



INFORME FINAL

Convenio de desempeño, 2020

Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Pelágicas de la zona norte de Chile, entre la Región de Arica y Parinacota a la Región de Coquimbo, año 2020.

Pesquería anchoveta y sardina española, zona norte

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2021



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2020
Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Pelágicas de la zona norte
de Chile, entre la Región Arica y Parinacota a la Región de Coquimbo, año 2020.
Pesquería anchoveta y sardina española, zona norte

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2021

REQUIRENTE

MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO

Subsecretario de Economía y EMT
Julio Pertuzé Salas

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe (I) División Investigación Pesquera
Sergio Lillo Vega

JEFE DE PROYECTO

M. Gabriela Böhm Stoffel



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2021

AUTORES

BIOLÓGICO-PESQUERO

Carola Hernández Santoro
M. Gabriela Böhm Stoffel

MONITOREO REPRODUCTIVO

Eduardo Díaz Ramos

MONITOREO RECLUTAMIENTO

Graciela Pérez Mora

CAPTURA INCIDENTAL

Raúl Ojeda Araya

ESTUDIO DE EDAD

Francisco Cerna Troncoso
Mackarena Gómez Beltrán

OCEANOGRAFÍA

Milena Pizarro Revello
Tomas Berguer Muñoz
Adrián Bustamante Maino

DATA MANAGER

Ramón Aravena González

GESTIÓN MUESTREO

Gonzalo Muñoz Herrera
Carlos Gaspar Solís

COLABORADOR:

M. Carolina García Ossandón



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2021

PERSONAL PARTICIPANTE			
	Nombre	Cargo	Puerto
E	Luis García Madariaga	Observador Científico Senior	Arica
N	Juan Ríos Bordonos	Observador Científico	Arica
	Carlos Gaspar Solís	Coordinador - Campo	Iquique
T	Marjorie Montecinos Quenaya	Observador Científico	Iquique
I	Antonio Yovich Manzo	Observador Científico	Iquique
E	Diego Rojas Ahumada	Observador Científico	Iquique
R	Alejandro Heraldo Fernández	Observador Científico	Iquique
R	Juan Almazábal García	Observador Científico	Mejillones
A	Camilo Arancibia Ardiles	Observador Científico	Mejillones
A	Felipe Orellana Meza	Observador Científico	Arica
	Patricio Muñoz Ortiz	Observador Científico	Arica
B	Domingo Cerda Nieto	Observador Científico	Iquique
O	Osvaldo Villanueva Castro	Observador Científico	Iquique
R	Pablo Salazar Donoso	Observador Científico	Iquique
D	Pablo Sanhueza Durán	Observador Científico Semi-Senior	Iquique
O	Rodolfo Zamorano Argandoña	Observador Científico	Iquique

**Pesquería anchoveta y sardina española,
zona norte (Arica-Antofagasta)**



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvii
1. OBJETIVOS.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. ANTECEDENTES DE LA PESQUERÍA.....	3
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
4.1. Área de estudio.....	5
4.2. Recursos objetivos.....	6
4.3. Estructura trófica.....	7
4.4. Carta Gantt y principales actividades realizadas en el 2020.....	12
5. RESULTADOS.....	13
5.1 Objetivo específico 3.2.1. <i>Caracterizar y analizar la actividad pesquera extractiva considerando los aspectos técnicos de las unidades operativas, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales, así como los factores determinantes de su desempeño.</i>	13
5.1.1 Gestión de muestreo.....	13
5.1.2 Información pesquera.....	16
5.1.3 Información biológica.....	16
5.1.4 Actividades de Supervisión en terreno.....	20
5.1.5 Principales características de la flota cerquera de la zona norte.....	21
5.1.6 Desembarques de recursos pelágicos de la zona norte.....	26
5.2 Objetivo específico 3.2.2. <i>Caracterizar y analizar las capturas y/o desembarques de las especies objetivo, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales, así como los factores determinantes de su desempeño.</i>	30
5.2.1 Condiciones ambientales en el Pacífico ecuatorial.....	30
5.2.2 La pesquería pelágica del Perú con énfasis en la Región Sur.....	44
5.2.3 Indicadores del desempeño de la pesquería.....	48
5.2.4 Recurso anchoveta.....	51
5.2.5 Recurso sardina española.....	107
5.2.6 Integración de resultados.....	115
5.3 Objetivos específico 3.2.3. <i>Caracterizar y analizar la fauna acompañante, captura incidental y sus aspectos ambientales y oceanográficos asociados a estas pesquerías, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales.</i>	120



5.4	Objetivos específico 3.2.4. <i>Implementar un Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría (PMCCA) del programa de Seguimiento de las Pesquerías.</i>	131
6.	DISCUSIÓN	136
7.	CONCLUSIONES.....	141
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

ANEXOS (Se entregan en archivo digital junto al texto)

- Anexo 1. Gestión de muestreo por recurso.
- Anexo 2. Distribución de longitudes ponderadas a las capturas de anchoveta y sardina española.
- Anexo 3. Varianzas de las longitudes.
- Anexo 4. Aspectos reproductivos de anchoveta (Índices macroscópicos y microscópicos).
- Anexo 5. Pesca de Investigación.
- Anexo 6. Estudio de edad de anchoveta.
- Anexo 7. Estudio alimentación y ecología trófica anchoveta zona norte.
- Anexo 8. Base Datos Pesquería Pelágica Norte, año 2020.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Principales puertos de desembarque de la pesquería pelágica ejercida entre la zona de Arica y Antofagasta, identificando los puntos notables.....	6
Figura 2.	Principales recursos pelágicos considerados en el estudio con un resumen de la cuota de captura.....	7
Figura 3.	Número de muestreos de longitud y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Arica, año 2020.	17
Figura 4.	Número de muestreos biológicos y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Arica, año 2020.	17
Figura 5.	Número de muestreos longitud y número de ejemplares mensual de anchoveta, realizados a bordo en la zona Arica, año 2020.	17
Figura 6.	Número de muestreos de longitud y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta realizados en tierra en la zona Iquique, año 2020.	18
Figura 7.	Número de muestreos biológicos y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Iquique, año 2020.	18
Figura 8.	Número de muestreos de longitud y número de ejemplares mensual de anchoveta, realizados a bordo en la zona Iquique, año 2020.	19
Figura 9.	Número de muestreos de longitud y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Antofagasta, año 2020.	19
Figura 10.	Número de muestreos biológicos y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Antofagasta, año 2020.	19
Figura 11.	Número de muestreos de longitud y número de ejemplares mensual de anchoveta, realizados a bordo en la zona Antofagasta, año 2020.....	20
Figura 12.	Número de embarcaciones industriales y artesanales (a) y capacidad de bodega promedio (b) por flota y año en la zona norte, entre 1980 y 2020.	22
Figura 13.	Número de embarcaciones por rango de bodega para la flota industrial (a) y artesanal (b) para la zona norte entre 1980 y 2020.....	22
Figura 14.	Capacidad de bodega desplazada por rango de bodega industriales (a) y artesanales (b) para la zona norte.....	23
Figura 15.	A) Equipos de pesca utilizados en las embarcaciones industriales en la zona norte y B) embarcaciones industriales en faena de pesca con la operación de la embarcación auxiliar (panga).	24
Figura 16.	Serie histórica de los desembarques de las principales especies pelágicas en la zona norte, 2000-2020, por puerto.	27
Figura 17.	Desembarques de las principales especies pelágicas en la zona de estudio, año 2020. Por puerto y especie (panel derecho) y acumulado por especie (panel izquierdo).....	28
Figura 18.	Desembarques semanales de anchoveta extraída por la flota cerquera total, por puerto. Año, 2020.....	29
Figura 19.	Desembarques semanales de sardina española extraída por la flota cerquera total, por puerto. Año, 2020.....	30



Figura 20.	Series de tiempo para el período enero 2014-marzo 2021 del índice ecuatorial ENOS (MEIVv2) y las ATSM (°C) de las regiones Niño ₁₊₂ (verde) y Niño _{3.4} (negro).	31
Figura 21.	Series de tiempo para el período enero 2014-marzo 2021 de a) Índice Ecuatorial ENOS (MEI.v2) y las ATSM (°C) de las regiones Niño ₁₊₂ (verde) y Niño _{3.4} (negro), b) ATSM promedio en las subáreas: norte (18°-23°S) y sur (23°-26°S), en los sectores: b) costero y c) oceánico. Diagrama Hovmöller de ATSM del área total (18°-26°S), en los sectores: d) costero y e) oceánico.	32
Figura 22.	Series de tiempo para el período enero 2014 – marzo 2021: a) Promedio de las concentraciones de clorofila-a (µg/L) en las subáreas: costeras norte (18°-23°S) y sur (23°-26°S), b) Diagrama Hovmöller de las concentraciones de clorofila-a (µg/L) en el sector costero (18°-26°S).	33
Figura 23.	Distribución superficial de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad y d) anomalía de salinidad. Crucero diciembre 2019.	34
Figura 24.	Distribución superficial de: a) porcentajes de participación de las masas de agua con PPMA >50%: Agua Subtropical (AST), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y Agua Subantártica (ASAA); PPMA <50% corresponden a procesos de mezcla de las masas de agua; b) Surgencia promedio (m³/s) por grado de latitud, c) clorofila-a (mg/m³). Crucero diciembre 2019.	35
Figura 25.	Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrófica de los meses de enero y febrero de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.	36
Figura 26.	Distribución superficial de: a) temperatura (°C), b) salinidad superficial, c) porcentajes de participación de las masas de agua con PPMA >50%: Agua Subtropical (AST), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y Agua Subantártica (ASAA); PPMA <50% corresponden a procesos de mezcla de las masas de agua; d) clorofila-a (mg/m³). Crucero marzo- abril 2020.	37
Figura 27.	Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrófica de los meses de marzo y abril de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.	38
Figura 28.	Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrófica de los meses de mayo a agosto de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.	39
Figura 29.	Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrófica del mes de septiembre y octubre de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.	41
Figura 30.	Distribución superficial de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad, d) anomalía de salinidad y e) distribución superficial de porcentajes de participación >50% de las masas de agua: subtropical (AST), subantártica (ASAA) y ecuatorial subsuperficial (AESS). Crucero de septiembre-octubre de 2020.	41



Figura 31.	Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrófica del mes de noviembre de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.	42
Figura 32.	Distribución superficial de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad superficial, d) anomalía de salinidad y e) porcentajes de participación de las masas de agua con PPMA >50%: Agua Subtropical (AST), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y Agua Subantártica (ASAA); PPMA <50% corresponden a procesos de mezcla de las masas de agua. Crucero diciembre 2020.....	43
Figura 33.	Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrófica del mes de diciembre de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.	44
Figura 34.	Serie histórica de los desembarques anuales de anchoveta en la región sur del Perú y norte de Chile. (Fuente: Datos de Perú proporcionados por IMARPE).....	46
Figura 35.	Serie desembarque mensual de anchoveta (promedio 2006-2014 y 2015-2017), años 2018, 2019 y 2020 en la A): región sur del Perú y B): norte de Chile.	46
Figura 36.	Desembarque mensual de anchoveta en la Región Sur del Perú entre el 2012 y 2019 (a septiembre), por puerto. (Fuente: IMARPE).....	47
Figura 37.	Evolución de las capturas por especies en la zona norte y su relación con El Niño (panel superior) y la proporción de especies, 1955-2020.....	49
Figura 38.	Principales indicadores operacionales de la pesquería en la zona norte por flota y total entre 1980 y 2020. a) captura; b) viajes con pesca; c) capacidad de bodega desplazada y d) rendimiento de pesca.	50
Figura 39.	Principales indicadores operacionales de la pesquería de anchoveta en la zona Arica-Antofagasta entre 1980 y 2020. Flota industrial y flota artesanal. Las líneas verticales marcan los cambios de productividad del sistema.	52
Figura 40.	Evolución de las áreas de perforación industrial situadas en la zona exclusiva artesanal en la zona norte entre 1985 y 2020.	53
Figura 41.	Evolución de las capturas de anchoveta en la zona norte (Arica-Antofagasta) en el período 2010-2020. a) Capturas mensuales por flota. b) capturas anuales de la flota industrial y c) capturas anuales de la flota artesanal.	54
Figura 42.	Distribución de las capturas de anchoveta por viaje de pesca en la zona norte, años 2000 a 2020.	55
Figura 43.	Indicadores espaciales para la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta entre 1986 y 2020. a) Índice de cobertura (IC); b) índice de agregación espacial (IAE); c) centro de gravedad de las capturas en latitud y d) centro de gravedad de las capturas en longitud.	56
Figura 44.	Evolución en la proporción de captura de anchoveta en la zona de Arica-Antofagasta, por distancia de la costa. Años 1986 a 2020.....	57
Figura 45.	Evolución mensual de las capturas de anchoveta en la Zona de Arica-Antofagasta, años 2006 a 2012.....	59
Figura 46.	Distribución mensual de las capturas por viaje de pesca de anchoveta en la zona norte, años 2013 a 2020.....	60



Figura 47.	Proporción mensual de la anchoveta extraída en la zona norte, por grupo de tamaño entre 1988 y 2020. Grupo de longitud $\leq 11,5$ cm LT (gris), grupo 12,0 a 13,5 cm LT (rojo), grupo 14,0 a 16,0 cm LT (verde) y el grupo $>16,0$ cm LT (azul).	61
Figura 48.	Talla media para anchoveta en la zona norte entre 1988 y 2020. Las líneas verticales corresponden al mínimo y máximo de longitud anual. La línea punteada horizontal corresponde a la talla de madurez sexual.	61
Figura 49.	Captura en número de anchoveta en la zona norte, por tallas. Flota total, año 2020.	62
Figura 50.	Distribución de frecuencias de longitudes en las capturas de anchoveta en la zona norte. Flota total, años 2019 y 2020.	63
Figura 51.	Serie histórica de la estructura de talla anual de anchoveta en la zona norte. Años 2003 a 2020.	64
Figura 52.	Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la zona norte entre 2010 y 2020 y series 2000-2009 y 2010-2019. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).	65
Figura 53.	Variación semanal del índice gonadosomático (IGS) de la anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y para las series 2000-2009 y 2010-2019. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).	66
Figura 54.	Determinación del inicio y término del periodo reproductivo de acuerdo al criterio referencial IGS = 5%, como referencial de la actividad ovárica (Díaz <i>et al.</i> , 2013), entre 2000 y 2020. En círculo el mes con valor más alto del IGS. En cruz la duración del evento en meses.	67
Figura 55.	Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta por zona y para la zona norte. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).	68
Figura 56.	Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la zona norte por grupos de tamaños de las hembras. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).	68
Figura 57.	Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta por grupos de tamaños de las hembras y por zonas: Arica, Iquique y Antofagasta. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).	69
Figura 58.	Variación semanal del índice de hembras sexualmente activas de anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y para las series: 2001-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar).	70
Figura 59.	Variación semanal del índice de actividad de desove de anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y las series: 1999-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar). (La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves).	71
Figura 60.	Rango de temperatura superficial del mar (a) y de profundidad media (b) de lances con incidencia de hembras desovantes de menos 24 h (en desove inminente y/o desovaron en la misma noche y/o en la noche anterior a la captura).	72
Figura 61.	Variación mensual del índice de actividad de desove de anchoveta por zonas. La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.	73



Figura 62.	Variación mensual del indicador de desove de anchoveta en la zona norte por grupos de tamaños de las hembras. La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.	73
Figura 63.	Variación mensual del indicador de desove de anchoveta en la zona norte, entre 2010 y 2020, y para las series: 2000-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar). La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.	74
Figura 64.	Variación semanal del índice de atresia ovárica de anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y las series: 1999-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar).	75
Figura 65.	Anomalía semanal del IAD para las series: 1999-2009 y 2010-2019, y para el año 2020 (triángulos) y del IGS para el año 2020 (línea) de anchoveta en la zona norte, respecto al criterio de IAD= 25% de máxima intensidad de desove (MID) y de IGS= 6% de máxima actividad ovárica.	76
Figura 66.	Tendencia semanal de indicadores de actividad ovárica (índice gonadosomático (IGS) y hembras sexualmente activas (IHA)) y de desove (IAD) de anchoveta en la zona norte (las líneas verticales acotan el periodo de muestreo para la ojiva).	77
Figura 67.	Incidencia de fases histológicas de madurez ovárica por tamaño de los ejemplares de anchoveta en la zona norte, año 2020.	78
Figura 68.	Frecuencia de inmaduros y maduros sexualmente en relación al tamaño de anchoveta en la zona norte, para el ajuste de la ojiva de madurez.	78
Figura 69.	Ojiva de madurez estimada para hembras de anchoveta en la zona norte, año 2020.	79
Figura 70.	Ojiva de madurez en edad de hembras de anchoveta de la zona Arica-Antofagasta. La línea entrecortada indica la posición de la edad media de madurez.	80
Figura 71.	Estructura de talla de anchoveta de la flota comercial por región (a: flota artesanal y b: flota industrial).	84
Figura 72.	Porcentaje de incidencia de la fracción juvenil de anchoveta ponderadas (número) a la captura octubre 2020-abril 2021, por región y tipo de flota.	85
Figura 73.	Incidencia (%) semanal de la fracción juvenil de anchoveta ponderadas a la captura para las regiones de Arica y Parinacota a Antofagasta, monitoreo a) octubre 2019-abril 2020 y b) octubre 2020-al 20 de abril 2021.	86
Figura 74.	Posición geográfica de los viajes muestreados (flota Industrial y artesanal) en la zona norte.	87
Figura 75.	Serie histórica semanal del porcentaje de incidencia de la fracción juvenil de anchovetas, zona norte, años 1997-2021. (Antecedentes del 2021 provenientes del monitoreo). La línea punteada marca el 30% de incidencia de ejemplares $\leq 11,5$ cm LT.	88
Figura 76.	Evolución de la condición corporal (FC) para anchoveta entre 1989 y 2020, puntos de interrupción obtenidos por la función BFAST (línea de puntos negros) y la tendencia variable (línea roja).	89
Figura 77.	Evolución del peso medio (g) para anchoveta entre 1989 y 2020, puntos de interrupción obtenidos por la función BFAST (línea de puntos negros) y la tendencia variable (línea roja).	89



Figura 78.	Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos CO de ejemplares de 9,5 cm (a, b y c) y 9 cm (d) de LT de <i>Engraulis ringens</i> , recolectados en la zona norte de Chile, durante el 2020. Zt: zonas de transición; V: ventral; R: rostro; C: caudal; D: dorsal.....	91
Figura 79.	Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo HT de un ejemplar de 12,5 cm de LT (1,76 mm de radio caudal) de <i>Engraulis ringens</i> , recolectado en la zona norte de Chile, durante el 2020. dt: discontinuidad evidenciando un cambio de fase de depósito opaco hialino e la región posterior (recuadro negro).....	92
Figura 80.	Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo HT de un ejemplar de 9,5 cm de LT (1,86 mm de radio caudal; a), evidenciado un cambio evidente de fase, de depósito opaco a hialino y presencia de una zona difusa (dz) en la región posterior (b) (recuadros negro y azul). (c) Fotografía a 100X (inmersión) de magnificación.	93
Figura 81.	Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo ZTA de un ejemplar de 12 cm de LT (6b; 1,62 de radio caudal) y de 12 cm (1,82 mm de RC; c). La línea recta ilustra la presencia de potenciales cúmulos de micro-incrementos. Mbh: bandas hialinas múltiples. Las secciones no han sido pulidas.	94
Figura 82.	Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo 2H, de un ejemplar de 13 cm de LT (1,87 mm de radio caudal), ilustrando los cambios de fases entre regiones opacas y hialinas (h1 & h2) (b, c, d & e). (f) Correspondencia micro-estructural de un área de la región dorsal del otolito. Las secciones no han sido pulidas.	95
Figura 83.	Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo 3H, de un ejemplar de 10,5 cm de LT y 1,74 mm de radio caudal, ilustrando los cambios de fases entre regiones opacas y hialinas (h1-h3) (a, b, c & d) a 100X de magnificación. f) Correspondencia micro-estructural de un área de la región del cauda a una magnificación menor.	96
Figura 84.	Ilustración de los cambios en las tendencias centrales, magnitudes y rangos del tamaño de los ejemplares de anchoveta, en función de los tipos de depósitos micro y macro-estructurales.	98
Figura 85.	Ilustración de los cambios en las tendencias centrales, magnitudes y rangos del tamaño de los ejemplares de anchoveta, en función de los tipos de depósitos micro y macro-estructurales, con la información combinada.....	98
Figura 86.	Distribución de frecuencias de fechas de nacimiento(a) y de tallas (b) de 152 ejemplares de la anchoveta, recolectados entre abril y junio del año 2020 en la zona norte de Chile.....	99
Figura 87.	Perfiles de grosor de micro-incrementos diarios de otolitos de ejemplares de la anchoveta de entre 8 y 14,5 cm de LT, recolectados en la zona norte de Chile, entre abril y junio del año 2020, en tres zonas geográficas.....	100
Figura 88.	. Relaciones talla-edad a la fecha de captura (a) y predichas con modelos Laird-Gompertz (b), para ejemplares de entre 2 y 14 cm de LT de la anchoveta, recolectados en la zona norte de Chile. Los parámetros del ajuste se indican en la Tabla 5.	103



Figura 89.	Relación del porcentaje en número y frecuencia de ocurrencia en las distintas zonas de pesca en la temporada 2019-2020.....	105
Figura 90.	Relación del porcentaje en número y frecuencia de ocurrencia en los distintos rangos de talla en la temporada 2019-2020.....	105
Figura 91.	Resumen de la modelación Bayesiana en los análisis estomacales por las distintas zonas de pesca en la temporada 2019-2020.	106
Figura 92.	Resumen de la modelación bayesiana en los análisis estomacales entre los distintos estados de madurez en la temporada 2019-2020.	106
Figura 93.	Evolución de las capturas anuales de sardina española en el período 2001-2020 en el área de estudio. a) Capturas por zona; b) capturas por flota; c) captura por flota, zona Arica-Antofagasta y d) captura por flota, zona Caldera-Coquimbo.....	108
Figura 94.	Evolución de las capturas de sardina española en la zona norte en el período 2001-2020. a) Capturas mensuales por flota; b) capturas anuales de la flota industrial y c) capturas anuales de la flota artesanal.....	109
Figura 95.	Evolución anual de las capturas de sardina española en la zona norte, años 2000 a 2020.	110
Figura 96.	Evolución en la proporción de captura de sardina española en la zona norte, por distancia a la costa. Años 1986 a 2020.....	111
Figura 97.	Proporción mensual de sardina española en la zona norte, por grupo de tamaño entre 1988 y 2020. Grupo de longitud ≤ 20 cm LT (gris), grupo entre 20 a 25 cm LT (rojo), grupo 25 a 30 cm LT (verde) y el grupo >30 cm LT (azul).	112
Figura 98.	Talla media para sardina española en la zona norte entre 1988 y 2020. Las líneas verticales corresponden al mínimo y máximo de longitud anual.	112
Figura 99.	Captura en número de sardina española según tallas, zona norte. Flota total, año 2020.	113
Figura 100.	Distribución de frecuencias de longitudes en las capturas de sardina española, zona norte. Flota total, año 2020.....	114
Figura 101.	Evolución de la temperatura satelital (panel superior) y la descomposición de la serie en estacionalidad (panel inferior) y tendencia en el largo plazo (línea roja en panel superior), entre 1988 y 2017. La línea punteada marca los puntos de quiebre para la serie por función Bfast.....	115
Figura 102.	Evolución de la temperatura estacional (línea entera) e IGS (línea punteada) para los periodos estimados por función Bfast para la temperatura.....	116
Figura 103.	Evolución de los reclutas ponderados y el índice gonadosomático de la anchoveta entre los años 2000 y 2020.	118
Figura 104.	Ciclo anual del índice gonadosomatico (IGS) (a) y de los reclutas ponderados de anchoveta en la zona norte (b y c) entre 2000 y 2020.....	119
Figura 105.	Correlaciones entre los reclutas ponderados y el índice gonadosomático de la anchoveta en la zona norte para las series a) 2000-2009; b) 2010-2014; c) 2015-2020 y d) 2016-2020.	120
Figura 106.	Distribución espacial de los lances realizados por la flota artesanal dirigidos a la captura de anchoveta, en la zona norte, durante el periodo 2017-2020. Lances con captura incidental (azul), lances con mortalidad incidental (rojo). Mamíferos marinos (izquierda), aves marinas (centro), tortugas marinas (derecha).	123



