo de estos remolinos presentó 2 eventos extremos de llegada de remolinos ciclónicos (marzo y mayo/2021), en AS solo se observa 1 evento de esta magnitud (marzo/2021). Es importante considerar el número de eventos que ocurran durante el año 2022, de mantenerse este tipo de diferencia en el número de eventos extremos de remolinos ciclónicos, podría significar un aumento significativo de nutrientes debido al transporte costa afuera y el bomeo propio de estos remolinos (Chaigneau y Pizarro, 2005), sobre todo en RC-SC y su cercanía a la costa. Esta tendencia podría tener repercusiones ecosistémicas, las que podrían llegar a mostrar señales tempranas en RC-SC (versus AS) debido al mayor número de remolinos.

En cuanto a ID, la tendencia negativa en el número de remolinos total presentada desde 2017 hasta 2019 cambió el año 2020 llegando a valores positivos extremos (Figura 77 a), tendencia que se mantuvo hasta marzo/2021, volviendo a descender abruptamente la llegada de remolinos ciclónicos en abril-mayo/2021 (Figura 77 b). La disminución de los remolinos ciclónicos en marzo fue compensada (en el número total de remolinos) levemente por un aumento de remolinos anticiclónicos (Figura 77 c).

El aumento en el número de remolinos totales durante 2020 y principios de 2021, así como el incremento en el número de remolinos ciclónicos en estos sistemas insulares podría reflejar la respuesta a una oscilación o estructura diferida a la que está respondiendo RC-SC y AS. En cuanto a ID, estaría respondiendo de manera diferida a las islas de AJF, volviendo a su tendencia negativa presentada desde 2017. Estas condiciones favorecerían la búsqueda por entender la disminución de remolinos anticiclónicos de 2020 en RC-SC y AS (Figura 75 c, Figura 76 c) y los posibles agentes de modulación utilizando los indicadores climáticos.

Los patrones de variabilidad de las anomalías anuales de SST de los sistemas de AJF y ID (Figura 79) muestran una similitud importante entre sistemas, teniendo correlaciones de 0.94 AS y RC-SC,

0.87 ID y AS, y 0.92 ID y RC-SC. Este resultado no solo nos muestra tal similitud sino que también nos sugiere que los sistemas están respondiendo de manera similar frente a una oscilación o propagación de estructuras costa afuera, pudiendo ser inclusive ondas de Rossby (Vega et al., 2003).

Si consideramos las tendencias negativas presentes desde 2017, las que tuvieron una reducción en 2020, podríamos suponer la presencia de estructuras de mesoescala que responden de manera similar que la generación de remolinos y sus tendencias desde el 2017 en los archipiélagos. Esta señal es observable en la columna de agua y podría explicar el leve aumento de las temperaturas de 2020 (Figura 81, Figura 82, Figura 83) y quizás la superficialización de la isoterma de 13°C entre finales de 2020 y mayo/2021 (Figura 81) debido al incrementos de remolinos ciclónicos, la disminución de remolinos anticiclónicos en los subsistemas y la mezcla de la columna de agua.

La variación en las tendencias de SST, temperatura de la columna de agua, número de remolinos en 2020, podría ser explicado por un lado por la disminución en la tendencia negativa del ITP entre 2019-2020 (Figura 78 b) y las variaciones en el iMAS en 2019 (Figura 78 d) que podrían haber mostrado una señal tardía en los archipiélagos. De ser una señal de estas modulaciones, sería interesante entender los mecanismos físicos que modulan a los sistemas de islas a partir de estas oscilaciones y su influencia en el Pacífico Sur Oriental. Por otro lado, las diferencias en las tendencias de los remolinos entre archipiélagos, en relación a las anomalías de EKE (Figura 74) muestra una señal de modulación similar a la SST en ID (Figura 74 c) no así en las islas de AJF (Figura 74 a, b).

A través del análisis con modelos lineales de distribución gaussiana no se encontraron relaciones significativas entre las variables ambientales y los rendimientos de capturas de langostas retenidas y no retenidas. Solo las variables temperatura y oxígeno explicaron en mayor grado a varianza de los rendimientos de langostas, sin embargo, sus valores de significancia se consideran bajos.

## 6 CONCLUSIONES

---

1. Los programas de bitácoras de pesca que se han implementado desde el año 2006 en adelante en el archipiélago Juan Fernández han permitido describir cambios intra e interanuales, en las tasas de captura para langostas retenidas y no retenidas de AS y RC-SC.
2. El seguimiento de los indicadores biológicos de las pesquerías es información importante para evaluar si las medidas administrativas implementadas cumplen con los objetivos propuestos, como la protección del potencial reproductivo de hembras.
3. Estimaciones de captura obtenidas a través de nuestro programa de seguimiento que se basa en niveles censales de esfuerzo y estimaciones muestrales de CPUE permiten obtener niveles y tendencias de captura total de langostas de Juan Fernández cercanas a lo reportado en los anuarios y bases de datos por salida de pesca de SERNAPESCA entre las temporadas 2011/12 y 2019/20.
4. Las bajas temperaturas experimentadas a comienzos de temporada en la plataforma insular de RC-SC pudieron haber influido sobre la distribución espacial del recurso, como a su vez en la disponibilidad de langostas de talla comercial no ovígeras, redundando en extremadamente bajas tasas de captura. En AS la CPUE de langostas retenidas ha mostrado cambios más conspicuos, pero sin una clara tendencia de largo plazo. En el subsistema ID los rendimientos de langostas comerciales alcanzaron los valores más altos observados desde la temporada 2011/12, con cifras en torno a 7 langostas retenidas por trampa levantada.
5. La cuantificación de la fauna acompañante ha permitido constatar un aumento importante en el número de erizos presentes en la zona de pesca, mostrando un máximo durante la temporada 2019/20.
6. El patrón de portación es conservativo, inicia la temporada con un alto porcentaje de hembras portando y va decreciendo con el avance de la temporada. Este comportamiento se marca mucho más en RC-SC ya que, en AS, aunque el decrecimiento en la proporción de portación es progresivo, las capturas durante la temporada dejan entrever un nuevo aumento hacia el final de la temporada, asociado a hembras de mayor tamaño que comienzan a portar huevos nuevamente.
7. La situación para la pesquería de cangrejo dorado es conservativa. El esfuerzo es bajo en comparación a la pesquería de langosta. Las capturas siguen siendo sostenidas por machos, los que son en gran medida retenidos, mientras que las hembras son escasas y las hembras portando huevos no aparecieron en las capturas muestreadas durante el periodo analizado.
8. La talla media de madurez sexual para hembras de breca, a la luz de estos nuevos resultados es similar a la obtenida por Rivara (2013), 283 mm y 296 mm

9. Los resultados de la última expedición científica demuestran una disminución de la riqueza de especies sésiles comparado a años anteriores y es acompañada por un aumento de los fondos blanqueados tanto en sitios protegidos como expuestos de la isla RC.
10. La especie de erizo tiene un marcado ciclo reproductivo estacional. La maduración de la gónada ocurre durante el verano/otoño con la subsecuente liberación de gametos durante el invierno. Este desove estacional durante el invierno concuerda con lo reportado para otras especies del mismo género. Los erizos del género *Centrostephanus* son especies dioicas (sexos separados), aunque ocasionalmente se han encontrado individuos hermafroditas.
11. A nivel comunitario los erizos desempeñan un rol clave como controladores de las poblaciones algales y cuando sus poblaciones aumentan pueden generar una disminución dramática de la biodiversidad generando fondos blanqueados. Dar continuidad a las expediciones submareales y monitoreo de acciones con relación al erizo es de suma importancia ya que permite evaluar las condiciones de riqueza de especies en relación con el aumento de fondos blanqueados y la posibilidad interpretar las condiciones en otros sectores y a otras profundidades alrededor de las islas de AJF.

## 7 REFERENCIAS

---

- AGROMET, 2019 y 2020. Informes mensuales de monitoreo e información agroclimática 2019 y 2020. <https://www.agromet.cl/informes>
- Aguirre, C., S. García-Loyola, G. Testa, D. Silva, L. Farias. 2018. Insight into anthropogenic forcing on coastal upwelling off south-central Chile. *Elem Sci Anth*, 6(1).
- Ahumada, M., y Arana, P. 2009. Pesca artesanal de cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37 (3): 285-296
- Aiken, C. M., S. A. Navarrete, J. L. Pelegrí. 2011. Potential changes in larval dispersal and alongshore connectivity on the central Chilean coast due to an altered wind climate. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G4).
- Aiken, C. M., S. A. Navarrete, J. L. Pelegrí. 2011. Potential changes in larval dispersal and alongshore connectivity on the central Chilean coast due to an altered wind climate. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G4).
- Akima, H. 1970. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. *Journal of the ACM (JACM)*, 17(4), 589-602.
- Alvera-Azcárate, A., Barth, A., Rixen, M., y Beckers, J.M. 2005. Reconstruction of incomplete oceanographic data sets using Empirical Orthogonal Functions. Application to the Adriatic Sea surface temperature. *Ocean Modelling*, 9, 325-346.
- Alvera-Azcárate, A., Barth, A., Beckers, J. M., & Weisberg, R. H. 2007. Multivariate reconstruction of missing data in sea surface temperature, chlorophyll, and wind satellite fields. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(C3).
- Ancapichún, S., J. Garcés-Vargas. 2015. Variability of the Southeast Pacific Subtropical Anticyclone and its impact on sea surface temperature off north-central Chile. *Ciencias Marinas*, 41(1), 1-20.
- Anderson, C. R., S. K. Moore, M. C. Tomlinson, J. Silke, C. K. Cusack. 2015. Living with harmful algal blooms in a changing world: strategies for modeling and mitigating their effects in coastal marine ecosystems. In *Coastal and Marine Hazards, Risks, and Disasters* (pp. 495-561). Elsevier.
- Andrade, I., S. E. Hormazabal, M. A. Correa-Ramirez. 2012. Ciclo anual de la clorofila-*a* satelital en el archipiélago de Juan Fernández (33° S), Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 40(SPECISSUE), 657-667.
- Andrade, I., S. Hormazabal, V. Combes. 2014a. Intrathermocline eddies at the Juan Fernández Archipelago, southeastern Pacific Ocean. Submission article platform-Latin American Journal of Aquatic Research, 42(4).
- Andrade, I., P. Sangrà, S. Hormazabal, M. Correa-Ramirez. 2014b. Island mass effect in the Juan Fernández Archipelago (33°S), southeastern Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 84, 86-99.

- Andrade, I., S. Hormazábal, M. Correa-Ramírez. 2017. Time-space variability of satellite chlorophyll-a in the Easter Island Province, southeastern Pacific Ocean. Submission article platform-Latin American Journal of Aquatic Research, 42(4).
- Arana, P., E. Dupré, V. Gaete. 1985. Ciclo reproductivo, talla de primera madurez sexual y fecundidad de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*). Investigaciones marinas en el Archipiélago de Juan Fernández, 187-211.
- Arana, P. 1987. Perspectiva histórica y proyecciones de la actividad pesquera realizada en el archipiélago de Juan Fernández. En: **"Islas Oceánicas Chilenas: Nuestro Conocimiento y Necesidades Futuras"**. J.C. Castilla (ed.), Tinker Foundation, USA y P. Universidad Católica de Chile. Santiago.
- Arana, P., Yañez, E., Olate, C., Silva, C., y Vega, R. 1997. Análisis y evaluación indirecta de la pesquería de la langosta en el Archipiélago de Juan Fernández. Informe Final Proyecto FIP 96-22. Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 217 pp.
- Arana, P. 2000a. Pesca exploratoria con trampas alrededor de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara, archipiélago Juan Fernández, Chile. *Investigaciones Marinas*, 28: 39-52.
- Arana, P. 2000b. Estimación de abundancia y biomasa del cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*), en el archipiélago Juan Fernandez, Chile. *Investigaciones Marinas*, 28: 53-68.
- Arana, P., Palma, S., Guerrero, A., Ahumada, M., y Jofré, A. 2006a. Monitoreo biológico-pesquero de la langosta y cangrejo dorado en el Archipiélago Juan Fernández. (Proyecto FIP No 2004-48). Informe Final. Estud. Doc. Pont. Univ. Católica Valparaíso, 32/2006: 288 pp.
- Arana, P., Ahumada, M., Guerrero, A., Espejo, V., Yañez, E., Silva, C., Ernst, B. y Orensanz, J.M. 2006b. Evaluación de stock y distribución de la langosta y el cangrejo dorado en el Archipiélago Juan Fernández (Proyecto FIP 2005-21). Informe final. Estud. Doc., Pontificia Universidad Católica, Valparaíso, 27/2006: 257p.
- Arana, P., y Vega, R. 2000. Pesca experimental del cangrejo dorado (*Chaceon chilensis*) en el archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Investigaciones Marinas*, 28: 69-81.
- Aumont, O., C. Ethé, A. Tagliabue, L. Bopp, and M. Gehlen (2015). PISCES-v2: An ocean biogeochemical model for carbon and ecosystem studies, *Geosci. Model Dev.*, 8(8), 2465–2513, doi:10.5194/gmd-8-2465-2015.
- 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.
- Battaile, B., y Quinn, T. 2004. Catch per unit effort standardization of the eastern Bering Sea walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) fleet. *Fisheries Research* 70: 161-177.

- Beckers, J. M., A. Barth, A. Alvera-Azcárate, A. 2006. DINEOF reconstruction of clouded images including error maps? application to the Sea-Surface Temperature around Corsican Island. *Ocean Science*, 2(2), 183-199.
- Beckers, J.M., y Rixen, M. 2003. EOF calculations and data filling from incomplete oceanographic data sets. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20 (12):1839-1856.
- Belmadani, A., V. Echevin, B. Dewitte, F. Colas. 2012. Equatorially forced intraseasonal propagations along the Peru-Chile coast and their relation with the nearshore eddy activity in 1992–2000: A modeling study. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C4).
- Blanco J.L., M.E. Carr, A.C. Thomas, P.T. Strub. 2002. Hydrographic conditions off northern Chile during the 1996–1998 La Niña and El Niño events. *J. Geophys. Res.* 107(C3): 3-1–3-19.
- Boyer Montégut, C., G. Madec, A. S. Fischer, A. Lazar, D. Iudicone, D. 2004. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C12).
- Brainerd, K. E., M. C. Gregg. 1995. Surface mixed and mixing layer depths. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 42(9), 1521-1543.
- Buschmann, A., L. Farías, F. Tapia, D. Varela, M. Vásquez, M. 2016. Informe Final Comisión Marea Roja. Academia Chilena de Ciencias.
- Byrne, M., Andrew, N. L., Worthington, D. G., & Brett, P. A. (1998). Reproduction in the diadematoïd sea urchin *Centrostephanus rodgersii* in contrasting habitats along the coast of New South Wales, Australia. *Mar. Biol.* 132: 305-318.
- Cai, W., P. H. Whetton, D. J. Karoly. 2003. The response of the Antarctic Oscillation to increasing and stabilized atmospheric CO<sub>2</sub>. *Journal of Climate*, 16(10), 1525-1538.
- Cardenas, J.C., Yañez, J.L., Reyes, J.C. & Van Waerebeek, K. 1991. Nuevos registros de cetáceos para el archipiélago Juan Fernández, Chile. *Bol. Mus. Hist. Nat. Chile*, 42: 113-120.
- Carr M.E., P. T. Strub, A. C. Thomas, J. L. Blanco. 2002. Evolution of 1996–1999 La Niña and El Niño conditions off the western coast of South America: A remote sensing perspective. *J. Geophys. Res.* 107(C12): 29-1–29-16.
- Censo, 2017. <https://resultados.censo2017.cl/Region?R=R05>
- Chaigneau, A., A. Gizolme, C. Grados, C. 2008. Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 106-119.
- Chaigneau, A., O. Pizarro. 2005. Eddy characteristics in the eastern South Pacific. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C6).

- Chambers, J.M. y T.J. Hastie. 1992. *Statistical Models in S*, Wadsworth & Brooks/Cole.
- Chelton, D. B., M. G. Schlax, R. M. Samelson. 2011). Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, 91(2), 167-216.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., Samelson, R. M., de Szoeke R. A., 2007. Global observations of large oceanic eddies. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L15606. <http://dx.doi.org/10.1029/2007GL030812>.
- Cheng, Y. H., Ho, C. R., Zheng, Q. N., Kuo, N. J., 2014. Statistical characteristics of mesoscale eddies in the North Pacific derived from satellite altimetry. *Remote Sens.*, 6, 5164-5183. <https://doi.org/10.3390/rs6065164>.
- CIIFEN, 2020. Informe mensual del Centro Internacional para la Investigación de El Niño. <http://www.ciifen.org/>
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. John Wiley & Sons, New York
- Colas, F., J. C. McWilliams, X. Capet, J. Kurian, J. 2012. Heat balance and eddies in the Peru-Chile current system. *Climate dynamics*, 39(1-2), 509-529.
- Cook, R.D. 1977. Detection of influential observation in linear regression. *Technometrics*, 19: 15-18.
- Correa-Ramírez, M. A., S. Hormazábal, y G. Yuras. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29–39 S). *Geophysical Research Letters*, 34(12).
- Correa-Ramírez, M.A., Hormazabal, S., y Morales, C.E. 2012. Spatial patterns of annual and inter-annual surface chlorophyll-a variability in the Peru–Chile Current System. *Progress in Oceanography*, 92, 8–17.
- Corredor-Acosta, A., Morales, C.E., Hormazabal, S., Andrade, I., y Correa-Ramirez, M.A. 2015. Phytoplankton phenology in the coastal upwelling region off central-southern Chile (35° S–38° S): Time-space variability, coupling to environmental factors, and sources of uncertainty in the estimates. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(2), 813-831.
- Croquette M, Eldin G, Grados C, Tamayo M. 2007. On differences in satellite wind products and their effects in estimating coastal upwelling processes in the south-east Pacific. *Geophys. Res. Lett.* 34(11). <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL027538>.
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, Beljaars A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kállberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.J., Park, B.K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.N., y Vitart, F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137: 553–597. doi:10.1002/qj.828

- Dobson A.J. 2002. Introduction to generalized linear models, 2nd edn. Chapman and Hall, London.
- Dowling, N., Dichmont, C., Haddon, M., Smith, D.C., Smith, A.D.M., Sainsbury K. 2014. Empirical harvest strategies for data-poor fisheries: A review of the literature. *Fisheries Research*. 171. 10.1016/j.fishres.2014.11.005.
- Dowling, N., Wilson, J., Rudd, M., Babcock, E., Caillaux, M., Cope, J., Dougherty, D., Fujita, R., Gedamke, T., Gleason, M., Hordyk, A., Maina, G., Mous, P.J., Ovando, D., Parma, A., Prince, J., Revenga, C., Rude, J., Victor, S. 2016. FishPath: A Decision Support System for Assessing and Managing Data- and Capacity- Limited Fisheries. 10.4027/amdlfs.2016.03.
- Dowling, N. A., Wilson, J. R., Rudd, M. B., Babcock, E. A., Caillaux, M., Cope, J., Victor, S. 2016. FishPath: A Decision Support System for Assessing and Managing Data- and Capacity- Limited Fisheries. In *Assessing and Managing Data-Limited Fish Stocks*.
- Dupré E., y Guisado, Ch. 1996. Identificación de los primeros estados de phyllosoma de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*) mantenidos en laboratorio. *Investigaciones Marinas*, 24: 39-50.
- Dyer B, M Westneat. (2010). Taxonomy and biogeography of the coastal fishes of Juan Fernández Archipelago and Desventuradas islands, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45 (1): 589-618.
- Echevin V, Goubanova K, Belmadani A, Dewitte B (2012) Sensitivity of the Humboldt Current system to global warming: a downscaling experiment of the IPSL-CM4 model. *Climate Dynamics*, 38, 761–774.
- 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 Archipiélago, Chile.** *PLoS ONE*, 5 (11), e13670. doi:10.1371/journal.pone.0013670.
- Ekman, V. W. 1902. Om jordrotationens inverkan på vindströmmar i hafvet. Centraltryck.
- Emery, W.J., y Thomson, R.E. 2004. Data analysis methods in physical oceanography. Elsevier, 638 pp.
- Ernst, B., Manríquez, P., Orensanz, J.M., Roa, R., Chamorro, J., y Parada, C. 2010a. Strengthening of a traditional territorial tenure system through protagonism in monitoring activities by lobster fishermen from Juan Fernandez Islands (Chile). *Bulletin of Marine Science*, 86: 315-338.
- Ernst, B., Parada, C., Manríquez, P., Chamorro, J., y Retamal, P. 2010b. Dinámica poblacional y pesquera de la langosta en la isla Alejandro Selkirk” (**Proyecto FIP No 2008-24**).
- Ernst, B., Orensanz, J.M., Manriquez, P., Chamorro, J., Roman, C., y Porobic, J. 2011. Monitoreo a la pesquería de crustáceos en el archipiélago Juan Fernández, año 2011” (**Proyecto FIP N°4728-49-LE11**).