Figura 107.	Distribución espacial de los lances realizados por la flota industrial dirigidos a la captura de anchoveta, en la zona norte, durante el periodo 2017-2020. Lances con captura incidental (azul), lances con mortalidad incidental (rojo). Mamíferos marinos (izquierda), aves marinas (centro), tortugas marinas (derecha).	125
Figura 108.	Distribución espacial de los avistamientos de cetáceos durante los viajes realizados por la flota cerquera artesanal e industrial, entre las regiones de AyP y ANTOF, en el periodo 2017-2020.	130
Figura 109.	Resumen del tipo de interacción de mamíferos (izquierda) y aves marinas (derecha) con las operaciones de pesca comercial de la flota artesanal e industrial de la zona norte, año 2020.	131
Figura 110.	Resumen del momento de interacción de mamíferos (izquierda) y aves marinas (derecha) con las operaciones de pesca comercial de la flota artesanal e industrial de la zona norte, año 2020.	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Límites de las zonas consideradas en el área de estudio.	5
Tabla 2.	Dotación de Observadores Científicos y Coordinadores, por puerto. Año 2020.	13
Tabla 3.	Capturas (t) mensuales monitoreadas por especies en la zona norte, proporción monitoreo (%) y cobertura muestral (%) del año 2020 comparado con la cobertura muestral del año 2019.	15
Tabla 4.	Número de bitácoras totales de la pesquería pelágica zona norte, colectadas para la estimación de los indicadores pesqueros, por puerto, flota y mes, año 2020.	16
Tabla 5.	Número de embarcaciones y capacidad de bodega promedio con operación en la zona norte por flota y rango de bodega entre 1980 y 2020.	25
Tabla 6.	Principales características de las redes anchoveteras utilizadas por la flota según capacidad de bodega en la zona norte.	26
Tabla 7.	Desembarques (t) mensuales de anchoveta de la flota cerquera en la zona norte, por puerto. Año 2020.	29
Tabla 8.	Desembarques (t) mensuales de sardina española de la flota cerquera en la zona norte, por puerto. Año 2020.	29
Tabla 9.	Porcentaje de captura de anchoveta en la zona de Arica-Antofagasta, por rango latitudinal. Años 1986 a 2020.	57
Tabla 10.	Parámetros del ajuste logístico entre la proporción de madurez y la edad con su error estándar (EE), significancia de los parámetros y del ajuste don n corresponde al tamaño de muestra. Se incluye además la estimación de la edad media de madurez (E50%).	79
Tabla 11.	Resumen de la actividad extractiva de la flota comercial de la zona norte, periodo octubre 2020 al 20 de abril 2021.	83
Tabla 12.	Frecuencia de ocurrencia de 6 tipos de depósitos macro-estructurales en otolitos sagitales de ejemplares de anchoveta, recolectados en la zona norte de Chile, entre abril y junio del año 2020.	97



Tabla 13.	Resumen de las fuentes de variación y significancia de los Modelos Lineales de efectos Mixtos, ajustados al grosor de los micro-incrementos, medidos a cada edad, por zona y mes de captura de la anchoveta en la zona norte de Chile. Var= Variable; FV=Fuent de variación; SC=Suma de cuadrados; GLn= Grados de libertad del numerador; GLd=Grados de libertad de denominador; **P<0,01; *** P<0,001. Mes_N: Mes de captura.	101
Tabla 14.	Parámetros derivados de ajustes de modelos Laird-Gompertz, a la relación talla- edad de ejemplares, de forma combinada (a) y para la cohorte de invierno y primavera de 2019 (b), para ejemplares de entre 2 y 14,5 cm LT, recolectados en la zona norte de Chie.	102
Tabla 15.	Porcentaje de captura de sardina española en la zona norte, por rango latitudinal. Años 1980 a 2020.	111
Tabla 16.	Análisis de varianza del modelo GLM y GAM para IGS de anchoveta, con sus correspondientes valores F, AIC y Pseudo coeficiente de determinación.	117
Tabla 17.	Captura y mortalidad incidental por especie en la flota cerquera artesanal que operó sobre el recurso anchoveta, en la zona norte. Datos provenientes del registro de observadores científicos sobre 649 lances de pesca comerciales durante el periodo 2017-2020.	122
Tabla 18.	Captura y mortalidad incidental por especie en la flota cerquera industrial que operó sobre el recurso anchoveta, en la zona norte. Datos provenientes del registro de observadores científicos sobre 3.350 lances de pesca comerciales durante el periodo 2017-2020.	124
Tabla 19.	Tasa media de la captura incidental por grupo de especie ($\pm$ desviación estándar) entre años de estudio, en la flota cerquera artesanal que operó entre la Región de AyP y ANTOF. Datos provenientes del registro de observadores científicos en el periodo 201 - 2020. Valores P indican resultados de la Prueba de Kruskal - Wallis para comparar las tasas de captura entre los diferentes años.	126
Tabla 20.	Tasa media de la captura incidental por grupo de especie ($\pm$ desviación estándar) por tipo de pesquería en la flota cerquera que operó entre las regiones de AyP y Antof. Datos provenientes del registro de observadores científicos en el periodo 2017-2020. Valores P indican resultados de la Prueba de Kruskal-Wallis usada para comparar tasas de captura entre pesquerías.	127
Tabla 21.	Tasa media de la captura incidental por grupo de especie ($\pm$ desviación estándar), en la flota cerquera industrial que operó sobre el recurso anchoveta en la zona norte. Datos provenientes del registro de observadores científicos en el periodo 2017- 2020. Valores P son del test de Kruskal-Wallis para comparar estaciones.	128
Tabla 22.	Avistamientos de cetáceos entre las zonas de AyP y ANTOF durante el año periodo 2017-2020, según información proporcionada por observadores científicos.	129



RESUMEN EJECUTIVO

Se analizan los principales indicadores biológicos-pesqueros de la pesquería de anchoveta y sardina española ejercida en la zona norte (Arica-Antofagasta) en el año 2020, comparándolos con la serie histórica reciente y los resultados del monitoreo de desove (junio 2020 a enero 2021) y del monitoreo del reclutamiento (octubre 2020 a marzo 2021) de la anchoveta.

Durante el año 2020, la condición ENOS de la zona ecuatorial fue neutral desde fines de 2019 hasta junio-julio de 2020. En agosto se confirmó el evento La Niña 2020-21, condición que se mantuvo hasta marzo de 2021. A nivel local en tanto, en la zona norte de Chile se registraron condiciones en general cálidas hasta septiembre. Desde octubre la condición fría ecuatorial La Niña comenzó a afectar la zona, en el área entre Arica y los 22°S, ya que, hacia el sur la condición cálida se mantuvo hasta enero de 2021. Las concentraciones de clorofila-*a* durante el año 2020, mostraron una disminución en relación a los tres años anteriores, sin embargo, se mantuvieron los focos recurrentes de altas concentraciones en Arica, Mejillones y Antofagasta.

La pesquería pelágica de la zona Arica-Antofagasta ha presentado alternancia en los pequeños pelágicos que habitan el ecosistema, destacando tres periodos, el primero entre 1955 y 1976 centrado principalmente en la captura de anchoveta, un segundo período que comienza a mediados de la década del 70 con bajos niveles de anchoveta y un aumento notable en la abundancia de sardina española, especie que sostuvo la pesquería hasta fines de la década de los 80s, con capturas promedio de 1,8 millón de t (1978-1989). El tercer periodo abarca desde 1986 y se caracteriza por una mayor abundancia y estabilización en las capturas de anchoveta, las que se nivelan en torno a los 1,3 millones de t, cifra que disminuye a un promedio de 790 mil t (2006-2014), no superando en el último quinquenio capturas promedio de 500 mil t.

En el año 2020, las capturas de anchoveta en la zona norte alcanzaron las 266 mil t, cifra 45% menor respecto al año anterior y estuvieron afectadas por la mayor presencia de juveniles lo que limitó el accionar de la flota en determinadas áreas y semanas, además que a partir de octubre 2019 se restringió el ingreso a las áreas de perforación a la flota industrial. Especialmente las capturas de anchoveta se concentraron en las primeras 10 millas de la costa, observándose un cambio importante en el período 2015-2019 cuando las capturas se focalizaron en la franja de 0-5 millas (21%) y 5-10 millas (52%), respecto al año 2020 donde el 78% se concentró en la franja de 5-10 millas.

Los desembarques registraron una fuerte estacionalidad, con máximos en abril (93 mil t) y mayo (83 mil t), con aportes similares en los puertos de Arica (39%) e Iquique (41%).

Históricamente la estructura de talla de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta se centró en ejemplares de 14,5 a 16,5 cm LT, tendencia que varió a partir del 2008, por una parte, con una disminución de las tallas modales la que se intensifica en los últimos años y por otra, el aumento de la presencia de ejemplares juveniles, no sólo en el período diciembre-febrero, sino en gran parte del año a partir del 2016 sumado a una virtual ausencia de los ejemplares >16,0 cm LT en la pesquería. Los cambios en la estructura de tallas se reflejan en la talla media anual de anchoveta, la cual presenta



una tendencia decreciente a partir del año 2000 (15,5 cm LT) con un leve aumento el 2017 y 2018 disminuyendo hasta alcanzar los 11,3 cm LT los dos últimos años.

La serie histórica del monitoreo del reclutamiento señala que en los últimos seis años (2015-2020) el porcentaje de incidencia de la fracción juvenil en número a la captura registró valores promedio >30%, tendencia distinta a los estimados en años anteriores donde se observaba una presencia estacional que no superaba el 20%. Es importante señalar que estos altos porcentajes también se han registrado fuera del periodo establecido del monitoreo (octubre-marzo), razón por la cual este se ha extendido hasta abril y mayo e incluso ha permanecido durante el resto del año.

La tendencia de los indicadores gonadales evidenció que la anchoveta en la zona norte inició en el año 2020 el evento reproductivo con un desfase o retraso, el cual se manifestó en las semanas de agosto, con máxima actividad entre fines de invierno y comienzo de la primavera. En consecuencia, en este año, los desoves se intensificaron tardíamente y de manera abrupta entre inicios de septiembre y fines de octubre, hecho que señaló un periodo de máxima intensidad de desove (MID) más acotado (9-10 semanas), sin mostrar el aumento histórico de agosto y con mayores desoves centrados en primavera.

Los antecedentes históricos muestran en la última década una frecuencia mayor en el desfase del inicio del evento reproductivo, con desoves menos intensos en invierno y más centrados hacia la primavera, como se observó en los últimos tres años.

En el caso de la sardina española se han observado en los últimos cuatro años capturas incipientes de este recurso alcanzando las 2 mil t en el último año, cifra superior al 2019 (1.200 t). La distribución de tallas presentó una estructura multimodal conformada por ejemplares de 19,5 a 31,0 cm LT, con moda principal en 27,5 cm LT.

Con respecto a la captura incidental durante el periodo 2017-2020, se reportó tanto un número mayor de animales capturados como número de especies en la pesquería industrial de anchoveta, debido al mayor esfuerzo de observación a bordo en esta pesquería. La captura de otáridos representó el grupo de mayor incidencia, principalmente en el periodo invernal.



1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Entregar una asesoría oportuna y permanente a la Autoridad, para la regulación y el ordenamiento pesquero, conforme al levantamiento, análisis y comunicación de los indicadores relevantes de las principales pesquerías nacionales y su ambiente asociado.

1.2 Objetivos específicos

- 1.2.1** Caracterizar y analizar la actividad pesquera extractiva considerando los aspectos técnicos de las unidades operativas, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales, así como los factores determinantes de su desempeño.
- 1.2.2** Caracterizar y analizar las capturas y/o desembarques de las especies objetivo, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales, así como los factores determinantes de su desempeño.
- 1.2.3** Caracterizar y analizar en forma integral la fauna acompañante, captura incidental y sus aspectos ambientales y oceanográficos asociados a estas pesquerías, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales.
- 1.2.4** Implementar un Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría (PMCCA) del programa de Seguimiento de las Pesquerías.



2. INTRODUCCIÓN

Las estadísticas pesqueras nacionales señalan que a diciembre del 2020 se desembarcaron 3,4 millones de t, volumen 3% superior al quinquenio 2015-2019 y 1% menor respecto al año 2019. Dentro de este total el desembarque del sector extractivo industrial y artesanal (excluyendo los recolectores de orilla y áreas de manejo), aportó con 1,8 millones de t destacando los recursos pelágicos con un aporte del 82%, representado principalmente por anchoveta (502 mil t), jurel (556 mil t) y sardina común (262 mil t) (Subpesca, 2021).

Los recursos pelágicos de la zona norte habitan un ecosistema costero frío de alta productividad biológica, de características oceanográficas variables, resultante de la presencia de importantes centros de surgencias costeras y de la intrusión de masas de aguas ecuatoriales que generan fuertes cambios oceanográficos de corto plazo, que se presentan con una frecuencia de entre tres y siete años en el Océano Pacífico suroriental.

Históricamente la pesquería pelágica ejercida entre Arica y Antofagasta fue la más relevante del país, siendo en el 2012 superada, en términos de volúmenes desembarcados, por la pesquería pelágica de la zona centro-sur, área que lidera los desembarques de recursos pelágicos con un volumen para el año 2020 de 984 mil t respecto a 398 mil t de la zona norte (Subpesca, 2021).

En los últimos quince años la actividad pesquera de la zona Arica-Antofagasta se sustentó en la anchoveta, la que en el quinquenio 2007-2011 contribuyó con el 77% de las capturas del área de estudio. Entre los años 2007 y 2010, la anchoveta registra una tendencia a la baja con capturas promedio de 570 mil t, las que fueron interrumpidas el 2011 con un volumen de 1,0 millón de t, similar al año 2005. En el período 2012-2014 el recurso mantiene la tendencia de capturas medias (710 mil t), con un aporte promedio en estos años del 96% de las capturas. En los años siguientes se registró una caída en las capturas, principalmente asociada a la anchoveta, que significó una captura de sólo 260 mil t en el 2016, la más baja posterior del fenómeno El Niño 1997-98, destacando un aumento en el 2017 y 2018 para descender en el año 2020 a 266 mil t de anchoveta.

En virtud de la relevancia de la actividad pesquera en el sector productivo nacional y consciente de la importancia de los desembarques de los recursos pesqueros de la zona norte, la Subsecretaría de Economía y EMT le encargó al Instituto de Fomento Pesquero el Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Pelágicas de la zona norte de Chile, que tiene como objetivo principal analizar e informar el desempeño de las variables e indicadores de los principales recursos pelágicos de la zona norte y su actividad extractiva, incluyendo aspectos ecosistémicos, basado en un sistema de monitoreo científicamente validado y con estándares de aseguramiento de calidad. Los informes finales de este proyecto se presentan separados por Unidad de Pesquería y el presente informe corresponde a la pesquería de anchoveta y sardina española entre las zonas de Arica y Antofagasta.



3. ANTECEDENTES DE LA PESQUERÍA

En la actualidad, la pesquería de cerco ejercida entre la zona de Arica y Antofagasta se sustenta en el recurso anchoveta y en forma secundaria en el jurel y caballa. Al respecto, esta pesquería presentó, entre 1985 y 1990, síntomas de inestabilidad asociados a una prolongada sobreexplotación y posterior colapso de la sardina española, principal recurso de este período. Esta situación se tradujo en una importante disminución de los volúmenes extraídos, los que se estabilizaron en el período 1990-1995 en los 1,8 millones de t.

Paralelamente y después de trece años de baja abundancia de anchoveta (1973-1985) se observó la recuperación de este recurso a partir de importantes desoves registrados en 1985 y un exitoso reclutamiento en 1986. Desde 1992, la pesquería de la zona norte es nuevamente sustentada por la anchoveta (70 al 85%), especie que comparte con una pesquería de similares características desarrollada en la Región Sur del Perú (Ñiquen *et al.*, 1999).

En 1998 las capturas totales experimentaron la caída histórica más importante de la pesquería, alcanzando la captura más baja (240 mil t), hecho asociado a un evento climático-oceanográfico de gran magnitud, El Niño 1997-98. La actividad extractiva se recuperó rápidamente, alcanzando en 1999-2002 un promedio de 1,3 millones de t. Es importante señalar, que asociado a El Niño 2002-2003 se alcanzó en el año 2002 la cifra de 1,5 millones de t, dado el fuerte aumento de las capturas de anchoveta. Sin embargo, en el 2003 las capturas totales experimentaron una fuerte caída, decremento asociado a la fuerte disminución en la disponibilidad de la anchoveta. Esta situación cambió en el 2004 registrándose 1,74 millones de t, con un fuerte aumento de la anchoveta (196%), no obstante, en los seis años siguientes las capturas experimentaron importantes fluctuaciones con tendencia descendente alcanzando las 620 mil t en el 2010.

Esta tendencia a la baja se vio interrumpida el año 2011, con niveles de capturas que superaron el millón de t, asociado a una mayor disponibilidad de anchoveta (+120%). Sin embargo, a partir del 2012 este comportamiento descendente continúa con fluctuaciones asociadas a la disponibilidad de la anchoveta, registrándose una fuerte caída en el 2016 con un desembarque cercano a las 270 mil t, segunda cifra más baja que no se observaba desde el año 1998. Es importante señalar que entre el 2016 y 2020 se observó una tendencia descendente en las capturas de anchoveta, alcanzando en el último año las 266 mil t. En este período destaca un aumento en la participación de la flota artesanal dado la mayor disponibilidad de anchoveta en áreas costeras. En síntesis, las capturas de la zona norte muestran una tendencia fluctuante asociada principalmente con la disponibilidad de anchoveta, la variabilidad en las condiciones ambientales y el desplazamiento del recurso entre el sur del Perú y norte de Chile y viceversa.

El ecosistema marino donde se desarrolla la pesquería pelágica del norte de Chile ha experimentado a través de su historia importantes cambios climáticos oceanográficos de corta y larga duración. En la anchoveta, especie de distribución superficial y costera, las alteraciones oceanográficas que se presentan en esta área introducen factores desestabilizadores que afectan los procesos de migración, reclutamiento y reproducción y modifican su comportamiento gregario. Dado los importantes cambios



biológico-pesqueros que introducen en la pesquería pelágica los cambios climáticos y/o oceanográficos de corto y largo plazo se incorporarán indicadores ambientales que apoyen el ir avanzando a sustentar un análisis integral de mayor complejidad conducente a un mejor diagnóstico de los recursos (Parada et al., 2013, Yañez et al., 2001; Chávez et al., 2003 Gómez, 2007, Ulloa et al., 2001).

La reproducción de los peces pelágicos es un proceso complejo que involucra cambios fisiológicos y somáticos que culminan con el desove, el cual da inicio a una nueva generación de individuos en la población. La comprensión de estos procesos y las etapas posteriores de reclutamiento constituyen aspectos importantes de la biología pesquera, permitiendo entender el papel que juegan estos procesos en las fluctuaciones de la abundancia de las poblaciones ícticas.

Los cambios en los parámetros reproductivos son el reflejo de mecanismos regulatorios de los tamaños de stock y de las características del medio ambiente. Es importante estudiar las variaciones registradas en una época reproductiva respecto de otra, para dilucidar las causas y así entender los procesos biológicos básicos a través de un amplio conocimiento sobre la dinámica reproductiva del stock desovante, lo que permite fortalecer el entendimiento del proceso de reclutamiento, dándole sustentabilidad a la actividad (Claramunt *et al.*, 2014; Hernández-Santoro *et al.*, 2019a).

Las variaciones que experimenta el potencial reproductivo pueden observarse tanto a nivel de la frecuencia del desove como en la fecundidad (Lasker & Smith, 1977), producto de la estructura del stock, de factores ambientales, de la disponibilidad de alimento y de mecanismos compensatorios (i.e. disminución de la talla de madurez sexual).

La estacionalidad del periodo reproductivo está sujeta a señales ambientales óptimas, en tanto, la disponibilidad y calidad del alimento son factores fundamentales para el desarrollo metabólico y el reproductivo (Ottersen *et al.*, 2010). En este aspecto, el estrés metabólico debido a alteraciones en las condiciones abióticas y bióticas del sistema, pueden generar respuestas fisiológicas que se traducen en desfases del periodo de desove, con implicancias en la calidad de los huevos, larvas y mortalidad de los primeros estadios (Ulloa *et al.*, 2001).

Finalmente, se enfatiza que los marcados cambios de disponibilidad y abundancia de la anchoveta ponen de manifiesto que los procesos de reclutamiento y desove deben ser monitoreados a través de investigaciones oportunas. En este sentido, es imprescindible que las investigaciones y regulaciones de los procesos vitales se efectúen en los periodos de máxima intensidad, lo cual generará una base robusta para apoyar las otras medidas de regulación, optimizándose así la administración pesquera.



4. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo se entrega como una sección independiente y estará disponible en la página institucional del IFOP una vez aprobado el informe final.

4.1. Área de estudio

El área cubre el sector marítimo de las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo, entre los 18°21' y 24°00'S, desde la costa hasta las 200 millas, dividida en cinco zonas de pesca (**Tabla 1** y **Figura 1**). En el caso de nominar la zona Arica-Antofagasta se designará como zona norte.

Tabla 1. Límites de las zonas consideradas en el área de estudio.

	Zona	Límite norte	Límite sur
Zona norte	Arica	18°21'	19°30'S
	Iquique	19°30'	21°30'S
	Antofagasta	21°30'	24°00'S

En este sentido, las zonas se relacionan con las áreas biológicas donde se extraen los recursos, las que están directamente relacionadas con la extensión de la distribución espacial de las unidades de stock. Para analizar la operación de la flota los estratos espaciales y temporales se definen por la combinación: zona y cuadrícula por mes; región por mes; puerto por mes y semana.

Por otra parte, en el caso de los desembarques, los volúmenes descargados en una región corresponden a los reportados en los respectivos puertos de esa región. Las Regiones obedecen a un ordenamiento administrativo que el Estado le da al país. Actualmente mediante Decreto 1115 del Ministerio de Interior y Seguridad Pública (julio, 2018) se establecen las abreviaturas para identificar las regiones del país y sistematiza con una codificación única para las regiones las que se utilizarán en este informe cuando se citen. De acuerdo a esta instrucción se utilizarán las siguientes abreviaturas: Arica y Parinacota (AyP); Tarapacá (TPCA) y Antofagasta (ANTOF).

En la estimación de la distribución espacio - temporal de los recursos y de la operación de la flota se utiliza el sistema georreferenciado que es una importante herramienta para el análisis de los datos en un contexto espacio - temporal, permitiendo la representación del área de estudio mediante cartas de distribución y abundancia.

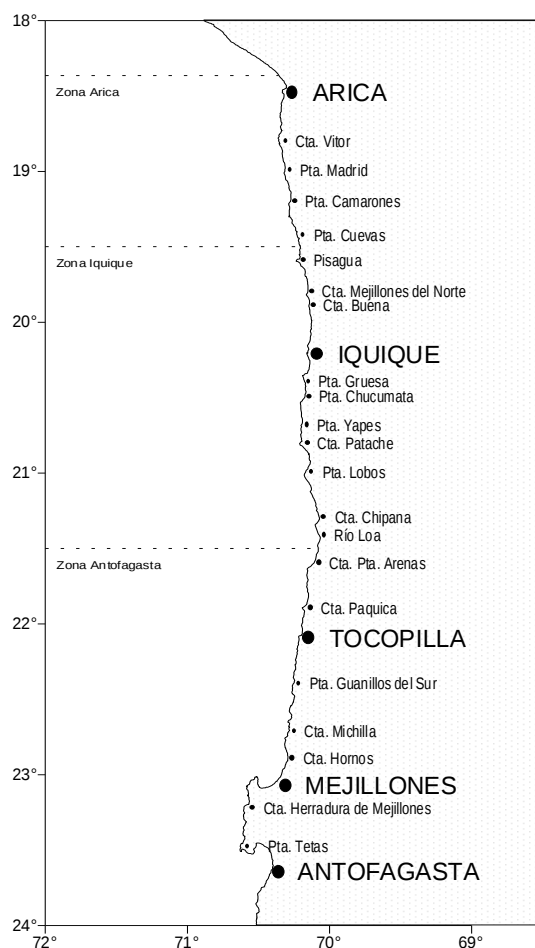
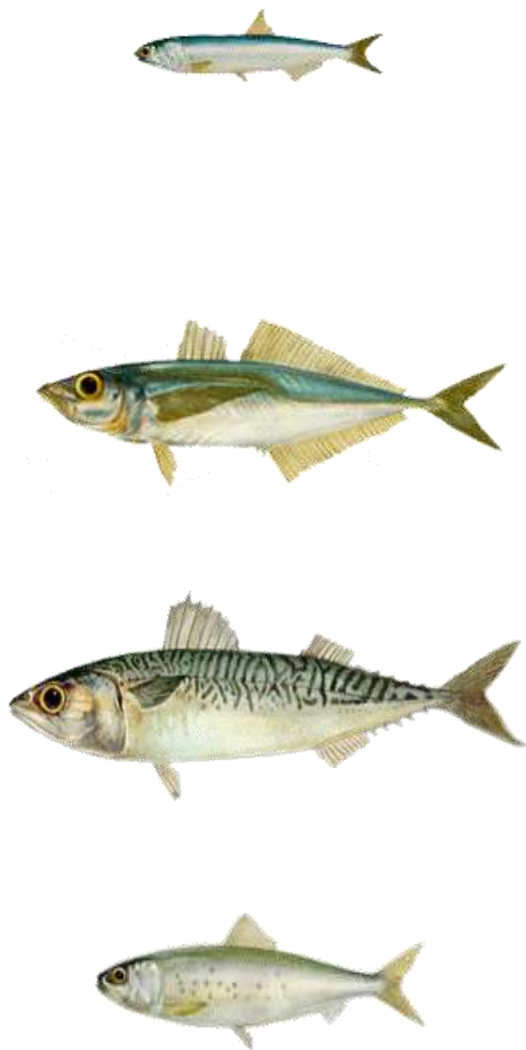


Figura 1. Principales puertos de desembarque de la pesquería pelágica ejercida entre la zona de Arica y Antofagasta, identificando los puntos notables.

4.2. Recursos objetivos

Los principales recursos pelágicos considerados en el estudio son: anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphyi*), caballa (*Scomber japonicus*) y sardina española (*Sardinops sagax*) (**Figura 2**). Esta última especie ha estado presente esporádicamente con capturas en los cuatro últimos años en la pesquería en las zonas de Antofagasta, Caldera y Coquimbo.