- Ernst, B., Orensanz, J.M., Manríquez, P., Chamorro, J., Roman, C., Porobic, J., y Rivara, P. 2012. **Monitoreo a la pesquería de crustáceos en el archipiélago Juan Fernández, año 2011** (Proyecto FIP N°4728-36-LP12).
- Ernst, B., Chamorro, J., Manríquez, P., Orensanz, J.M., Parma, A.M., Porobic, J., y Román, C. 2013. Sustainability of the Juan Fernández lobster fishery (Chile) and the perils of generic science-based prescriptions. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 23: 1381-1392.
- Ernst, B., Pino, J., Chamorro, J., Manríquez, P., Rivara, P., y Porobic, J. 2015. **“Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales, año 2014. Pesquerías de Crustáceos del archipiélago Juan Fernández”**. Instituto de Fomento Pesquero
- Ernst, B., Parada, C., Chamorro, J., Manríquez, P., Pino, J., Tapia, B., Sandoval, M. y Cornejo, S. 2019. Informe Final 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., Pino, J., Chamorro, J., Manríquez, P., Tapia, B., Sandoval, M., Cornejo, S. y Yáñez, R. 2020. Informe Final Ejecución del proyecto de seguimiento de crustáceos de Juan Fernández (2019). Instituto de Fomento Pesquero.
- Ernst, B., Parada, C., Chamorro, J., Manríquez, P., Pino, J., Tapia, B., Cornejo, S y Yáñez, R. 2021. Informe Final Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales, año 2020. Pesquerías de Crustáceos del archipiélago Juan Fernández. Instituto de Fomento Pesquero
- Escribano, R., G. Daneri, L. Farías, V. A. Gallardo, H. E. González, D. Gutiérrez, C. B. Lange, C. E. Morales, O. Pizarro, O. Ulloa, M. Braun. 2004. Biological and chemical consequences of the 1997–1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(20-21), 2389-2411.
- FAO, 2005. Guía del administrador pesquero. Medidas de ordenación y su aplicación. DOCUMENTO TÉCNICO DE PESCA 424. Roma, Italia. ISBN 92-5-304773-9
- Fell F. (1975). The echinoid genus *Centrostephanus* in the South Pacific Ocean with a description of a new species. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 5: 179–193. <https://doi.org/10.1080/03036758.1975.10419371>.
- Filbee-Dexter K, R Scheibling. (2014). Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems. *Marine Ecology Progress Series* 495: 1–25. <https://doi.org/10.3354/meps10573>
- FisioAqua/Oceana. 2014. Isla Robinson Crusoe Biodiversidad Marina. Expedición realizada en Enero de 2014.

- Flores, M.A., Schlatter, R.P. & HucKe-Gaete, R. 2014. Seabirds of Easter Island, Salas y Gómez Island and Desventuradas Islands, southeastern Pacific Ocean. *Latin american journal of aquatic research*, 42(4): 752-759.
- Fogt, R. L., J. Perlwitz, A. J. Monaghan, D. H. Bromwich, J. M. Jones, G. J. Marshall. 2009. Historical SAM variability. Part II: Twentieth-century variability and trends from reconstructions, observations, and the IPCC AR4 models. *Journal of Climate*, 22(20): 5346-5365.
- Forecasting Project Rep. 1, MIT Department of Meteorology, 49 pp.
- Friedlander, A. M., Ballesteros, E., Beets, J., Berkenpas, E., Gaymer, C. F., Gorny, M., and Sala, E. **2013. "Effects of isolation and fishing on the marine ecosystems of Easter Island and Salas y Gómez, Chile,"** *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.*, **23**, 515–531. doi:10.1002/aqc.2333
- Friedlander, A.M., Ballesteros, E., Caselle, J.E., Gaymer, C.F., Palma, A.T., Petit, I., Varas, E., Wilson, A.M., Sala, E. 2016. Marine biodiversity in Juan Fernández and Desventuradas Islands, Chile: global endemism hotspots. *PloS ONE* 11(1):e0145059.
- Friedlander, A., Ballesteros, E., Berkenpas, E., Betz, J., Giddens, J., Gorny, M., Hinojosa, I., et al. 2017. Archipiélago de Juan Fernández: biodiversidad marina y necesidades de conservación. Informe Final National Geographic-Pristine Seas. 25 pages.
- Fuenzalida R., W. Schneider, J. Garcés-Vargas, L. Bravo. 2008. Satellite altimetry data reveal jet-like dynamics of the Humboldt Current. *J. Geophys. Res.* 113(C7).
- Ganzedo, U., Alvera-Azcarate, A., Esnaola, G., Ezcurra, A., Saenz, J. 2011. Reconstruction of sea surface temperature by means of DINEOF: a case study during the fishing season in the Bay of Biscay. *International journal of remote sensing*, 32(4), 933-950.
- Garreaud, R., D. S. Battisti. 1999. Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the Southern Hemisphere tropospheric circulation. *Journal of Climate*, 12(7), 2113-2123.
- Garreaud, R. D., M. Falvey. 2009. The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. *International Journal of Climatology*, 29(4), 543-554.
- Garreaud, R., Rutllant, J., y Fuenzalida, H. 2002. Coastal lows in north central Chile: Mean structure and evolution, *Monthly Weather Review*, 130: 75-88.
- George R.W. 2005. Comparative morphology and evolution of the reproductive structures in spiny lobsters, *Panulirus* *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2005, Vol. 39: 493-501
- Gill, A.E. 1982. *Atmosphereocean Dynamics: International Geophysics Series*, Academic Press 30: 662.

- Gómez, F., A. Montecinos, S. Hormazábal, L.A. Cubillos, M. Correa-Ramírez & F.P. Chávez. 2012. Impact of spring upwelling variability off southerncentral Chile on common sardine (*Strangomera bentincki*) recruitment. *Fish. Oceanogr.*, 21(6): 405- 414.
- Gómez, F. A., Y. H. Spitz, H. P. Batchelder, M. Correa-Ramirez. 2017. Intraseasonal patterns in coastal plankton biomass off central Chile derived from satellite observations and a biochemical model. *Journal of Marine Systems*, 174, 106-118.
- Gong D., S. Wang. 1999. Definition of Antarctic Oscillation Index. *Geophys. Res. Lett.* 26: 459–462.
- Gutiérrez, N., Masello A., Uscudun, G., y Defeo, O. 2011. Spatial distribution patterns in biomass and population structure of the deep sea red crab *Chaceon notialis* in the Southwestern Atlantic Ocean. *Fisheries Research*, 110: 59-66.
- Gulland, J.A. 1964. Catch per unit effort as a measure of abundance. *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions Conseil*, 155: 8-14.
- Halo, I., Backeberg, B., Penven, P., Ansorge, I., Reason, C., Ullgren, J., 2014. Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models. *Deep Sea Res., Part II*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.10.015>.
- Hall A., M. Visbeck. 2002. Synchronous variability in the Southern Hemisphere atmosphere, sea ice, and ocean resulting from the annular mode. *J. Climate* 15: 3043–3057.
- Hammer O, D Harper, P Ryan. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis 9.
- Harville, D.A. 1974. Bayesian inference for variance components using only error contrasts. *Biometrika*, 61, 383–385.
- Hayward T.L. 1997. Pacific Ocean climate change: Atmospheric forcing, ocean circulation and ecosystem response. *Trends Ecol. Evol.* 12: 150–154 Henley, B.J., J. Gergis, D. J. Karoly, S. B. Power, J. Kennedy, C. K. Folland. 2015. A Tripole Index for the Interdecadal Pacific Oscillation. *Clim. Dyn.* 45 (11–12), 3077–3090.
- Harville, D.A. 1974. Bayesian inference for variance components using only error contrasts. *Biometrika*, 61: 383–385.
- Henley, B.J., J. Gergis, D. J. Karoly, S. B. Power, J. Kennedy, C. K. Folland. 2015. A Tripole Index for the Interdecadal Pacific Oscillation. *Clim. Dyn.* 45 (11–12), 3077–3090.
- Hernandez, D.R., y Perrotta, R.G. 2006. Influencia de las interacciones con el factor año en los índices anuales de abundancia obtenidos por modelos lineales generales utilizando datos de Captura por Unidad de Esfuerzo. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*, 18: 57-73.

- Hilborn, R., y Mangel, M. 1997. The ecological detective: confronting models with data. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 315 pp.
- Holton, J. R. (2004). An introduction to dynamic meteorology. Elsevier Academic Press. 389.
- Hormazabal, S., G. Shaffer, J. Letelier, O. Ulloa. 2001. Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C8), 16657-16671.
- Hormazabal, S., G. Shaffer, O. Leth. 2004. Coastal transition zone off Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C1).
- Hormazabal, S., V. Combes, C. E. Morales, M. A. Correa-Ramirez, E. Di Lorenzo, S. Nuñez. 2013. Intrathermocline eddies in the coastal transition zone off central Chile (31–41 S). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(10), 4811-4821.
- Hu, C., Z. Lee, B.A. Franz. 2012. Chlorophyll-a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference, *J. Geophys. Res.*, 117, C01011.
- Huynh, T. H. N., A. Alvera Azcarate, J. M. Beckers. 2018. Investigating the variability of surface chlorophyll-a in association with sea surface temperature and surface wind in the South China Sea.
- Jaramillo, A. 2005. Aves de Chile. Primera Edición Lynx Edicions, Barcelona, 240 pp.
- Kara, A. B., P. A. Rochford, H. E. Hurlburt. 2003a. Mixed layer depth variability over the global ocean, *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3079.
- King C, O Hoegh-Guldberg, M Byrne. (1994). Reproductive cycle of *Centrostephanus rodgersii* (Echinoidea), with recommendations for the establishment of a sea urchin fishery in New South Wales. *Marine Biology* 120: 95-106.
- Kruse, G. 1993. Biological perspectives on crab management in Alaska. En: G. Kruse, D.M. Eggers, R.J. Marasco, C. Pautzke, and T.J. Quinn, eds., *Proceedings of the International Symposium on Management Strategies for Exploited Fish Populations*. University of Alaska Sea Grant College Program Rep. 93-02 (Fairbanks). 355-384 pp.
- Large, P.A. 1992. Use of a multiplicative model to estimate relative abundance from commercial CPUE data. *ICES. Journal of Marine Science*, 49: 253-261.
- Large, W.G. y Pond, S. 1981. Open Ocean Momentum Flux Measurements in Moderate to Strong Winds. *Journal of Physical Oceanography*, 11: 324–336, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1981\)011<0324:OOMFMI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1981)011<0324:OOMFMI>2.0.CO;2)
- León-González, A., Llinás H., y Tilano, J. 2008. Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Ingeniería y Desarrollo* 23 (1): 119-142.

- Leth, O., G. Shaffer, G. 2001. A numerical study of the seasonal variability in the circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C10), 22229-22248.
- Ling, S., Johnson, C., Frusher, S., and King, C. (2008). Reproductive potential of a marine ecosystem engineer at the edge of a newly expanded range. *Glob. Chang. Biol.* 14: 907–915
- Ling, S.D., Johnson, C.R., Frusher, S.D. Ridgway, K.R. 2009. Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. *PNAS* 106 (52) 22341-22345, <https://doi.org/10.1073/pnas.0907529106>
- Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Garcia, H.E., Baranova, O.K., Zweng, M.M., Paver, C.R., Reagan, J.R., Johnson, D.R., Hamilton, M., y Seidov, D. 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 73, 40 pp.
- Longhurst, A. 1995. Seasonal cycles of pelagic production and consumption, *Prog. Oceanogr.*, 36, 77–167.
- Lorenz, E. N., 1956: Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Statistical Forecasting Project Rep. 1, MIT Department of Meteorology, 49 pp.
- Mantua, N. J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., y Francis, R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 1069–1079.
- Mantua N.J., S.R. Hare. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.* 58: 35–44.
- Marchesiello, P., J. C. McWilliams, A. Shchepetkin. 2003. Equilibrium structure and dynamics of the California Current System. *Journal of physical Oceanography*, 33(4), 753-783.
- Maritorena S., D. A. Siegel. 2005. Consistent merging of satellite ocean color data sets using a bio-optical model. *Remote Sens Environ*, 94(4):429-440.
- Marshall G.J. 2003. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *Journal of Climate*, 16: 4134–4143.
- Marshall G.J. 2007. Half-century seasonal relationships between the Southern Annular Mode and Antarctic temperatures. *International Journal of Climatology*, 27: 373–383.
- Martin, J., y Hall, D.B. 2016. R measures for zero-inflated regression models for count data with excess zeros, *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 86: 3777-3790.
- Maunder, M.M., y Punt, A.E. 2004 Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research*. 70:141-159.
- McCreary, J. P., K. E. Kohler, R. R. Hood, S. Smith, J. Kindle, A. S. Fischer, R. A. Weller. 2001. Influences of diurnal and intraseasonal forcing on mixed-layer and biological variability in the central Arabian Sea, *J. Geophys. Res.*, 106, 7139–7155.

- McCullagh, P., y Nelder J.A. 1989. Generalized linear models. Springer US.
- McDonald, G., Harford, B., Arrivillaga, A., Babcock, E., Carcamo, R., Foley, J., Fujita, R., Gedamke, T., Gibson, J., Karr, K., Robinson, J., Wilson, J. 2017. An indicator-based adaptive management framework and its development for data-limited fisheries in Belize. *Marine Policy*. 76: 28-37. 10.1016/j.marpol.2016.11.027.
- McDonald, P.D.M., y Pitcher. T.J. 1979. Age groups form size-frequency data: a versatile and efficient method of analyzing distribution mixtures. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36: 987–1001.
- Mcfadden, D. 1974. *Frontiers in Econometrics*. Zarembka, P (Eds.). New york: Academic Press, P. 105-142.
- Mcgarvey, R., and Pennington, M. 2001. Designing and evaluating length-frequency surveys for trap fisheries with application to the southern rock lobster. *Can. J. Fis. Aquat. Sci.* 58:254-261.
- McWilliams, J. C., 2016: Submesoscale currents in the ocean. *Proc. Roy. Soc. London*, 472A, 20160117, <https://doi.org/10.1098/rspa.2016.0117>.
- McWilliams, J. C., 2017: Submesoscale surface fronts and filaments: Secondary circulation, buoyancy flux, and frontogenesis. *J. Fluid Mech.*, 823, 391–432, <https://doi.org/10.1017/jfm.2017.294>.
- McWilliams, J. C., 2019: A survey of submesoscale currents. *Geosci. Lett.* 6, 3. <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0133-3>.
- McWilliams, J. C., 2021: Oceanic frontogenesis. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 13, 227–253, <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032320-120725>.
- Medel, C., C. Parada, C. E. Morales, O. Pizarro, B. Ernst, C. Conejero. 2018. How biophysical interactions associated with sub-and mesoscale structures and migration behavior affect planktonic larvae of the spiny lobster in the Juan Fernández Ridge: A modeling approach. *Progress in oceanography*, 162, 98-119.
- Melbourne-Thomas, J., Audzijonyte, A., Brasier, M. J., Cresswell, K. A., Fogarty, H. E., Haward, M., et al. (2021). Poleward bound: adapting to climate-driven species redistribution. *Rev. Fish Biol. Fish.* 1-22. DOI:10.1007/s11160-021-09641-3.
- Mellor, G. L., P. A. Durbin. 1975. The structure and dynamics of the ocean surface mixed layer. *Journal of Physical Oceanography*, 5(4), 718-728.
- Montecinos A, Purca S, Pizarro O. 2003. Interannual-to-interdecadal sea surface temperature variability along the western coast of South America. *Geophys. Res. Lett.* 30(11).
- Montecinos, A., F. Gomez. 2010. ENSO modulation of the upwelling season off southern-central Chile. *Geophysical Research Letters*, 37(2).

- Montecinos A, O. Pizarro. 2005. Interdecadal sea surface temperature–sea level pressure coupled variability in the South Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 110(C8).
- Morales, C. E., S. Hormazabal, M. Correa-Ramirez, O. Pizarro, N. Silva, C. Fernandez, V. Anabalón M. L. Torreblanca. 2012. Mesoscale variability and nutrient–phytoplankton distributions off central-southern Chile during the upwelling season: The influence of mesoscale eddies. *Progress in oceanography*, 104, 17-29.
- Morel, A., J. M. Andre. 1991. Pigment distribution and primary production in the western Mediterranean as derived and modeled from coastal zone color scanner observations, *J. Geophys. Res.*, 96, 12,685–12,698.
- National Geographic/Pristine seas. 2017. Archipiélago de Juan Fernández: Biodiversidad Marina y Necesidades de Conservación. Expedición realizada en Marzo de 2017.
- Ortiz, M., y Arocha, F. 2004. Alternative error distribution models for standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery. *Fisheries Research*, 70: 275-297.
- Otter Research Ltd. 2001. An introduction to AD Model Builder Version 5.0.0 for use in nonlinear modeling and statistics. Otter Research Ltd., Nanaimo, B.C.
- Parada, C., B. Yannicelli, S. Hormazabal, S. Vásquez, J. Porobić, B. Ernst, C. Gatica, M. Arteaga, A. Montecinos, S. Núñez, A. Gretchina.** 2013. Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. *Latin american journal of aquatic research*, 41(1), 1-28.
- Pearse, J.S. and Cameron, R. A. (1991). Echinodermata: Echinoidea. In: *Reproduction of marine invertebrates*. Vol 6: Echinoderms and lophophorates. Boxwood Press, Pacific Grove, CA, pp. 513-662.
- Penven, P., Echevin, V., Pasopera, J., Colas, F., Tam, J., 2005. Average circulation, seasonal cycle, and mesoscale dynamics of the Peru Current System: A modeling approach. *J. Geophys. Res.*, 110, C10021. <https://doi.org/10.1029/2005JC002945>.
- Pecorino D, M Lamare, M Barker. (2013). Reproduction of the Diadematidae sea urchin *Centrostephanus rodgersii* in a recently colonized area of northern New Zealand. *Marine Biology Research* 9: 157–168. <https://doi.org/10.1080/17451000.2012.708046>
- Pequeño, G., y Sáez, S. 2000. Los peces litorales del Archipiélago Juan Fernández (Chile): endemismo y relaciones ictiogeográficas. *Investigaciones Marinas.*, 28: 27-37.
- Pert C, S Swearer, S Dworjanyan, N Kriegisch, G Turchini, D Francis, T Dempster. (2018). Barrens of gold: gonad conditioning of an overabundant sea urchin. *Aquaculture Environmental Interactions* 10: 345–361. <https://doi.org/10.3354/aei00274>
- Petriella, A.M., y Bschi, E.E. 1997. Crecimiento en crustáceos decápodos: resultados de investigaciones realizadas en Argentina. *Investigaciones Marinas*, 25: 35-157.

- Pezza A.B., I. Simmonds, Renwick J. A. 2007. Southern Hemisphere cyclones and anticyclones: Recent trends and links with decadal variability in the Pacific Ocean. *Int. J. Climatol.* 27: 1403–1419.
- Pinho, M.R., Gonçalves, J.M., Martins, H.R., y Menezes, G.M. 2001. Some aspects of the biology of the deep-water crab, *Chaceon affinis* (Milne-Edwards and Bouvier, 1894) off the Azores. *Fisheries Research*, 51: 283-295.
- Pizarro, O., Hormazabal, S., Gonzalez, A., y Yañez, E. 1994. Variabilidad del viento, nivel del mar y temperatura en la costa norte de Chile. *Investigaciones Marinas*, 22: 85-101.
- Pizarro, O., G. Shaffer, B. Dewitte, M. Ramos, M. 2002. Dynamics of seasonal and interannual variability of the Peru-Chile Undercurrent. *Geophysical Research Letters*, 29(12), 22-1.
- Pizarro, O., A. Montecinos. 2004. Interdecadal variability of the thermocline along the west coast of South America. *Geophysical Research Letters*, 31(20).
- Pladeco. 2009. Plan de desarrollo Comunal. Obtenido desde la página web [http://www.munivalpo.cl/transparencia/archivos/plan\\_desarrollo\\_comunal/PLADECO.pdf](http://www.munivalpo.cl/transparencia/archivos/plan_desarrollo_comunal/PLADECO.pdf)
- Pladeco. 2015. Actualización del plan de desarrollo comunal 2015-2020. Ilustre Municipalidad de Juan Fernández, año 2015.
- Polovina, J. J., G. T. Mitchum, G. T. Evans. 1995. Decadal and basin-scale variation in mixed layer depth and the impact on biological production in the central and North Pacific, 1960–88, *Deep Sea Res., Part I*, 42, 1701–1716.
- Porobic J., Parada, C., Ernst, B., Hormazábal, S., Combes, V. 2012. Modelación de la conectividad de las subpoblaciones de la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*), a través de un modelo biofísico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(3): 613-632.
- Porobic, J., C. B. Canales-Aguirre, B. Ernst, R. Galleguillos, C. E. Hernández, C. E. 2013. Biogeography and historical demography of the Juan Fernández rock lobster, *Jasus frontalis* (Milne Edwards, 1837). *Journal of Heredity*, 104(2), 223-233.
- Punt, A.E., Walker, T.I, Taylor, B.L., y Pribac, F. 2000. Standardization of catch and effort data in a spatially-structured shark fishery. *Fisheries Research*, 45: 129-145.
- R Development Core Team. 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: the R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. Available online at <http://www.R-project.org/>.
- Ramírez M, C Osorio, (2000). Patrones de distribución de macroalgas y macroinvertebrados intermareales de la isla Robinson Crusoe, archipiélago de Juan Fernández, Chile. *Investigaciones Marinas* 28: 1–13. <https://doi.org/10.4067/S0717-71782000002800002>

- Retamal, M.A., Arana, P.M., 2000. Descripción y distribución de cinco crustáceos decápodos recolectados en aguas profundas en torno a las islas Robinson Crusoe y Santa Clara (Archipiélago de Juan Fernández, Chile). *Invest. Mar.*, Valparaíso 28, 149–163.
- Rivara, P. 2013. Estudio de la biología reproductiva de *Nemadactylus gayi* (Kner, 1865), en el archipiélago Juan Fernández. Seminario de Título presentado al Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción para optar al Título de Biólogo Marino.
- Román, C., B: Ernst, M .Thiel, P. Manríquez, J. 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.
- Rodríguez-Ruiz M, M Andreu-Cazenave, C Ruz, C Ruano-Chamorro, F Ramírez, C González, S Carrasco, A Pérez-Matus, M Fernández. (2014). Initial assessment of coastal benthic communities in the Marine Parks at Robinson Crusoe Island. *Latin American Journal of Aquatic Research*: 42: 918–936. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue4-fulltext-16>
- Rozbaczylo, N., y Castilla, J. 1987. Invertebrados marinos del Archipiélago Juan Fernández. In: Castilla J.C. (ed) *Islas Oceánicas Chilenas: Conocimiento Científico y Necesidades de Investigaciones*. Ediciones Universidad Católica de Chile. 319-353 pp.
- Ruarte, C., y Perrota, R. 2007. Estimación de un índice de abundancia anual estandarizado para pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*), mediante la aplicación de un modelo lineal general. Período 1992-2003. INIDEP Informe Técnico 64.
- Saborido-Rey, F. 2002. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Instituto de Investigaciones Marinas, Vigo, España, 71 pp.
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M., G. Kitagawa. 1986. Akaike Information Criterion Statistics. D. Reidel Publishing Company
- Santos, M., Gaspar, M., Monteiro, C., y Vasconcelos, P. 2002. Gill net and long-line catch comparisons in a hake fishery: the case of southern Portugal. *Scientia Marina*, 66 (4): 433 – 441.
- Schneider C, W Rasband, K Eliceiri. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9: 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Searle S. R. 1988. Parallel Lines in Residual Plots. *The American Statistician*, 42:3:211-211
- Seber, G.A.F. 1982. *The Estimation of Animal Abundance*. 2nd edition. London: Griffin.
- Sievers, H.A., Silva, N., 2006. Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. In: Silva, N., Palma, S., (Eds.), *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. Comité Oceanográfico Nacional – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 53–58.

- Shaffer, G., S. Hormazabal, O. Pizarro, S. Salinas. 1999. Seasonal and interannual variability of currents and temperature off central Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C12), 29951-29961.
- Signorini, S. R., B. A. Franz, C. R. McClain. 2015. Chlorophyll variability in the oligotrophic gyres: mechanisms, seasonality and trends. *Frontiers in Marine Science*, 2, 1. Silva, N., Rojas, N., y Fedele, A. 2009. Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56: 1004-1020.
- Silva, C., I. Andrade, E. Yáñez, S. Hormazabal, M. A. Barbieri, A. Aranis, G. Böhm. 2016. Predicting habitat suitability and geographic distribution of anchovy (*Engraulis ringens*) due to climate change in the coastal areas off Chile. *Progress in Oceanography*, 146, 159-174.
- Stefansson G, H Kristinsson, N Ziemer, C Hannon, P James. (2017). Markets for Sea Urchins: A Review of Global Supply and Markets. Technical Report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12657.99683>
- Steneck, R., Parma, A.M., Ernst, B., y Wilson, J.A. 2017. Two lobster tales: lessons from the convergent evolution of TURFs in Maine (USA) and the Juan Fernández Islands (Chile). *Bulletin of Marine Science*, 93(1), 13-33.
- Strub P.T., J. M. Mesías, V. Montecino, J. Rutllant, S. Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. Coastal segment. In: Robinson AR, Brink KH (eds.), *The Sea*. John Wiley, New York, pp. 273–313.
- Strub, P. T., V. Combes, F. A. Shillington, O. Pizarro. 2013. Currents and Processes along the Eastern Boundaries. In: Siedler et al. (Eds.), *International Geophysics, Ocean Circulation and Climate, A 21st Century Perspective*. Elsevier Ltd., vol. 103.
- Sutcliffe, R. C. 1952. Reviews of modern meteorology—6. Principles of synoptic weather forecasting. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 78(337), 291-320.
- Taljaard J.J. 1972. Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. In: Newton CW, Van Loon H, National Center for Atmospheric Research (US) (eds.), *Meteorology of the Southern Hemisphere*. American Meteorological Society, Boston, pp. 139–213.
- Thiel M., E.C. Macaya, E. Acuña, W. F. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. A. Camus, J. C. Castilla, L. R. Castro, M. Cortés, C. P. Dumont, R. Escribano, M. Fernández, J. A. Gajardo, C. F. Gaymer, I. Gómez, A. E. González, H. E. González, P. A. Haye, J. E. Illanes, J. L. Iriarte, D. A. Lancellotti, G. Luna-Jorquera, C. Luxoro, P. H. Manríquez, V. Marín, P. Muñoz, S. A. Navarrete, E. Pérez, E. Poulin, J. Sellanes, H. H. Sepúlveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C. A. Vargas, J. A. Vásquez, J. M. A. Vega. 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile. *Oceanogr. Mar. Biol.* 45: 195–344.

- Thompson, D. W., S. Solomon, P. J. Kushner, M. H. England, K. M. Grise, D. J. Karoly. 2011. Signatures of the Antarctic ozone hole in Southern Hemisphere surface climate change. *Nature geoscience*, 4(11), 741.
- Tomczak, M., Gu, Y. H., 1987. Water mass properties of the permanent thermocline in the western South Pacific Ocean during WESTROPAC'82. *Deep-Sea Research*, 34, 1713-1731.
- Toumazou, V., y Cretaux, J.F. 2001. Using a Lanczos eigensolver in the computation of Empirical Orthogonal Functions. *Monthly Weather Review*, 129 (5): 1243-1250.
- Tracey, S, Mundy, C, Baulch, T, Marzloff, M, Hartmann, K, Ling, S, and Tisdell, J (2014). Trial of an industry implemented, spatially discrete eradication/control program for *Centrostephanus rodgersii* in Tasmania, Tasmania, 1–71 pages.
- Trenberth, K.E., Large, W.G y Olson, J.G. 1990. The Mean Annual Cycle in Global Ocean Wind Stress. *Journal of Physical Oceanography*, 20: 1742–1760, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1990\)020<1742:TMACIG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1990)020<1742:TMACIG>2.0.CO;2)
- Vega, A., du-Penhoat, Y., Dewitte, B., and Pizarro, O. (2003). Equatorial forcing of interannual Rossby waves in the eastern South Pacific, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1197, doi:10.1029/2002GL015886, 5.
- Vernazi, J. 2004. *Using R for Introductory Statistics*. Chapman y Hall/CRC Press. Florida, United States of America. 414 pp.
- Villagrán, V., Montecinos, A., Franco, C., Muñoz, R.C. Environmental monitoring network along a mountain valley using embedded controllers Measurement, 106 (2017), pp. 221-235, 10.1016/j.measurement.2017.02.046
- Walker, G. T., E.W. Bliss, 1932. World weather V, *Mon. Roy. Meteor. Soc*, 4, 53-84.
- Walker C, M Lesser, T Unuma. (2013). Sea Urchin Gametogenesis – Structural, Functional and Molecular/Genomic Biology, in: Lawrence, J.M. (Ed.), *Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Sea Urchins: Biology and Ecology*. Elsevier, pp. 25–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396491-5.00003-4>
- Wharton W. G. & Mann K. H. 1981. Relationship Between Destructive Grazing by the Sea Urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, and the Abundance of American Lobster, *Homarus americanus*, on the Atlantic Coast of Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38(11): 1339-1349 pp.
- White W.B., D. R. Cayan DR. 1998. Quasi-periodicity and global symmetries in interdecadal upper ocean temperature variability. *J. Geophys. Res.* 103(C10): 21335–21354.
- Yáñez E. 1991. Relationships between environmental changes and fluctuating major pelagic resources exploited in Chile (1950–1988). In: Kawasaki T, Tanaka S, Toba Y, Taniguchi A (eds.), *Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment*.

Proceedings of the International Symposium, Sendai, Japan, 14–18 November 1989. Pergamon Press, Oxford, England, pp. 301–309.

- Yáñez, E., Pizarro, L., Barbieri, M.A., y Barra, O. 1985. Dinámica del stock de langosta (*Jasus frontalis* H. Milne Edwards, 1837) explotado en el archipiélago Juan Fernández (33°40'S-80°W). En: "Investigaciones Marinas en el Archipiélago Juan Fernández", P. Arana (ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso, 251-271 pp.
- Zador, S., y Yasumishii, E.C. 2017. Ecosystem Considerations 2017: Status of the Gulf of Alaska Marine Ecosystem (Stock Assessment and Fishery Evaluation Report). North Pacific Fishery Management Council, 605 W. 4th Avenue, Suite 306, Anchorage, AK 99301.
- Zhou, W., B. Peng, J. Shi, J. 2017. Reconstructing spatial–temporal continuous MODIS land surface temperature using the DINEOF method. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(4), 046016.
- Ziegler, P., C. Johnson, S. Frusher, C. Gardner 2002. Catchability of southern rock lobster *Jasus edwardsii*. II Effects of size. *Mar. Freshw. Res.*, 53: 1149- 159.
- Ziegler, P., S. Frusher, C. Johnson. 2003. Space-time variation in catchability of southern rock lobster *Jasus edwardsii* in Tasmania explained by environmental, physiological and density-dependent processes. *Fish. Res.*, 61(1-3): 107-123.
- Ziegler, P.E., M. Haddon, S.D. Frusher, C. Johnson. 2004. Modelling seasonal catchability of the southern rock lobster *Jasus edwardsii* by water temperature, moulting and mating. *Mar. Biol.*, 145: 179- 90.
- Zuur, A. F., E.N. Leno, N.J. Walker, A. A. Saveliev and G. M. Smith. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer, New York

# A N E X O S

---

# A N E X O I

---

Implementación del programa de seguimiento de las pesquerías de crustáceos de los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas  
Programa de Monitoreo y caracterización de la actividad extractiva

## ANEXO I. Implementación del programa de seguimiento de las pesquerías de crustáceos de los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas

### A. Control de salidas por embarcación y recurso

La información reportada por la Capitanía de Puerto y los Alcaldes de mar, a través del control de tráfico marítimo constituye un censo de los viajes de pesca en el archipiélago y permite estimar capturas totales en base al esfuerzo y las tasas de captura. Cabe destacar que la información reportada por los Alcaldes de mar en los subsistemas AS e ID, aun no considera el reporte del recurso objetivo al cual se dirigen durante la salida de pesca. Esta información es integrada en el proceso de depuración de los datos, siendo complementada por el registro que realizan los muestreadores científicos que se encuentran en ambos subsistemas. El programa de seguimiento del periodo reportado considera la totalidad de la temporada de pesca 2020/21 en los subsistemas RC-SC y AS e ID.

A continuación, se reporta el registro del control de tráfico marítimo durante la totalidad de la temporada de langosta 2020/21 (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3) y período enero-mayo de 2021 para la pesquería de cangrejo dorado (Tabla 4). En RC-SC participaron entre 29 y 39 embarcaciones, en AS entre 10 y máximo 12 embarcaciones y 3 embarcaciones solicitaron viajar al archipiélago de las Islas Desventuradas. Cabe considerar que en diciembre de 2019 comenzaba la incertidumbre respecto a la estabilidad de la exportación de langostas a China debido al inicio de la Pandemia de Covid-19; si bien se mantuvieron las restricciones sanitarias, los pescadores encontraron otras salidas económicas para continuar desarrollando las actividades extractivas durante el 2020 y 2021. Las condiciones climáticas cumplen un rol fundamental en el número total de salidas de pesca que se realizan por mes, dado el cierre del puerto.

En el caso del cangrejo dorado (Tabla 4), han operado un máximo de 3 embarcaciones diferentes por mes durante el año 2021. El esfuerzo de esta pesquería está muy por debajo de lo reportado para la langosta, sin embargo, la flota puede estar activa durante todo el año. Estas embarcaciones también participan de la extracción de langosta ya sea durante el mismo viaje de pesca o en días distintos.

Tabla 1. Registro de control de tráfico marítimo por em/barcación. Número de viajes mensuales de pesca de langosta en el subsistema RC-SC durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22. \* Para conservar la confidencialidad del registro por embarcación, solo se presenta un índice por bote. Cada índice corresponde a un bote que efectuó salidas.

Índice*	Temporada 2020/21						Temporada 2021/22					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	
1	11	6	11	10	9	11	7	3				
2	6	3	5	8	6	9	5	2	5	7	7	
3	12	8	2			9	6	5	7	8	7	
4	12	7	12	6	7	9	6	4	6	11	5	
5	12	6	9	9	8	7	5	2	8	5	10	
6	7	2	3	6	7	5	8	2	3	3	4	
7		2				3	5	4				
8		1	1	1	2							
9	6	7	6	9	1							
10	6	9	8	7	8	4			8	5	6	
11	6					1	8	6				
12	9	7	9	13	13	15	12	4	9	10	10	
13	9	5	7	8	9							
14										4	6	
15	9	4	9	6	6	9	3	3	10	12	11	
16	8	7	13	11	9	12	6		10	10	6	
17	9	7	8	9	8	8	5		9	9	9	
18	9	13	13	12	13	14	14	5	5	12	8	
19	14	9	9	9	8	10	7	3	8	5	6	
20	7	10	10	10	10	9	8	4				
21	5	4	9	8	7	9	6	5	10	6	6	
22	11	7	10	5	2	10	6	4	12	10	8	
23	10	8	11	9	9	12	4		11	15	10	
24	11	7	8	6	7	12	5	4	8	8	7	
25	12	7	8	6	8	11	7	5	8	8	6	
26									2		1	
27	8	7	7	7	5	11	9	2	10	5	5	
28	2	2	6	1		4	7	3	11	10	6	
29			7	8	9	9	9	4	6	6	4	
30										1		
31	15	8	15	10	10	12	7	5	14	15	12	
32	9	1							1		5	
33	10	8	11	9	7	10	6	4	8	9	6	
34	12	8	11	8	9	9	10	3	14	9	8	
35	14	9	12	11	13	8	6	5	14	12	5	
36									2	1	1	
37									9	9	5	
38	9	6	8	9	7	11	8	2	8	4		
39	13	11	15	12	15	13	8	5	9	5	6	
40	12	8	9	6	9	11	5		7	8	8	
41	10	11	6	10	10	6	5	2	7	5	2	
42	7	1							7	5	1	
43									1			
44									1	1		
45										1	1	
46	10	13	10	8	10	10	12	2				
47	9	6	12	8	6	8	10	6	6	12	10	
48				1								
49									1		1	
50		2	7	9	9	9	6		14	14	13	
Total salidas	341	247	317	285	276	320	241	108	289	280	232	
Total botes	36	38	36	36	34	35	34	29	38	37	37	

Tabla 2. Registro de control de tráfico marítimo por embarcación. Número de viajes mensuales de pesca de langosta en el subsistema AS durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22. \* Para conservar la confidencialidad del registro por embarcación, solo se presenta un índice por bote. Cada índice corresponde a un bote que efectuó salidas.

Índice*	Temporada 2020/21									Temporada 2021/22		
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	
1	6	11	12	9	8	12	9	1				
2	6	9	11	8	7	10	7	1				
3		4	13	7	9	11	9	1	17	12	8	
5	5	11	14	8	9	12	8		12	11	8	
6	5	11	13	10	8	12	9	1	15	7	7	
7					6	12	7	1	11	8	8	
									13	9	7	
8	5	11	12	10	8	11	8	1	12	11	6	
									12	11	8	
9	5	11	2	8	10	9			11	11	6	
									13	10	7	
11	4	10	12	10	8	13	9	1	12	11	8	
12	5	11	14	10	7	11	8	1	12	10	7	
13	6	11	12	11	9	10	9	2				
				9	8	12	9	3	14	11	6	
14	5	10	13						12	9	7	
Total salidas	52	110	128	100	97	135	92	13	166	131	93	
Total botes	10	11	11	11	12	12	11	10	13	13	13	

Tabla 3. Registro de control de tráfico marítimo por embarcación. Número de viajes mensuales de pesca de langosta en el subsistema ID durante la temporada 2020/21 e inicios de 2021/22. \* Para conservar la confidencialidad del registro por embarcación, solo se presenta un índice por bote. Cada índice corresponde a un bote que efectuó salidas.

Índice*	Temporada 2020/21									Temporada 2021/22		
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Oct	Nov	Dic	
1									11	12	12	
2		12	15	24	21	3						
3					20	20	8					
4		12	19	23	20	3			19	10	12	
Total salidas	0	24	34	47	61	26	8		30	22	24	
Total botes	0	2	2	2	3	3	1		2	2	2	

Tabla 4. Registro de control de tráfico marítimo por embarcación. Número de viajes mensuales de pesca de cangrejo dorado. Año 2021. \* Para conservar la confidencialidad del registro por embarcación, solo se presenta un índice por bote. Cada índice corresponde a un bote que efectuó salidas.

Índice	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1					1							
2	2	2	4		4	2	2				3	2
3	1		1	3	2							
4	2	3	4	3	3	1	1	1	1	2	4	4
5												1
6												1
7				1	1	1	1					
Total salidas	5	5	9	7	11	4	4	1	1	2	7	8
Total botes	3	2	3	3	5	3	3	1	1	1	2	4

## B. Programa de Monitoreo: Bitácoras de pesca

El programa de bitácoras de pesca a bordo de las embarcaciones tuvo una buena cobertura en términos de número de embarcaciones participantes y número de viajes de pesca en el subsistema RC-SC. La cobertura en el subsistema AS ha ido en descenso, planteando continuamente el desafío de reactivar el compromiso con el que se ha contado desde hace varios años y mejorar los canales de comunicación con la comunidad. Por su parte en el caso de la ejecución del programa de monitoreo pesquero en ID, ha sido notable el compromiso de los pescadores que se desempeñan en este subsistema, la totalidad de la flota es partícipe del programa.

El registro por parte de los pescadores sobre la actividad extractiva de cangrejo dorado y especies ícticas es muy variable en el tiempo y requiere mantener impulsando el compromiso para contar con dicha información de parte de toda o por lo menos gran parte de la flota. Las especies ícticas suelen ser reportadas como carnada durante la pesquería de la langosta. El esfuerzo en la pesquería del cangrejo es inferior al de la langosta, tanto en número de trampas como en viajes a su captura, por lo que también el tiempo de reposo de las trampas es superior, así el muestreo biológico que se realiza, permite incorporar bastante información de la pesquería. Algunos pescadores continúan entregando información sobre capturas de especies ícticas y cangrejo dorado para el DA durante todo el año.

## C. Programa de Monitoreo: Bitácoras muestreadores científicos

El programa de monitoreo biológico se desarrolló en los tres subsistemas. En RC-SC se encuentran trabajando alrededor de 5 personas para alcanzar una deseable cobertura de muestreo. Durante la temporada 2020/21 se pudo contar con un muestreador científico en el archipiélago Islas Desventuradas, permitiendo alcanzar una mejor cobertura de muestreo. En el caso del cangrejo dorado con el cierre de la temporada de langostas, el esfuerzo de muestreo de los investigadores se dirige hacia esta pesquería.

## D. Caracterización de la actividad extractiva

En temporadas previas (2014/15, 2015/16, 2016/17, 2018/19, 2019/20) se ha logrado levantar información de la configuración de los aparejos de pesca, de las características de las embarcaciones e instrumentos de navegación y detección utilizados en AJF e ID. La información detallada hasta la fecha corresponde a materialidad, diseño y equipamiento de las embarcaciones, utilización y características de equipos de navegación y detección (GPS, Ecosonda), configuración de trampas langosteras, anguileras, espineles y líneas de mano. Es oportuna la actualización de esta información dadas sus implicancias en el esfuerzo de pesca (capturabilidad y selectividad), por lo que se tiene contemplado que el coordinador en terreno (Sr. Julio Chamorro) ejecute las encuestas según formato programado, antes de iniciar la temporada de pesca de langosta 2021/22. La fecha planificada implica i) encontrar a la totalidad de la flota concentrada en la isla Robinson Crusoe, ii) a gran parte de los pescadores haciendo los preparativos en tierra para iniciar la temporada, y iii) construir la mayoría de los aparejos de pesca que serán utilizados durante la temporada (Ernst *et al.*, 2014).

- a) Encuesta por embarcación: La información por embarcación (Figura 1) será censal y se aplicará durante el mes de septiembre de 2021 a la totalidad de la flota que opera en los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas (permisos de pesca de Langosta,

Cangrejo dorado y/o especies ícticas) de acuerdo a los registros actualizados del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (año 2020).

- b) Aparejos de pesca de especies ícticas: Para actualizar la caracterización de los aparejos empleados, se realizará un muestreo durante la veda de la langosta. La información proporcionada será de acuerdo a lo indicado en la Figuras 2, 3 y 4, según el aparejo muestreado. El tamaño de los anzuelos será proporcionado mediante fotografía sobre papel milimetrado.
- c) Trampas (langosta, morena y cangrejo dorado): Para actualizar la caracterización de los aparejos empleados, se realizará un muestreo durante la veda de la langosta cuando el material esté preparad y en tierra. La información proporcionada será de acuerdo a lo indicado en la Figuras 5, según el aparejo muestreado.

REGISTRO EMBARCACIONES TEMPORADA 2021/22					
<b>Nombre embarcación:</b>			<b>Número embarcación:</b>		
<b>N° embarcación reemplazada:</b>			<b>Año de construcción:</b>		
<b>Actividad:</b>	Langosta [ ]	Cangrejo [ ]	Peces [ ]	Turismo [ ]	
<b>Isla:</b>	Robinson Crusoe [ ]	Alejandro Selkirk [ ]	Desventuradas [ ]		
<b>Materialidad:</b>	Madera [ ]	Fibra de vidrio [ ]	<b>Diseño:</b>	DP [ ]	PE [ ]
<b>Propietario:</b>					
<b>Nombre Capitán:</b>			<b>Edad:</b>		
<b>Nombre Tripulante 1:</b>			<b>Edad:</b>		
<b>Nombre Tripulante 2:</b>			<b>Edad:</b>		
<b>Ecosonda</b>	Si [ ]	<b>Modelo:</b>	<b>Marca:</b>	<b>Año:</b>	
	No [ ]				
<b>GPS</b>	Si [ ]	<b>Modelo:</b>	<b>Marca:</b>	<b>Año:</b>	
	No [ ]				
<b>Motor principal</b>	<b>HP:</b>	<b>Marca:</b>	<b>Año:</b>		
<b>Motor secundario</b>	<b>HP:</b>	<b>Marca:</b>	<b>Año:</b>		
<b>Huinche</b>	<b>HP:</b>	<b>Marca:</b>	<b>Año:</b>		
	<b>Diseño:</b>	Tambor [ ]		Plato [ ]	
<b>Trampas langosta</b>	<b>N° min:</b>	<b>N° máx:</b>	<b>Tenas:</b>	Si [ ]	No [ ]
<b>Trampas cangrejo</b>	<b>N° min:</b>	<b>N° máx:</b>	<b>Tenas:</b>	Si [ ]	No [ ]

DP: Doble Proa

PE: Proa Espejo

[ ] Elegir la opción marcando con una X

Para Ecosonda y GPS, si elige la opción Si, completar con la información solicitada.