Al respecto, de los recursos objetivos el único que no está sometido a cuota global de captura ni límite máximo de captura por armador (LMCA) es la caballa. También se consideran en el estudio “otras especies” reportadas en las capturas, a nivel de bitácoras de pesca que constituyen fauna acompañante de las especies objetivo de la pesquería, principalmente bacaladillo (*Normanichtys crockeri*), agujilla (*Scomberesox saurus*), pejerrey (*Odontesthes regia*), cabinza (*Isacia conceptionis*), machuelo (*Ethmidium maculatum*) y cojinoba del norte (*Seriorella violacea*).



Anchoveta, <i>Engraulis ringens</i>		
	(AyP-ANTOF) ¹	(ATCMA-COQ)
Cuota global 2020	: 569.480	70.987
Investigación	: 137	82
Imprevistos	: 5.645	0
Consumo humano	: 5.645	709
Cuota objetivo (CO)	: 553.053	70.196
CO Flota Industrial	: 464.891	35.098
CO Flota Artesanal	: 88.162	35.098
(1): por Decreto se designa a anchoveta v sardina española.		

Jurel, <i>Trachurus murphyi</i>		
Cuota global 2020	: 439.034	
Investigación	: 200	
Imprevistos, consumo humano y otros	: 8.956	
Cuota objetivo	: 429.858	
CO Flota Industrial	: 390.096	
CO Unidad Pesquería AyP-ANTOF	: 61.255	
CO Unidad Pesquería ATCMA-COQ	: 12.927	
CO Unidad Pesquería VALPO-ARAUC	: 277.298	
CO Unidad Pesquería RIOS-LAGOS	: 38.616	
CO Flota Artesanal	: 39.762	

Caballa, <i>Scomber japonicus</i>		
Sin cuota		

Sardina española, <i>Sardinops sagax</i>		
	((AyP-ANTOF) ¹	(ATCMA-COQ)
Cuota global 2020	: 569.480	1.750
Investigación	:	
Cuota objetivo (CO)	: 5.000	1.750
Fauna acompañante	:	
CO Flota Industrial	: 1.485	875
CO Flota Artesanal	: 3.515	875
(1): por Decreto se designa a anchoveta y sardina española.		

Figura 2. Principales recursos pelágicos considerados en el estudio con un resumen de la cuota de captura.

4.3. Estructura trófica

Para determinar la estructura trófica de la anchoveta en la zona norte el durante el 2019 y 2020 se le da continuidad al subcontrato ejecutado por el Centro de Investigación Marina Quintay (Universidad Andrés Bello, sede Viña del Mar).



Los ejemplares de anchoveta analizados fueron recolectados por los observadores científicos de IFOP a bordo de las embarcaciones y para efectos de este análisis (2020) el área de estudio fue subdividida en 3 zonas de pesca: Zona 1: 18°00'-19°58'S, Zona 2: 20°00'-20°55'S y Zona 3: 22°05'-23°00' S. Los especímenes fueron trasladados a IFOP-Iquique y congelados a -20°C para su posterior análisis en laboratorio, donde se descongelaron a temperatura ambiente y se procedió a medir (cm), pesar (gr), etiquetar y extraer de cada ejemplar el estómago, una muestra de ojo y un trozo de musculatura la cual fue deshidratada a 70°C por 24 horas y puesta en un tubo de 1.8 m de cada ejemplar. Todas las submuestras fueron congeladas nuevamente a -20°C para ser trasladadas al Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ), para su posterior análisis.

1. Análisis estomacal

En el laboratorio cada estómago se analizó individualmente el cual se pesó inicialmente (mg) en una balanza analítica de precisión $\pm 0,1$ mg (Klarian *et al.*, 2018). Una vez pesado se abrió y el contenido (cuando hubo) fue separado y depositado en una placa Petri. El estómago vacío se pesó y con ello se obtuvo por diferencia el contenido (Δ). El contenido estomacal se separó en grupos mayores. eg; anfípodos, copépodos, eliminando las escamas de anchovetas. Además, se registró la presencia de plásticos en los estómagos. Debido al sesgo gravimétrico de las presas y su baja detección, solo se contó y estimó la frecuencia. Para lo primero se diluyó el contenido en agua mili-Q (16:1 v/v), y se contó bajo lupa estero microscópica NIKON con reglilla en el ocular de 30.5 mm "Amscope" Ep10x305r Wf10x, previamente calibrada con una reglilla para ocular NIKON 10x. Las presas en buen estado, vale decir, bajo estado de digestión y fácilmente reconocible, se guardaron para el análisis isotópico posterior, en un filtro de fibra de vidrio (FGP) a -80°C.

Los datos de los contenidos estomacales fueron analizados con métodos comunes, como el número y frecuencia de ocurrencia. El índice numérico es indicador del nivel de predación evidenciando una aproximación inicial de la estrategia de alimentación (Hyslop, 1980). Mientras el índice de frecuencia de ocurrencia, puede ser utilizado, de manera correcta, como una probabilidad de captura. Paralelamente se aplicaron métodos bayesianos con el objetivo de hacer predicciones probabilísticas de las presas, mediante la siguiente ecuación (Quinn & Keough, 2002).

$$P(\theta | spi) = \frac{P(data | \theta) \times P(\theta)}{P(data)}$$

donde, P es la probabilidad y θ (theta) es el parámetro para estimar. Por lo tanto, $P(\theta | spi)$ fue la probabilidad de contribución de la presa sp. al predador (i). En tanto, $P(data | \theta)$ fue el valor observado de la presa, mientras que $P(\theta)$ correspondió al valor de la probabilidad a priori. Por otro lado, $P(data)$ fue el valor observado de la sp. en el predador (i). Mientras que para la recombinación de datos se usó el método Monte Carlo de Cadenas de Markov (MCMC, por sus siglas en inglés) (Bardenet *et al.* 2017). De acuerdo a las bases técnicas establecidas, las muestras fueron separadas en tres grupos: pre-reclutas aquellos que presentaron $\leq 8,0$ cm LT; reclutas entre $>8,0 - \leq 12,0$ cm LT y adultos $> 12,0$ cm de LT. Comparando por medio de un análisis de PERMANOVA la dieta inferida para los distintos grupos de tallas y zonas, y para establecer si existió algún indicio de depredación entre, el número de presas presentes en el individuo y el tamaño, se usó un análisis de ANCOVA + GLM con un criterio



Wilk's (Quinn & Keough, 2002). Este análisis basa su supuesto en que si rechaza la Hipótesis nula (H_0 ; $p < 0,05$) existirá una tendencia a que anchovetas de mayor tamaño, tendrán un mayor volumen estomacal, y por ende mayor número de presas en su interior. Todos los análisis estadísticos, modelos Bayesianos y gráficos, fueron realizados con el software de libre disposición R (R Team, 2018).

2. Análisis de Isótopos Estables y ácidos grasos

A. Tratamiento del tejido muscular

Las muestras fueron limpiadas con abundante agua mili-Q para luego reducir a un peso de ~ 10 mg. Posteriormente, todas las muestras fueron reducidas a un peso entre 400 - 500 μg y depositadas en cápsulas de estaño, para luego ser llevadas a un espectrómetro de masas en modo de flujo continuo (CF) "Nu-Instruments", modelo Perspective, acoplado a un analizador elemental (EA) de Eurovector, modelo EA-3024. Los radios isótopos fueron reportados en notación de δ , usando como estándar Pee Dee Belemnita para $\delta^{13}\text{C}$ y Nitrógeno atmosférico para $\delta^{15}\text{N}$. Por lo tanto, $\delta^{13}\text{C}$ o $\delta^{15}\text{N} = [(R \text{ muestra}/R \text{ estándar}) - 1] \times 10^3$, donde R es $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ o $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, respectivamente. Este análisis tuvo una precisión menor a $\pm 0,1\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$. Si la relación C: N fuese mayor a 3,5 se procedió a realizar la corrección lipídica a través de derivaciones aritméticas, siguiendo lo propuesto para músculo de peces por Kiljunen *et al.* (2006).

B. Tratamiento del lente ocular

Para la elección del lente ocular se consideró a los especímenes de máximo tamaño ($15 \pm 0,1$ cm de LT), con el fin de evitar el sesgo de la formación de nuevos anillos de crecimiento. Para llegar al núcleo, primero se extrajo el ojo del ejemplar, para luego remover el lente ocular. Una vez extraído el humor vítreo, se procedió a extraer el núcleo del lente ocular, el cual fue separado en dos; uno para el análisis de $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{13}\text{C}$ y la otra porción para el análisis de $\delta^{18}\text{O}$. Para el primer segmento se procedió con el mismo protocolo utilizado en la musculatura, mientras que para el $\delta^{18}\text{O}$ la muestra fue reducida a 300 μg y depositada en cápsula de plata y almacenada a oscuridad total, para evitar la oxidación de la cápsula. Para establecer los patrones de $\delta^{18}\text{O}$, se realizaron pruebas a priori en un sistema de pirolisis, el cual alcanzan temperaturas sobre los 1200 $^{\circ}\text{C}$ (Fry, 2006). Estas pruebas fueron hechas para establecer si existe contaminación por NO_x , el cual es un grupo de gases que contienen óxido nítrico NO y dióxido de nitrógeno NO_2 , las cuales contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones, y, por lo tanto, un sesgo en la lectura de $\delta^{18}\text{O}$. Las muestras que contuviesen contaminación por NO_x , se repitieron en forma de combustión (EA-3024). Para la pirolisis se usó un estándar de KSH, mientras que, para la combustión, dos estándares, KSH y Ac. Benzoico con una precisión de $\pm 0,04$ para $\delta^{13}\text{C}$ y $\pm 0,19$ para $\delta^{18}\text{O}$ (Brand *et al.*, 2009).

B. Tratamiento para ácidos grasos

Aproximadamente 1000 μg de los tejidos de anchovetas fueron separadas para el análisis de ácidos grasos (EFA). En este sentido, los EFA fueron analizados por el método de lípidos totales (no hay separación de clases de lípidos). Este método es relativamente fácil de implementar como método de separación lipídica y se ha usado en otros estudios de ácidos grasos en ecología trófica, con el objeto de obtener la energía bruta del predador (Sardenne *et al.*, 2017). Este método asume que las



diferencias en el contenido total de lípidos entre las especies corresponden mayormente a la diferenciación en los lípidos almacenados, mientras que los lípidos estructurales permanecen constantes (Litz *et al.*, 2017). Por lo tanto, los lípidos fueron extraídos desde los tejidos a través del método de extracción en frío usando una mezcla de cloroformo: metanol (2:1, v/v) siguiendo lo propuesto por Sardenne *et al.* (2017). Este método fue realizado en un apartado soxhlet por 3 horas, para posteriormente ser sometidos a una transesterificación con 10% wt en boron trifluorido-metanol (Folch *et al.*, 1957). Este procedimiento da como resultado un metil-éster de ácido graso (FAME; por sus siglas en inglés). De esta forma, los FAME resultantes fueron separados y cuantificados en un cromatógrafo de gases (GC) Shimadzu GC-2010 PLUS, en el laboratorio de Cs. Químicas de la Universidad Andrés Bello, Viña del Mar. Los FAME fueron identificados por la comparación de los tiempos de retención de la muestra y con aquellos tiempos de retención de los estándares ("Menhaden oil and Food Industry FAME Mix; Restek"¹), usando un software acoplado al GC.

3. Análisis de datos

Los análisis isotópicos fueron realizados con el paquete para R "SIMMR": "Stable Isotope Mixing Models in R" (Parnell *et al.*, 2010; Parnell *et al.*, 2013; Phillips & Koch, 2002) usando las siguientes opciones: para la modelación de las dietas de las anchovetas se usó modelos de mezcla "Mixing models" basado en parsimonia Gaussiana expresada en valores promedio por cada individuo. Para llegar a la probabilidad de consumo, con intervalos de credibilidad (95%), se usó los datos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en un modelo Bayesiano donde cada valor fue combinado con 1000 pseudoréplicas. Además, se usaron modelos de dependencia alimentaria de acuerdo a los valores de %C y %N (Phillips & Koch, 2002). La información a "priori" de los modelos bayesianos fueron tomados de las proporciones dietarios de los análisis estomacales. Se usó el modelo de mezcla bayesiano SIAR (Parnell *et al.*, 2010) para estimar la contribución relativa de las presas en los individuos de anchoveta. Hemos usado SIAR por su robusta congruencia en sus resultados, ya que al igual que otros modelos de mezcla basados en inferencia bayesiana (SIMMS (Parnell *et al.*, 2013) incluye la información individual del consumidor de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, factores de enriquecimiento trófico (TEFs) y las diferencias entre consumidores y fuentes de CN en sus tejidos (Docmac *et al.*, 2017). Se comparó entre estratos con un ANOVA de una vía, seguido por un test a posteriori (Quinn & Keough, 2002). Los datos isotópicos de anchovetas y sus potenciales presas fueron graficados con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Para identificar si existe alguna relación entre el tamaño o el peso lo entre estratos se realizó una comparación entre una correlación de Spearman (R_s), basando su supuesto que si rechaza la Hipótesis nula (H_0 ; $p < 0,05$) existirán diferencias entre los estratos. Por otro lado, los valores entregados por modelos de mezcla, en su versión proporción dietaria, los estratos se compararon con análisis de PERMANOVA_{npermutaciones} = 9,999 (Quinn and Keough, 2002). Para establecer el posible origen natal de las anchovetas, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y el %O fueron ocupados para calcular la temperatura superficial del mar (SST) y luego con ello la concentración de Clorofila *a* (mg m^{-3}) siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$\delta^{18}\text{O} = 0,852 \times \text{SST } ^\circ\text{C} - 6,78 \text{ (Sengupta } et al., 2013)$$

$$\text{SST} = -12,701 \times \text{Clorofila} + 30,8 \text{ (Kumar } et al., 2016)$$

¹ Estándares y calibración según Guide of condition referential Supelco TM 37 Component FAME Mix, Sigma-Aldrich, 1997



Los valores de la Clorofila-*a* fueron comparados de acuerdo a Ramírez & Pizarro (2005), y con ello establecer si el ambiente del origen natal fue productivo, por lo tanto si la Clorofila-*a* presentase valores $< 0,5 \text{ mg m}^{-3}$ es un ambiente muy pobre, entre $0,5 - 1,5$ pobre, desde $1,51 - 5$ moderado, de $5,1 - 10$ alta y sobre los $10,1$ un ambiente altamente productivo. Aun cuando, la anchoveta es un importantísimo recurso pesquero, aún está en discusión el cálculo de edad, por lo tanto se hicieron dos comparaciones; la primera siguiendo a Araya *et al.* (2008) donde se considera que anchovetas de 15 cm de LT tienen 3 años. Por otro lado, Plaza *et al.* (2018) presenta un estudio de micro incrementos diarios y concluye que anchovetas de 14 cm LT tienen un año de vida. Para la primera aproximación, se usaron los datos del Proyecto RECLAN 152 (Leiva *et al.*, 2017) para comparar zona de clorofila-*a* y para la segunda aproximación imágenes satelitales de la NASA – GIOVANNI (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>). Además, para dar luces del retrocálculo de la edad de las anchovetas, se realizó una aproximación bayesiana con respecto al $\delta^{18}\text{O}$ y la Clorofila-*a*, desde Leiva *et al.* (2017) y la productividad del año 2019 desde las imágenes satelitales. Todos los análisis estadísticos y bayesianos fueron hechos con R (R Team 2018). Para mayores antecedentes, revisar el Informe Final que se entrega en el **Anexo 7**.



4.4 Carta Gantt y principales actividades realizadas en el 2020

Se entrega una carta Gantt y un resumen de las principales actividades realizadas en el transcurso del año 2020.

ACTIVIDAD	2020												2021					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Coordinación y planificación general																		
Planificación y coordinación inicial																		
Coordinación mensual																		
Reuniones, talleres equipos técnicos																		
Implementación																		
Capacitación a observadores(*)																		
Visitas a terreno Coordinador de Campo																		
Visitas a terreno personal científico																		
Recopilación de datos																		
Registro diario de la operación de la flota																		
Muestreo de estructuras de tallas																		
Muestreo biológico (talla-peso-gónadas-otolitos)																		
Procesamiento de datos e información																		
Ingreso de datos a la Multiplataforma																		
Revisión, corrección y validación de datos																		
Preparación de las bases de datos																		
Estimación de indicadores																		
Análisis																		
Indicadores biológicos y pesqueros																		
Integración de la información																		
Elaboración de Informes y Reportes																		
Boletines semanales																		
Reportes de Gestión de Muestreo																		
Requerimiento datos para Evaluación stock																		
Informe de avance																		
Participación Reuniones, Talleres, Comités, etc(**)																		
Informe Final																		
Documento de Difusión																		

(*) Taller de difusión en fechas por definir.

(**) Actividad sujeta a disponibilidad de entidades de capacitación y fechas por convenir.

Las principales actividades realizadas el 2020 fueron:

Es importante señalar que las actividades presenciales durante el año se vieron afectadas por la pandemia lo que dificultó algunas reuniones técnicas programadas, eventos que se realizaron en forma remota.

- Coordinación de actividades y reuniones técnicas con el equipo del proyecto pelágico en las bases de IFOP de Arica e Iquique (vía remota).
- Elaboración de los boletines semanales que considera reportes: biológicos-pesqueros, monitoreos reproductivos y monitoreos de reclutamiento, en la zona norte y centro-norte.
- Pesca de Investigación monitoreo reproductivo en la zona norte y el monitoreo de reclutamiento no se logró realizar por falta de oferentes (embarcaciones). Elaboración de los TTR, procesos de licitación, adjudicación y planificación de la ejecución de ésta con reuniones en terreno con los armadores.
- Apoyo a Subpesca con requerimientos de datos y asesorías para resolver temas específicos solicitados en el transcurso del año.
- Apoyo al grupo de evaluación directa del IFOP entregando las estructuras de tallas de los recursos anchoveta y jurel de la zona norte.
- Participación en los Comités Científicos de pequeños pelágicos.



5. RESULTADOS

5.1 Objetivo específico 3.2.1. *Caracterizar y analizar la actividad pesquera extractiva considerando los aspectos técnicos de las unidades operativas, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales, así como los factores determinantes de su desempeño.*

Se entrega los resultados de la gestión de muestreo durante el año 2020, un análisis de las principales características técnico-operacionales de la flota cerquera industrial y artesanal y de los desembarques realizados en la zona Arica-Antofagasta durante el año 2020 comparándolos con el año 2019.

5.1.1 Gestión de muestreo

Centros de Muestreos y distribución del personal

La administración, planificación y control general de los procesos de datos radica en el Departamento Gestión de Muestreo (DGM), que está a cargo del Jefe del Departamento (JDGM) y Coordinador General (CG), ambos con base en Valparaíso. En tanto, en regiones, la responsabilidad es del Coordinador de Campo (CC), el que supervisa en terreno el trabajo desarrollado por los observadores científicos, responsables de la recopilación de datos a bordo y en tierra (**Tabla 2**).

Tabla 2. Dotación de Observadores Científicos y Coordinadores, por puerto. Año 2020.

REGIÓN	Centro Muestreo	N° Obs. Científicos embarcados	N° Obs. Científicos tierra	BASE	Coordinador de campo	Coordinador general
Arica y Parinacota	Arica	2	2	Iquique	1	1
Tarapacá	Iquique	5	4			
Antofagasta	Mejillones	-	2			
TOTAL		7	8		1	1

La designación de OC por mandato de la Ley General de Pesca y Acuicultura la formaliza la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Subpesca), a través de resoluciones exentas, identificando a cada observador con el nombre completo, RUT y proyecto asociado, en dos grupos; observadores científicos autorizados para recopilar datos biológico-pesqueros a bordo de embarcaciones artesanales e industriales, puntos de desembarques y plantas de proceso; y observadores científicos acreditados sólo para levantar datos en estos dos últimos lugares.

La dotación de observadores científicos se focaliza en los centros de muestreo de Arica e Iquique dado que la mayor actividad extractiva pelágica, en términos de volúmenes descargados y flota, se concentra en esas regiones. En el caso de Mejillones, los desembarques son menores y se cubren con traslados de OC de Iquique para fortalecer los muestreos tanto de tierra como a bordo. Al respecto, el personal de muestreo tiene la facilidad de desplazarse transitoriamente hacia los distintos puertos



en función de los requerimientos de cobertura muestral, siguiendo las indicaciones que determine el Coordinador General en acuerdo con el Coordinador de Campo de la zona norte.

Las competencias y aptitudes necesarias para calificar como OC, han sido establecidas en las Resoluciones Exentas Nros, 1463 (2015), 4079 (2016), 4434 (2017) y 365 (2018), todas de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, entre las cuales destacan;

- Artes y aparejos de pesca en pesquerías nacionales.
- Normativa y regulación pesquera.
- Técnicas de muestreo.
- Seguridad y familiarización a bordo.
- Identificación de especies de importancia económica y ecológica.
- Conocimientos para la utilización del instrumental técnico y científico necesario para llevar a cabo la observación científica.
- Conocimientos necesarios respecto de las formas de medición de las diversas variables de los recursos de medición.
- Conocimientos básicos respecto de la normativa de seguridad, salvataje y primeros auxilios.
- Tener capacitación en tareas científicas básicas, tales como toma y análisis de muestras, observación y registros de datos e información.

Gestión año 2020

El programa y la ejecución del trabajo de campo en el año 2020 se inició y desarrolló de manera convencional hasta el 18 de marzo. A partir de esa fecha se decretó el estado de excepción constitucional por la emergencia sanitaria debido a la propagación del virus Covid-19 en el país, teniendo un efecto inmediato en las flotas de Arica, Iquique y Mejillones, que paralizaron momentáneamente las faenas, supeditando sus operaciones a las restricciones locales que dictaminó semana a semana el Ministerio de Salud (MINSAL). Estas medidas fueron adoptadas inmediatamente por el IFOP, junto a las propias que se determinaron para proteger al personal de terreno, entre las más importantes fue mantener a los observadores en tierra (sin embarques) y con teletrabajo hasta el 15 de abril, fecha en que se comunicaron los protocolos para las labores en terreno e ingreso a las sedes de acuerdo a los aforos permitidos, otorgando así las primeras sensaciones de seguridad y, por tanto, el retorno a cierta normalidad de la labor de campo. Al respecto, en particular los embarques de OC se retomaron desde mayo, en un principio sólo en la flota industrial y luego en junio se extendieron paulatinamente a la flota artesanal.

Durante esta etapa extraordinaria la organización de la gestión de muestreo mantuvo su concepto de territorialidad dirigida concertadamente por el Coordinador de Campo y Jefes de Sedes en regiones, y el Coordinador General en Valparaíso, participando activamente las sedes de Arica e Iquique y secundada por Mejillones.

Independiente de las externalidades producto del primer año de pandemia, la gestión de muestreo estuvo supeditada a las distintas medidas de administración que anualmente se orientan a resguardar la sostenibilidad de las principales pesquerías que conforman la actividad pelágica de la zona norte,



especialmente las asociadas al recurso anchoveta que mantiene a gran parte de la flota activa. Al respecto, se aplicaron vedas biológicas de reclutamiento en las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, a partir de enero (D. Ex. N°01/2020) y extendidas en febrero (D. Ex. N°24/2020), hasta el primero de marzo, monitoreando la actividad con una Pesca de Investigación (PIN), que aportaron información al monitoreo, y además la veda reproductiva para proteger el stock parental en estas mismas regiones (D. Ex. N°749/2013), medida condicionada a indicadores biológicos (IGS y IAD), que se activó del 25 de agosto por 45 días. En este período se realizó una Pesca de Investigación, en conjunto con el Proyecto Método de Producción de Huevos que facilitó la toma de muestras a bordo. Del mismo modo producto de algunas sesiones del Comité de Manejo se cerró el acceso a determinadas áreas de pesca en la zona norte que igualmente afectaron el normal desarrollo de la actividad entre Arica y Antofagasta.

Bajo estos escenarios se adecuaron las capacidades y optimizaron recursos para permitir el seguimiento de las actividades en terreno de las pesquerías en estudio de la mejor manera posible y así minimizar los efectos que pudiesen tener en el monitoreo, recabando un importante número de bitácoras de pesca, viajes muestreados, muestreos de proporción de especies, talla, datos biológicos específicos y extracción de otolitos sagitales de ambos sexos y de gónadas.

El balance de este trabajo permitió constatar que el grueso de las actividades extractivas de las flotas cerqueras de ambos sectores, artesanal e industrial, orientaron su esfuerzo de pesca principalmente sobre anchoveta, con una particularidad que por segundo año se observaron importantes capturas de caballa asociadas a jurel (**Tabla 3**).

Tabla 3. Capturas (t) mensuales monitoreadas por especies en la zona norte, proporción monitoreo (%) y cobertura muestral (%) del año 2020 comparado con la cobertura muestral del año 2019.