Trampas: número de trampas mínimo y máximo con las que opera durante la temporada

Figura 1. Formato para registro censal de características de las embarcaciones.

MUESTREO APAREJOS DE PESCA ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ 2021			
N° Embarcación:	Fecha:	Código:	
APAREJO: ESPINEL VERTICAL			
Especies objetivos principales:	1.		
	2.		
	3.		
BATICULO			
Mínima cantidad de boyas:		Máxima cantidad de boyas:	
Material:	Plástico [ ]	Corcho [ ]	Otro [ ]:
Distancia entre boyas (brz):		Color:	
Boya de media agua			
Material:		Dimensión/Volumen:	
ORINQUE		LINEA MADRE	
Material:	Perlón [ ]	PP [ ]	Material:
	Nylon [ ]	Otro [ ]:	
Diámetro (mm):	Nylon [ ]		PP [ ]
	Otro [ ]:		Otro [ ]:
Color:		Color:	
Unión línea madre:		Longitud (brz):	
Nudo [ ]		Snap [ ]	
REINALES			
Material:	Perlón [ ]	PP [ ]	Nylon [ ]
Diámetro (mm):		Distancia entre reinales (brz):	
Longitud (cm):		Unión línea madre:	
		Nudo [ ]	
		Snap [ ]	
		Saca vuelta [ ]	
ANZUELOS			
Número de anzuelos:		Distancia desde el último anzuelo al peso (brz):	
Tipo:		Fabricante:	
Tipo J [ ]	Circular [ ]	Tamaño:	
		Material:	
		Acero al Carbono [ ]	Acero inoxidable [ ]
Lengüeta:		No [ ]	
Si [ ]		No [ ]	
Ojo:		Posición Punta:	
Agujero [ ]	Argollado [ ]	Paleta [ ]	Torcida [ ]
			Invertida [ ]
			Derecha [ ]
FLOTADORES		PESOS	
Cantidad:	Material:	Peso piedra (g):	Cantidad:
Dimensión:	Longitud guía (brz):	1. g	3. g
Material:	Perlón [ ]	2. g	4. g
	Nylon [ ]	N° de anzuelos entre pesos:	
Diámetro (mm)		Color:	
Código fotografías: [ ] ; [ ] ; [ ]		Distancia peso a la línea madre (brz):	

MUESTREO APAREJOS DE PESCA ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ 2021			
N° Embarcación:	Fecha:	Código:	
APAREJO: ESPINEL HORIZONTAL			
Especies objetivos principales:	1.		
	2.		
	3.		
BATICULO			
Mínima cantidad de boyas:		Máxima cantidad de boyas:	
Material:	Plástico [ ]	Corcho [ ]	Otro [ ]:
Distancia entre boyas (brz):		Color:	
Boya de media agua			
Material:		Dimensión/Volumen:	
ORINQUE		LINEA MADRE	
Material:	Perlón [ ]	PP [ ]	Material:
	Nylon [ ]	Otro [ ]:	
Diámetro (mm):	Nylon [ ]		PP [ ]
	Otro [ ]:		Otro [ ]:
Color:		Color:	
Unión línea madre:		Longitud (brz):	
Nudo [ ]		Snap [ ]	
REINALES			
Material:	Perlón [ ]	PP [ ]	Nylon [ ]
Diámetro (mm):		Distancia entre reinales (brz):	
Longitud (cm):		Unión línea madre:	
		Nudo [ ]	
		Snap [ ]	
		Saca vuelta [ ]	
ANZUELOS			
Número de anzuelos:		Distancia desde el último anzuelo al orinque (brz):	
Tipo:		Fabricante:	
Tipo J [ ]	Circular [ ]	Tamaño:	
		Material:	
		Acero al Carbono [ ]	Acero inoxidable [ ]
Lengüeta:		No [ ]	
Si [ ]		No [ ]	
Ojo:		Posición Punta:	
Agujero [ ]	Argollado [ ]	Paleta [ ]	Torcida [ ]
			Invertida [ ]
			Derecha [ ]
FLOTADORES		PESOS	
Cantidad:	Material:	Peso piedra (g):	Cantidad:
Dimensión:	Longitud guía (brz):	1. g	3. g
Material:	Perlón [ ]	2. g	4. g
	Nylon [ ]	N° de anzuelos entre pesos:	
Diámetro (mm)		Color:	
Código fotografías: [ ] ; [ ] ; [ ]		Distancia peso a la línea madre (brz):	

Figura 2. Planilla de muestreo de aparejos de pesca. Espineta vertical (izquierda), Espineta horizontal (derecha)

MUESTREO APAREJOS DE PESCA ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ 2021											
N° Embarcación:		Fecha:		Código:							
APAREJO: Línea de mano											
Especies objetivos principales:			1.								
			2.								
			3.								
LÍNEA MADRE											
Material:		Perlón [ ]	PP [ ]	Nylon [ ]	Otro [ ]:						
Diámetro (mm):											
Color:											
ANZUELO											
Tipo:		Número de anzuelos:									
Tipo J [ ]		Circular [ ]		Fabricante:							
				Tamaño:							
				Material:		Acero al Carbono [ ]	Acero inoxidable [ ]				
				Lengüeta:		Sí [ ]	No [ ]				
				Ojo:		Posición Punta:					
Agujero [ ]		Argollado [ ]		Paleta [ ]		Torcida [ ]		Invertida [ ]		Derecha [ ]	
											
Código fotografías: [ ] ; [ ] ; [ ]											

MUESTREO APAREJOS DE PESCA ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ 2021											
N° Embarcación:		Fecha:		Código:							
APAREJO: LINEA DE MANO DE FONDO (FIERRO)											
Especies objetivos principales:			1.								
			2.								
			3.								
ORINQUE			LÍNEA MADRE								
Material:		Perlón [ ]	PP [ ]	Material:		Perlón [ ]	PP [ ]				
		Nylon [ ]	Otro [ ]:			Nylon [ ]	Otro [ ]:				
Diámetro (mm):			Diámetro (mm):								
Color:			Color:								
Unión línea madre:		Nudo [ ]	Snap [ ]	Longitud (brz):							
REINALES											
Material:		Perlón [ ]	PP [ ]	Nylon [ ]	Otro [ ]:						
Diámetro (mm):			Distancia entre reinales (brz):								
Longitud (cm):		Unión línea madre:		Nudo [ ]	Snap [ ]	Saca vuelta [ ]					
ANZUELOS											
Número de anzuelos:			Distancia desde el último anzuelo al orinque (brz):								
Tipo:			Fabricante:								
Tipo J [ ]		Circular [ ]		Tamaño:							
				Material:		Acero al Carbono [ ]	Acero inoxidable [ ]				
				Lengüeta:		Sí [ ]	No [ ]				
Ojo:			Posición Punta:								
Agujero [ ]		Argollado [ ]		Paleta [ ]		Torcida [ ]		Invertida [ ]		Derecha [ ]	
											
PESO											
Material:		Peso (g):		Distancia al último anzuelo (cm):							
Código fotografías: [ ] ; [ ] ; [ ]											

Figura 3. Planilla de muestreo de aparejos de pesca. Línea de mano superficial (izquierda), Línea de mano de fondo (derecha)

MUESTREO APAREJOS DE PESCA ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ 2021					
N° Embarcación:		Fecha:		Código:	
APAREJO: CURRICÁN O CHISPA					
Especies objetivos principales:			1.		
			2.		
			3.		
LÍNEA MADRE					
Material:		Perlón <input type="checkbox"/>	PP <input type="checkbox"/>	Nylon <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/> :
Diámetro (mm):			Color:		
ANZUELO					
Cebo artificial:		Jigs <input type="checkbox"/>	Cuchara <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/> :	
Tipo:					
Tipo <input type="checkbox"/>	Circular <input type="checkbox"/>	Doble invertida <input type="checkbox"/>	Doble junta <input type="checkbox"/>	Triple derecha <input type="checkbox"/>	Triple invertida <input type="checkbox"/>
Fabricante:			Tamaño:		
Material:		Acero al Carbono <input type="checkbox"/>	Acero inoxidable <input type="checkbox"/>	Lengüeta:	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Ojo:			Posición Punta:		
Agujero <input type="checkbox"/>	Argollado <input type="checkbox"/>	Paleta <input type="checkbox"/>	Torcida <input type="checkbox"/>	Invertida <input type="checkbox"/>	Derecha <input type="checkbox"/>
Código fotografías: [ ] ; [ ] ; [ ]					

Figura 4. Planilla de muestreo de aparejos de pesca. Curricán.

MUESTREO APAREJOS DE PESCA ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ 2021			
N° Embarcación:	N° Trampa:	Fecha:	
APAREJO: TRAMPA LANGOSTA O CANGREJO			
Medidas exteriores (cm):	Largo:	Alto:	Ancho:
Distancia entre trampas:		Peso de la piedra (Kg):	
Buche entrada			
Material:	Forma:	Dimensiones (cm)	
Buche cámara			
Material:	Forma:	Dimensiones (cm)	
Materiales de construcción			
Piso:	Tapa:	Lateral A:	
Lateral B:	Frontal A:	Frontal B:	
Distancia máxima entre varillas			
Laterales (cm):		Frontales (cm):	
Anillos escape			
Número:	Diámetro (cm):	Material:	Ubicación:

Dimensiones: largo x alto x ancho

MUESTREO APAREJOS DE PESCA ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ 2020			
N° Embarcación:	Fecha:	Código:	
APAREJO: TRAMPA ANGUILA			
Profundidad de calado (brz):			
BATICULO			
Mínima cantidad de boyas:		Máxima cantidad de boyas:	
Material:	Plástico [ ]	Corcho [ ]	Otro [ ]:
Distancia entre boyas (brz):		Color:	
Boya de media agua			
Material:	Dimensión/Volumen:		
ORINQUE			
Material:	Perlón [ ]	PP [ ]	Nylon [ ] Otro [ ]:
Diámetro (mm):	Color:	Longitud (brz):	
TRAMPA			
Materiales de construcción			
Estructura:	Forro:	Buche:	
Medidas exteriores (cm):	Largo:	Alto:	Ancho:
Buche			
Material:	Forma:	Dimensiones (cm):	
Aberturas			
Mínimas:		Máximas:	
Modo:			

Dimensiones: largo x alto x ancho

Figura 5. Planilla de muestreo de aparejos de pesca. Trampa de Langosta o cangrejo (izquierda), trampa de morena –anguillera (derecha)

## A N E X O II

---

Plan de actividades y Reporte de gestión 2021.

## ANEXO II. Plan de actividades y Reporte de gestión 2021.

### PLAN DE ACTIVIDADES 2021

A continuación se presenta el plan de actividades del programa de monitoreo 2021 con las modificaciones respectivas de acuerdo a los plazos administrativos y logísticos que se han presentado, a fin de alcanzar los objetivos del programa. Se detallan las actividades de coordinación, gestión y ejecución principales que se han realizado a la fecha.

Durante el desarrollo de la temporada de pesca de langosta 2020/21, se mantuvieron las restricciones sanitarias para viajes a la isla Robinson Crusoe consecuencia del brote de SARS-CoV-2. Si bien las actividades extractivas de langosta fueron impactadas durante el desarrollo inicial de la pandemia (temporada 2019/20), implicando una disminución de las actividades de los pescadores, es decir, reducción del número de salidas y/o trampas desplegadas, inconvenientes en tratos económicos, caída del precio de la langosta y el término anticipado de la temporada por la mayoría de los pescadores, la temporada 2020/21 se desarrolló con mayor normalidad pues tanto el mercado internacional como nacional se encontraban disponibles a la comercialización.

Cabe destacar que siguen los inconvenientes asociados a la movilidad en el continente y el cierre de espacios como laboratorios, debido a las restricciones sanitarias, han generado el retraso de procesos de análisis de las muestras de peces, sin embargo se continúa avanzando, además de la imposibilidad de levantar información desde los viveros ubicados en la V región de Valparaíso durante el año 2021.

## CARTA GANTT

Actividades	Resultado esperado asociado	Mes														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Actividad 1 <b>Coordinación administrativa y logística</b>		x														
1.1 Firma de Contrato y desarrollo de actividades administrativas	Firma del contrato															
1.2 Reuniones de Coordinación de Inicio del Proyecto	Presentación del plan de trabajo, metodologías y procedimientos															
1.3 Taller de difusión de resultados	Difusión de resultados, obtención de recomendaciones															x
Actividad 2 <b>Ejecución Programa de monitoreo pesquero</b>																
2.1 Reuniones de coordinación con patrones de las pesquerías objetivo	Coordinación con pescadores y difusión del proyecto y resultados					x					x					
2.2 Transcripción formulario DA y entrega Sernapesca	Transcripción actualizada de la Declaración artesanal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2.3 Digitación bitácoras pescadores	Digitación de información entregada por los pescadores	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
2.4 Depuración bases de datos	Revisión de datos e incorporación de zonas de pesca	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Actividad 3 <b>Ejecución Programa de monitoreo con muestreador científico</b>																
3.1 Taller de inducción y coordinación	Revisión de protocolos y coordinación en terreno				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
3.2 Toma de datos - Pesquería de cangrejo dorado	Obtención de datos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
3.3 Toma de datos - Pesquería de langosta	Obtención de datos	x	x	x	x											x
3.4 Toma de datos - Pesquerías de Breca	Obtención de datos					x	x	x	x							
3.5 Digitación base de datos muestreo biológico	Traspaso a base de datos digital	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
3.6 Depuración bases de datos	Revisión de datos e incorporación de zonas de pesca	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
3.7 Muestreo talla-peso langosta en viveros	Registros talla -peso langostas	x	x	x	x											x
3.8 Coordinación muestreo de oportunidad talla-peso cangrejo dorado	Oportunidades de muestreo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
3.9 Control de salidas muestreadores	Control actualizado y coordinado de las actividades de los muestreadores científicos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Actividad 4 <b>Control de tráfico marítimo</b>																
4.1 Obtención base de datos de control de tráfico marítimo por subsistema	Número de salidas censal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
4.2 Depuración de información	Obtención de información apropiada por recurso pesquero	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Actividad 5 <b>Gestión y asesoría</b>																
5.1 Permiso de traslado muestreador científico a ID (temporada 2021/22)	Autorización viaje del Muestreador															x
5.2 Solicitud de uso de casa de investigadores (AS) Conaf	Contar con autorización y vivienda para el Muestreador científico en AS															x
5.3 Reunión con muestreadores científicos sobre actividades realizadas	Recoger comentarios de experiencia en terreno						x	x								
5.4 Reunión con pescadores	Asesoría y difusión de resultados	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
5.5 Reunión de trabajo con SUBPESCA	Asesoría previo al comité de manejo. Atención oportuna de requerimientos					x	x				x	x				
5.6 Coordinación y participación en reunión del comité de manejo.	Asesoría técnica para el comité de manejo					x	x				x	x				
5.7 Apoyo técnico a Subpesca en temas relacionados con las pesquerías objetivo	Apoyo técnico según requerimientos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
5.8 Apoyo logístico a Subpesca en temas relacionados el comité de manejo	Apoyo logístico para viaje a isla Robinson Crusoe					x	x				x	x				
Actividad 6 <b>OBJETIVO</b>																
6.1 Estimación de CPUE nominal para cangrejo dorado	Captura por unidad de esfuerzo						x	x								x
6.2 Estimación de CPUE nominal para langosta de Juan Fernández	Captura por unidad de esfuerzo por subsistema						x	x								x
6.3 Estandarización de CPUE para langosta de Juan Fernández	Captura por unidad de esfuerzo						x	x								x
6.4 Estimación de esfuerzo total para cangrejo dorado, langosta y peces	Esfuerzo de pesca dirigido a la captura de especies objetivo de estudio.						x	x								x
6.5 Estimación de captura total para cangrejo dorado, langosta y peces	Estimación de capturas						x	x								x
6.6 Estimación de CPUE para cangrejo dorado, langosta y breca	Estimación de CPUE por especie objetivo						x	x								x
6.7 Análisis del comportamiento de indicadores pesqueros de cangrejo dorado	Indicadores pesqueros cangrejo dorado						x	x								x
6.8 Análisis del comportamiento de indicadores pesqueros de langosta	Indicadores pesqueros langosta						x	x								x
6.9 Análisis del comportamiento de indicadores pesqueros de breca	Indicadores pesqueros breca															x
6.10 Obtención de características técnicas de las embarcaciones - Capitania de Puerto	Caracterización de las unidades extractivas												x	x		
6.11 Entrevista a los patrones	Caracterización de la operación de pesca y unidades extractivas														x	x
6.12 Muestreo de aparejos de pesca	Caracterización de aparejos de pesca												x	x		
6.13 Contrastación estimación de desembarques versus datos oficiales de	Registro de desembarques	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Actividades	Resultado esperado asociado	Mes														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Actividad 7	<b>OBJETIVO 2</b>															
7.1	Análisis de datos del muestreo biológico de cangrejo dorado					x	x								x	x
7.2	Análisis de datos del muestreo biológico de langosta de Juan Fernández					x	x								x	x
7.3	Análisis de datos del muestreo talla-peso de crustáceos desembarcados															
7.4	Toma de muestras de gónadas de breca y cangrejo dorado					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7.5	Análisis histológico gónadas de breca cangrejo dorado							x	x	x	x	x	x	x	x	x
Actividad 8	<b>OBJETIVO 3</b>															
8.1	Recopilación de información de terreno sobre fauna acompañante					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8.2	Mejoramiento Guía de identificación de especies					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8.3	Caracterización de la fauna acompañante de las especies objetivo							x	x						x	x
8.4	Análisis de frecuencia de aparición de fauna acompañante en ambas rocoso							x	x						x	x
8.5	2 evaluaciones de densidad erizo y característica comunitarias del fondo rocoso							x	x						x	x
Actividad 9	<b>OBJETIVO 4</b>															
9.1	Estimación bycatch por pesquería objetivo															
Actividad 10	<b>OBJETIVO 5</b>															
10.1	Recopilación de información de terreno sobre volúmenes de principales					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10.2	Estimación de volúmenes de principales carnadas por subsistema							x	x	x					x	x
Actividad 11	<b>OBJETIVO 6</b>															
11.1	Revisión de anclaje "Estación langosta I"					x			x						x	
11.2	Compra de equipo y envío a Robinson Crusoe					x	x		x	x					x	x
11.3	Muestreo CTD					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11.4	Obtención y procesamiento de datos							x	x						x	x
11.5	Análisis de datos					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Actividad 12	<b>OBJETIVO 7</b>															
12.1	Evaluación de diseños de muestreo alternativos															
12.2	Evaluación del uso de la información del programa de monitoreo (Taller)															
12.3	Evaluación del uso de la información del programa de monitoreo															
	<b>INFORMES</b>															
	Informe de Avance															
	Pre Informe Final															
	Informe Final															
	Boletín de Difusión															

## REPORTE DE GESTIÓN POR ACTIVIDAD

### A. Actividad 1: Coordinación administrativa y logística

Se dio continuidad al programa de monitoreo desde enero 2021. La firma del contrato se llevó a cabo en marzo de 2021.

### B. Actividad 2: Ejecución del programa de monitoreo pesquero

Desde enero a la fecha se ha dado continuidad al traspaso de la información desde el formulario DA (Declaración artesanal) para langosta con la información entregada por los pescadores en las bitácoras de pesca. Finalizada la temporada de pesca de langosta 2020/21, se mantuvo el traspaso de la información de los desembarques que corresponden a especies ícticas, principalmente Breca, Vidriola y Bacalao y cangrejo dorado, como parte del acuerdo con los pescadores. La persona encargada de esta actividad es quien se ha hecho responsable de entregar los DA en la oficina de Sernapesca.

La digitación y depuración de las bases de datos de cangrejo dorado, langosta y peces, continuó ininterrumpidamente según el desarrollo de las actividades extractivas de los recursos. Las actividades relacionadas con langosta cesaron el 14 de mayo (producto de la veda biológica) y fueron retomadas el 1 de octubre de 2021, mientras que para cangrejo dorado y peces, la actividad extractiva para consumo humano se siguió desarrollando durante el periodo invernal, aunque muy dependientes de las condiciones climáticas y de la demanda de consumo.

El levantamiento de información de salidas de pesca dedicadas únicamente a los peces comenzó en mayo, de forma paralela a la temporada de pesca de langosta (debido a la disminución del esfuerzo) y se extendió hasta septiembre, cesando una vez iniciada la temporada de langosta 2021/22.

### C. Actividad 3: Ejecución del Programa de monitoreo con muestrador/a científico/a

Desde el primer mes de desarrollo del proyecto se dio inicio a la toma de información a través del muestreo biológico/pesquero en embarques periódicos por parte de muestreadores científicos. La información registrada es fundamental en la construcción de índices de captura por unidad de esfuerzo.

Durante el año, el coordinador en terreno incorporó nuevo personal para realizar el muestreo biológico ya que existe un recambio de personas ajeno a la gestión de los coordinadores. El coordinador en terreno es el responsable de la instrucción de las nuevas personas así como de coordinar las salidas de pesca en las que aprenden a registrar la información en las bitácoras junto a un muestreador más experimentado. Simultáneamente es quien se encargó de revisar la correcta ejecución del protocolo de levantamiento de información, llevar un control de las salidas realizadas y asegurar que los muestreadores cuenten con los equipos necesarios.