Zona de pesca	Especie	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Capturas TOTAL	Capturas %	Total N° Muestreos	Muestreo % Año 2020	Muestreo % Año 2019
ARICA ANTOFAGASTA	Anchoveta	2.812	0	31.798	47.985	38.693	25.919	29.133	20.151	1	23.767	32.985	12.315	265.557	69,9	1.518	86,1	90,8
	Jurel	3.079	0	4.767	15.613	12.538	177	292	0	0	2.200	854	2	39.523	10,4	121	6,9	3,3
	Sardina española	262	0	0	0	67	51	1.082	290	0	228	0	0	1.980	0,5	13	0,7	0,4
	Caballa	10.815	0	3.585	29.758	24.682	806	256	0	0	161	129	0	70.191	18,5	107	6,1	5,3
	Otras especies	0	0	2	0	55	36	41	17	0	0	1.766	655	2.573	0,7	5	0,3	0,2
Total		16.968	0	40.152	93.355	76.034	26.988	30.804	20.458	1	26.356	35.735	12.972	379.824	100	1.764	100	100

Fuente: Instituto de Fomento Pesquero

Cabe señalar que con la presencia de OC a bordo de ambas flotas se pudo comprobar la proliferación de medusas en las zonas de pesca de Arica e Iquique, a partir del segundo semestre el año, especies que fueron capturadas conjuntamente con los recursos objetivos, sobre todo por parte de naves mayores.

En términos muestrales en la zona Arica-Antofagasta se realizaron 1.764 muestreos de longitud, de los cuales 86% correspondieron a anchoveta, 7% a jurel, 6% a caballa, 0,7% a sardina española y 0,3% a otras especies como agujilla, bonito y bacaladillo, así como ocasionalmente Scorpaeniformes, como algunos caciques (**Tabla 3**). En general, los resultados fueron similares al año 2019, no afectado



por la pandemia y, por tanto, referente para los efectos de comparaciones, siendo los muestreos de jurel los que se incrementaron el 2020.

5.1.2 Información pesquera

Los registros de la zona norte procedentes de fuentes secundarias, las empresas pesqueras, cuyos datos fueron validados en parte por los viajes de los Observadores Científicos a bordo, alcanzó a 8.368 registros correspondientes a los puertos de Arica a Mejillones, siendo más numerosos en la flota artesanal (67%) que en la flota industrial (**Tabla 4**).

Tabla 4. Número de bitácoras totales de la pesquería pelágica zona norte, colectadas para la estimación de los indicadores pesqueros, por puerto, flota y mes, año 2020.

100 indicadores pequeños, por puerto, mes y mes, año 2020.									
MES	PUERTO						TOTAL ARICA-MEJILLONES		
	ARICA		IQUIQUE		MEJILLONES				
	Industrial	Artesanal	Industrial	Artesanal	Industrial	Artesanal	Industrial	Artesanal	Total
Enero	58	100	187	4	63	4	308	108	416
Febrero	5	8	7	4	4	4	16	16	32
Marzo	46	294	143	7	41	172	230	473	703
Abril	60	573	228	50	28	395	316	1018	1334
Mayo	82	399	182	199	71	291	335	889	1224
Junio	36	201	135	222	38	160	209	583	792
Julio	46	130	127	457	7	175	180	762	942
Agosto	201	241	106	25		42	307	308	615
Septiembre		12	1	7		2	1	21	22
Octubre	191	474	68	10	4	23	263	507	770
Noviembre	246	640	157	11	2		405	651	1056
Diciembre	107	229	109	7	10		226	236	462
Total	1.078	3.301	1.450	1.003	268	1.268	2.796	5.572	8.368

Fuente: Empresas Pesqueras.

5.1.3 Información biológica

Los resultados de la gestión de muestreo en la zona norte, realizada en los puertos donde existen plantas de reducción se detallan y comparan con los niveles de requerimientos de datos mensuales del proyecto necesarios para constituir los indicadores asociados al tamaño de muestra y aspectos biológicos por recurso y zona (**Anexo 1**).

Anchoveta

Zona Arica: Se realizaron 401 muestreos de longitud con un total de 42.776 y 107 ejemplares en promedio. En general, los números no superaron los requerimientos mensuales del proyecto² (**Figura 3**). La carencia de datos se registró principalmente en los meses de enero, febrero y septiembre asociado con vedas durante los procesos de reclutamiento y reproductivo (**Figura 3**). El 81% de las muestras se obtuvo en tierra desde la flota artesanal.

² En los gráficos, la línea segmentada indica el requerimiento de datos/mes de muestreo y número de ejemplares para los registros de longitud y biológicos específicos. En los primeros meses del año se observa mayor exigencias de datos de longitud que suman las necesidades relativas al monitoreo del reclutamiento de anchoveta y, biológicos de octubre en adelante, respecto al reproductivo.



Se realizaron 218 muestreos biológicos con un total de 12.178 individuos, destacando menores muestreos con respecto a los requerimientos, sin embargo, en septiembre se registró un incremento asociado con la Pesca de Investigación realizada durante el proceso reproductivo de la anchoveta (**Figura 4**). A bordo se realizaron 172 viajes en embarcaciones industriales y 124 artesanales, con un total de 37.749 anchovetas (54% industrial y 46% artesanal), es decir 128 ejemplares en promedio por muestreo. Los menores muestreos en relación al requerimiento, se explican principalmente por vedas y paralización de la flota y restricciones de embarques por el efecto pandemia (**Figura 5**), superándose el objetivo muestral desde agosto en adelante, que en general excedió ampliamente lo requerido (**Figura 5**).

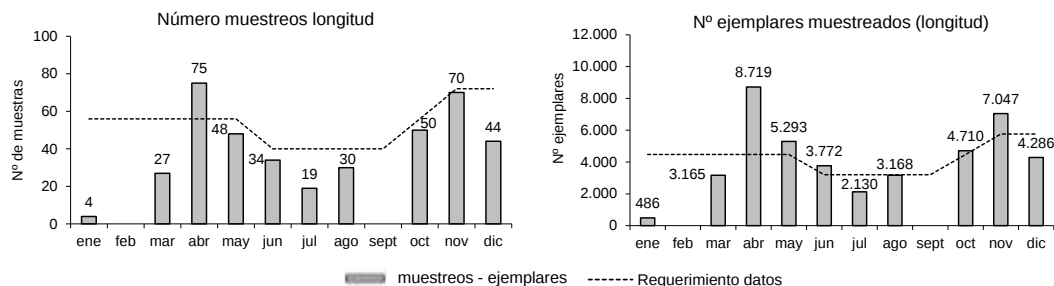


Figura 3. Número de muestreos de longitud y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Arica, año 2020.

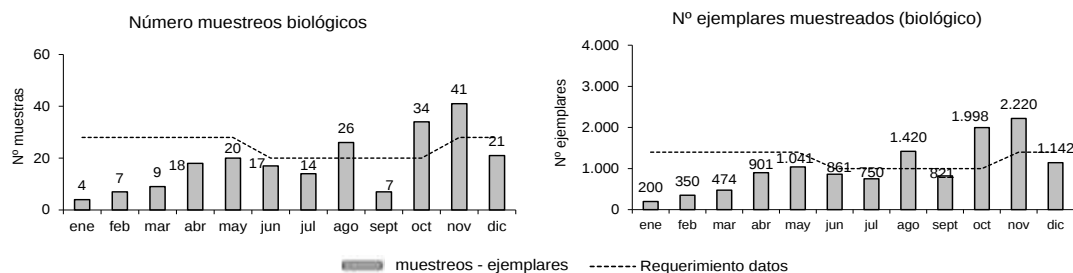


Figura 4. Número de muestreos biológicos y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Arica, año 2020.

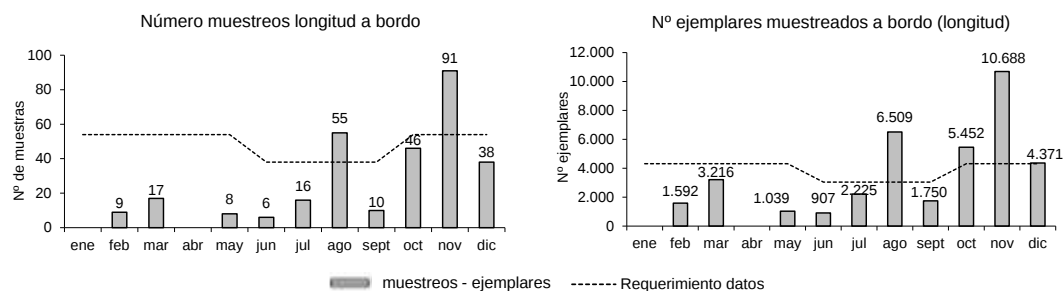


Figura 5. Número de muestreos longitud y número de ejemplares mensual de anchoveta, realizados a bordo en la zona Arica, año 2020.



Zona Iquique: Se obtuvieron 172 muestras, de las cuales el 81% proviene de la flota artesanal y solo 11% de industrial, con un total de 22.058 ejemplares con 128 individuos por muestreo. Se destaca cumplimiento de los tamaños muestrales los meses de mayo a julio, el incumplimiento se debe a las externalidades derivadas de la pandemia y a la veda reproductiva (**Figura 6**).

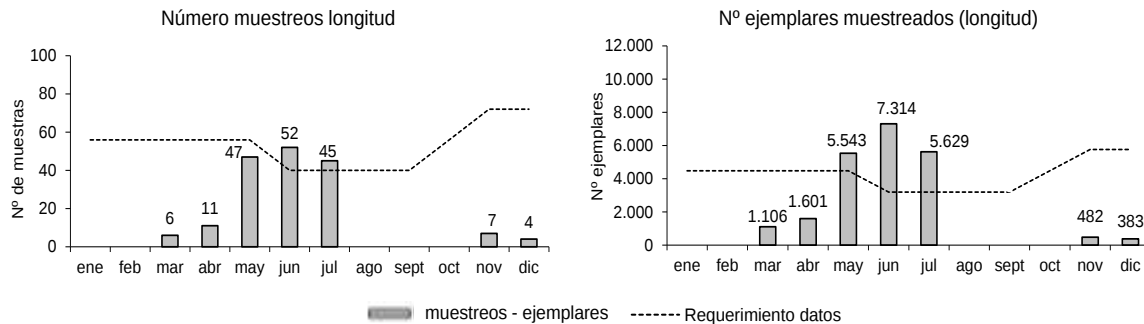


Figura 6. Número de muestreos de longitud y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta realizados en tierra en la zona Iquique, año 2020.

Se realizaron 87 muestreos biológicos con 40 realizados en la flota industrial y 47 en la artesanal, con un total de 4.736 ejemplares, destacando un incumplimiento durante casi todos los meses salvo en junio y julio (**Figura 7**). A bordo se registraron 127 muestreos, 85 viajes realizados en la flota industrial y 42 en artesanal. Se muestrearon un total de 15.750 con un promedio de 124 ejemplares por muestreo (**Figura 8**). Los efectos de la pandemia y vedas, marcan el incumplimiento en los requerimientos de muestreo debido principalmente a la imposibilidad de realizar embarques, lo cual se retoma paulatinamente desde mayo sujetos a protocolo COVID (**Figura 8**).

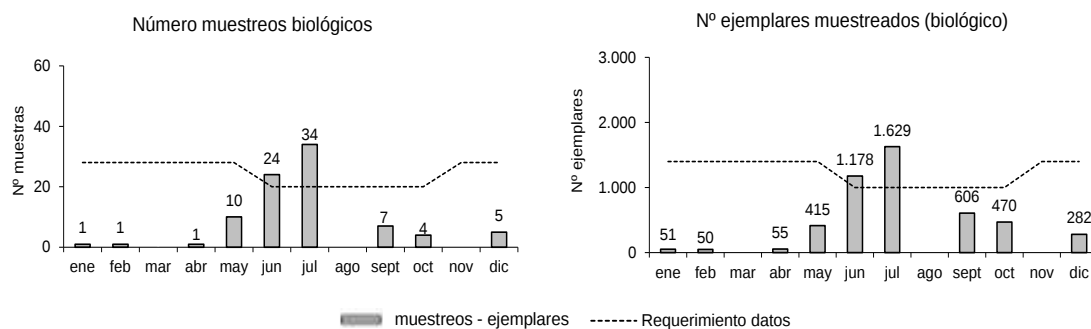


Figura 7. Número de muestreos biológicos y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Iquique, año 2020.

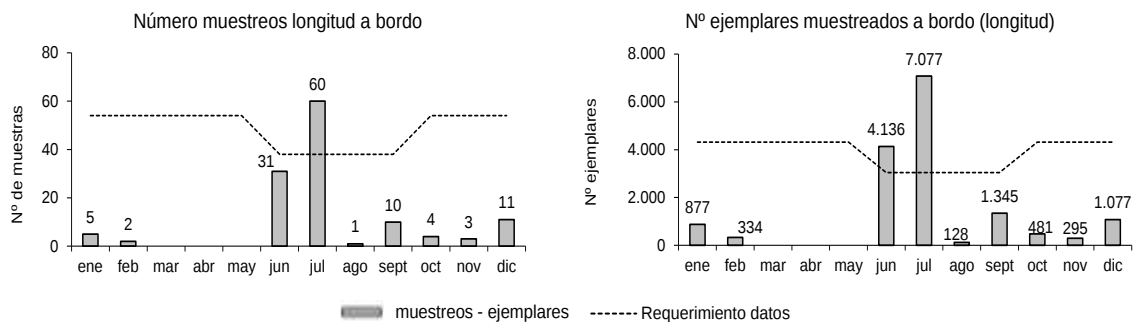


Figura 8. Número de muestreos de longitud y número de ejemplares mensual de anchoveta, realizados a bordo en la zona Iquique, año 2020.

Zona Antofagasta: Se realizaron 128 muestreos, midiéndose un total de 15.500 ejemplares. El 94% se realizó en la flota artesanal principalmente entre marzo y junio. El número de muestreos en esta zona estuvo cercano a los requerimientos principalmente de mayo a julio, resultado que también se vio afectado con las restricciones de la pandemia y las vedas (**Figura 9**).

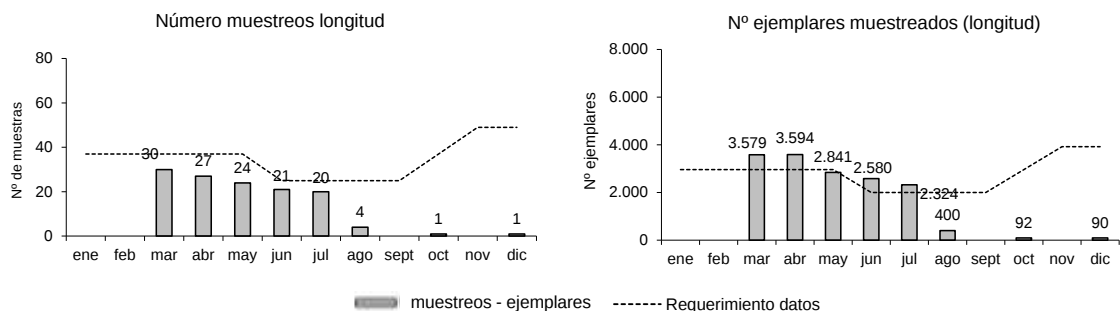


Figura 9. Número de muestreos de longitud y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Antofagasta, año 2020.

Los muestreos biológicos fueron 56 con un total de 3.185 ejemplares, registrando un claro incumplimiento al contrastar esas cifras con los niveles de datos requeridos (**Figura 10**). En tanto que, a bordo, se realizaron esfuerzos para alcanzar esas cifras con mejores resultados sólo en abril y julio (**Figura 11**).

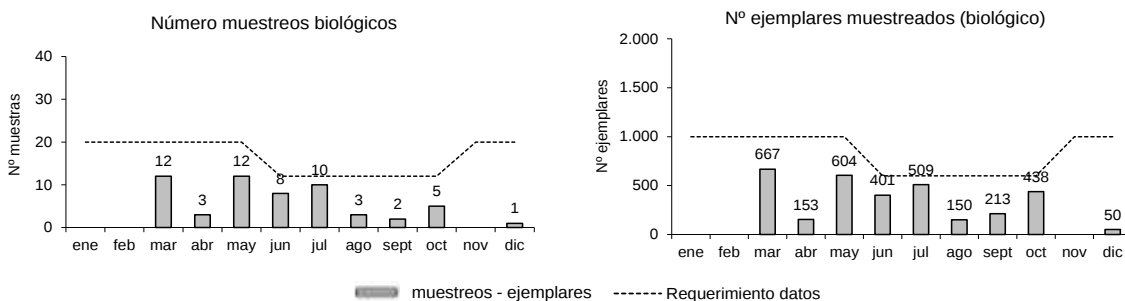


Figura 10. Número de muestreos biológicos y número de ejemplares (barras) mensual de anchoveta, realizados en tierra en la zona Antofagasta, año 2020.

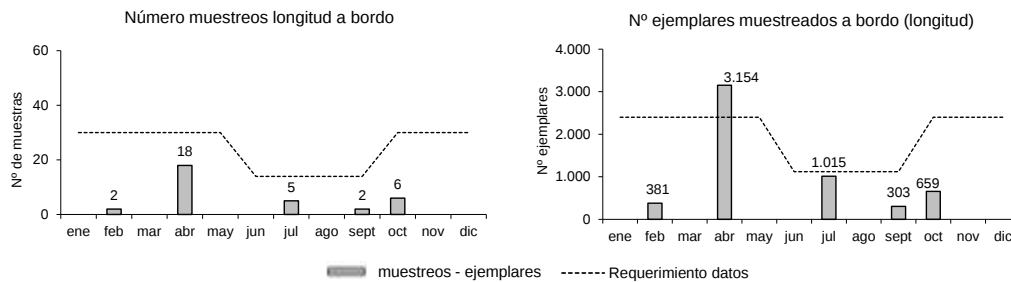


Figura 11. Número de muestreos de longitud y número de ejemplares mensual de anchoveta, realizados a bordo en la zona Antofagasta, año 2020.

Sardina española

La obtención de muestras de este clupeido en los desembarques artesanales, se circunscribieron al área de Antofagasta, logrando obtener muestras relativas a su composición de tamaños entre julio y octubre. Se realizaron un total de 13 muestreos midiendo 1.061 sardinas españolas (**Anexo 1**).

Fauna acompañante

Los muestreos sobre la fauna acompañante de las especies objetivo de la flota en la zona norte fueron bajo, registrándose algunas mediciones a bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*), agujilla (*Scomberesox saurus*), bacaladillo o mote (*Normanichthys crockeri*) y caciques (*Congiopodus peruvianus*). El resultado mensual por zona de estos muestreos ocasionales se agrupa en el **Anexo 1**.

Extracción de otolitos

De las muestras biológicas se logró la extracción de 6.640 otolitos sagitales de anchoveta, 528 de jurel y 282 de caballa (**Anexo 1**).

5.1.4 Actividades de Supervisión en terreno

La supervisión de los adecuados criterios y metodologías de muestreos empleadas por los observadores científicos en su trabajo de campo descritos en el respectivo Manual de muestreo de pesquerías (IT-1/PE-7-2), correspondiente al Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001: 2015, cuya acreditación posee el IFOP, consideraron revisiones constantes de los procedimientos de muestreo. No obstante, las visitas estuvieron restringidas en los diferentes centros por parte del Coordinador de Campo, en atención a las distintas fases que el MINSAL estableció como estrategia gradual para enfrentar la pandemia por Covid-19, según la situación sanitaria de cada localidad en particular. A continuación, se entrega un resumen de las salidas a terreno:



Coordinación de campo zona norte (Arica-Antofagasta)

- Antofagasta (13-15 de enero). Reuniones con armador artesanal para la organización e inicio del trabajo de campo de Pesca de Investigación (PIN) del monitoreo de reclutamiento de la anchoveta.
- Arica (11-13 de marzo). Supervisión de las actividades de muestreo y verificación de los equipos de medición de terreno y del laboratorio húmedo.
- Arica (31 de agosto - 3 de septiembre). Reunión con armador artesanal para la organización del trabajo de campo de la PIN relativa al proyecto “Evaluación del stock desovante de la anchoveta XV a II regiones”, y segunda verificación anual de los equipos de medición de terreno y del laboratorio húmedo.
- Arica (21-23 de diciembre). Supervisión de las actividades de muestreo y tercera verificación anual de los equipos de medición de terreno y del laboratorio húmedo.

5.1.5 Principales características de la flota cerquera de la zona norte

A partir del 2018 se inició una actualización de las principales características operacionales de la flota pesquera en la zona norte. Recopilando información de los equipos de comunicación, pesca y detección, además de las características geométricas de las embarcaciones y las redes, esta información fue recolectada por los Observadores Científicos que trabajan a bordo de las embarcaciones pesqueras, no obstante, estos antecedentes fueron cotejados con información proporcionada por la empresa pesquera.

Flota industrial y artesanal

En la **Figura 12** se muestran las embarcaciones que han operado en la zona norte entre 1980 y 2020, en términos de número y capacidad de bodega promedio. Se destaca el gran número de embarcaciones industriales en las décadas del 80 y 90 producto de la escasa regulación pesquera y en respuesta a altas abundancia de pelágicos en la zona, situación que comienza a regularizarse a partir del 1986 (D. Ex. N°436) donde se establece una medida de regulación del esfuerzo de pesca congelando el ingreso de nuevos barcos a la pesquería, cuotas de captura y Límites Máximos de Captura por Armador establecida a fines del 2002 lo cual aceleró el proceso de readecuación de las empresas. En tanto, las embarcaciones artesanales muestran un incremento sostenido superando a las industriales posterior al 2016. En relación a la capacidad de bodega (CB) promedio anual se observa una tendencia creciente principalmente para industriales, destacando la última década una CB promedio en torno a los 400 m³. Para las embarcaciones artesanales la CB promedio registró un crecimiento hasta 2004, posteriormente se observó un leve descenso hasta el 2010 con una CB en torno a los 50 m³ promedio (**Figura 12** y **Figura 13**).

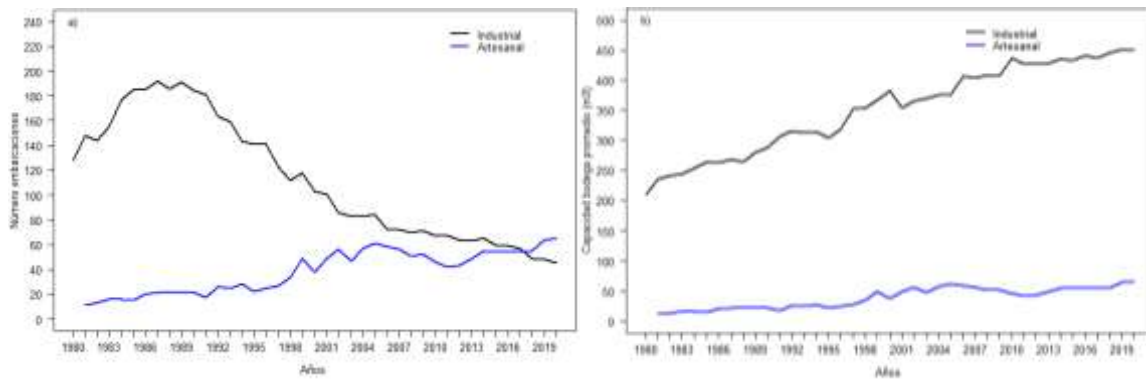


Figura 12. Número de embarcaciones industriales y artesanales (a) y capacidad de bodega promedio (b) por flota y año en la zona norte, entre 1980 y 2020.

El número de embarcaciones industriales por rango de CB muestra a partir del 2007 un predominio de embarcaciones con CB de 200-500 y mayores a 500 m³, sin embargo, en términos de la CB desplazada se observa un dominio de aquellas embarcaciones con capacidad de bodega mayores a 500 m³. La mayor operación de las embarcaciones artesanales en la última década, en términos de número y CB desplazada fueron las embarcaciones mayores a 70 m³ (**Figura 13 y Figura 14; Tabla 5**).

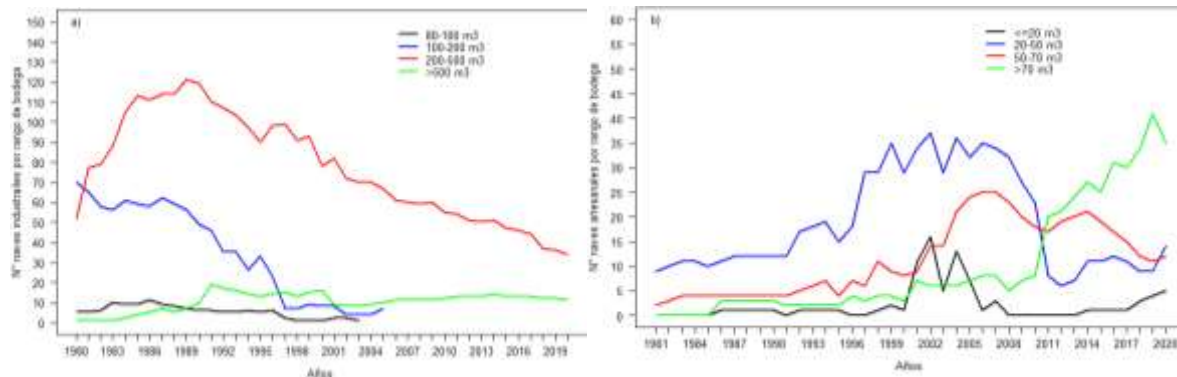


Figura 13. Número de embarcaciones por rango de bodega para la flota industrial (a) y artesanal (b) para la zona norte entre 1980 y 2020.

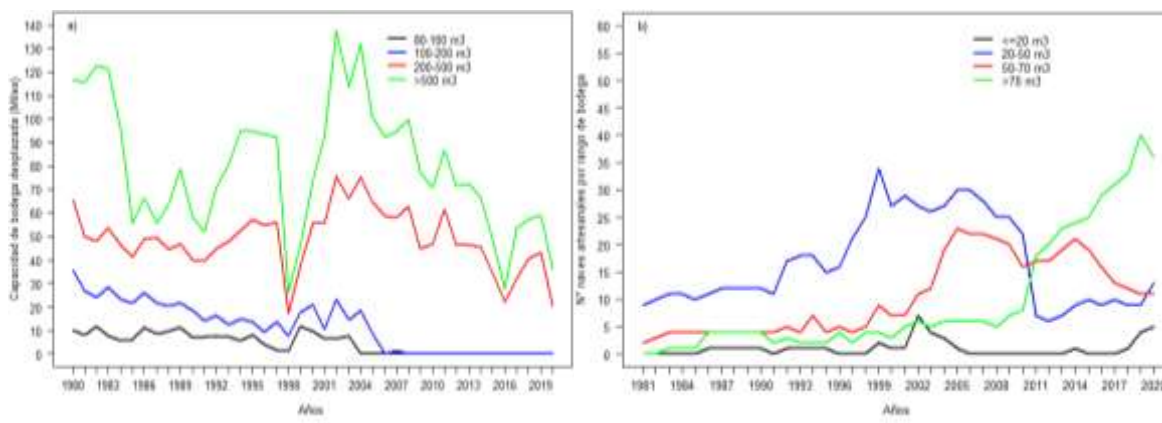


Figura 14. Capacidad de bodega desplazada por rango de bodega industriales (a) y artesanales (b) para la zona norte.

Es importante mencionar que, durante los últimos años, las empresas pesqueras, han implementado en las embarcaciones con mayor capacidad de bodega ($>400 \text{ m}^3$), sistema de agua circulante, que permite conservar adecuadamente la pesca a bordo recalando con la materia prima en óptima calidad. Así mismo destacar el uso de una embarcación auxiliar o “panga”, utilizada al calar la red para sostener uno de los extremos de ésta mientras la embarcación rodea el cardumen (**Figura 15**).

Las embarcaciones artesanales presentan un régimen operacional de pesca más corto, que se limita a un día de actividad, fijando su hora de zarpe según la distancia a la zona de pesca y recalando dentro del transcurso del día. De acuerdo a información obtenida en terreno, las plantas de reducción localizadas en los puertos de Arica y Mejillones solicitan una entrega mínima de 100 t de materia prima al día para procesar, dado que una cantidad inferior de pesca no es rentable para hacer funcionar la planta. Debido a esto las embarcaciones artesanales evalúan previamente el ambiente de pesca, no zarpando cuando el ambiente de pesca no les es favorable. En los últimos años no se han detectado cambios en la dinámica y estrategia de operación, manteniendo las salidas diarias en la medida que las condiciones meteorológicas sean favorables para la pesca y que las cuotas no se hayan completado.



Figura 15. A) Equipos de pesca utilizados en las embarcaciones industriales en la zona norte y B) embarcaciones industriales en faena de pesca con la operación de la embarcación auxiliar (panga).

**Tabla 5.** Número de embarcaciones y capacidad de bodega promedio con operación en la zona norte por flota y rango de bodega entre 1980 y 2020.

Rango CB	Flota Artesanal								Flota Industrial							
	<20 m³		20-50 m³		50-70 m³		>70 m³		80-100 m³		100-200 m³		200-500 m³		>500 m³	
Años	N°	CB	N°	CB	N°	CB	N°	CB	N°	CB	N°	CB	N°	CB	N°	CB
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	5	92	70	154	52	290	1	550
1981	0	0	9	49	2	61	0	0	5	92	65	157	77	308	1	550
1982	0	0	10	49	3	59	0	0	6	92	58	158	79	309	1	550
1983	0	0	11	46	4	58	1	100	10	93	56	157	88	313	1	550
1984	0	0	11	46	4	58	1	100	9	91	61	157	105	319	2	618
1985	0	0	10	46	4	58	1	100	9	92	59	157	113	322	4	607
1986	1	18	11	46	4	59	4	85	11	90	58	154	111	323	5	593
1987	1	18	12	46	4	59	4	85	9	90	62	154	114	324	7	595
1988	1	18	12	49	4	59	4	85	8	90	59	152	114	322	5	556
1989	1	18	12	49	4	59	4	85	7	88	56	153	121	328	7	647
1990	1	18	12	49	4	59	4	85	6	90	49	153	119	327	10	622
1991	0	0	11	48	4	59	2	80	6	93	46	154	110	330	19	611
1992	1	14	17	48	5	61	3	87	5	92	35	146	107	332	17	628
1993	1	14	18	48	4	60	2	80	5	92	35	146	103	333	16	621
1994	1	14	18	48	7	62	2	80	6	93	26	144	97	335	14	573
1995	1	14	15	48	4	62	2	80	5	92	33	144	90	336	13	567
1996	0	0	16	48	5	61	4	77	6	90	23	143	98	337	14	574
1997	0	0	21	44	4	59	2	80	2	90	7	140	99	338	15	580
1998	0	0	25	43	5	60	4	79	1	80	7	135	91	344	13	568
1999	2	15	34	40	9	59	4	79	1	80	9	136	93	345	15	652
2000	1	20	27	41	7	60	3	79	1	80	8	139	78	359	16	633
2001	1	20	29	39	7	60	5	76	2	79	8	139	82	357	9	583
2002	7	17	27	40	11	60	6	78	2	79	4	139	72	361	8	589
2003	4	13	26	41	12	58	5	78	1	80	4	139	70	362	8	589
2004	3	14	27	40	19	59	6	78	0	0	4	139	70	362	9	583
2005	1	20	30	39	23	59	6	78	0	0	7	139	67	371	10	575
2006	0	0	30	39	22	60	6	78	0	0	0	0	61	375	11	579
2007	0	0	28	38	22	59	6	78	0	0	1	138	60	376	11	579
2008	0	0	25	38	21	59	5	78	0	0	0	0	59	376	11	579
2009	0	0	25	39	20	59	7	78	0	0	0	0	60	376	11	579
2010	0	0	22	40	16	59	8	79	0	0	0	0	55	387	12	665
2011	0	0	7	43	17	62	18	78	0	0	0	0	54	388	13	588
2012	0	0	6	45	17	62	20	78	0	0	0	0	51	386	13	588
2013	0	0	7	45	19	61	23	78	0	0	0	0	50	387	13	588
2014	1	16	9	44	21	61	24	78	0	0	0	0	51	386	14	614
2015	0	0	10	43	19	62	25	79	0	0	0	0	47	389	13	588
2016	0	0	9	45	16	62	29	80	0	0	0	0	46	390	13	619
2017	0	0	10	44	13	62	31	81	0	0	0	0	44	392	13	588
2018	1	10	9	43	12	62	33	81	0	0	0	0	37	398	12	592
2019	4	14	9	40	11	62	40	80	0	0	0	0	36	403	12	592
2020	5	14	13	40	11	62	36	80	0	0	0	0	34	404	11	587

* Se consideraron las embarcaciones con más de 5 viajes de operación al año.



Arte de pesca

En relación al material y tipo de red, ambos tipos de embarcaciones trabajan con redes “anchoveteras”, las cuales son diseñadas y construidas principalmente para capturar el recurso anchoveta, sin embargo, también les permite extraer otros recursos como jurel, caballa, sardina y pesca incidental (pejerrey, jibia, calamares, tiburón martillo, tortugas, delfines, lobos de mar etc). Las redes están confeccionadas principalmente con material de nylon y poliéster, sin embargo, en las embarcaciones industriales se hace la distinción en dos a tres cuerpos de la red más el copo de la proa, el antecopo, el pre antecopo y la popa los que están constituidos por la materia prima de nylon multifilamento retorcido anudado a diferencia de los cuerpos finos de la parte central de la red que están confeccionados con material de poliéster multifilamento continuo de alta tenacidad. Así como también en el tamaño de la red, el que en general utilizan 2 estándares de tipos de red los que van de acuerdo a la capacidad de bodega que presenta la embarcación (**Tabla 6**).

Tabla 6. Principales características de las redes anchoveteras utilizadas por la flota según capacidad de bodega en la zona norte.

Características de la red	Flota industrial 400 – 500 (m ³)	Flota artesanal 50 – 70 (m ³)
Longitud de relinga (brazas)	440 - 474	200 - 300
Altura (brazas)	65 - 70	35 - 40
Tamaño de malla (copo) (pulgadas)	5/8 - 1/2	1/2'
Tamaño de malla (pulgadas)	9/16	9/16
Número de cuerpos	26 - 28	10 - 16
Material de construcción	Nylon - PES	Poliéster

Fuente: Armadores de la zona norte.

5.1.6 Desembarques de recursos pelágicos de la zona norte

El desembarque de recursos pelágicos en la zona norte (puertos de Arica a Mejillones) ha presentado en las cuatro últimas décadas importantes fluctuaciones anuales, con un máximo de 3,5 millones de t (1986) a un mínimo de 201 mil t (1998), asociado fuertemente en el primer período de la serie (hasta 1989) a los desembarques de sardina española y en el segundo periodo a las variaciones de la anchoveta (**Figura 16**). En la figura se aprecia claramente un primer período con desembarques promedios de 2,4 millones de t (1980-1995), luego un período con volúmenes intermedios (1,2 millones de t) para presentar en la última década los desembarques promedios más bajos de la serie (625 mil t). En relación a los desembarques por puerto, Iquique concentra el 53% de los volúmenes anuales, asociado concentración de la flota -planta y a la mayor disponibilidad de recurso (**Figura 16**).

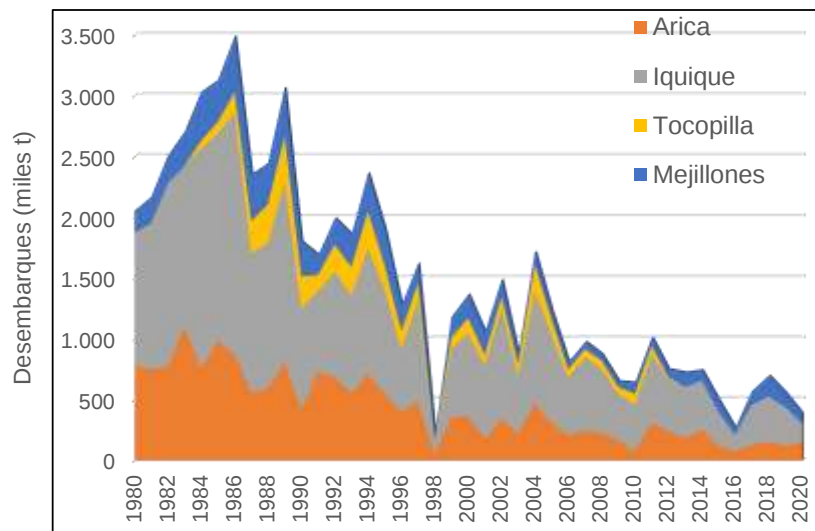


Figura 16. Serie histórica de los desembarques de las principales especies pelágicas en la zona norte, 2000-2020, por puerto.

El desembarque total en la zona norte durante el año 2020 alcanzó 387 mil t, volumen que presentó una fuerte reducción respecto al 2019 (-30%) y 2018 (-45%), dado por la fuerte caída en los desembarques de anchoveta (Fuente: IFOP). Los mayores desembarques en el área de estudio están representados por la anchoveta con 266 mil t, seguido por la caballa (75 mil t) y el jurel (42 mil t), tendencia similar a lo observado en los últimos seis años. El aporte del ítem “otras especies” fue bajo al igual que la sardina española que centró sus escasos volúmenes en el puerto de Mejillones (**Figura 17**, panel izquierdo). En la **Figura 17** (panel derecho) se muestran los desembarques de los principales recursos por puerto, concentrando el puerto de Arica el mayor aporte de anchoveta (52%), sin embargo, la contribución es menor en relación al jurel y la caballa. Este comportamiento está dado por la mayor actividad extractiva que ejerció la flota artesanal por la disponibilidad de anchoveta en las primeras millas de la costa donde la flota industrial no pudo operar en las áreas de perforación por un recurso de protección interpuesto por el sector artesanal.

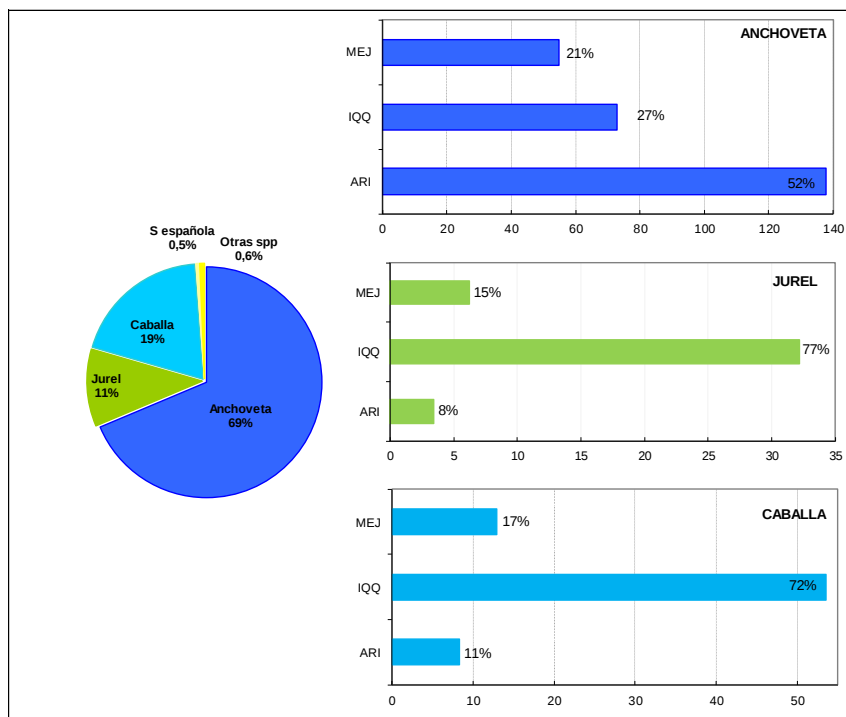


Figura 17. Desembarques de las principales especies pelágicas en la zona de estudio, año 2020. Por puerto y especie (panel derecho) y acumulado por especie (panel izquierdo).

Desembarque anchoveta

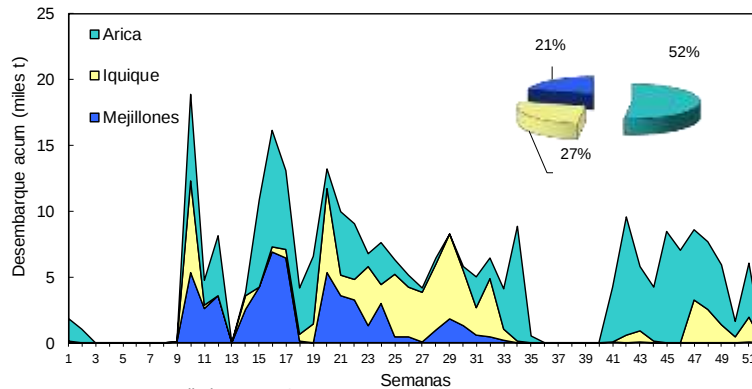
En el año 2020 los desembarques de anchoveta en la zona norte alcanzaron las 266 mil t, cifra 46% menor respecto al 2019 (**Tabla 7**). El 80% de los desembarques de este recurso los extrajo la flota artesanal dada la restricción de operación de la flota industrial en las áreas de perforación. En enero y febrero la flota se mantuvo en puerto por el establecimiento de veda biológica por reclutamiento. Destacan los mayores desembarques entre marzo y mayo en los puertos de Arica y Mejillones, mientras que en Iquique se observó en junio y julio, lo que de alguna manera indica el desplazamiento que presentó la flota artesanal con base en Arica. Además, en el puerto de Arica se registraron volúmenes altos en octubre y noviembre.

Entre Arica y Mejillones el desembarque promedio semanal de anchoveta alcanzó 7 mil t, inferior comparado al 2019 (13 mil t). El puerto de Arica lideró con desembarques de 138 mil t, con cifras máximas de 9 mil t (Semanas 16, 34 y 42) y desembarques promedio de 4 mil t en el año (similar al 2019). El puerto de Iquique concentró el 27% de la anchoveta, con un registro máximo de 18 mil t (semana 20) y desembarques promedio de 2 mil t. Mejillones presentó un promedio similar a Iquique con un desembarque máximo de 7 mil t (Semana 16). Es importante destacar que en el año 2020 los desembarques semanales no superaron las 20 mil t entre los tres puertos, en cambio en el año 2019 alcanzó las 48 mil t (**Figura 18**).

**Tabla 7.** Desembarques (t) mensuales de anchoveta de la flota cerquera en la zona norte, por puerto. Año 2020.

PUERTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ARICA	2.677	0	12.982	25.157	15.632	6.158	3.135	14.137	0	22.100	27.043	8.802	137.824
IQUIQUE	134	0	7.237	2.614	10.862	14.575	21.247	5.380	0	1.511	5.942	3.476	72.980
MEJILLONES		0	11.579	20.213	12.199	5.202	4.751	633	0	155		37	54.769
ARICA - MEJILLONES	2.812	0	31.798	47.985	38.693	25.935	29.133	20.151	1	23.767	32.985	12.315	265.573

Fuente: datos recopilados por IFOP.



Fuente: Datos recopilados por IFOP.

Figura 18. Desembarques semanales de anchoveta extraída por la flota cerquera total, por puerto. Año, 2020.

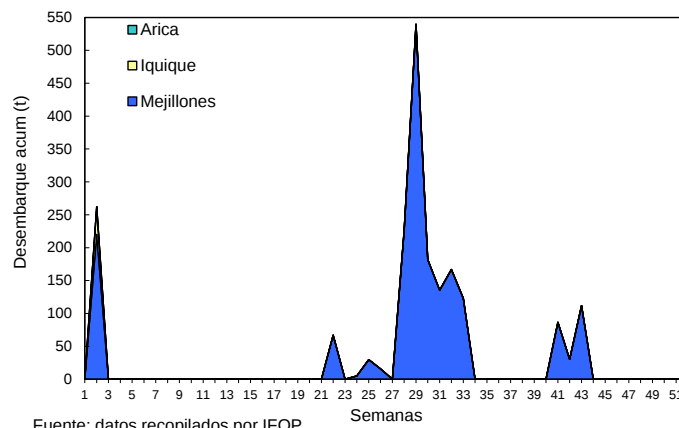
Desembarque sardina española

En el 2020 el desembarque de sardina española en la zona norte alcanzó 1.980 t, registro que aumentó respecto a los dos últimos años. El puerto de Mejillones concentró los desembarques con un valor máximo en la semana 29 (540 t) ((Tabla 8 y Figura 19).

Tabla 8. Desembarques (t) mensuales de sardina española de la flota cerquera en la zona norte, por puerto. Año 2020.

PUERTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ARICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IQUIQUE	42	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	43
MEJILLONES	220	0	0	0	67	51	1.081	290	0	228	0	0	1.937
ARICA - MEJILLONES	262	0	0	0	67	51	1.082	290	0	228	0	0	1.980

Fuente: datos recopilados por IFOP.



Fuente: datos recopilados por IFOP.

Figura 19. Desembarques semanales de sardina española extraída por la flota cerquera total, por puerto. Año, 2020.

5.2 Objetivo específico 3.2.2. *Caracterizar y analizar las capturas y/o desembarques de las especies objetivo, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales, así como los factores determinantes de su desempeño.*

Se entrega un análisis de la evolución de los principales indicadores de captura, esfuerzo y rendimientos de pesca que caracterizan la actividad extractiva de anchoveta y sardina española desarrollada en la zona norte en el período enero-diciembre 2020 y se realiza una comparación con igual período del 2019 y la serie histórica reciente. Por otra parte, se entregan los indicadores biológicos relevantes, como son la composición de talla y los índices reproductivos, conjuntamente con analizar los cambios en las condiciones oceanográficas imperantes en la región. Además, se presentan los resultados de los monitoreos de desove (junio 2020-enero 2021) y reclutamiento (octubre 2020 a abril 2021) de la anchoveta en la zona norte.

5.2.1 Condiciones ambientales en el Pacífico ecuatorial

En el océano Pacífico ecuatorial, las ATSM en la región Niño₁₊₂ y Niño_{3,4} desde diciembre 2019 hasta abril de 2020 mantuvieron valores positivos, $<+0,5^{\circ}\text{C}$ y hasta $0,6^{\circ}\text{C}$, respectivamente. En mayo las ATSM cambiaron a negativos con una tendencia descendente, que se mantuvo hasta julio ($-1,18^{\circ}\text{C}$; Niño₁₊₂) y octubre-noviembre ($-1,42^{\circ}\text{C}$; Niño_{3,4}). Posteriormente las ATSM negativas perdieron intensidad hasta marzo (valores $<0,5^{\circ}\text{C}$, absoluto).

De acuerdo al indicador MELv2 (**Figura 20**) y a lo informado por NOAA en sus boletines de discusión (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/) la condición ENOS fue neutral de abril 2018 a junio-julio de 2020. Los últimos meses estuvo en un estado de vigilancia de una posible condición La Niña, lo que fue confirmado y decretado a partir de agosto, condición que se mantuvo hasta el mes de marzo 2021, para declinar en abril.

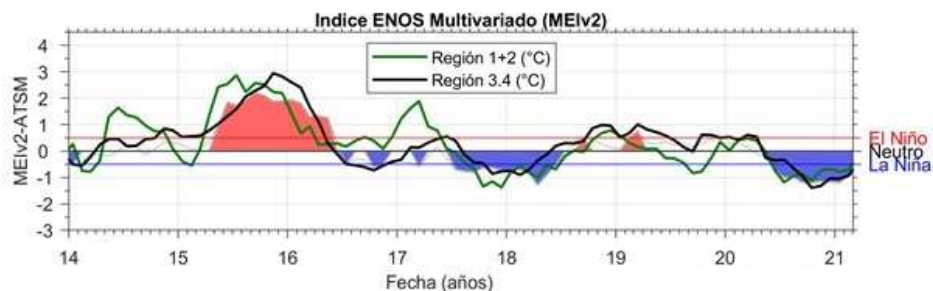


Figura 20. Series de tiempo para el período enero 2014-marzo 2021 del índice ecuatorial ENOS (MEIV2) y las ATSM (°C) de las regiones Niño₁₊₂ (verde) y Niño_{3.4} (negro).

Condiciones ambientales locales durante 2020

Desde finales de 2019 y hasta agosto-septiembre de 2020, las series de ATSM de la zona norte de Chile (18°-26°S) presentaron valores positivos, principalmente en el sector oceánico con valores $>+1^{\circ}\text{C}$ (enero, marzo y abril), en la costa solo en marzo se registró un valor superior a $+1^{\circ}\text{C}$. Desde septiembre, las ATSM de la sub zona norte (18°S-23°S) cambiaron a negativas, manteniéndose la tendencia hasta diciembre, con valores absolutos $<0,5^{\circ}\text{C}$. En la subzona sur (23°S-26°S) la tendencia negativa no fue tan evidente, ya que en diciembre hubo un máximo cálido en la costa de $+1^{\circ}\text{C}$, mientras que, en el sector oceánico, aunque pasó a positiva, la ATSM estuvo cercana a cero. Entre enero y marzo de 2021, las ATSM de ambas subzonas fueron negativas, confirmando la tendencia en la subzona norte y debilitándose en la subzona sur en el mes de marzo (**Figura 21 b y c**).

Los diagramas Hovmöller muestran que desde finales de 2019 hasta agosto de 2020 la zona estuvo bajo una condición cálida, y que esta afectó con mayor fuerza en el sector oceánico, con frecuentes focos de ATSM $>1^{\circ}\text{C}$ entre los 18°30'S y los 22°S; mientras que, en la costa ATSM $>+2^{\circ}\text{C}$ se registraron entre marzo-abril entre los 18°30'S y los 19°30'S. Desde septiembre, ATSM negativas dominaron al norte de los 23°S, destacando focos de -1°C en la costa de los 19°30'S a 19°30'S entre noviembre 2020 y febrero de 2021, y entre los 22°40'S y 24°30'S entre enero-febrero, foco que abarcó costa y océano. Entre noviembre y diciembre 2020, destacó un foco cálido $>+1^{\circ}\text{C}$ entre los 24°S y 26°S en la costa, el que estuvo presente en el sector oceánico, pero con valores cercano a cero (**Figura 21 d y e**).

La serie de concentración promedio de clorofila-a costera da cuenta que las concentraciones del año 2020 fueron menores a las reportadas en los tres años previos (2017-19). Las concentraciones en la subzona norte, habitualmente son mayores que la subzona sur, condición que se repitió el 2020. Las mayores concentraciones del año 2020 se dieron en el mes de febrero ($>4\text{ mg/m}^3$). De la serie 2014-21, las menores concentraciones corresponden al año 2015 (**Figura 22 a**).

El diagrama Hovmöller en el período 2014-2021 da cuenta de las áreas recurrentes de altas concentraciones (5-10 mg/m^3): Arica, Mejillones y Antofagasta. Los blooms estacionales de primavera-verano pueden abarcar desde septiembre hasta mayo, destacando el área de los 19°30'S-21°30'S con altas concentraciones ($>5\text{ mg/m}^3$) en el período 2018-19 y en menor intensidad el período 2016-17.