Al finalizar cada salida de pesca, los registros fueron entregados y almacenados en la oficina disponible en la isla Robinson Crusoe, espacio de trabajo, acopio de material e instrumentos de medición, articulación del grupo de trabajo y apoyo a las solicitudes de la comunidad. Los datos fueron digitados en formato establecido desde el primer mes de desarrollo del proyecto por personal establecido en la isla Robinson Crusoe. En el caso de los registros provenientes de AS fueron enviados con frecuencia (dependiendo de la disponibilidad de embarcación) al coordinador en

terreno para hacerlos llegar a quien los digitalizó. En el caso de Desventuradas, recién en el mes de mayo de 2021 se tuvo acceso a los datos, pues la Pandemia tuvo efectos directos en el retorno de los pescadores a la isla Robinson Crusoe. La persona encargada de la digitación llevó las bases de datos actualizadas según las bitácoras entregadas por los muestreadores científicos. Los datos fueron revisados antes de su ingreso a la base de datos general.

Durante el presente proyecto, en el caso de la pesquería de langosta, los muestreadores científicos se embarcaron periódicamente para cumplir las metas mensuales de la temporada 2020/21. La información de la pesquería de cangrejo dorado fue levantada desde enero de 2021, según la disponibilidad de embarque. La temporada de captura especies ícticas principalmente para consumo humano comenzó en mayo, fecha en que finalizó la temporada de langosta cuyas actividades se retomaron en octubre. Dada la disminución del número de salidas de pesca de langosta, los muestreadores en RC-SC y AS anticiparon la orientación de su trabajo hacia el levantamiento de información de salidas de pesca de peces (mayo), extendiéndose hasta septiembre, únicamente en RC-SC, además de mantener embarques en la pesquería de cangrejo dorado.

Durante el año 2021 se incorporó el diseño de muestreo para la obtención de datos reproductivos de la Breca de Juan Fernández que inició su aplicación en mayo de 2020, extendiéndose ha otras especies ícticas de interés. Se resolvieron los impedimentos logísticos asociados al cierre de la comuna de Juan Fernández por la Pandemia, que retrasaron la llegada de materiales a la isla, sin embargo, la condiciones y restricciones impuestas en el continente no permitieron la llegada a tiempo al laboratorio para la obtención de cortes hictológicos del material recolectado.



#### D. Actividad 4: Control de tráfico marítimo

La información del control de tráfico marítimo (registros de salida y llegada de embarcaciones a bahía Cumberland) fue solicitada mensualmente a la Capitanía de Puerto de Juan Fernández. El muestreador científico en AS realizó un control de salidas de las embarcaciones independiente para complementar la información solicitada al alcalde de mar. La información del zarpe de las embarcaciones fue continuamente depurada para obtener los registros de salidas por recurso (cangrejo, langosta y peces), asignando tipo de actividad a cada salida de las embarcaciones que operan en Juan Fernández (salida para capturar peces (carnada o venta), langosta o cangrejo dorado). Esta información es fundamental pues permite tener un censo del esfuerzo de pesca expresado como número de salidas por mes, por recurso y subsistema.

#### E. Actividad 5. Gestión y asesoría:

Las actividades asociadas a la pesquería de langosta durante la temporada 2020/21 fueron gestionadas durante agosto - septiembre de 2020. Dado que los pescadores solicitaron viajar a Desventuradas, se realizó la solicitud pertinente a los pescadores y a la armada para contar con un muestreador científico entre octubre y diciembre. Lo mismo se realizó para dar inicio a la temporada 2021/22, sin embargo las incertezas respecto a la fecha de embarque no permitieron concretar el viaje del investigador al inicio de la temporada.

Se dió respuesta a la solicitud de información realizada por Subpesca y Sernapesca durante el periodo. Considerando la actual situación sanitaria, fue imposible llevar a cabo el comité de manejo presencialmente en la isla Robinson Crusoe y/o cualquier viaje de investigación durante el año 2021. Las gestiones y/o asesorías fueron realizadas a través de plataformas virtuales y sus registros quedaron redactados en actas por sesión de trabajo.

#### F. Actividad 6. OBJETIVO 1

Los resultados este objetivo han sido reportados en el presente informe considerando la totalidad de la temporada de langosta 2020/21.

#### G. Actividad 7. OBJETIVO 2

Con el inicio de la temporada de pesca de langosta 2020/21, se dio continuidad al con investigadores a bordo de las embarcaciones. Respecto al muestreo de cangrejo dorado, se mantuvo la comunicación con los pescadores para evaluar la posibilidad de realizar sistemáticamente el levantamiento de información talla-peso en las plantas de proceso de la isla. Sin embargo de forma anexa se puso esfuerzo en buscar y traer ejemplares a tierra de ancho cefalotorácico menor a 85mm para completar el análisis de talla de madurez sexual, lo que permite con información de talla y peso en tierra. La obtención de muestras biológicas de peces para alcanzar los resultados comprometidos se desarrolló hasta mayo de 2021.

Al iniciar la temporada de pesca de langosta 2021/22, se contó con muestreadores en AJF y una persona dispuesta a viajar a Desventuradas desde el continente.



#### H. Actividad 8. OBJETIVO 3

Con el inicio de la temporada de pesca de langosta 2020/21 y 2021/22, se dió continuidad al monitoreo de la fauna acompañante de las pesquerías de crustáceos. Durante todo el año se mantuvo atención en el adecuado levantamiento de la información.

El trabajo de campo para la investigación de las comunidades bentónicas del submareal con énfasis en erizos planteado en la propuesta inicial de ejecución del proyecto no pudo ser concretado debido a los obstáculos logísticos que implicó la pandemia. Sin embargo, se subsanó a través de la

recopilación y análisis de información levantada durante la expedición del 2020. Además, a través del trabajo cooperativo y organizado con habitantes de Robinson Crusoe, se realizaron ejercicios de muestreo submareal y toma de muestras de erizos para el análisis de aspectos reproductivos realizados por el estudiante de biología marina, Sebastián Baez en el marco de su tesis de grado.

I. Actividad 9. OBJETIVO 4

Las mejoras en el programa de bitácoras biológicas (enfaticando en el registro correcto de bycatch en aparejos de pesca de peces) han sido indicadas a los muestreadores científicos oportunamente. Durante todo el año se mantuvo atención en el adecuado levantamiento de la información.

J. Actividad 9. OBJETIVO 5

Los resultados de este objetivo son reportados en su totalidad en el presente informe, contando con el registro completo del año 2021 de langosta más la estimación de los volúmenes utilizados en la pesquería de cangrejo dorado.

K. Actividad 10: OBJETIVO 6

Durante el segundo semestre se realizaron las gestiones para contar con la Estación langosta I anclada en la isla Robinson Crusoe, con apoyo de la armada. Por otra parte, se mantuvo la obtención y procesamiento de datos satelitales e *in situ*.

L. Actividad 10: OBJETIVO 7

Se dio curso al diagnóstico e información de las bases de datos para alimentar la evaluación del diseño de muestreo. Para efectos del cumplimiento del objetivo, se llevó a cabo un taller online con la participación de distintos actores relevantes.

## A N E X O III

---

Identificación de especies marinas consideradas Fauna acompañante de las pesquerías de crustáceos y especies ETP que se distribuyen en los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas.

ANEXO III. Identificación de especies marinas consideradas Fauna acompañante de las pesquerías de crustáceos y especies ETP que se distribuyen en los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas.

Tabla 1. Listado actualizado de fauna acompañante de las pesquerías de crustáceos y especies ícticas identificada en los archipiélagos Juan Fernández e Islas Desventuradas registrados por muestreadores científicos (periodo 2014 – 2020).

PECES		
ID	Nombre comun	Nombre científico
1	Albacora/ pez espada/ swordfish	<i>Xiphias gladius</i>
2	Alfonsino	<i>Beryx splendens</i>
3	Anguila	<i>Gymnotorax porphyreus</i>
4	Atún aleta amarilla	<i>Thunnus albacares.</i>
5	Atún aleta larga/ atún blanco/ albacore/ bonito del norte/ albacora	<i>Thunnus alalunga</i>
6	Atún listado/ Skipjack tuna	<i>Katsuwonus pelamis</i>
7	Atún ojo grande/ bigeye tuna/ patudo	<i>Thunnus obesus</i>
8	Azulejo	<i>Prionace glauca</i>
9	Bacalao de Juan Fernández /salmon de roca, mero/ guata blanca	<i>Polyprion oxigeneios</i>
10	Blanquillo	<i>Parapersis dockinsi</i>
11	Breca	<i>Nemadactylus gayi</i>
12	Cabrilla	<i>Chironemus delfini</i>
13	Calantias/ pez arcoíris	<i>Callanthias platei</i>
14	Chalaco/ Cachudito/ Torito de Juan Fernández	<i>Scartichthys variolatus</i>
15	Chancharro	<i>Helicolenus lengerichi</i>
16	Cojinova del norte	<i>Seriolella violacea</i>
17	Colorado/ Salmon/ Ojudo	<i>Plagiogeneion sp.</i>
18	Congrio	<i>Lotella fernandeziana</i>
19	Corvina de JF	<i>Umbrina reedi</i>
20	Graniento	<i>Caprodon longimanus</i>
21	Jerguilla de Juan Fernández/ vieja negra	<i>Girella albostrata</i>
22	Jurel	<i>Trachurus murphyi</i>
23	Jurel – Jurelillo de Juan Fernández	<i>Pseudocaranx chilensis</i>
24	Lenguado 1	<i>Arnoglossus coeruleosticta</i>
25	Lenguado 2 (Islas Desventuradas)	<i>Aseraggodes bahamondei</i>
26	Lenguado de Juan Fernández	<i>Paralichthys fernandezianus</i>
27	Pampanito	<i>Scorpius chilensis</i>
28	Pejerrey	<i>Odontesthes gracilis</i>
29	Piloto Juan Fernández	<i>Hypoplectrodes semicinctum</i>
30	Pez Escorpión / Chascabria/ Venenoso	<i>Scorpaena fernandeziana / Scorpaena thomsoni</i>
31	Pez Luna	<i>Mola mola</i>
32	Pez Mariposa	<i>Pterygotrigla picta</i>
33	Pez payaso	<i>Plectranthias exsul/ Plectranthias lamillai</i>
34	Pez Sol	<i>Lampris guttatus</i>
35	Pez soldado	<i>Paratrachichthys fernandezianus</i>
36	Pez Volador	<i>Exocoetus volitans/ Fodiator acutus</i>

Tabla 1. Continuación

PECES		
ID	Nombre común	Nombre científico
37	Punto fijo/ agujilla/ pejerrey	<i>Scomberesox saurus</i>

38	Sierra	<i>Thyrsites atun</i>
39	Tiburón Mako	<i>Isurus oxyrinchus</i>
40	Tollo/ dogfishes	<i>Mustelus mento/ Squalus mitsukurii</i>
41	Vidriola/ palometa/ yellowtail/ yellowtail kingfish/ yellowtail amberjack	<i>Seriola lalandi</i>
42	Vieja	<i>Malapterus reticulatus, Pseudolabrus gayii, Suezichthys sp.</i>
43	Remora	<i>Remora remora</i>
<b>INVERTEBRADOS MARINOS</b>		
	Nombre comun	<i>Nombre científico</i>
44	Agua mala	<i>Physalia physalis</i>
45	Cangrejo dorado	<i>Chaceon chilensis</i>
46	Caracol Blanco	<i>Fusitriton magellanicum</i>
47	Centolla	<i>Paramola rathbuni</i>
48	Cigala	<i>Scyllarus delfini</i>
49	Coral blanco	<i>Acanella chilensis</i>
50	Coral negro	<i>Parantipahes fernandenzii, Antipathes, Leiopathes</i>
51	Erizos de mar*	<i>Aspirodiadema microtuberculatum/ Centrostephanus sp.</i>
52	Esponja	Clase <i>Demospongiae</i>
53	Estrellas de mar*	Clase <i>Asteroidea</i>
54	Jaiba remadora	<i>Ovalipes trumaculatus</i>
55	Langosta enana	<i>Projasus bahamondei</i>
56	Loco	<i>Concholepas concholepas fernandezianus</i>
57	Medusa*	Clase <i>Medusozoa</i>
58	Ofiuro	<i>Gorgonocephalus chilensis</i>
59	Pateador	<i>Hemisquilla ensigera</i>
60	Pepino de mar	Clase <i>Holothuroidea</i>
61	Picorocos	Infraclase <i>Cirripedia</i>
62	Poto de mar*	Clase <i>Anthozoa</i>
63	Pulpo	<i>Octopus crusoae</i>
64	Crustaceo 1	<i>Acantharctus delfini</i>
65	Cangrejos*	Orden <i>Decapoda</i>
66	Tulas de mar	<i>Holothuria platei</i>

Tabla 2. Listado de fauna marina de los grupos de aves, mamíferos y reptiles cuyo rango de distribución comprende las aguas cercanas a AJF e ID. (IUCN: <https://www.iucnredlist.org/species>; Aves de Chile: <https://www.avesdechile.cl/>)

AVES			
ID	Nombre comun	Nombre científico	Referencia
1	Albatros ceja negra	<i>Thalassarche melanophrys</i>	Flores et al., 2014
2	Albatros de Salvin	<i>Thalassarche salvini</i>	Flores et al., 2014 (en ID)
3	Albatros de Bullero gris	<i>Thalassarche bulleri</i>	Aves de Chile; IUCN
4	Albatros errante	<i>Diomedea exulans</i>	IUCN
5	Fardela Blanca de Juan Fernández	<i>Pterodroma externa</i>	Flores et al., 2014; Aves de Chile
6	Fardela blanca de Más a Tierra	<i>Pterodroma defilippiana</i>	Flores et al., 2014; Jaramillo, 2005; Aves de Chile
7	Fardela blanca/ Pardela patirosa	<i>Ardenna creatopus</i>	Aves de Chile, IUCN
8	Fardela negra de Juan Fernández	<i>Pterodroma neglecta</i>	Flores et al., 2014; IUCN; Aves de Chile
9	Fardela de Mas Afuera	<i>Pterodroma longirostris</i>	Jaramillo, 2005; IUCN
10	Fardela sombría/negra	<i>Ardenna grisea</i>	IUCN; Aves de Chile
11	Fardela de buller	<i>Ardenna bulleri</i>	Flores et al., 2014; IUCN
12	Fulmar del sur	<i>Filmarus gracialoides</i>	Flores et al., 2014
13	Gaviota cola de golondrina	<i>Creagrus furcatus</i>	Flores et al., 2014 (en ID)
14	Gaviota oscura	<i>Onychoprion fuscatus</i>	Flores et al., 2014
15	Gaviotín de San Félix	<i>Anous stolidus</i>	Flores et al., 2014; IUCN
16	Golondrina de mar de vientre blanco	<i>Fregetta grallaria</i>	Flores et al., 2014; IUCN
17	Grey noddy	<i>Procelsterma albivitta</i>	Flores et al., 2014 (en ID); IUCN
18	Petrel de mentón blanco	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	IUCN
19	Petrel gigante	<i>Macronectes giganteus</i>	Flores et al., 2014
20	Petrel gris/ Fardela gris	<i>Procellaria cinerea</i>	IUCN; Aves de Chile
21	Petrel moteado	<i>Daption capense</i>	Flores et al., 2014, IUCN
22	Pingüino de Humboldt	<i>Spheniscus humboldti</i>	**
23	Piquero de patas azules	<i>Sula neboxii</i>	Flores et al., 2014
24	Piquero o alcatraz enmascarado	<i>Sula dactylatra</i>	Flores et al., 2014
25	Read-tailed tropicbird	<i>Phaethon rubricauda</i>	Flores et al., 2014 (en ID)
26	White-tailed tropicbird	<i>Phaethon lepturus</i>	Flores et al., 2014 (en ID)
MAMÍFEROS MARINOS			
	Nombre comun	Nombre científico	
27	Ballena Azul	<i>Balaenoptera musculus</i>	IUCN
28	Ballena de Bryde o Rorcual de Eden	<i>Balaenoptera edeni</i>	IUCN
29	Ballena fin/ Ballena de aleta	<i>Balaenoptera physalus</i>	Cardenas et al., 1991; IUCN
30	Ballena jorobada	<i>Megaptera novaeangliae</i>	IUCN
31	Ballena Minke	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	IUCN
32	Ballena picuda de Cuvier	<i>Ziphius cavirostris</i>	Cardenas et al., 1991; IUCN
33	Ballena picuda de De Blainville	<i>Mesoplodon densirostris</i>	IUCN
34	Ballena picuda de Shepherd	<i>Tasmacetus shepherdi</i>	Cardenas et al., 1991; IUCN
35	Ballena picuda de Travers	<i>Mesoplodon traversii</i>	Cardenas et al., 1991; IUCN
36	Ballena piloto	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Cardenas et al., 1991 (en AS)
37	Ballena sei o Rorcual boreal	<i>Balaenoptera borealis</i>	Cardenas et al., 1991; IUCN
38	Cachalote	<i>Physeter macrocephalus</i>	Cardenas et al., 1991; IUCN
39	Cachalote enano de cabeza corta	<i>Kogia breviceps</i>	IUCN
40	Cachalote enano dentado	<i>Kogia sima</i>	IUCN
41	Delfín común	<i>Delphinus delphis</i>	Cardenas et al., 1991

Tabla 2. Continuación

MAMÍFEROS MARINOS			
ID	Nombre comun	Nombre científico	Referencia

42	Delfín de riso/ Falso calderón	<i>Grampus griseus</i>	IUCN
43	Delfín listado	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Cardenas et al., 1991, IUCN
44	Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>	Cardenas et al., 1991, IUCN
45	Falsa orca	<i>Pseudorca crassidens</i>	IUCN
46	Lobo fino de Juan Fernández	<i>Arctocephalus philippii</i>	IUCN
47	Orca	<i>Orcinus orca</i>	Cardenas et al., 1991; IUCN

#### REPTILES MARINOS

	Nombre comun	Nombre científico	Referencia
48	Tortuga boba/ cabezona	<i>Caretta caretta</i>	IUCN
49	Tortuga verde	<i>Chelonia mydas</i>	IUCN
50	Tortuga laúd	<i>Dermodochelys coriacea</i>	IUCN
51	Tortuga carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>	IUCN

\*\* Ocasionalmente han varado en el archipiélago Juan Fernández

Las especies identificadas para AJF e ID han sido clasificadas considerando criterios internacionales y nacionales expuestos en el recuadro como especies ETP (*Endangered, Threatened, Protected - Especies en peligro, amenazadas y protegidas*). La **“fauna emblemática” es compuesta por el único mamífero marino endémico de AJF – ID, el lobo fino de Juan Fernández**. De esta forma, se presenta el listado de las especies ETP.

Cabe destacar además que Chile suscribe desde 1979 a la CBI (Comisión Ballenera Internacional- IWC *International Whaling Commission*), promoviendo la conservación de los cetáceos y la defensa de su uso no letal (desde 1982 rige la moratoria de prohibición de cacería comercial de ballenas). <http://www.minrel.gov.cl/comision-ballenera-internacional-cbi/minrel/2008-09-10/172049.html>. En la Tabla 1 se reporta la nómina de las especies amenazadas de acuerdo a su estado de conservación considerando los criterios del Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA) y la IUCN. Se incorporan además las especies protegidas por CITES, integradas en los Apéndices I y II.

Tabla 3. Criterios para establecer las especies ETP

Criterio	Descripción
The IUCN red list of Threatened species (Lista roja de especies amenazadas).	Especies consideradas como amenazadas según IUCN ( <i>International Union for Conservation of Nature</i> - Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza) de acuerdo a los siguientes estados de conservación i) En Peligro Crítico (CR), ii) En Peligro (EN) y iii) Vulnerable (VU). (Fuente: <a href="http://www.iucnredlist.org/search">http://www.iucnredlist.org/search</a> )
Apéndices de CITES	Las especies protegidas por CITES ( <i>Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora</i> - Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) se agrupan en tres apéndices de acuerdo a los principios fundamentales de cada uno de ellos. Chile está suscrito a CITES desde 1974. <a href="https://cites.org/esp/app/appendices.php">https://cites.org/esp/app/appendices.php</a>
Especies amenazadas <sup>4</sup> de Chile	Reglamento para Clasificar Especies según Estado de Conservación (RCE, Decreto Supremo N° 29 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente). Las categorías de conservación corresponde a las vigentes actualmente para IUCN (Ley 20.417 modificación de artículo 37 de la Ley 19.300, 2010). (Fuente: <a href="http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/">http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/</a> )

<sup>4</sup> Una especie amenazada es aquella que presenta problemas de conservación (amenazas) que significa riesgo de extinción en el mediano plazo (al menos 10% de probabilidad de extinción en 100 años). Por este motivo, estas especies han sido incluidas o listadas en alguna de las categorías de conservación que significan amenaza. Esas listas son conocidas frecuentemente como Listas de Especies Amenazadas. Lista de Especies con Problemas de Conservación o Lista Rojas.

Tabla 3. Listado de especies Protegidas y ETP identificadas para el archipiélago Juan Fernández e islas Desventuradas. Categorías: CR: Peligro crítico (*Critically Endangered*); EN: En Peligro (*Endangered*); VU: Vulnerable (*Vulnerable*); NT: Casi amenazada (*Near Threatened*); LC: Menor preocupación (*Least Concern*); DD: Datos insuficientes (*Data Deficient*), SI: Sin Información de estado de conservación, NA: Sin registro, IC: Insuficientemente conocida). \* Protegido por CITES, Apéndice I; \*\* Protegido por CITES, Apéndice II. Solo se consideran aquellas especies que en alguno de los criterios presente un estado de conservación que amerite preocupación. Actualizado en marzo de 2020.