En esta misma área el bloom 2019-20 estuvo centrado en el verano con focos ($>5 \text{ mg/m}^3$) de corta duración (**Figura 22 b**).

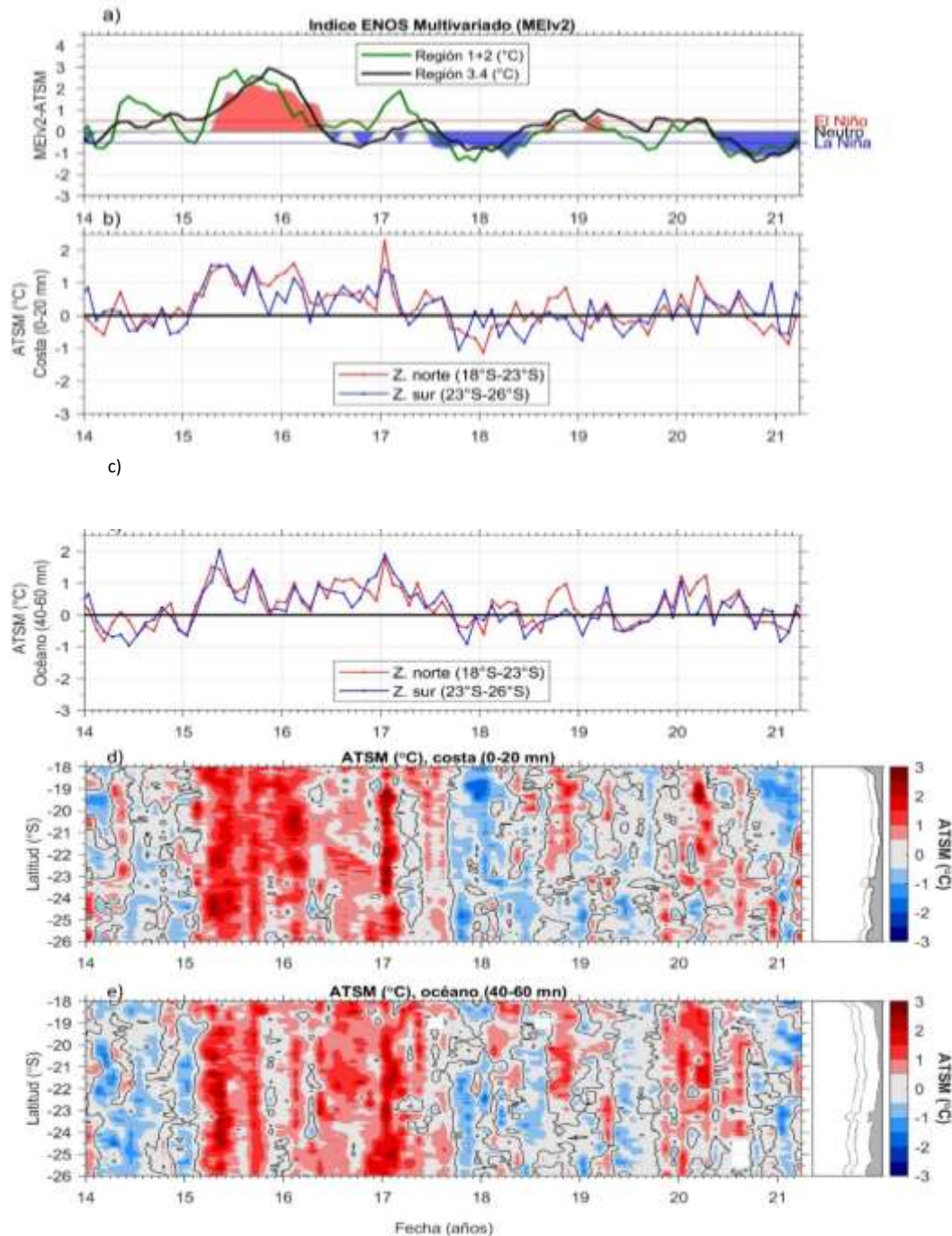


Figura 21. Series de tiempo para el período enero 2014-marzo 2021 de a) Índice Ecuatorial ENOS (MEI.v2) y las ATSM (°C) de las regiones Niño₁₊₂ (verde) y Niño_{3.4} (negro), b) ATSM promedio en las subáreas: norte (18°-23°S) y sur (23°-26°S), en los sectores: b) costero y c) oceánico. Diagrama Hovmöller de ATSM del área total (18°-26°S), en los sectores: d) costero y e) oceánico.

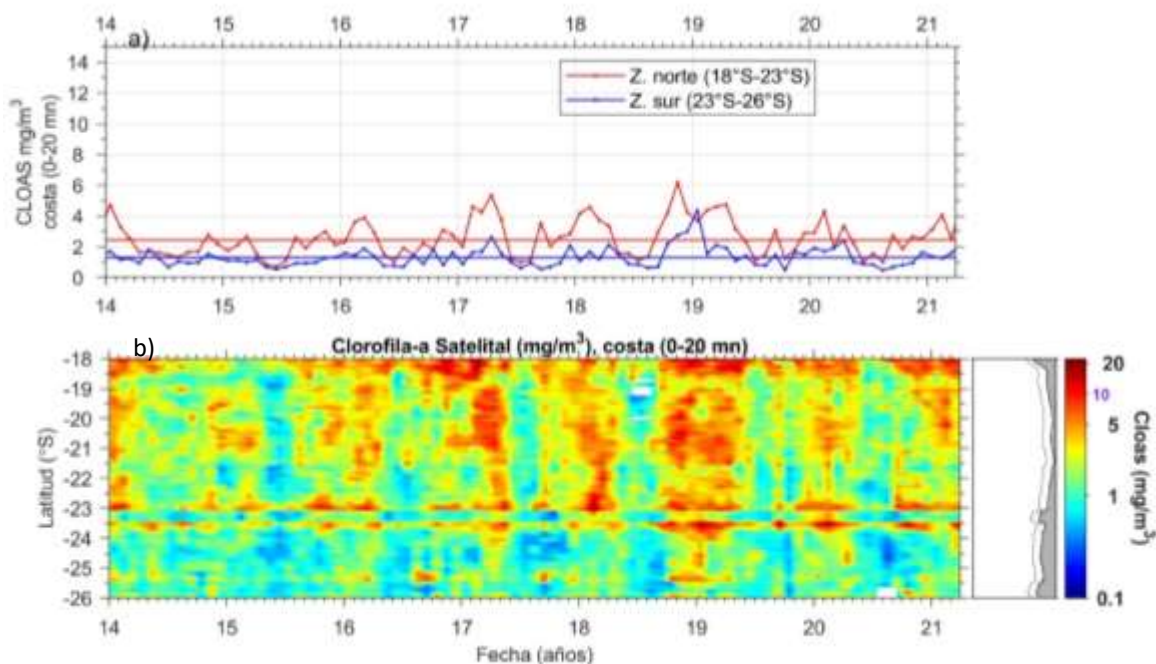


Figura 22. Series de tiempo para el periodo enero 2014 – marzo 2021: a) Promedio de las concentraciones de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) en las subáreas: costeras norte (18°S - 23°S) y sur (23°S - 26°S), b) Diagrama Hovmöller de las concentraciones de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) en el sector costero (18° - 26°S).

Condiciones locales en la zona norte

En un aspecto local, el crucero de diciembre 2019 se desarrolló bajo condición ENOS neutral. A nivel local, las ATSM de las series durante este mes disminuyeron en promedio entre $0,2^{\circ}\text{C}$ (océano) y $0,7^{\circ}\text{C}$ (costa) respecto del mes noviembre (**Figura 20 b y c**), las cuales habían tenido un repunte positivo desde octubre, acoplado al indicador ambiental regional Niño₁₊₂ (**Figura 20 a**).

Los datos del crucero del mes de diciembre de 2019 indicaron que la condición oceanográfica fue similar al año anterior (diciembre de 2018), pero, con menor cobertura espacial de altos valores de temperatura y de salinidad superficial ($>21^{\circ}\text{C}$, >35). Además, se presentaron anomalías negativas ($<-0,5^{\circ}\text{C}$) a lo largo de la costa, con algunos focos que alcanzaron -1°C , coincidentes con las áreas donde la surgencia fue más intensa. A pesar de la baja temperatura en la costa, se destacó particularmente el área al interior de la bahía de Antofagasta una trampa de surgencia donde se observaron mayores temperaturas superficiales ($>20^{\circ}\text{C}$), condición que se ha descrito anteriormente (Castilla *et al.*, 2002). La salinidad fue $>34,8$ al norte de 23°S , con dos focos salinos >35 a más de 5 mn de la costa, entre 19° - 20°S y entre caleta Chipana y Tocopilla, provocaron anomalías positivas $>0,2$ (**Figura 23**).

En las masas de agua, destacó la presencia de AECS en superficie en la costa, con PPMA $>40\%$ entre punta Pinto y punta Plata. Un solo núcleo superficial de AECS con PPMA $>50\%$ se destacó en superficie en la punta norte de Mejillones, conocida como punta Angamos ($23^{\circ}01'\text{S}$), la cual es un importante centro de surgencia, que se genera debido a la particular topografía de la península

(Letelier *et al.*, 2012). Mientras que el AST dominó en el resto de la zona, con PPMA de hasta 90% en el área al sur de los 19°S, esta masa se aproximó a la costa entre los 19°S y 20°S y en el área de Chipana, fortaleciendo el gradiente costa-océano (**Figura 24**).

El campo de viento durante el período de crucero mantuvo la componente sur-suroeste habitual de la zona norte de Chile. Aun cuando hubo disminución del viento sur, en relación al crucero del año anterior (diciembre de 2018), se presentaron los habituales procesos de surgencia que originaron en la costa características oceanográficas propias, como aguas con menor temperatura y densidad. A lo largo de la costa el índice de surgencia (IS) fue positivo, condición que señala que el viento fue favorable a la surgencia en toda la zona (**Figura 24 b**).

En este período se detectó el bloom estacional de clorofila-a con numerosos focos costeros de altas concentraciones (5-10 mg/m³) (**Figura 24 c**). En este sentido, la distribución de anchoveta observada en los registros acústicos, estuvo agrupada donde las concentraciones de clorofila-a fue >5 mg/m³, es decir, al norte de 22°S. No obstante, la anchoveta también se presentó, pero con menor densidad, en áreas con focos recurrentes de clorofila-a, como en Mejillones y Antofagasta.

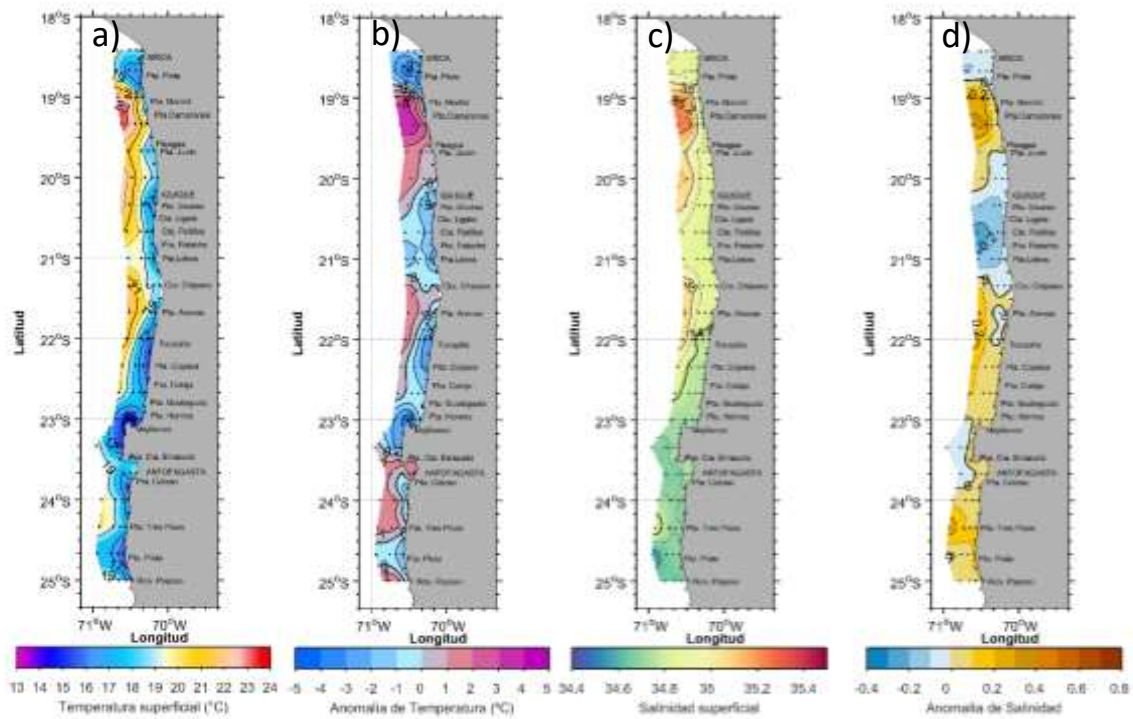


Figura 23. Distribución superficial de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad y d) anomalía de salinidad. Crucero diciembre 2019.

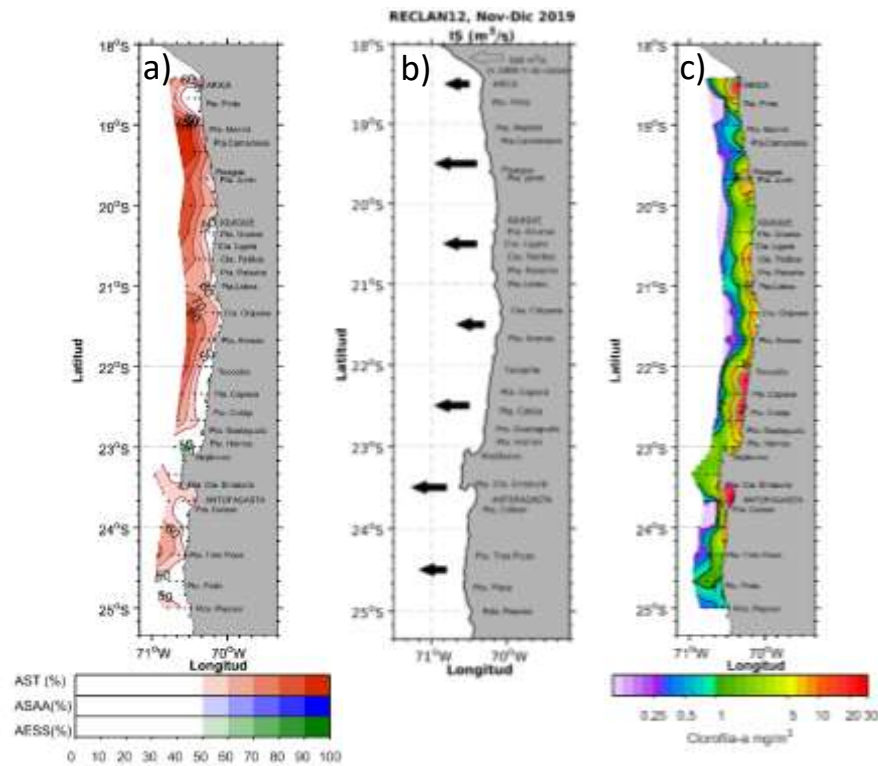


Figura 24. Distribución superficial de: a) porcentajes de participación de las masas de agua con PPMA >50%: Agua Subtropical (AST), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y Agua Subantártica (ASAA); PPMA <50% corresponden a procesos de mezcla de las masas de agua; b) Surgencia promedio (m^3/s) por grado de latitud, c) clorofila-a (mg/m^3). Crucero diciembre 2019.

Durante los meses de enero-febrero 2020, con condiciones neutras El Niño en el Pacífico Ecuatorial, localmente se observaron condiciones cálidas, en enero más que en febrero, con una gran cobertura de valores $>+1^\circ\text{C}$, debido a una masa de agua oceánica de valores entre $24-25^\circ\text{C}$, aproximándose a la costa que provocaron un intenso gradiente costa-océano, al encontrarse con las aguas frías de los sistemas de surgencia. La componente del viento, estos meses, fue predominante desde el sur por lo tanto favorable a la surgencia, pero con intensidad débil ($<4 \text{ m/s}$). La clorofila-a de enero a febrero aumentó la cobertura de focos $>5 \text{ mg}/\text{m}^3$ generando una franja continua de altas concentraciones entre Arica y Antofagasta (**Figura 25**).

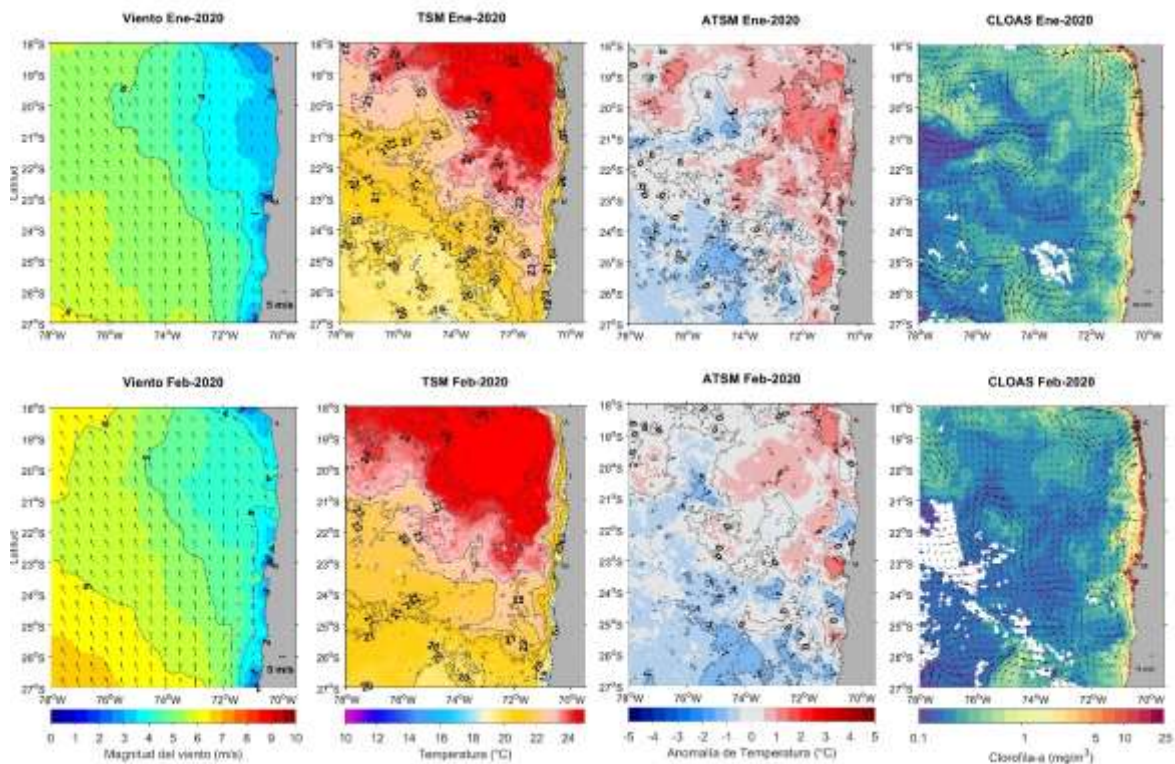


Figura 25. Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrofica de los meses de enero y febrero de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.

Durante el crucero marzo-abril 2020, la condición regional ecuatorial fue neutra y a nivel local, se mantuvo la condición cálida, la que se acentuó en abril, con un predominio de anomalías positivas promedio $>+0,5^{\circ}\text{C}$. Como es esperable para la zona, el campo de viento fue predominantemente desde el sur y las intensidades promedio fueron en general débiles ($<5\text{ m/s}$) similares a las registradas en el crucero del año anterior (marzo-abril 2019), sin embargo, el IS mostró una mayor diferencia, principalmente por las tres áreas con viento favorable al hundimiento de las aguas costeras, esto en Arica, Chañaral y Los Vilos (**Figura 26** y **Figura 27**).

A nivel superficial, el núcleo AST dominó la zona y el del ASAA estuvo debilitado en relación a los tres años anteriores, sin embargo, el área cubierta por esta masa no difirió notablemente. En cuanto a la concentración de clorofila-a, la franja costera de concentraciones $>1\text{ mg/m}^3$, tuvo una extensión variable hacia el oeste entre 1 y 40 mn (caleta Colorada y Coquimbo). Concentraciones $>10\text{ mg/m}^3$ se registraron en: Iquique, entre el sur de punta Lobos y el norte de Tocopilla, Mejillones y Antofagasta, con concentraciones que superaron los 30 mg/m^3 en diversos puntos costeros (**Figura 26 c y d**).

La información de crucero proporciona evidencia que la surgencia costera estuvo presente en gran parte de la zona, con focos de mayor intensidad entre Pisagua y Antofagasta.



Aunque de marzo a abril se debilitaron las TSM debido al cambio estacional, las ATSM positivas se intensificaron en cobertura, abarcando toda la zona costera en abril. En ambos meses se registraron focos de $+2^{\circ}\text{C}$ en la costa al norte de los 22°S . En marzo, la clorofila-*a* disminuyó sus concentraciones en relación al mes de febrero, manteniendo focos $>5\text{ mg/m}^3$ en Arica, 20°S - 21°S , Mejillones y Antofagasta, focos que en abril ampliaron su distribución meridional (**Figura 27**).

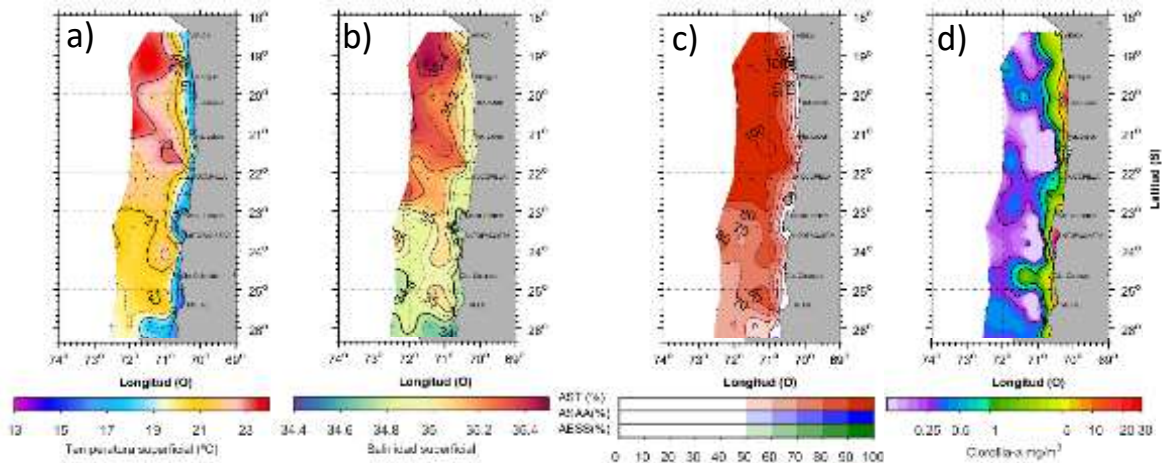


Figura 26. Distribución superficial de: a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad superficial, c) porcentajes de participación de las masas de agua con PPMA $>50\%$: Agua Subtropical (AST), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESE) y Agua Subantártica (ASAA); PPMA $<50\%$ corresponden a procesos de mezcla de las masas de agua; d) clorofila-*a* (mg/m^3). Crucero marzo- abril 2020.