Grupo	Nombre común	Nombre científico	MMA	IUCN
Aves	Albatros errante	<i>Diomedea exulans</i>	NA	VU
	Alvatro de Salvin	<i>Thalassarche salvini</i>	SI	VU
	Fardela Blanca de Juan Fernández	<i>Pterodroma externa</i>	EN	VU
	Fardela blanca de Más a Tierra	<i>Pterodroma defilippiana</i>	VU	VU
	Fardela blanca/ Pardela patirosa	<i>Ardena creatopus</i>	SI	VU
	Fardela de buller	<i>Ardena bulleri</i>	NA	VU
	Fardela negra de Juan Fernández	<i>Pterodroma neglecta</i>	EN	LC
	Fardela de Mas Afuera	<i>Pterodroma longirostris</i>	EN	VU
	Gaviotín de San Félix	<i>Anous stolidus</i>	VU	LC
	Golondrina de mar de vientre blanco	<i>Fregatta grallaria</i>	EN	LC
	Petrel de mentón blanco	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	SI	VU
	Pingüino de Humboldt*	<i>Spheniscus humboldti*</i>	VU	VU
Mamíferos	Ballena Azul*	<i>Balaenoptera musculus*</i>	EN	EN
	Ballena de Bryde o Rorcual de Eden	<i>Balaenoptera edeni*</i>	DD-EN	LC
	Ballena fin/ Ballena de aleta	<i>Balaenoptera physalus*</i>	CR	VU
	Ballena jorobada	<i>Megaptera novaeangliae*</i>	VU	LC
	Ballena sei o Rorcual boreal	<i>Balaenoptera borealis*</i>	NA	EN
	Cachalote	<i>Physeter macrocephalus*</i>	VU	VU
	Ballena Minke	<i>Balaenoptera acutorostrata*</i>	IC-LC	LC
	Lobo fino de Juan Fernández	<i>Arctocephalus philippii</i>	VU	LC
Reptiles	Tortuga boba/ cabezona	<i>Caretta caretta</i>	CR-IC	VU
	Tortuga verde	<i>Chelonia mydas</i>	EN	EN
	Tortuga laúd*	<i>Dermodochelys coriacea*</i>	CR-IC	VU
	Tortuga carey	<i>Eretmodochelys imbricata</i>	CR	CR
Peces	Pejerrey de Juan Fernández	<i>Odontesthes gracilis</i>	Rara, VU	NA
	Pez luna	<i>Mola mola</i>	SI	VU
	Tiburón Mako	<i>Isurus oxyrinchus</i>	SI	EN
Otros	Coral Negro**	<i>Parantipahes fernandenzii</i> , <i>Antipathes**</i> , <i>Leiopathes</i>	NA	NA

\* El Apéndice I de CITES incluye todas las especies en peligro de extinción. El comercio en especímenes de esas especies se autoriza solamente bajo circunstancias excepcionales.

\*\* El Apéndice II se incluyen especies que no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, pero cuyo comercio debe controlarse a fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia. <https://cites.org/esp/disc/how.php>

## A N E X O I V

---

Descripción de índices ambientales analizados para el dominio de AJF

## ANEXO IV. Descripción de índices ambientales analizados para el dominio de AJF

Nombre del índice: Temperatura Superficial del Mar (permanente).

Descripción del índice: La TSM obtenida del NCEI ([www.ncdc.noaa.gov](http://www.ncdc.noaa.gov)) es un análisis construido mediante la combinación de observaciones de diferentes plataformas (satélites, buques, boyas) **determinada desde la radiación térmica de onda larga (~10  $\mu\text{m}$ ) en una grilla regular global**, produciendo un mapa de TSM espacialmente completo mediante interpolación óptima. Como se ha descrito en Parada *et al.* (2013), la temperatura puede afectar a la langosta de Juan Fernández en cuatro formas documentadas: (1) regulando el desfase de la muda de los machos generando variaciones en la CPUE (Ernst *et al.*, 2010a), (2) afectando el nivel de actividad y por lo tanto influyendo sobre la capturabilidad de la langosta (Ziegler *et al.*, 2002, 2003, 2004), (3) se infiere, relacionado con lo anterior, que desempeña un papel clave en los patrones biológicos y las migraciones ontogenéticas de *J. frontalis* (Román *et al.*, 2018) y (4) modulando, a través cambios interanuales de al menos 4°C en la temperatura a 80 m, la época y duración del período de portación de huevos (Ernst *et al.*, 2010a) y la profundidad a la cual se realiza (Arana *et al.*, 1985). Sin embargo, estas descripciones hacen alusión generalmente a temperaturas de mayor profundidad (>80 m), y no superficial. No obstante, cabe recordar que en el informe anterior (2017-18) se encontró una fuerte relación entre la temperatura superficial y la medida a ~90 m en AS.

Por otro lado, la TSM está altamente influenciada por procesos (1) locales, como vórtices de Von Kármán (Medel *et al.*, 2018; Andrade *et al.*, 2014b) y surgencia local (Parada *et al.*, in prep.), (2) remotos, como meandros (Cornejo-Guzmán *et al.*, in press), remolinos de mesoescala y masas de agua (Andrade *et al.*, 2012; 2014b), (3) pero también por procesos de escala global, como el ciclo anual, los distintos modos climáticos, (e.g. El Niño-Oscilación del Sur; Shaffer *et al.*, 1999; Hormazábal *et al.*, 2001; Escribano *et al.*, 2004), el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPS) (Ancapichún y Garcés-Vargas, 2015) y el cambio climático (Garreaud y Falvey 2009, Aiken *et al.* 2011). Estos últimos procesos de baja frecuencia están altamente documentados en la zona (Shaffer *et al.*, 1999; Pizarro *et al.*, 2002; Montecinos *et al.* 2003; Pizarro y Montecinos, 2004; Montecinos y Pizarro, 2005; Correa-Ramírez *et al.*, 2012; Strub *et al.*, 2013) y son claves para entender la dinámica de lo que sucede en el AJF. Es por ello que un estudio en un dominio mayor y de resolución más gruesa nos permitirá ver la evolución de la TSM en escalas más grandes (estacional, anual, interanual y decadal) y como regulan la dinámica poblacional de este recurso y su pesquería.

Nombre del índice: Presión al Nivel del Mar (permanente).

Descripción del índice: El conjunto de datos del reanálisis de ERA5 (<http://marine.copernicus.eu/>) es un conjunto de datos continuamente actualizado (1979-presente) que representa el estado de la atmósfera de la Tierra, incorporando observaciones y modelos de predicción numérica del tiempo. Entre sus productos superficiales, encontramos la SLP, la cual fue descargada y procesada para la zona de Chile que considera el AJF. Uno de los problemas al analizar la SLP es que la relación entre la SLP y la TSM no es tan fácil de dilucidar debido a los distintos forzantes que afectan a la presión atmosférica y a la escala en la cual se está trabajando. Generalmente, se espera que una mayor TSM conlleve a un calentamiento de las masas de aire por encima del mar, disminuyendo su densidad y generando un ascenso de aire, por lo cual se espera una baja presión atmosférica (Sutcliffe, 1952). Estas bajas presiones absorben el aire que les rodean formando nubes en altura que generalmente terminan precipitando, favoreciendo el desarrollo de nublados densos, con sistemas de tormentas, ráfagas de viento, relámpagos, granizos, etc. Por el contrario, una menor TSM llevaría a un

enfriamiento de las masas de agua, favoreciendo el descenso de aire y a una alta presión, generando regularmente una zona de estabilidad atmosférica con poca nubosidad y escaso viento (Sutcliffe, 1952). No obstante, la presión atmosférica también depende de factores como la humedad, la altitud y la latitud. Además, frente a Chile tenemos la presencia del ASPS (centro de alta presión), que es un fenómeno permanente y netamente atmosférico que puede estar relacionado con buen tiempo (mayor radiación y temperatura) pero con temperaturas bajas en el océano al no ser una relación directamente térmica, sino dinámica (Strub *et al.*, 1998). Al considerar la retroalimentación de la presión con el propio ASPS, la advección de agua fría de la corriente Perú-Chile y la cubierta de estratocúmulos que allí se genera, los mecanismos TSM-SLP hacia zonas subtropicales y extra tropicales no son directos (no convectivos) y se vuelven más complejos y no lineales.

Por lo tanto, en escala regional y de meses-años, el forzamiento dominante del giro subtropical oceánico es el ASPS, el cual en su lado oriental fuerza el sistema de corrientes Perú-Chile. (Strub *et al.* 1998, Fuenzalida *et al.* 2008). Es por ello que es de vital interés el estudio de la variabilidad en la presión en la zona si se quiere entender los cambios en la surgencia, meandros, remolinos de mesoescala, etc. Además, por la posición que tiene el AJF, el ASPS es clave. El ASPS tiene ciclos estacionales, interanuales y decadales (interdecadales). A escala estacional, en el verano es más intenso frente a la costa centro-sur de Chile (~35°S) y en invierno es más intenso frente a la costa de La Serena (30°S) (Taljaard 1972). Esta migración estacional permite la llegada de la variabilidad sinóptica a la zona (sistemas frontales y altas migratorias). A escala interanual, durante la fase cálida de ENOS, la intensidad del ASPS disminuye, y en el Pacífico sur oriental, la surgencia lleva aguas menos frías hacia la superficie debido a que la termoclina se profundiza (*e.g.*, Blanco *et al.*, 2002; Carr *et al.* 2002), tendiendo a calentar las aguas superficiales costeras. Durante la fase fría (La Niña), la intensidad del ASPS aumenta y ocurren condiciones oceanográficas opuestas. La escala decadal (interdecadal) es asociada con la OIP. Durante la fase cálida (fría) de la OIP, se presentan anomalías positivas (negativas) de TSM a lo largo de las costas de América del Norte y Sur (Mantua y Hare 2002), afectando el campo de presiones del ASPS al producir anomalías en la magnitud y dirección de los vientos a gran escala, modificando tanto las pesquerías como la flora y fauna (Yáñez 1991, Hayward 1997, Thiel *et al.* 2007). Finalmente, el iMAS es otra oscilación que tiene variabilidad interanual e interdecadal y que afecta el campo de presiones superficiales entre las latitudes medias y altas (Gong y Wang, 1999). De esta forma, se realiza un estudio como el hecho para la TSM, sin embargo, la resolución es más gruesa (~270 km), por lo que debe ser utilizado con precaución.

Nombre del índice: Índice de sub y mesoescala (permanente)

Descripción del índice: En el Sistema de Corrientes de Perú-Chile es recurrente la presencia de mecanismos de mesoescala (Leth y Shaffer, 2001; Hormazábal *et al.*, 2004; Chelton *et al.*, 2011), generados por el desarrollo de inestabilidades baroclínicas a partir del cizalle de las corrientes costeras provocado por la estratificación (Leth y Shaffer, 2001; Marchesiello *et al.*, 2003; Colas *et al.*, 2012; Hormazábal *et al.*, 2013). Dicha estratificación es resultado de la surgencia costera la que es forzada por las variaciones estacionales de los vientos (favoreciendo la generación de meandros, filamentos, y remolinos de mesoescala; Leth y Shaffer, 2001). Estas variaciones estacionales (Hormazábal *et al.*, 2013), como también variaciones intraestacionales de las ondas atrapadas a la costa (Belmadani *et al.*, 2012), e interanuales (Hormazábal *et al.*, 2004; Chaigneau *et al.*, 2008; Correa-Ramírez *et al.*, 2012), sumadas a la influencia geográfica de las costas de Perú-Chile, facilitan y modifican la generación de remolinos superficiales y subsuperficiales. De esta manera, la región frente a Chile central (29-39°S) está caracterizada como una zona de alta energía cinética (EKE) debido a la importante formación y propagación de remolinos superficiales y subsuperficiales que se desarrolla

sobre ésta. Esta zona ha sido denominada como Zona de Transición Costera (ZTC). La ZTC se extiende desde la costa hasta los 600 a 800 km mar afuera (Hormazábal et al., 2004; Chaigneau y Pizarro, 2005; Correa-Ramírez et al., 2007). En esta región los remolinos de mesoescala tienen escalas espaciales típicas de unos 200 km con estructuras espaciales coherentes durante varios meses, las que se propagan predominantemente fuera de la costa, produciendo un transporte de  $\sim 2 \text{ Sv s}^{-1}$  (Hormazábal et al., 2004). La dirección de propagación de estos remolinos en la región depende de su vorticidad. En cuanto a su transporte y características, entre las propiedades que pueden transportar se encuentran el momentum, temperatura, salinidad y propiedades biogeoquímicas. La propagación de los remolinos mar afuera, genera una extensión de la zona productiva sobre la ZTC significativa, permitiendo el desarrollo biológico en mar abierto (Andrade et al., 2014a; 2014b). A partir de imágenes satelitales (Correa-Ramírez et al., 2007; Andrade et al., 2014a) y datos *in situ* (Morales et al., 2012), se ha observado que los remolinos ciclónicos superficiales y anticiclónicos subsuperficiales, elevan los niveles de clorofila-a a valores de  $\sim 1 \text{ mg m}^{-3}$  en zonas oligotróficas caracterizadas por valores  $< 0.1 \text{ mg m}^{-3}$ . Por otro lado, se ha detectado que interanualmente la Cla muestra anomalías negativas en su concentraciones, además de una reducción de su extensión fuera de la costa (Correa-Ramírez et al., 2012), siendo atribuible esta anomalía negativa a la baja EKE desarrollada interanualmente por el efecto de El Niño (Hormazábal et al., 2004).

Por su localización, el AJF se ve influenciado por las características espacio-temporal de la ZTC, siendo impactado continuamente por mecanismos de mesoescala provenientes de la zona costera. Estos remolinos, al traer consigo distintas propiedades estarían modulando la actividad fitoplanctónica y por ende la productividad de la zona. En los últimos años se ha logrado detectar dos máximos anuales de Cla, uno en invierno (Andrade et al., 2012; Correa-Ramírez et al., 2012) y otro en primavera-verano (Andrade et al., 2012). Los valores máximos de Cla en invierno están asociados con la propagación de remolinos de mesoescala proveniente de la costa, como lo presenta Correa-Ramírez et al. (2007; 2012). Estos remolinos viajan desde la zona continental con velocidades del orden de 2 km/d (Hormazábal et al., 2004; Chaigneau et al., 2008), así que su efecto sobre las dinámica de las corrientes alrededor de las islas se puede sentir 120-160 días después (Andrade et al., 2012). Por otro lado, el máximo de primavera-verano es asociado al desarrollo de vórtices de Von Kármán y mecanismos de submesoescala, resultantes de la interacción entre los remolinos y la topografía del AJF (Andrade et al., 2014b). Además, se ha evidenciado que la deformación de los remolinos intratermoclinos anticiclónicos por acción de las islas del AJF, genera un aumento de Cla, un mes posterior a un impacto (Andrade et al., 2014a). Desde el punto de vista de la Langosta de Juan **Fernández, Porobić et al., (2012) encontró una fuerte variabilidad interanual de los índices de conectividad-retención para las poblaciones de *J. frontalis*, determinadas principalmente por el acoplamiento entre los factores biológicos reproductivos y por factores oceanográficos tales como las variaciones en la intensidad y presencia de estructuras de mesoescala (remolinos y meandros; Porobić et al., 2013).** Estas estructuras afectan el comportamiento larvario (migración vertical diaria) y, por lo tanto, la distribución espacial de las larvas planctónicas de la langosta en las aguas de la región del AJF. Medel et al., (2018) encontró que existe un mayor índice de parches larvales para las estructuras de mesoescala que en la submesoescala en el AJF. Sin embargo, las estructuras de submesoescala (relacionadas con el desarrollo de vórtices de Von Kármán) revelaron una mayor acumulación de partículas por unidad de área. Estas últimas zonas se caracterizaron por una baja EKE, una tasa de deformación de estiramiento horizontal negativa y una ligera convergencia (Medel et al., 2018).

Desde 1992, un conjunto de altímetros satelitales ha estado monitoreando la altura de la superficie del mar. Los productos de altímetro Ssalto/Duacs son producidos y distribuidos por el Servicio de

Monitoreo Marino y del Medio Ambiente de Copernicus (CMEMS) (<http://www.marine.copernicus.eu>). Ellos procesan datos de Jason-3, Sentinel-3A, HY-2A, Saral/AltiKa, Cryosat-2, Jason-2, Jason-1, T/P, ENVISAT, GFO, ERS1/2. La EKE se puede calcular a partir de estos datos altimétricos, dando una medida de la energía de mesoescala en el sistema. Para el cálculo de la EKE, utilizamos las anomalías de la velocidad geostrofica que provee Copernicus. Estas anomalías son calculadas de las anomalías del nivel del mar respecto al periodo 1993-2012 (datos de la altura del nivel del mar medidos menos el promedio de estos años para eliminar las variaciones de nivel del mar debido a cambios de la gravedad o geoide y debido a la circulación promedio). Sin embargo, usualmente se refiere simplemente a las variaciones respecto del promedio de ese periodo y no anomalías respecto al promedio de todos los eneros, febreros, marzo, etc. De esta manera, una vez que se logra obtener la climatología mensual en el período 1998-2017, interpolamos para obtener cada día particular y así **restarlo a estos datos, obteniendo las anomalías reales. Al hablar de “Eddy” Kinetic Energy, el concepto de Eddy está asociado a las fluctuaciones respecto de un promedio temporal y la EKE depende de lo que se quiera definir como “Eddy”.** Para remolinos de mesoescala (cuya varianza predomina en rangos intraestacional a estacional) se suelen usar datos diarios de estas anomalías de velocidad y luego se le aplica un filtro pasa baja de 3 meses. Finalmente se calcula la EKE como en la Ecuación 14.

Para evaluar la interacción de los remolinos con ID y AJF, se llevó a cabo una identificación y seguimiento, comenzando con un algoritmo de seguimiento de remolinos basado en la altura de la superficie del mar para el período. El algoritmo utilizado es la versión 3.0 de py-eddy-tracker (Mason et al., 2014) disponible gratuitamente en <https://emason@bitbucket.org/emason/py-eddy-tracker>. Este software utiliza un método geométrico (Nencioli et al., 2010; Chelton et al., 2011; Pujol et al., 2016) para la identificación de remolinos y se aplica en este estudio sobre datos altimétricos AVISO DT14 (<http://marine.copernicus.eu>). Para más detalles ver Mason et al. (2014).

Nombre del índice: Clorofila-a (permanente)

Descripción del índice: Para construir una serie de tiempo de mayor cobertura temporal, se utilizó un producto intercalibrado llamado HERMES (<http://hermes.acri.fr/>) del conjunto de datos GlobColour. Éstos presentan una cobertura de 4 km, provenientes de productos L3 combinados de SeaWiFS, MERIS, MODIS y VIIRS mediante el Algoritmo Fusión del Modelo Garvar, Siegel, Maritorea (GSM). El método GSM utiliza las reflectancias normalizadas en las longitudes de ondas originales del sensor, sin calibración (Maritorea y Siegel, 2005). **La concentración de Cla escogida es para aguas “Tipo 1”,** o sea, aguas donde la concentración de fitoplancton domina sobre las partículas inorgánicas. Es comúnmente utilizado como un proxy para la biomasa de fitoplancton. No obstante, existe incertidumbre en el uso de la concentración de Cla como proxy de la abundancia de fitoplancton cerca de las costas. El problema es que (1) no todos los organismos que constituyen el fitoplancton tienen la misma cantidad de pigmentos por célula, esto implica una falta de especificidad taxonómica en la información satelital que no nos permite discriminar entre las diferentes especies de fitoplancton (Anderson et al. al., 2015) y (2) no toda la clorofila detectada se encuentra en las células vivas: las bandas del espectro electromagnético para estimar la Cla son azules y verdes, y son precisamente estas bandas las que se ven afectadas principalmente por sustancias coloreadas disueltas de origen terrestre desde la resuspensión de sedimentos en el mar, plumas de ríos y escorrentía superficial (Buschmann et al., 2016). Esta es la razón por la cual, para aguas costeras ópticamente complejas, las altas señales de clorofila no son necesariamente indicadores de productividad y se debe tener precaución en su interpretación.

Como se dijo anteriormente, el conjunto RC-SC del AJF se encuentra situada en una banda de alta Cla promedio, producto de la alta energía cinética que se extiende desde la costa hasta los 600-800 km costa afuera ( $\sim 80^\circ\text{W}$ , Hormazábal et al., 2004), provocando que el conjunto RC-SC presente rangos de Cla de  $0.3\text{-}1\text{ mg/m}^3$  (Andrade et al., 2012). Por otra parte, AS se encontraría dentro de la Zona Oceánica (ZO,  $>80^\circ\text{W}$ ), con valores de Cla  $<0,1\text{ mg/m}^3$  (Correa-Ramírez et al., 2012). Sin embargo, a pesar del mayor conocimiento en cuanto a procesos remotos como los remolinos de mesoescala, también se han identificado procesos locales como vórtices de Von Kármán (Medel et al., 2018; Andrade et al., 2014b), surgencia local (Parada et al., in prep.), también otros procesos remotos como meandros (Cornejo-Guzmán et al., in press; Parada et al., in prep.), masas de agua (Andrade et al., 2012; 2014b), y también procesos de mayor escala como los interanuales (e.g. ENOS; Correa-Ramírez et al., 2012). Por ejemplo, Andrade et al. (2014b) mostró que para el sistema del AJF, los vórtices de Von Kármán y mecanismos de submesoescala, resultantes de la interacción entre los remolinos y la topografía del AJF, son importante sobre la distribución de Cla, especialmente en invierno y primavera, produciendo valores de Chl-a de  $1\text{ mgm}^{-3}$ , en zonas de  $<0.1\text{ mgm}^{-3}$ . La variabilidad estacional e interanual de estos mecanismos en AJF muestra que, el máximo invernal de Cla está asociado al desarrollo de convección invernal, remolinos de mesoescala provenientes de la zona continental y la influencia de los vientos en la región (Andrade et al., 2014b). En términos biológicos, esto promovería un uso diferencial de varios taxones marinos alrededor de las islas, como se observa con algunos crustáceos decápodos, donde parece existir una correspondencia espacial entre la ubicación de las zonas de mayor concentración de Cla y la distribución de estadios adultos de *J. frontalis* y del cangrejo nadador o jaiba remadora (*Ovalipes trimaculatus*) (Retamal y Arana, 2000; Andrade et al., 2014b). Un aspecto adicional notable es el movimiento bidireccional de las concentraciones de Cla, que sugieren una interacción/conectividad entre las islas RC-SC y AS que puede promover la retención de las primeras etapas larvales pelágicas de especies endémicas en el archipiélago (Andrade et al., 2014b). En cuanto a su variabilidad interanual, ya mencionamos que la Cla muestra anomalías negativas (Correa-Ramírez et al., 2012), probablemente afectada por la fase positiva del ENOS (Hormazábal et al., 2004), ya que ésta disminuye la actividad energética y afecta el período de inicio y final de la estación de surgencia (Montecinos & Gómez, 2010) y, a través de ésto, la concentración de Cla y el reclutamiento de algunas especies (e.g. la sardina común; Gómez et al., 2012). Por otro lado, al contrario de lo que sucede con el AJF, las ID han sido pobremente estudiadas y no se entienden muy bien las razones aparentes de sus concentraciones de Cla. Según Pórobic et al. (2012), existiría una conectividad de larvas de *J. frontalis* desde el AJF hacia las ID, en donde los patrones de circulación estarían jugando un rol importante, sobre todo en escalas interanuales.