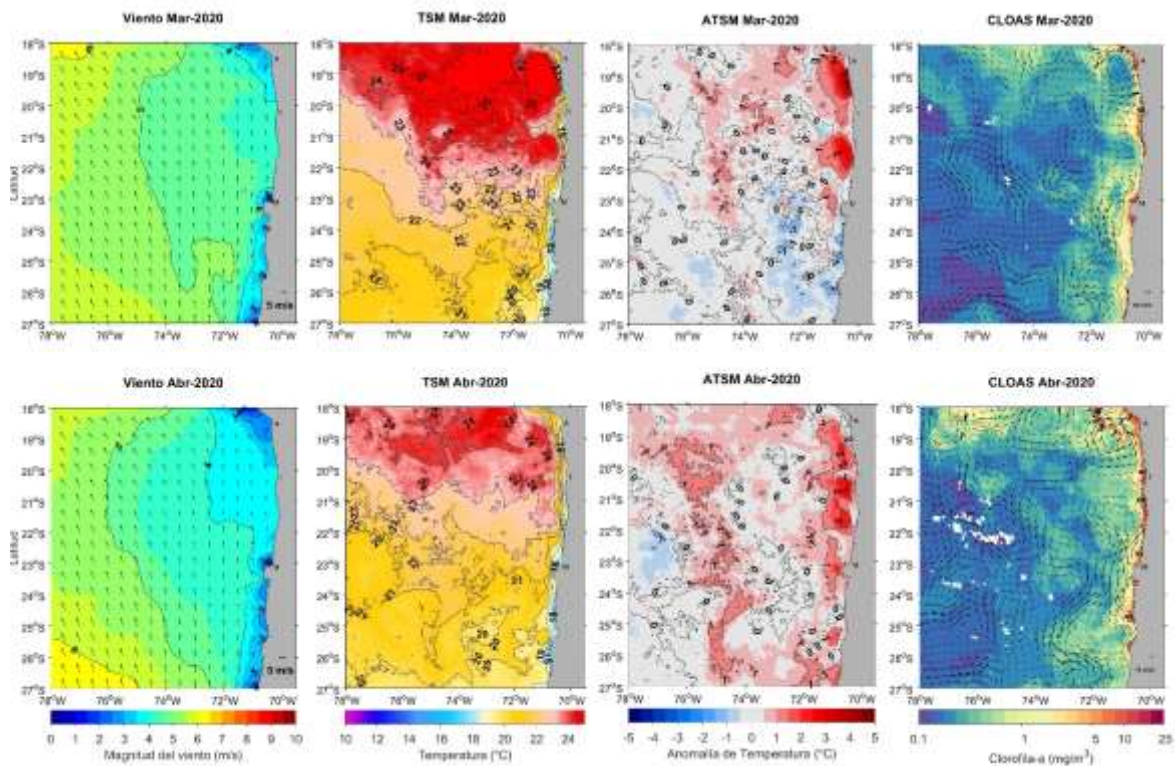
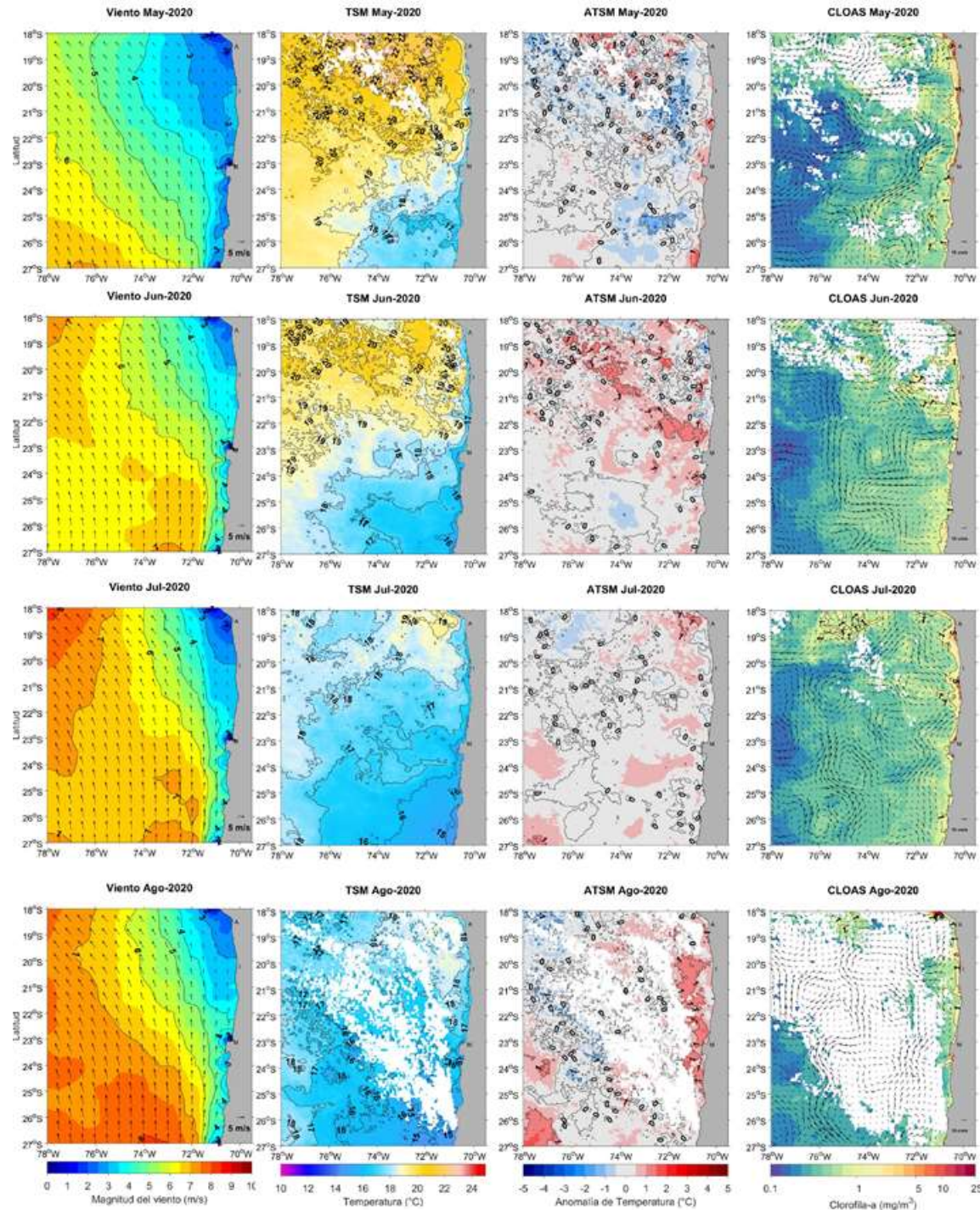


Figura 27. Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrofica de los meses de marzo y abril de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.

Entre los meses de mayo y agosto 2020, en el Pacífico ecuatorial las ATSM cambiaron a negativas con una clara tendencia a condición fría La Niña, la que fue confirmada en el mes de agosto. En este período de cuatro meses, localmente las TSM disminuyeron gradualmente entre 1°C y 2°C por mes, evidenciando el enfriamiento estacional. En mayo, las ATSM indicaron un breve relajamiento de la condición cálida mantenida hasta abril, debido a la aparición de focos de anomalías negativas en extensas áreas fuera de la costa. Sin embargo, en junio nuevamente la condición cálida dominó la zona, salvo el sector costero que por procesos locales se mantuvo frío al norte de los 22°S. En julio, las ATSM positivas disminuyeron en valor llegando a valores cercanos a cero, para volver a aumentar en agosto. ATSM negativas se detectaron fuera de los 74°W-75°W. Por lo tanto, la condición ecuatorial fría no se manifestó en la zona norte, que tuvo en general una condición ambiental cálida. Durante este periodo, la zona costera presentó viento de intensidad débil entre mayo y agosto (< 5 m/s), mostrando un aumento en la intensidad del gradiente costa-océano al sur de los 24°S (**Figura 28**).

El promedio mensual de las concentraciones de clorofila-a en el sector costero de la zona norte mantuvo focos recurrentes de altas concentraciones (>5 mgm³) entre Arica y Antofagasta en mayo, pero con menor cobertura espacial, por lo tanto, disminuyeron las concentraciones en relación al mes de abril. Entre mayo y agosto la franja costera de concentraciones de clorofila-a >1 µg/L tuvo poca

presencia al sur de los 24°S, mientras que hacia el norte los focos >5 mg/m³ fueron escasos, condición característica del mínimo estacional de invierno (**Figura 28**).





El crucero de primavera (septiembre-octubre) de 2020 se realizó durante una condición ecuatorial fría La Niña, que se instaló en la región a partir de agosto 2020. Sin embargo, en el mar de Chile las anomalías promedio persistieron positivas durante septiembre y los promedios mensuales de ATSM satelital comenzaron a mostrar valores negativos en el sector próximo a la costa sólo a partir de octubre 2020 y al sur de los 21°S. El viento, en el periodo del crucero, provino principalmente del sur y las magnitudes se intensificaron de norte a sur, con valores > 6 m/s en el sector suroeste de la zona de estudio durante septiembre, intensidades que se extendieron hacia el norte en octubre (**Figura 29**).

En el sector costero se observó una marcada diferencia meridional en las condiciones oceanográficas (**Figura 30**). Por un lado, al norte de la península de Mejillones, la información oceanográfica del crucero, mostró una condición típica de un evento de surgencia costera. En la costa de esta área, hubo presencia de anomalías térmicas negativas (-1 a -3°C), una mayor participación de la AESS (50-70%), concentraciones de oxígeno < 5 mL/L y concentraciones de clorofila-*a* > 5 $\mu\text{g/L}$ en extensos focos a lo largo de la banda costera satelital (**Figura 29**). Por otro lado, al sur de la península, a pesar que hubo viento sur de intensidad moderada se registró un debilitamiento de la surgencia, y con ello un predominio de anomalías térmicas y salinas neutrales ($< \pm 0,5^{\circ}\text{C}$), baja participación de la AESS, mayores concentraciones de oxígeno disuelto y un frente térmico costa-océano debilitado. Al interior de la bahía de Antofagasta ($23^{\circ}40'\text{S}$), se observó anomalías positivas pero cercanas a cero tanto en temperatura como en salinidad, junto con mayores concentraciones de oxígeno disuelto, superiores a los lados adyacentes, condición propia de una trampa de surgencia (**Figura 30**).

En el sector oceánico al norte de los 21°S se destacó la presencia de AST, mostrado por un cuerpo de agua de temperatura $> 17^{\circ}\text{C}$ y salinidad superficial > 35 , valores más altos en estas variables respecto de condiciones típicas, originando una profundización de la isoterma de 15°C y anomalías positivas de salinidad de hasta $+0,2$ (**Figura 30**).

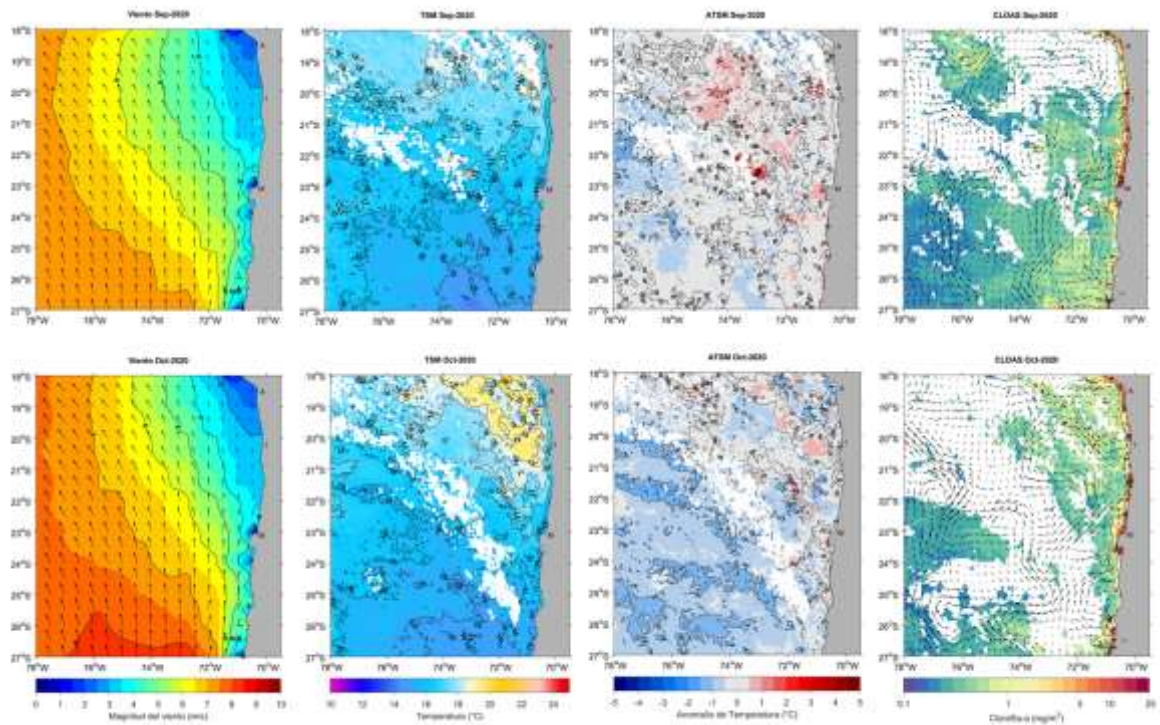


Figura 29. Distribuci3n superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulaci3n geostrófica del mes de septiembre y octubre de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.

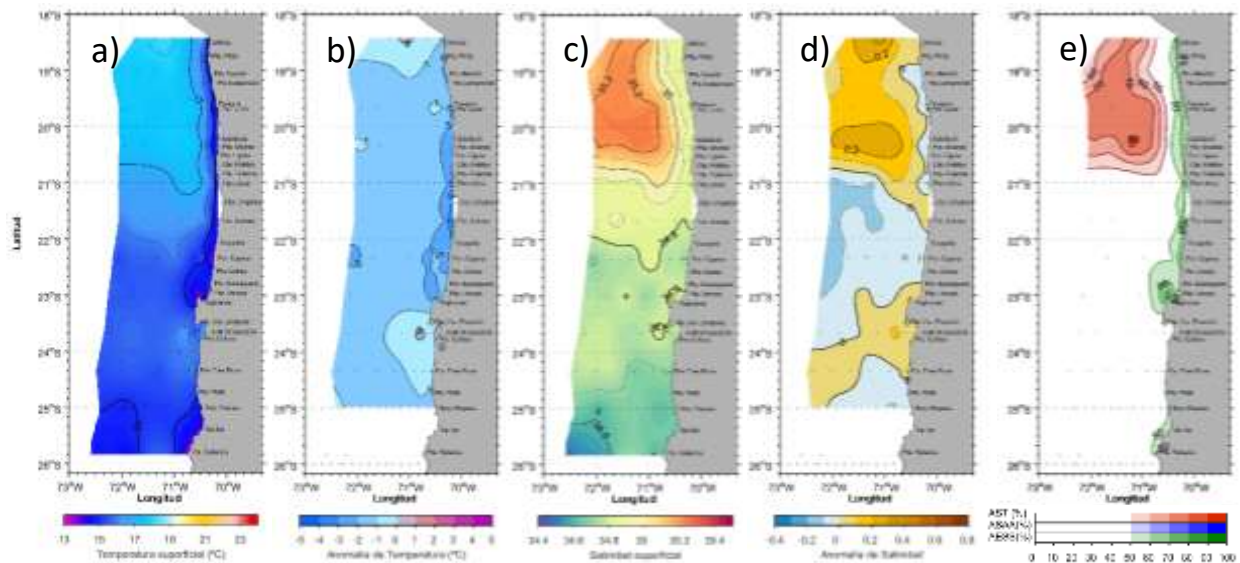


Figura 30. Distribuci3n superficial de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad, d) anomalía de salinidad y e) distribuci3n superficial de porcentajes de participaci3n >50% de las masas de agua: subtropical (AST), subantártica (ASAA) y ecuatorial subsuperficial (AESS). Crucero de septiembre-octubre de 2020.

Durante el mes de noviembre, la NOAA mantuvo la condición La Niña y a nivel local las ATSM promedio negativas se mantuvieron fuera de la costa, ya que, desde los 72°W hacia la costa, se intercalaron extensos focos de ATSM positivos con valores negativos, dominando las ATSM positivas al sur de los 23°S (**Figura 31**). Los vientos mantuvieron la componente sur y la intensidad débil en la costa (<5 m/s), la mayor diferencia con el mes de octubre, fue un debilitamiento de los vientos oceánicos (~ 6 m/s). La clorofila-a mantuvo altas concentraciones (5-10 mg/m³) entre Arica y Antofagasta, más un foco en los 27°S que mostró una lengua de concentraciones >1 mg/m³ que sobrepasó los 72°W producto de un giro ciclónico que está exportando la clorofila-a al sector oceánico.

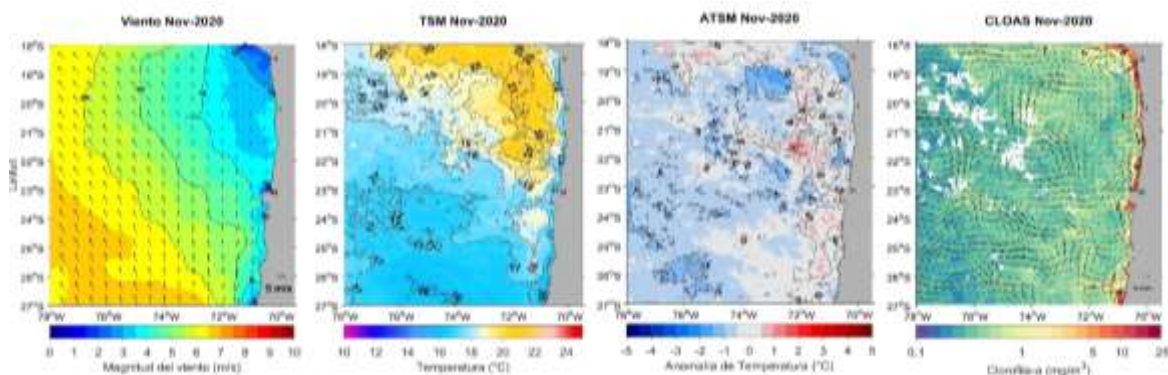


Figura 31. Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrofica del mes de noviembre de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.

En diciembre 2020, el crucero se realizó bajo una condición La Niña a nivel ecuatorial y local. La información recopilada en el crucero mostró una condición fría en la costa al norte 22°40'S, con mínimos de -3°C en los 19°20'S, en Iquique y Tocopilla, mientras que, desde los 23°S al sur la condición fue cálida. Por tanto, la condición fría La Niña no afectó la zona y en general al sur de los 23° (**Figura 32**).

Como es habitual para la época, hubo un predominio de AST a nivel superficial, principalmente en las 20 mn, acentuando el gradiente de temperatura costa-océano al encontrarse con los focos de surgencia costera con TSM <17°C, asociadas a aguas más densas entre Arica y punta Lobos y desde los 21°30'S a 22°30'S. En Antofagasta, un foco costero dentro de la bahía de mayor TSM y densidad y menor salinidad, indicó aguas retenidas. Las anomalías de salinidad de crucero mostraron un predominio de valores positivos al sur de los 22°20'S, con un máximo de 0,2 (**Figura 32**).

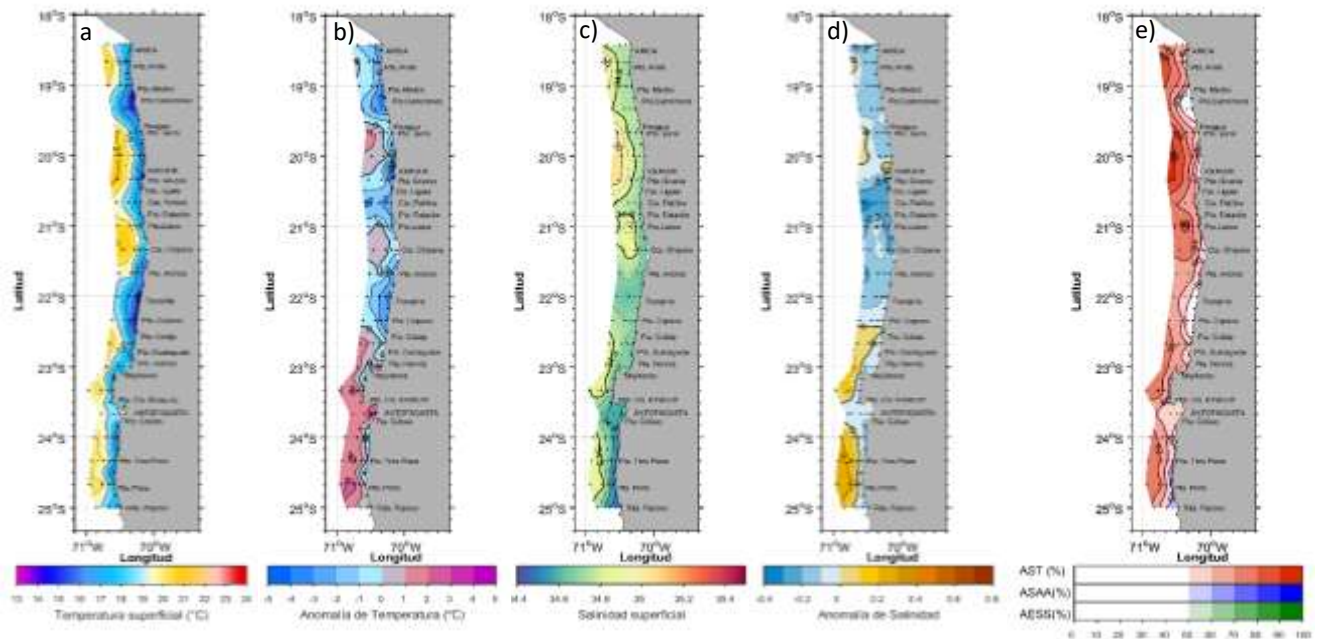


Figura 32. Distribución superficial de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad superficial, d) anomalía de salinidad y e) porcentajes de participación de las masas de agua con PPMA >50%: Agua Subtropical (AST), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y Agua Subantártica (ASAA); PPMA <50% corresponden a procesos de mezcla de las masas de agua. Crucero diciembre 2020.

La TSM satelital mostró un aumento de entre 1° y 2°C en relación al mes de noviembre, con valores de 20°C presente hasta los 27°S, coincidente con el aumento de temperatura estacional, sin embargo, las ATSM indicaron un predominio de valores positivos, con focos de +1°C y +2°C en la costa al sur de los 22°S y en el sector oceánico, estos últimos sobrepasaron los 76°W entre los 21°S y 23°S. ATSM negativas en tanto, se mantuvieron al norte de los 21°S, con un máximo negativo de -1°C en el área costera de Arica. La clorofila-a presentó una distribución similar a la de noviembre, aunque con una disminución en la presencia de focos >10 mg/m³. En el sector oceánico, giro ciclónico ubicado en los 72°W ha mantenido retenido un foco de concentraciones de clorofila-a > 1 mgm³ iniciado el mes anterior (**Figura 33**).

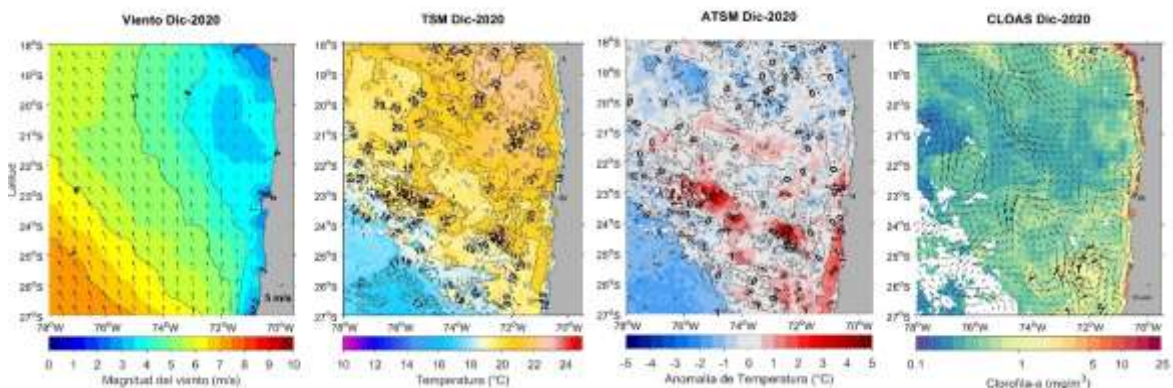


Figura 33. Distribución superficial de viento, temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de TSM (ATSM), y clorofila superficial con circulación geostrofica del mes de diciembre de 2020: El mes, la variable y las unidades se indican en cada figura.

5.2.2 La pesquería pelágica del Perú con énfasis en la Región Sur

La pesquería del Perú es regulada por el Ministerio de la Producción (PRODUCE), que fue creado en julio del 2002 y está conformado por el Subsector de la Industria y la Pesquería, que corresponde a la máxima institución gubernamental, que está encargada de formular, aprobar, ejecutar y supervisar todos los niveles de producción de la industria, sectores pesqueros y manufactureros, dictando normas y lineamientos técnicos para una adecuada ejecución y supervisión de las políticas. El Subsector Pesquería, comprende a todos los recursos de origen hidrobiológicos contenidos en las aguas marinas jurisdiccionales, siendo el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), el organismo técnico especializado que participa entregando antecedentes científicos para la toma de decisiones.

Para tales fines el IMARPE analiza los desembarques de los recursos pelágicos dividiendo el área marítima en tres Regiones:

1. Región Norte: comprendida entre el extremo norte del Perú y Huarmey (10°S) (incluye los Puertos de Paita a Huarmey).
2. Región Centro: entre el sur de Huarmey y norte de Ático (Puertos de Supe a Pisco).
3. Región Sur: desde Ático (16°S) hasta la frontera con Chile. En esta Región se ubican los Puertos de Ático, La Planchada, Matarani, Quilca, Mollendo e Ilo.

La fuente de información de las estadísticas de Perú fue proporcionada por IMARPE y en el año 2020 no se registraron desembarques en la región Sur del Perú.



Información pesquera de la región sur del Perú y zona norte de Chile

El recurso anchoveta de la zona norte es un stock transfronterizo, compartido con el sur del Perú, y constituye una unidad de stock que se distribuye entre los 16°S (Perú) y 24°S (Chile) (Serra, 1983; Chirichigno y Vélez, 1998). Desde 1992 y hasta el primer semestre del 2011 se realizaron talleres de evaluación conjunta de la anchoveta y sardina con IMARPE los que proporcionan información base para sustentar este estudio. Este intercambio suspendido desde el 2011 se reinició el año 2016 con la reactivación del Grupo de Evaluación de Stock de anchoveta Sur del Perú y Norte de Chile a través de actividades enmarcadas dentro del proyecto GEF “Hacia un Manejo con Enfoque Ecosistémico del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt”, cuyo objetivo es “Avanzar hacia el manejo con enfoque de ecosistema (MEE) para el GEMCH a través de un marco coordinado que fortalezca la gobernanza y el uso sostenible de los recursos marinos vivos y los servicios del ecosistema”. Este taller de evaluación de la anchoveta se realizó en Valparaíso entre el 21 y 25 de noviembre del 2016. Posteriormente, este Grupo Científico retomó este trabajo en la primera semana de diciembre del 2017 con la continuación de las evaluaciones anuales del stock compartido de anchoveta trabajando en la estructura de un modelo de evaluación compartido para lograr integrar datos de ambos países.