Nombre del índice: Índices Climáticos (permanente).

Descripción del índice: El IOS es un índice estandarizado basado en las diferencias de presión observadas en el nivel del mar entre Tahití y Darwin, Australia. El IOS es una medida de las fluctuaciones a gran escala en la presión del aire que se producen entre el Pacífico tropical occidental y oriental (es decir, el estado de la Oscilación del Sur) durante los episodios de El Niño y La Niña. En general, las series de tiempo suavizadas del IOS se corresponden muy bien con los cambios en las temperaturas del océano en el Pacífico oriental tropical. La fase negativa del IOS representa una presión de aire por debajo de lo normal en Tahití y una presión de aire por encima de lo normal en Darwin. Los períodos prolongados de valores de IOS negativos (positivos) coinciden con las aguas oceánicas anormalmente cálidas (frías) en el Pacífico oriental tropical típico de los episodios de El Niño (La Niña). La metodología utilizada para calcular IOS está disponible en <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>. Por otro lado, el índice para la OIP es denominado comúnmente ITP (Henley et al., 2015), ya que la oscilación está asociada con un patrón

tripolo distinto de anomalías de la TSM en tres grandes centros de acción y variaciones en escala de tiempo decadales. Por lo tanto, el índice se basa en la diferencia entre la anomalía de TSM promediada en el Pacífico central ecuatorial (10°S–10°N, 170°E–90°O) y el promedio de la anomalía de TSM en el noroeste (25°N–45°N, 140°E–145°O) y el suroeste (50°S–15°S, 150°E–160°O) del Pacífico. Este índice es una buena medida de la variabilidad interdecadal en el Pacífico. Sin embargo, el modo ENOS contiene a la OIP, ya que la OIP es el modo que resulta cuando se filtra la variabilidad interanual del ENOS, por lo que el IOS incluye tanto la variabilidad interanual (ENOS) e interdecadal (OIP). La principal ventaja de utilizar el ITP por sí solo, es que está en unidades de temperatura (°C) y permite evaluar la variabilidad decadal e interdecadal de los campos de TSM del Pacífico total (no solo ecuatorial) de manera directa. Más información se puede obtener en <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/IPOTPI/>. Finalmente, el MAS describe el movimiento del cinturón de viento del oeste que rodea el Océano Antártico. El índice basado en estaciones del **MAS (u “Oscilación Antártica”) se basa en la diferencia de presión zonal entre las latitudes de 40°S y 65°S**. Como tal, el índice MAS mide un “balancín” de masa atmosférica entre las latitudes medias y altas del hemisferio sur. Los valores positivos del índice MAS se corresponden con vientos del oeste de mayor magnitud que el promedio en las latitudes medias-altas (50°S-70°S) y vientos del oeste más débiles en las latitudes medias (30°S-50°S). El MAS es el principal modo de variabilidad en la circulación atmosférica del hemisferio sur en los periodos interanuales y de mes a mes. La metodología del iMAS y más información se puede encontrar en <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>. Todos estos modos climáticos influyen en el ASPS, promoviendo cambios en su variabilidad interanual y decenal (interdecadal), por lo que también utilizamos un índice de ASPS (iASPS) descrito en la metodología.

Los principales cambios interanuales e interdecadales de la TSM a lo largo de la costa centro-norte de Chile se han asociado al ciclo ENOS y a la OIP, respectivamente (Ancapichún y Garcés-Vargas, 2015). Como se dijo anteriormente, la variabilidad relacionada con ENOS influye en los campos de presión, vientos, precipitación y TSM frente a las costas de Chile, decreciendo su efecto hacia los polos. La ODP produce anomalías de TSM, las cuales se originan a través del forzamiento atmosférico que genera advección de aguas provenientes del giro subtropical en su camino hacia los trópicos (White y Cayan 1998). El efecto de esta variabilidad interdecadal incrementa hacia las zonas subtropicales (Ancapichún y Garcés-Vargas, 2015). Por otro lado, un MAS positivo a escala interdecadal fortalece los vientos provenientes del oeste (65°S hacia el sur) y, como resultado, hay un incremento del transporte de Ekman hacia el norte (Ancapichún y Garcés-Vargas, 2015). Alrededor de los 40°S, esta oscilación produce un incremento en la convergencia de Ekman, la TSM y los flujos hacia el oeste (Hall y Visbeck 2002).

Nombre del índice: Profundidad de la Capa de Mezcla (exploratorio)

Descripción del índice: El producto GLORYS12V1 es el nuevo reanálisis de resolución de remolinos oceánicos de CMEMS que abarca la era de la altimetría 1993-2017. Se define en una grilla a 1/12 ° (~8 km). El forzamiento atmosférico es de 3 y 24 horas desde ERA-Interim, incluidas las correcciones de precipitación y flujos de radiación. Las observaciones asimiladas son de la TSM de AVHRR de ~25 km, SLA de Tiempo Retardado de todos los satélites altimétricos y perfiles T/S *in situ* de la base de datos CMEMS CORAv4.1. La profundidad de la capa de mezcla la definen como la profundidad donde el aumento de densidad, en comparación con la densidad a 10 m de profundidad, corresponde a una disminución de la temperatura de 0.2°C en condiciones de la superficie local (temperatura potencial y salinidad a 10m y presión superficial).

En la capa de mezcla, la salinidad, la temperatura y la densidad son casi verticalmente uniformes. Esta capa oceánica es la manifestación de los procesos de mezcla turbulenta que están activos en el océano superior. La transferencia de masa, momentum y energía a través de la capa de mezcla proporciona la fuente de casi todos los movimientos oceánicos, y el espesor de la capa determina el contenido de calor y la inercia mecánica de la capa que interactúa directamente con la atmósfera (Boyer-Montégut et al., 2004). Las principales variabilidades temporales de la MLD están directamente vinculadas a los muchos procesos que ocurren en la capa de mezcla (forzamiento de la superficie, advección lateral, ondas internas, etc.), desde diurno (Brainerd y Gregg, 1995) hasta variabilidad interanual, incluso estacional e intraseasonal (Kara et al., 2003a; McCreary et al., 2001). Además, como casi toda la actividad biológica está restringida a la parte superior del océano dentro de la zona eufótica, la MLD también puede ser muy útil en estudios biológicos (Morel y Andre, 1991; Longhurst, 1995; Polovina et al., 1995). Sin embargo, no existe mayor información de cómo este parámetro podría modular el comportamiento biológico en el AJF o ID. Signorini *et al.*, 2015 relacionó la pendiente positiva observada a través de los años en la Cla con el aumento de la MLD, lo que ellos denominaron **como hipótesis de “forzamiento-respuesta” (Signorini et al., 2015)**

Estado y Tendencia: En la Figura 1a se presentan los datos mensuales de la MLD del punto de referencia. Se observan algunos valores importantes como a mediados de 1998, 2007 y 2010. Además, años bajo la climatología como 1995, 1996, 2005, 2006, 2012, 2015 y 2016. Si bien el ciclo anual está bien marcado (línea roja, Figura 1a), existen años donde pueden ocurrir dos máximos. El promedio (línea verde, Figura 1a) es de 44 m. En lo que va del año 2019 (Figura 1b), se observa que las islas se encuentran en una zona de una mayor profundidad producto de que en esta zona no hay influencia ni de surgencia, ni de agua dulce, por lo que la estratificación es reducida y el efecto del viento puede hacerse notar hasta altas profundidades. Por otro lado, los efectos de agua dulce y evaporación, conducen a una mayor estabilidad por lo que la capa de mezcla en las costas se muestra menos profunda (Mellor y Durbin, 1975). Las anomalías (Figura 1c) muestran que en los últimos meses se han presentado condiciones neutras a positivas, pero con valores menores a +5m. El mes con el más alto valor promedio hasta ahora es junio, con 65 m, pero aún no supera los 85m de agosto del 2018. El mes con el más bajo valor fue enero con un promedio de 16m pero que no es menor que noviembre del año anterior con 12m.

De la serie de tiempo diaria de los promedios sobre los rectángulos de AJF e ID (Figura 1 d, e). se observa que para AJF, luego de los altos valores de invierno y parte de primavera, descendió a mediados de octubre, donde encontró su mínimo de 10m en noviembre. Recién en marzo del 2019 volvió a subir (Figura 1d). Para las ID (Figura 1e), **es un patrón similar, pero la caída es más abrupta** en septiembre.

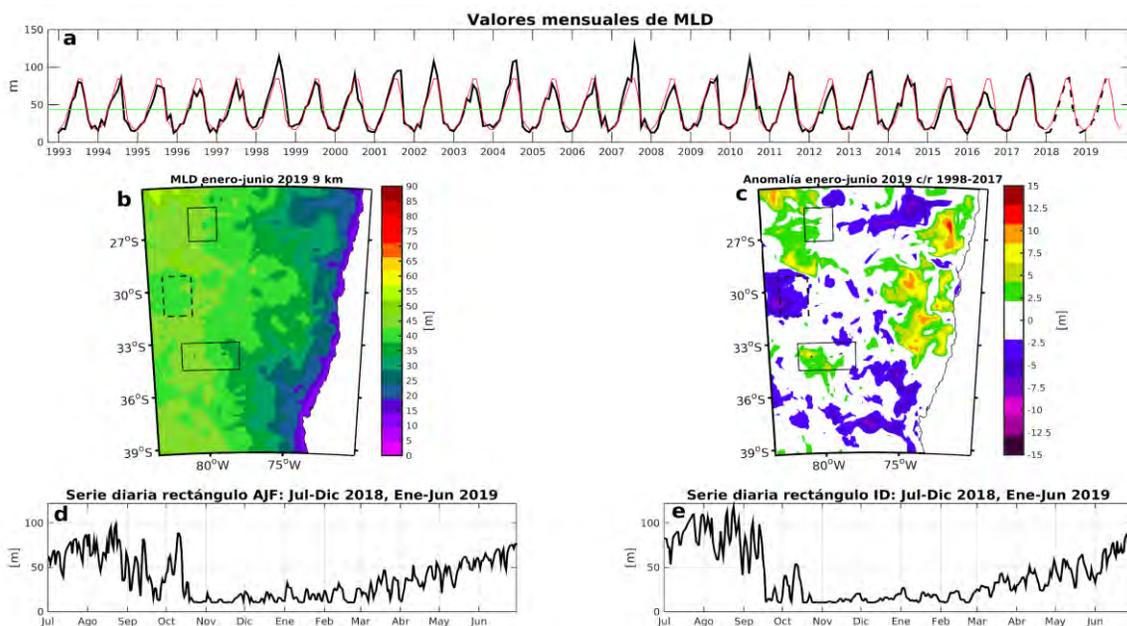


Figura 1 a) Valores mensuales de la MLD desde 1993 hasta junio 2019 en línea negra, la línea punteada indica los datos después del 25/12/2017 donde se utiliza el modelo de pronóstico de Copernicus. En verde se expresa el promedio y en rojo la climatología mensual, b) promedio anual de la MLD para enero-junio 2019, c) anomalía de la MLD para el enero-junio 2019. Encerrados en rectángulos están las ID y el AJF. Marcado con un rectángulo segmentado está la Zona de Control mencionado en la Metodología, para poder obtener la serie representativa. d) serie promedio diaria del rectángulo de AJF y e) serie promedio diaria del rectángulo de ID.

## LOCAL

Nombre del índice: Clorofila-a 1 km (permanente)

Descripción del índice: El conjunto RC-SC del AJF se encuentra situado en una banda de alta clorofila promedio, producto de la alta energía cinética que se extiende desde la costa de Chile hasta los 600-800 km costa afuera ( $\sim 80^{\circ}\text{W}$ , Hormazábal et al., 2004). Estos provocan que el conjunto RC-SC presente rangos de clorofila-a de  $0.3\text{-}1\text{ mg/m}^3$  (Andrade et al., 2012), en donde por su posición se deberían ver características de zonas oligotróficas con valores  $<0.1\text{ mg/m}^3$  (Correa-Ramírez et al., 2007; Andrade et al., 2014a; Morales et al., 2012). No es el caso de AS, la que sí presenta valores de clorofila-a  $<0,1\text{ mg/m}^3$  (Correa-Ramírez et al., 2012) ya que es parte de la Zona Oceánica (ZO,  $>80^{\circ}\text{W}$ ). Al contrario de lo que sucede con el AJF, las ID han sido pobremente estudiadas y no se entienden muy bien las razones aparentes de sus concentraciones de Cla. Según Pórbic *et al.* (2012), existiría una conectividad de larvas de *J. frontalis* desde el AJF hacia las ID, en donde los patrones de circulación estarían jugando un rol importante, sobre todo en escalas interanuales.

Gracias a su alta resolución y la calidad de los datos, la Cla de Modis-Aqua, determinada a través del algoritmo OCI (Hu *et al.*, 2012), ha sido ampliamente utilizado para caracterizar la variabilidad en la productividad del AJF (Andrade et al., 2012; 2014a; 2014b; 2014c). No obstante, como se dijo anteriormente, los productos de Cla tienen muchas limitaciones y son sensibles a muchos errores. Correcciones atmosféricas, de sunglint, de inclinación del satélite, de nubes, entre otros, hacen que los datos no estén disponibles en todo el año, aún cuando se interpole espacialmente con DINEOF. Además, aún no se tiene claro el cómo la concentración de Cla podría estar modulando el

comportamiento de *J. frontalis* o algún otro crustáceo decápodo. Andrade *et al.*, (2014b) encontraron que existe una correspondencia espacial entre la ubicación de las zonas de mayor concentración de Cla identificadas en su estudio y la distribución de estadios adultos de *J. frontalis* y de la Jaiba remadora o cangrejo nadador (*Ovalipes trimaculatus*) que fueron reportados en los primeros 100 m por Retamal y Arana (2000) en el sur y el oeste de las islas RC-SC, respectivamente. Además, existiría un movimiento bidireccional de las concentraciones de Cla observadas, que sugieren una interacción/conectividad entre las islas del AJF que puede promover la retención de las primeras etapas larvales pelágicas de especies endémicas en el archipiélago (Andrade *et al.*, 2014b), algo ya **propuesto por Porobić *et al.*, (2012).**

Nombre del índice: Indicadores de de advección larval (exploratorio)

Descripción del índice: El siguiente análisis, caracteriza la persistencia de las corrientes geostróficas que van hacia afuera del sistema del AJF en el período en que se produce el desove de las larvas de *J. frontalis*. Si bien, este período no es fijo y no está del todo entendido, por los informes anteriores del proyecto se sabe que hembras mayores a 115 mm tienden a estar desovadas a comienzo de temporada (octubre), por lo tanto su desove ocurre entre mayo y septiembre. Hembras reproductivas más pequeñas desovan entre septiembre y diciembre. En la isla AS este proceso se adelantaría un mes, por lo cual abarca entre abril y noviembre. Todavía no están claras las razones del porque es más temprana la portación y el desove en AS, a pesar de que es una característica que se repite año a año. Una de las posibles razones podría ser un desfase en la temperatura de fondo en ambos sistemas de forma sistemática o posibles diferencias en el transporte durante el año en ambos sistemas. Una vez que las larvas desovan pasan al plancton por un periodo no menor a 1 año y se habla de hasta 18 meses. Lamentablemente no existe un modelo conceptual claro del transporte durante este periodo que pueda favorecer o dificultar **el éxito de esas larvas. Porobić *et al.* (2012)**, mediante el uso de modelos biofísicos acoplados (modelos hidrodinámicos y un modelo individuo basado de *J. frontalis*), encontraron niveles importantes de conectividad-retención dentro y entre los sistemas de islas RC-SC, AS e ID y una fuerte variación interanual de estos. Los resultados de la modelación indicaron que la variabilidad en el reclutamiento asociado al AJF depende mayoritariamente de larvas originadas en este mismo sistema, con un aporte importante de reclutas **hacia el archipiélago de las Desventuradas (Porobić *et al.*, 2012).** Como no poseemos un modelo hidrodinámico de la zona funcionando operacionalmente, no podemos realizar ese ejercicio de dispersión larval. No obstante, podemos utilizar un proxy con las velocidades geostróficas satelitales cerca de las islas.

Trabajamos con las corrientes geostróficas absolutas obtenidas desde 1992 del conjunto de altímetros satelitales distribuidos por el Servicio de Monitoreo Marino y del Medio Ambiente de Copernicus (CMEMS) (<http://www.marine.copernicus.eu>). Ellos ponen a disposición las componentes Ug y Vg de la corriente geostrófica absoluta con una resolución de ~25 km. Se seleccionaron los puntos dentro de la grilla de las velocidades que estuvieran más cerca de las islas. Debido a la baja resolución y el tamaño de las islas, solo se obtuvieron 8 puntos para RC-SC (SO, O, NO, N, NE, E, SE, S), 4 para AS (SO, NO, NE, SE) y 6 para las ID (SO NO N NE SE S) de modo que las islas quedaran en el centro. Luego de pasar las componentes Ug y Vg a valores de dirección (0-360° con 0° el norte) y magnitud de la corriente ( $V_{geof} = (u_g^2 + v_g^2)^{1/2}$ ), para cada mes de interés para el subsistema de RC-SC y AS (mayo a diciembre y abril a noviembre, respectivamente) nos quedamos con las direcciones **“hacia afuera” de las islas de cada punto. Así, por ejemplo, para el punto SO nos interesan los valores en la dirección 90° > SO > 360°, para O los valores 180° > O > 360°, etc.** Luego, se juntan todas las direcciones válidas por mes y se procede a realizar una **“rosa de los vientos”.** Esta nos indica el

porcentaje de ocurrencia de cada dirección con respecto a todas las direcciones “hacia afuera” ocurridas esos meses del 2018. Por el otro lado, para las ID consideramos los meses que las larvas **se demoran mínimo unos ocho meses en llegar desde AJF hasta ID** (J. Porobić *pers. com.*). Con esa suposición, podemos trabajar pensando en las larvas que desovaron el año anterior (2017). Luego, **nos quedamos con las direcciones “hacia adentro” de las islas, entonces para el punto SO ahora nos interesan los valores  $0^\circ > SO > 90^\circ$ , por ejemplo.** Luego la metodología es similar al caso anterior, **solo que la “rosa de los vientos” nos indicaría el porcentaje de ocurrencia de cada dirección con respecto a todas las direcciones “hacia dentro” de las islas, provenientes de los desoves del 2017.** Para el caso de la temperatura, utilizamos los datos de 1km y restamos los valores mensuales de RC-SC menos AS durante el año 2018, contrastando con su climatología para ver alguna diferencia.

Estado y Tendencia:

En la Figura 2 **se presentan las direcciones de las corrientes “hacia afuera” y su frecuencia de mayo y junio** (periodo de desove) del 2019 para el subconjunto RC-SC. En mayo la dirección predominante es hacia el norte, con componentes al oeste y este, mientras que en junio es más disperso en todas las direcciones. En ambos meses son raras las ocasiones que superan los 0.2 m/s, sin embargo, poseen mayor frecuencia e intensidad que en el 2018. En el panel de abajo de la Figura 2, se puede apreciar en azul el promedio de cada **mes pero para todas las direcciones, no solo las “hacia afuera”**. Se compara con la climatológica mensual histórica. Se ve una concordancia en enero y febrero, pero una dirección opuesta en marzo y perpendicular en abril. Mayo apunta al noreste al igual que la climatología pero junio está casi en la dirección contraria.

En la Figura 3 **podemos observar las direcciones de las corrientes “hacia afuera” y su frecuencia entre abril y junio** (periodo de desove) para la isla AS. Durante abril y mayo, ocurrió una mayor dispersión de las corrientes y con baja intensidad. Ya en junio se ve una más clara tendencia hacia el sureste con intensidades de hasta 0.1 m/s. Sin embargo, las intensidades y las frecuencias de los tres meses son mucho menores que para el 2018. En cuanto a la comparación con la climatología, se ve una relación directa en cuanto a la dirección hasta abril (aunque de menor intensidad). Ya en mayo y junio toman otra dirección.

**Finalmente, para el conjunto de las ID se observan velocidades “hacia dentro del sistema”** (Figura 4). Con este tipo de gráfico no es tan trivial la interpretación ya que en este caso las islas no están en el **centro si no que cada barra “se dirige” hacia las islas. Es por eso que se cambiaron de posición los ejes**, de tal modo de que arriba está el sur, abajo el norte, izquierda este, derecha oeste. Así, por ejemplo, en enero y febrero la mayoría de las corrientes vinieron hacia las islas desde el suroeste (quizás conectando el AJF con las ID), a diferencia del 2018 que eran del sureste. Sobre todo en febrero, donde se presentó esta dirección más del 50% de las veces. Los meses de marzo a mayo no son tan claros, pero tienen una componente del noreste. Finalmente en junio provinieron más del noroeste. En general, las corrientes han sido menos intensas y con menor frecuencia.

Finalmente, en cuanto a la comparación con la climatología para las ID, se observa que en general en este año apuntan en dirección perpendiculares o incluso opuestas en todos los meses que va del año, excepto en **junio. Hay que recordar que son para todas las direcciones, no solo las “hacia adentro” del sistema.**

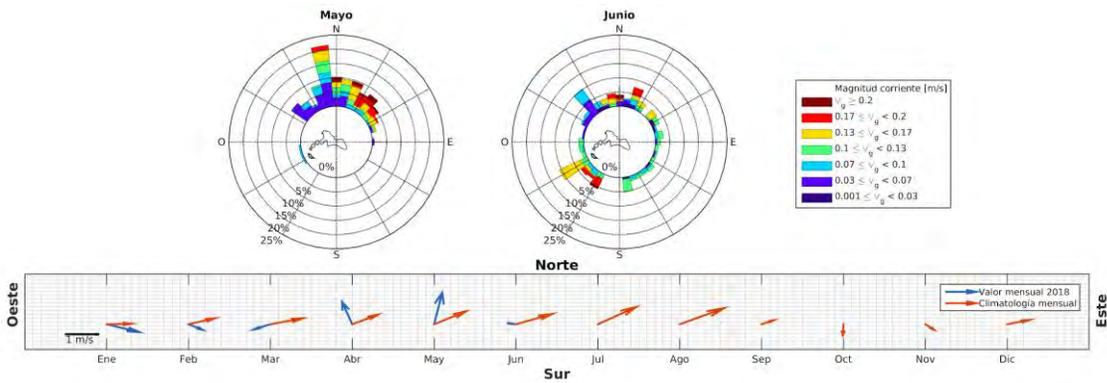


Figura 2 Rosas de los vientos mensual para el subsistema RC-SC de mayo y junio (periodo estimado de desove de larvas en RC-SC). Las direcciones están en intervalos de 10° y la frecuencia de ocurrencia está en porcentaje. La magnitud de la corriente presente en cada dirección se identifica mediante escala de colores. Panel inferior: Serie de tiempo mensual del viento, las flechas azules indican las direcciones durante el año 2019 y las rojas climatología.

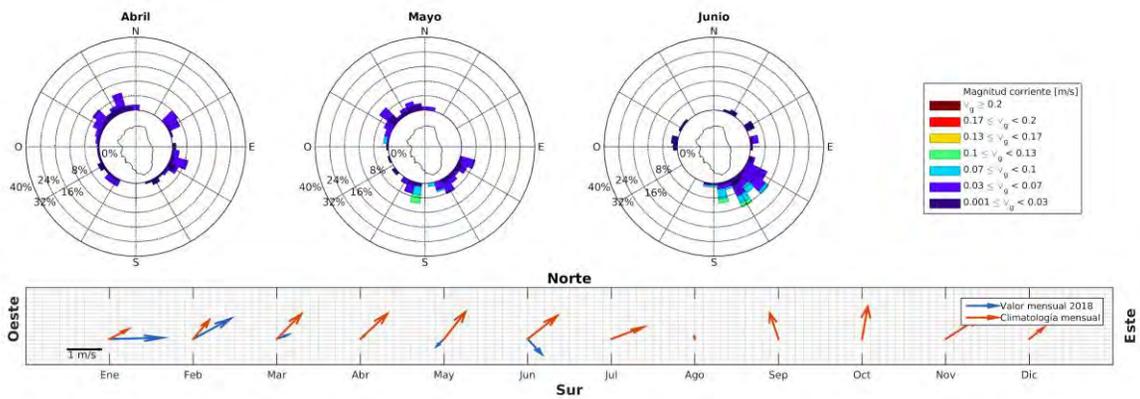


Figura 3 Rosas de los vientos mensual para el subsistema AS de abril, mayo y junio (periodo estimado de desove de larvas en AS). Las direcciones están en intervalos de 10° y la frecuencia de ocurrencia está en porcentaje. La magnitud de la corriente presente en cada dirección se identifica mediante escala de colores. Panel inferior: Serie de tiempo mensual del viento, las flechas azules indican las direcciones durante el año 2019 y las rojas climatología.

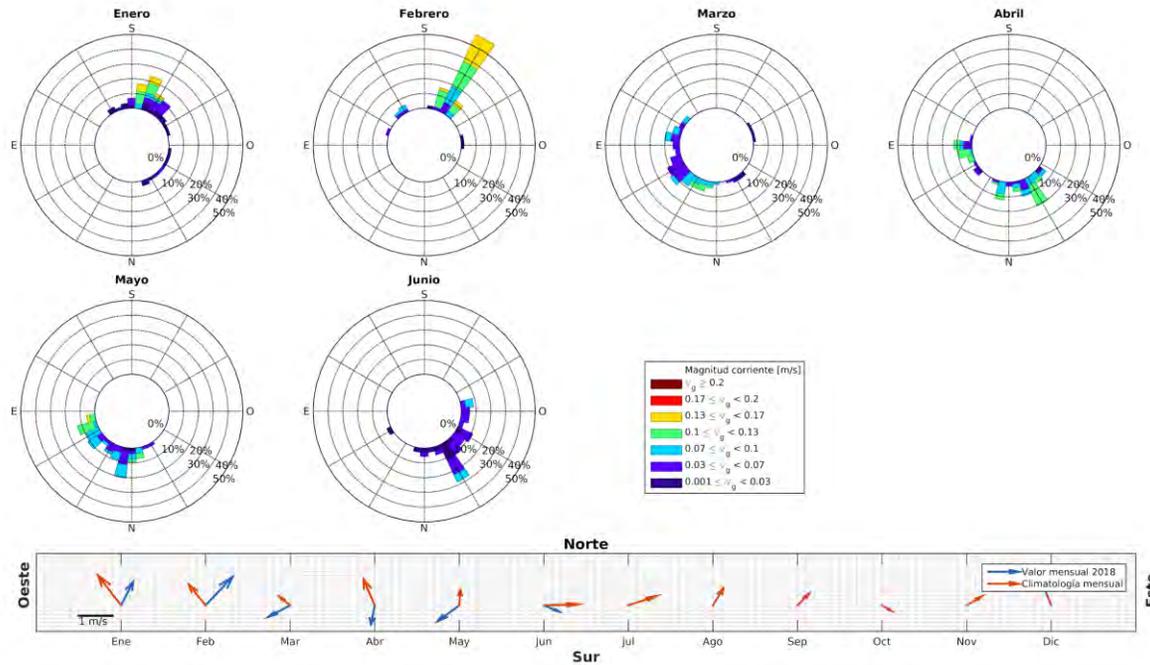


Figura 4 Rosas de los vientos mensual para el subsistema ID desde Enero hasta Junio (periodo estimado de desove de larvas en ID) 2019. Las direcciones están en intervalos de 10° y la frecuencia de ocurrencia está en porcentaje. La magnitud de la corriente presente en cada dirección se identifica mediante escala de colores. Panel inferior: Serie de tiempo mensual del viento, las flechas azules indican las direcciones durante el año 2019 y las rojas climatología.

Nombre del índice: Salinidad, temperatura y O<sub>2</sub> - Monitoreo *in situ* (permanente)

Descripción del índice: Puesto que la captura de langostas se realiza aproximadamente a 90 m, es necesario conocer la variabilidad de variables oceanográficas como la temperatura, salinidad y oxígeno en profundidad. Así mismo, caracterizar la columna de agua en el tiempo alrededor de las islas es necesario. Todo lo anterior, es debido a que se ha documentado que la captura de langosta en el Archipiélago Juan Fernández es sensible a la temperatura y su variabilidad en la columna de agua (Ernst et al., 2010b; Ziegler et al., 2002, 2003, 2004; Román et al., 2018; Arana et al., 1985). La finalidad de estudiar estas variables en profundidad es, por un lado, lograr conectar en el futuro esta información con los datos satelitales superficiales y generar un índice de profundidad a partir de datos satelitales y, por otro lado, analizar y comprender la variabilidad (año a año) de las características de la columna de agua, en especial cerca de las regiones donde se posicionan las trampas para la captura de langosta (~90 m). De esta forma, se pueden generar proyecciones de captura a partir de dichas variables y su conexión con eventos como El Niño o la entrada de estructuras de mesoescala.

Nombre del índice: Temperatura *in situ* (CTD) y satelital de 1 km (permanente)

Descripción del índice: Al contrario de la TSM de 25 km que nos permite ver variaciones regionales y anuales e interanuales, gracias a la resolución de 1 km podemos ver variaciones de menor escala de este parámetro. Como se dijo anteriormente, la temperatura está directamente relacionada con distintos procesos en el ciclo de vida de *J. frontalis*: muda, actividad, migración, portación de huevos y su profundidad (Parada et al., 2013). Además la TSM se puede ver influenciada por procesos locales como como vórtices de Von Kármán (Medel et al., 2018; Andrade et al., 2014b), surgencia local (Parada et al., in prep.), y remotos como meandros (Cornejo-Guzmán et al., in press), remolinos de mesoescala y masas de agua (Andrade et al., 2012; 2014b).

MODIS (o espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada) es un instrumento clave a bordo de los satélites Terra y Aqua. La órbita de Aqua está programada para pasar de sur a norte encontrándose sobre el ecuador por la tarde. Aqua MODIS visualiza toda la superficie de la Tierra cada 2 días, adquiriendo datos en 36 bandas espectrales en donde la TSM se calcula de la radiación térmica de onda larga (11-12  $\mu\text{m}$ ). **Gracias a su resolución espacial y temporal, permite los estudios de TSM en escalas de tiempo más finas, que son necesarias para el conjunto del AJF e ID.** Sin embargo, a pesar de que la metodología de DINEOF es ampliamente utilizada para la interpolación de TSM en el mundo (Beckers et al., 2006; Alvera-Azcárate et al., 2007; Ganzedo et al., 2011; Zhou et al., 2017; Huynh et al., 2018) y en Chile (Corredor-Acosta et al., 2015; Silva et al., 2016; Gomez et al., 2017), ésta metodología aún no está bien validada en el país ni mucho menos en el conjunto de islas. Es por esto, que gracias a los datos *in situ* colectados durante febrero, mayo y noviembre de 2018 se procede a hacer una comparación con la metodología de interpolación.

El conjunto de datos *in situ* provienen del perfilador oceánico YSI CastAway-CTD. Como fue mencionado en la metodología, las dificultades técnicas (problemas con los equipos), y los problemas de conexión entre la isla y el continente, hacen de este muestreo algo difícil y durante el año 2018 estos problemas estuvieron presentes. Durante los meses de marzo y abril debido a la falta de embarcaciones (temporada de extracción de langosta 2017) y las dificultades meteorológicas, no fue posible llevar a cabo el muestreo mensual. Durante mayo el muestreo mensual fue realizado, pero durante la realización de este en el mes de junio, el equipo presentó problemas y no fue posible realizar el muestreo. El equipo fue enviado al continente para su reparación y recién este pudo ser enviado a Robinson Crusoe a finales de septiembre. Debido a la iniciación de la temporada de captura de langosta 2018, fue imposible realizar el muestreo hasta el mes de noviembre.

Nombre del índice: Meteorológico (permanente)

Descripción del índice: Las variables atmosféricas juegan un papel condicionante de forma directa e indirecta sobre la captura de langostas. El cierre del puerto debido a la llegada de sistemas frontales, por la presencia de marejadas y las condiciones del viento, pueden pausar la salida de los botes hasta por 2 días. Por otro lado, los flujos (océano-atmósfera) de calor y de agua dulce en la región, puede presentar implicancias sobre la temperatura de las aguas y la entrada de nutrientes desde las islas. Además, para la generación de un futuro modelo de pronóstico multidisciplinario de captura de langosta, comprender las condiciones atmosféricas de las islas es crucial. Siendo en este aspecto esencial conocer la climatología del sistema (ANEXO V), y las condiciones año a año del viento, temperatura del aire y precipitación.

# ANEXO V

---

Análisis ambientales anteriores y estructura climatológica

## ANEXO V. Análisis ambientales anteriores y estructura climatológica

### Correlación serie termistores (isla Alejandro Selkirk temporada 2008/09) y TSM

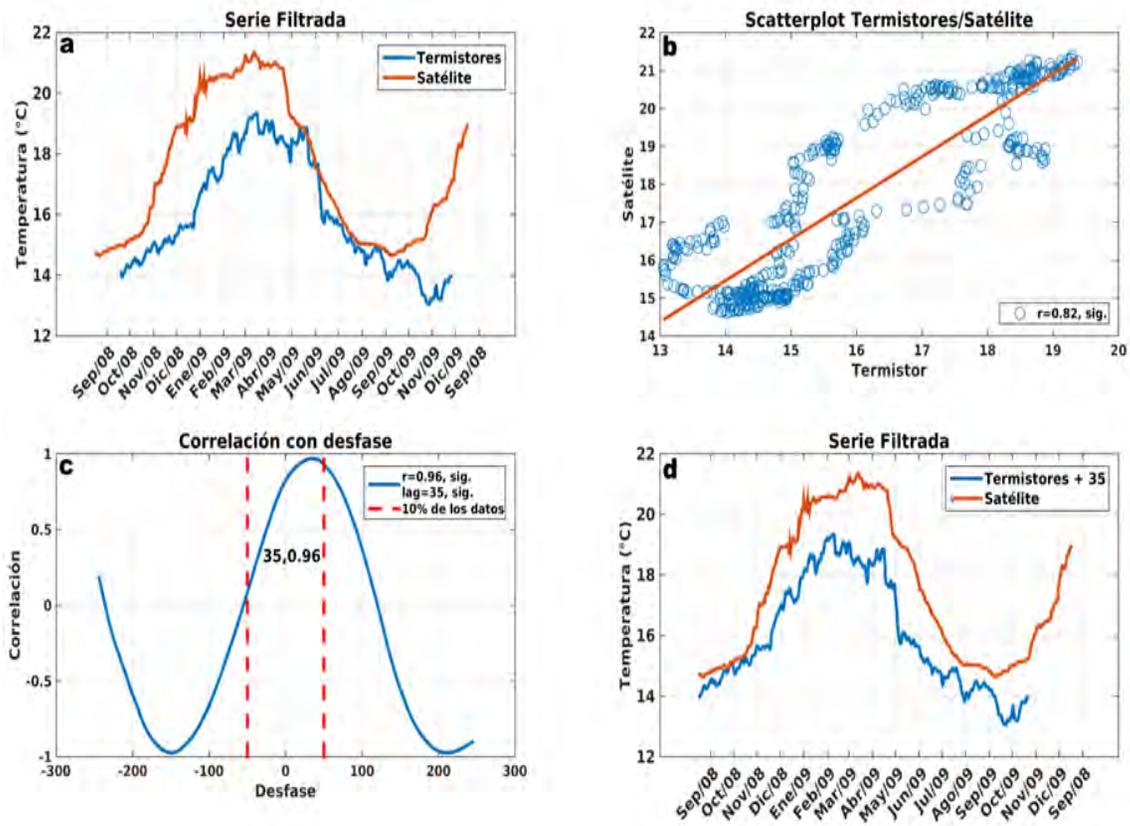


Figura 1 (a) serie Filtrada de termistores (azul) con los promedios de las mismas zonas para las imágenes satelitales (rojo); (b) regresión y correlación entre ambos; (c) correlación cruzada y su desfase; (d) serie filtrada de termistores adelantada en 35 días (lag). (Ernst et al., 2018)

### Reconstrucción vientos

Históricamente, la intensidad del viento bordea en promedio en toda la región los 4 m/s (~8 nudos), encontrándose el límite superior (promedios mensuales) cercano a los 8 m/s (~16 nudos) y el inferior a los 1 m/s (2 nudos) (Figura 2) De hecho, la presencia de eventos diarios con ráfagas de viento superiores a los 15 m/s (~29 nudos) se enmarcan como un evento extremo (sobre el percentil 99). Un aspecto interesante de la intensidad del viento en la región, es una señal de baja frecuencia, relacionada (de manera inversa) con las fases (frías o cálidas) de la PDO. Esta oscilación generó un debilitamiento de los vientos entre 1980 y 2006, los que se habrían visto intensificados de manera abrupta en 2007. Este aumento provocó un cambio en la intensidad del viento (promedio) de ~3 m/s (~6 nudos) a ~6 m/s (~12 nudos).

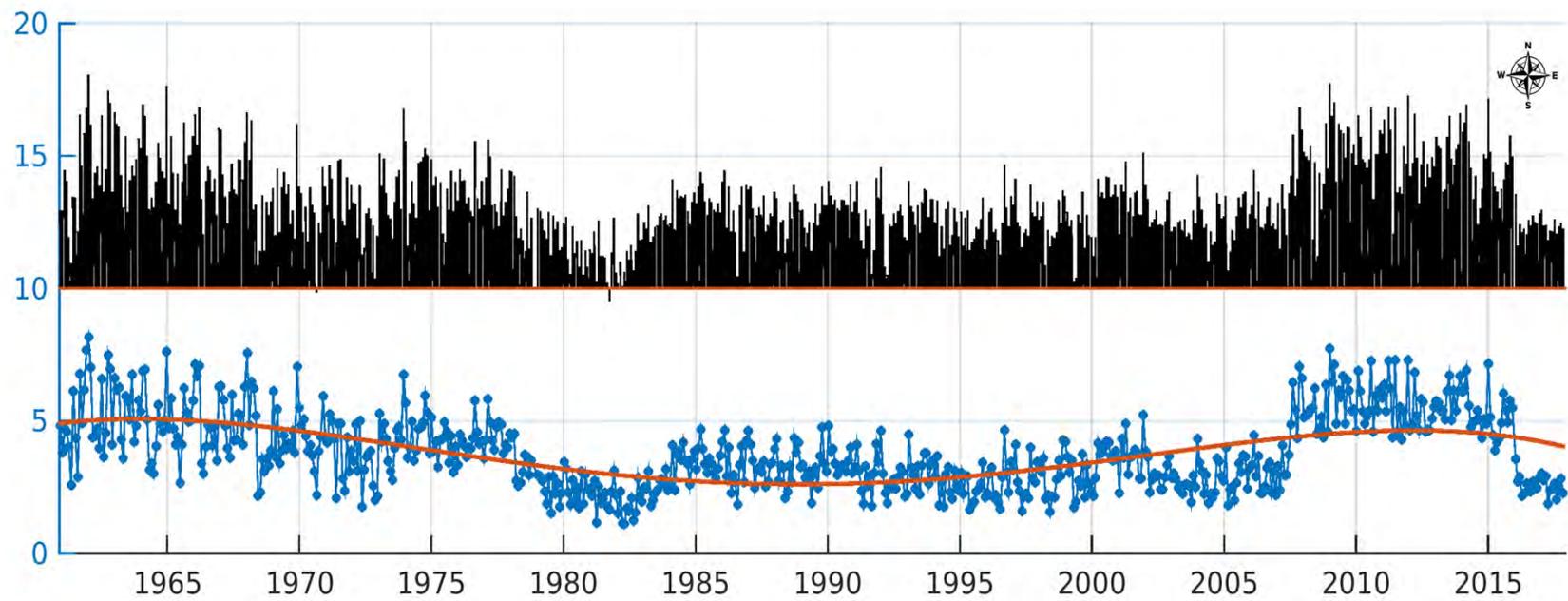


Figura 2. Características mensuales de los vientos en Bahía Cumberland. En el panel de arriba las rectas negras representan la dirección del viento hacia donde viaja. El panel inferior muestra la intensidad del viento en azul y en rojo se muestra una onda moduladora (del viento) de baja frecuencia.

En relación a los índices de precipitación y temperatura atmosférica, se observó que los niveles más altos de precipitación en la región se alcanzaron en el mes de junio (Figura 3) mostrando de este modo un régimen de precipitación similar a las costas de la región del Maule (Climogramas de Chile). Por el lado de la temperatura, la región presenta sus mayores temperaturas en febrero y las menores en agosto (Figura 3) barajando temperaturas entre los 12 y 19°C. El comportamiento de las temperaturas medidas por la estación Cumberland, no muestra un comportamiento similar con otras regiones de Chile. De hecho, la región presenta un retraso de 1 mes en cuanto a las condiciones de temperatura mostradas por las estaciones de Chile Central.

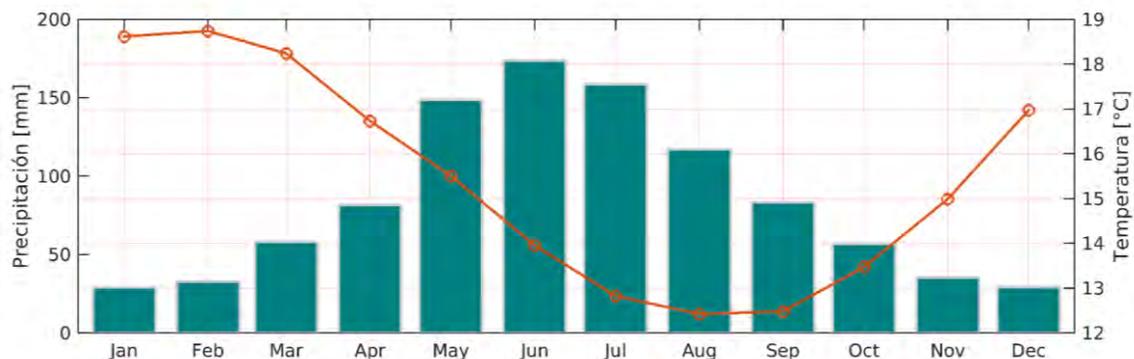


Figura 3. Climograma Bahía Cumberland. Las barras representan la precipitación climatológica acumulada mensual. La curva roja representa la temperatura atmosférica climatológica mensual.

En cuanto a la influencia de eventos remotos, como El Niño y la PDO, sobre la precipitación, se identificó una fuerte influencia de eventos débiles de El Niño. Los niveles de agua caída se ven intensificados durante estos eventos de El Niño y no así durante eventos fuertes como el de 1982-1983. Sin embargo, el evento de 1997-1998 toma relevancia la precipitación (aumentando). En cuanto a eventos de La Niña, los niveles de precipitaciones se ven afectados negativamente. Es interesante ver como la precipitación se ven afectada por las fases de El Niño, y no así (o por lo menos de forma notoria) la intensidad de los vientos en la región.