El análisis de la serie histórica de los desembarques de anchoveta de la región sur del Perú y zona norte de Chile evidencian fuertes variaciones interanuales, apreciándose el máximo registro para la zona norte de Chile en 1994 (2,13 millones de t) y para la región sur del Perú en el 2002 (1,34 millones de t). Al revisar la información de anchoveta como una unidad de stock (sur del Perú y norte de Chile) se aprecia, por una parte, un máximo en 1994 que alcanzó 2,98 millones de t y por otra parte fuertes disminuciones, con valores mínimos asociados a eventos cálidos El Niño 1987 (451 mil t); 1997-98 (1998: 442 mil t); 2002-2003 (2003: 633 mil t) y 2016 (418 mil t).

Entre los años 1986 y 2004 las capturas se concentraron en la zona norte de Chile alcanzando en promedio 1,0 millón de t, contrastado con los 0,6 millones de t de la Región Sur del Perú. Sin embargo, del 2006 al 2009 esta situación se revirtió, registrando la Región Sur capturas promedios de 800 mil t respecto a las 610 mil t de la zona norte.

En el 2009 las capturas de anchoveta alcanzaron en conjunto 1,0 millón de t, apreciándose una tendencia descendente, si se compara con el promedio del período 2006-2008 (1,6 millones de t). Este comportamiento se agudizó el 2010 donde los volúmenes de anchoveta en ambas regiones alcanzaron las 776 mil t (24% menor al obtenido en el 2009), destacando en el 2010 las mayores capturas de la zona norte (+195 mil t), situación que no se repetía desde 2004. Esta tendencia se mantuvo en los cuatro años siguientes donde se extrajeron 352 mil t más por año (2011 y 2012); 440 mil t (2013) y 382 mil t (2014) (**Figura 34**). El comportamiento descendente observado desde el 2011 se agudiza en el 2016 alcanzando entre ambos países la cifra más baja de la serie. Esta importante merma se reflejó en una alta presencia de ejemplares juveniles en las capturas, menor disponibilidad de éstas por las condiciones oceanográficas imperantes lo que se tradujo en una serie de vedas de reclutamiento, restricciones que en el caso de Chile se extendieron hasta fines de junio 2016. En los últimos cuatro años las capturas totales son fluctuantes alcanzando en el 2020 las 266 mil t en la zona norte de Chile.



Estacionalmente el análisis del promedio histórico (2006-2014) de la captura de anchoveta para la Región Sur del Perú señala que ésta se concentró en los siete primeros meses del año, aportando con el 86% del volumen del año, situación distinta a lo observado en la serie 2015-2017 y en los dos últimos años cuando éstos se han focalizado en dos a tres meses. Al respecto, en el 2018 el 80% de los desembarques se concentraron en tres meses y en el último año se focalizó en dos meses y principalmente en enero (66%), siendo escasos y nulos a partir de agosto. En la zona norte de Chile se centraron, tanto en el 2018 y 2019 en cinco meses con una contribución del 80% y 82%, destacando de éstos marzo 2018 y mayo 2019. Asimismo, es importante resaltar que en forma posterior a la veda reproductiva (última semana de agosto a primera semana de octubre) hay años que en octubre y noviembre se registran altas descargas, situación observada en la serie promedio 2006-2014 y en el 2018 (Figura 35).

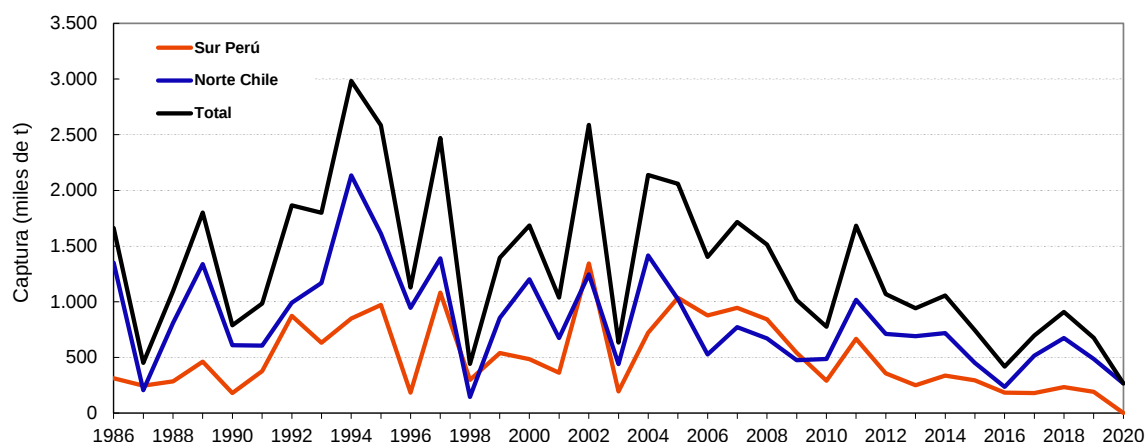


Figura 34. Serie histórica de los desembarques anuales de anchoveta en la región sur del Perú y norte de Chile. (Fuente: Datos de Perú proporcionados por IMARPE).

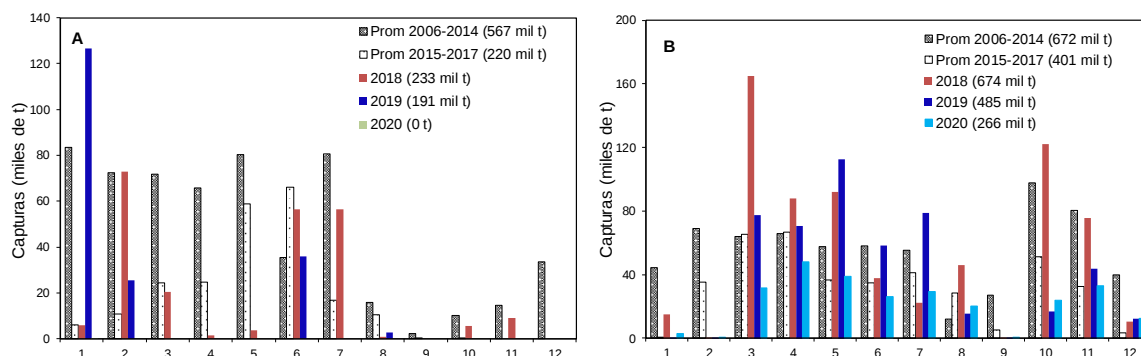


Figura 35. Serie desembarque mensual de anchoveta (promedio 2006-2014 y 2015-2017), años 2018, 2019 y 2020 en la A): región sur del Perú y B): norte de Chile.

Durante el año 2019 el análisis por puertos de desembarques de la Región Sur mostró un predominio del puerto Mollendo (36%), tendencia que cambió respecto a lo observado en años anteriores donde Ilo ocupaba el primer lugar. El segundo en importancia fue el puerto de Atico (26%), seguido por Ilo (25%) y La Planchada (13%). Estacionalmente los desembarques se centraron en enero, febrero y



junio, destacando en todos los puertos el primer mes (excepto Ilo que presento volúmenes altos en junio) (**Figura 35 y Figura 36**).

Mensualmente los desembarques de la región Sur de Perú, por puerto, muestran que en el período 2012-2019, destaca en la mayoría de los años y meses la mayor participación de Ilo, con capturas máximas de 70 mil t (abril 2014) y 71 mil t (junio 2015), situándose los demás puertos en niveles por debajo de éste. Además, hacia fines de año en que la actividad disminuye de manera importante también Ilo destaca como el puerto principal (**Figura 36**). Sin embargo, en el año 2019 se observa un cambio en la participación de Ilo, destacando Mollendo y Atico en enero con descarga máxima de 47 mil y 39 mil t, respectivamente.

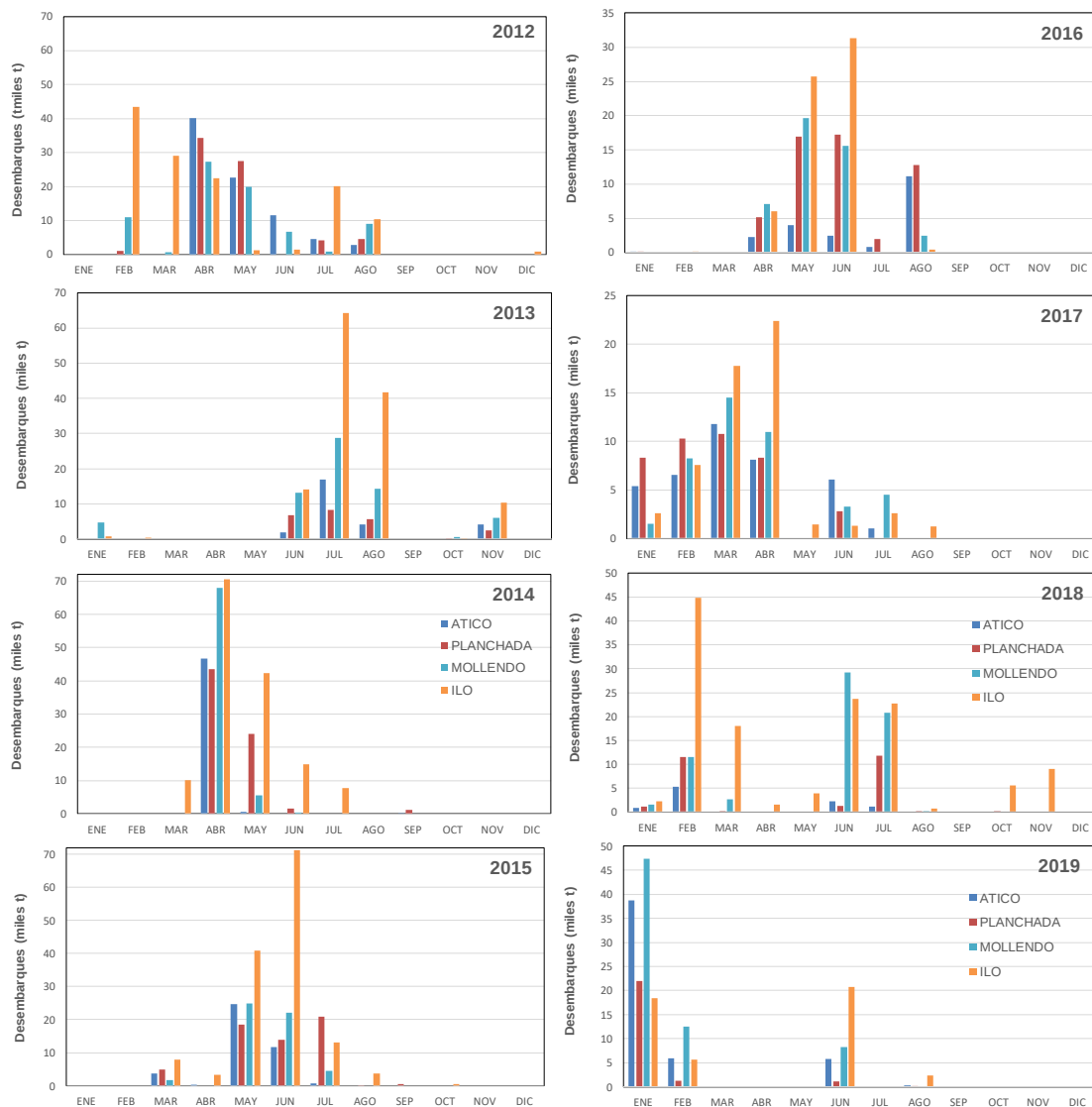


Figura 36. Desembarque mensual de anchoveta en la Región Sur del Perú entre el 2012 y 2019 (a septiembre), por puerto. (Fuente: IMARPE).



5.2.3 Indicadores del desempeño de la pesquería

En el ecosistema de surgencia de la Corriente de Humboldt ubicado entre los 4°S (Perú y Ecuador) y 45°S (sur de Chile) existen tres stocks con diferentes niveles de productividad pesquera, centro-norte de Perú (4°30'-16°S); sur de Perú-norte de Chile (16°-24°S), norte-centro de Chile (25°-32°S) y centro-sur de Chile (32°-41°S).

La pesquería pelágica del norte de Chile del sistema de surgencia de la Corriente de Humboldt es parte del stock compartido entre la zona sur de Perú y norte de Chile (16°-24°S). En esta zona la pesquería se concentra principalmente en anchoveta (*Engraulis ringens*), sardina española (*Sardinops sagax*), jurel y caballa. Entre el año 1950 y a la fecha se ha registrado alternancia entre especies de pequeños pelágicos que habitan el ecosistema con periodos de coexistencia entre ellas. En la zona norte de Chile, la pesquería pelágica ha presentado tres periodos: el primero de 1955 a 1976, basado casi exclusivamente en la extracción de anchoveta, donde se observó un crecimiento sostenido del recurso hasta 1966 alcanzando 1,1 millones de toneladas (t), para luego registrar una fuerte reducción de las capturas (promedio 1967-1972 de 540 mil t), siendo más notable posterior al evento El Niño 1972-73, con niveles promedio de 330 mil t (1974-1976). El segundo periodo comienza a mediados de la década del 70 y corresponde a una etapa de bajas capturas de anchoveta y un aumento notable en la abundancia de sardina española, especie que sostuvo la pesquería hasta fines de la década del 80 con capturas promedio de 1,8 millón de t entre 1978 y 1989. El tercer periodo se establece desde 1986 y se caracteriza por una mayor abundancia y estabilización en las capturas, las que se nivelan en torno a los 1,3 millones de t, cifra que fue disminuyendo para promediar las 787 mil t en el periodo 2006-2014, destacando los años posteriores capturas bajas con un promedio de solo 488 mil t en total (**Figura 37**).

La proporción de anchoveta fue mayor al 80% en la primera fase entre 1955 y 1973 en relación a la segunda fase donde se registró una proporción importante de caballa y jurel principalmente entre el 1992 y 2009 donde la proporción de caballa y jurel son cercanas a 30%, desde el 2009 la proporción de anchoveta aumenta alcanzando el 90% (**Figura 37**, panel inferior).

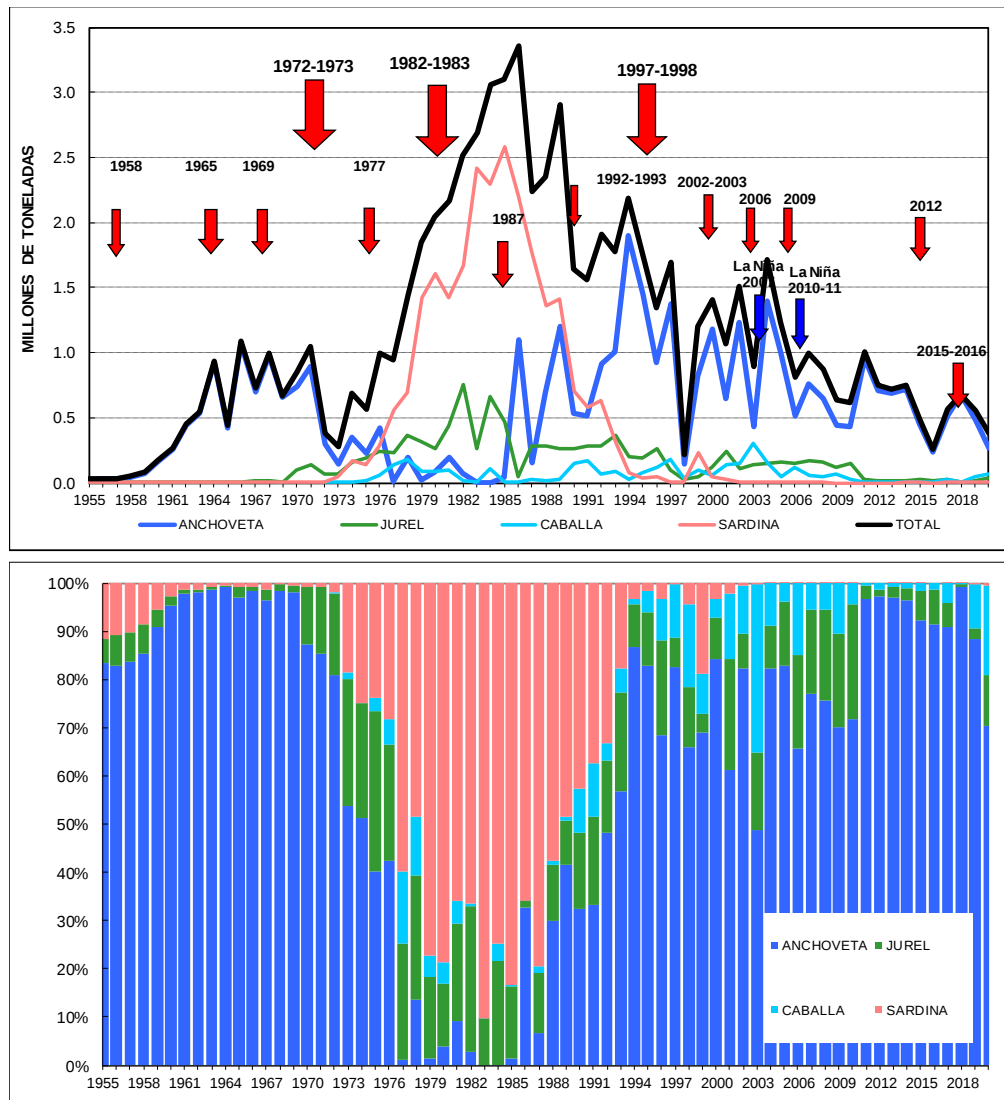


Figura 37. Evolución de las capturas por especies en la zona norte y su relación con El Niño (panel superior) y la proporción de especies, 1955-2020.

Los indicadores pesqueros por flota en la zona norte, muestran predominio de la flota industrial. En términos de productividad del sistema, se destacan tres periodos, el primero asociado con la fase cálida favorable a la sardina española y a otros pelágicos como jurel y caballa (Chávez *et al.*, 2003) alcanzando capturas totales promedio de 2,18 millones de t y rendimiento de 85 t/vcp, con máximo de 4 millones de t. En la fase fría favorable a la anchoveta se observan dos cambios de productividad del sistema, el primero con capturas totales promedio cercanas a 1,13 millones de t y rendimientos en torno a 60 t/vcp, el 2006 se produce el segundo cambio de productividad del sistema con capturas totales promedio de 700 mil t y rendimientos de 59 t/vcp. Estos cambios de productividad del sistema traen consigo cambios en la participación de la flota industrial en términos de captura, es así que entre 1980 y 1997 esta flota capturó el 98% disminuyendo en los periodos más recientes de 91 a 83% el periodo posterior al 2006. Si bien, la menor participación se explica principalmente por los cambios de



productividad del sistema, que derivó en la reducción del número de embarcaciones, existen otros factores que podrían explicar esta reducción como la aplicación del LMCA programando las salidas de acuerdo a la disponibilidad de recursos, cuotas y los requerimientos de las plantas y la distribución más costera de la anchoveta (**Figura 38**). Al respecto, se destaca a partir del año 2015 un aumento en los viajes de pesca de la flota artesanal superando en el año 2020 los viajes realizados por la flota industrial, comportamiento que también se observó en el rendimiento para la flota artesanal.

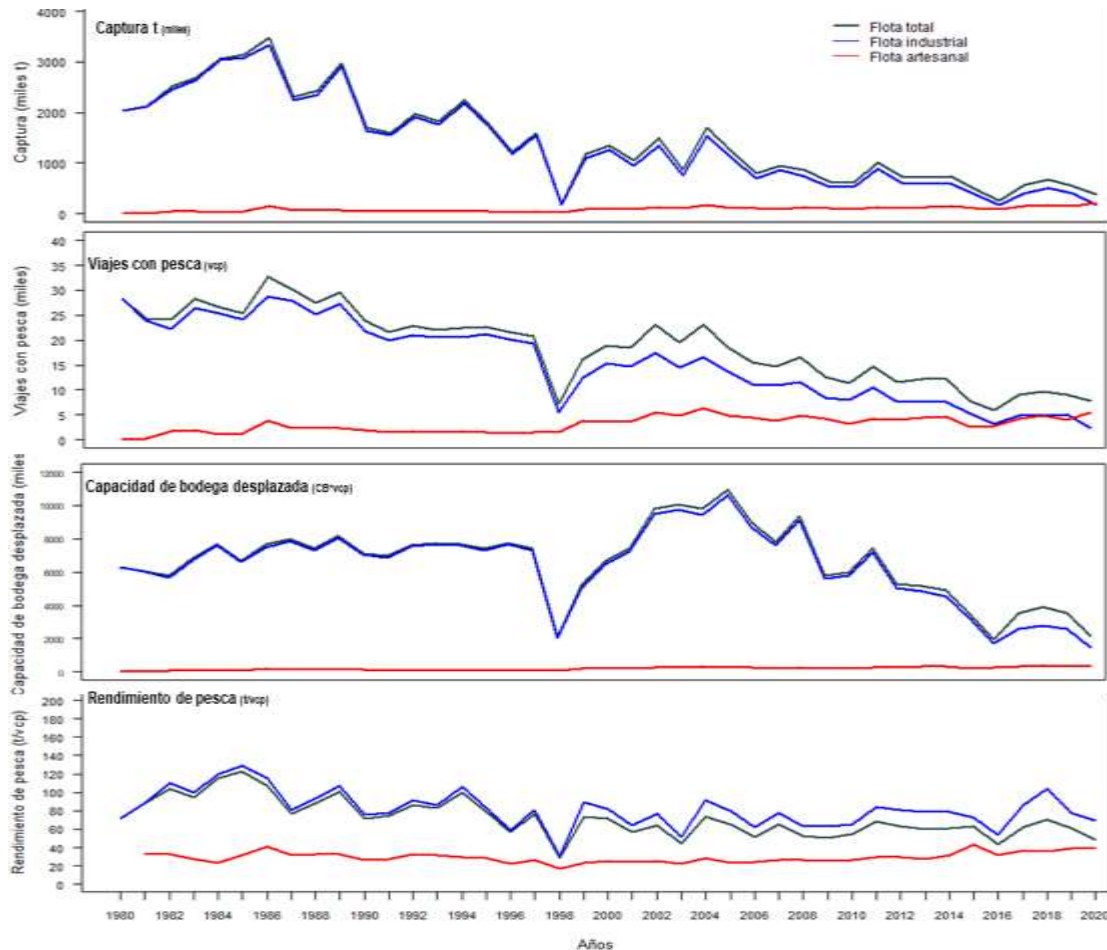


Figura 38. Principales indicadores operacionales de la pesquería en la zona norte por flota y total entre 1980 y 2020. a) captura; b) viajes con pesca; c) capacidad de bodega desplazada y d) rendimiento de pesca.



5.2.4 Recurso anchoveta

En la actualidad el stock norte de Chile se sustenta en más del 80% en la anchoveta, especie que ha presentado cambios tanto de distribución como biológicos (Hernández-Santoro *et al.*, 2019 a y b; Claramunt *et al.*, 2014) destacándose los siguientes cambios:

- 1) En el nivel de productividad del sistema y tendencia decreciente el último periodo
- 2) Distribución de las capturas, reducción en la ocupación del espacio y una mayor concentración en áreas costeras.
- 3) Disminución de la talla media de anchoveta, asociado con la reducción en la proporción de ejemplares mayores a 16,0 cm LT y un aumento de los individuos juveniles ($\leq 11,5$ cm LT) (Hernández-Santoro *et al.*, 2019a).
- 4) En la actividad reproductiva, aumento en la participación de individuos entre 12,5 y 13,5 cm LT que habitualmente no participan del proceso reproductivo (Hernández-Santoro *et al.*, 2019a).
- 5) En el patrón de reclutamiento de la anchoveta.
- 6) Tendencias negativas en el peso medio y factor de condición.

1) Cambios de nivel de productividad

La fase fría favorable a la anchoveta comenzó el año 1986 mostrando en la zona Arica-Antofagasta una concentración espacial de las capturas en las zonas de Iquique y de Arica, extraídas principalmente por la flota industrial (90%). Esta fase fría registró cambios de productividad en el sistema evidenciado por fluctuaciones en los indicadores pesqueros principalmente en la flota industrial. Es así, que en el primer periodo (1986-1996) se registró una tendencia creciente en los indicadores, reflejando una mayor productividad con capturas industriales promedio de 934 mil t, esfuerzos de 8.865 vcp y rendimientos de 105 t/vcp. El segundo periodo desde 1997 hasta 2005 se observó una estabilización del sistema con indicadores intermedios y capturas industriales de 800 mil t, esfuerzos de 9.923 vcp y rendimientos de 83 t/vcp. En el tercer periodo del 2006 al 2020 presentó una tendencia decreciente y una menor productividad, con capturas industriales de 438 mil t, esfuerzos de 5.624 vcp y rendimientos de 77 t/vcp. Se destaca entre 2016 y 2020 un incremento en las capturas de la flota artesanal y principalmente en los viajes con un promedio de 156 mil t y 4.148 vcp, respectivamente (**Figura 39**).

El año 2020 se registró un total de 266 mil t de anchoveta en la zona de las cuales 54 mil t fueron industriales y 212 mil t artesanales, siendo las capturas industriales las menores con respecto a la serie 2006-2020.

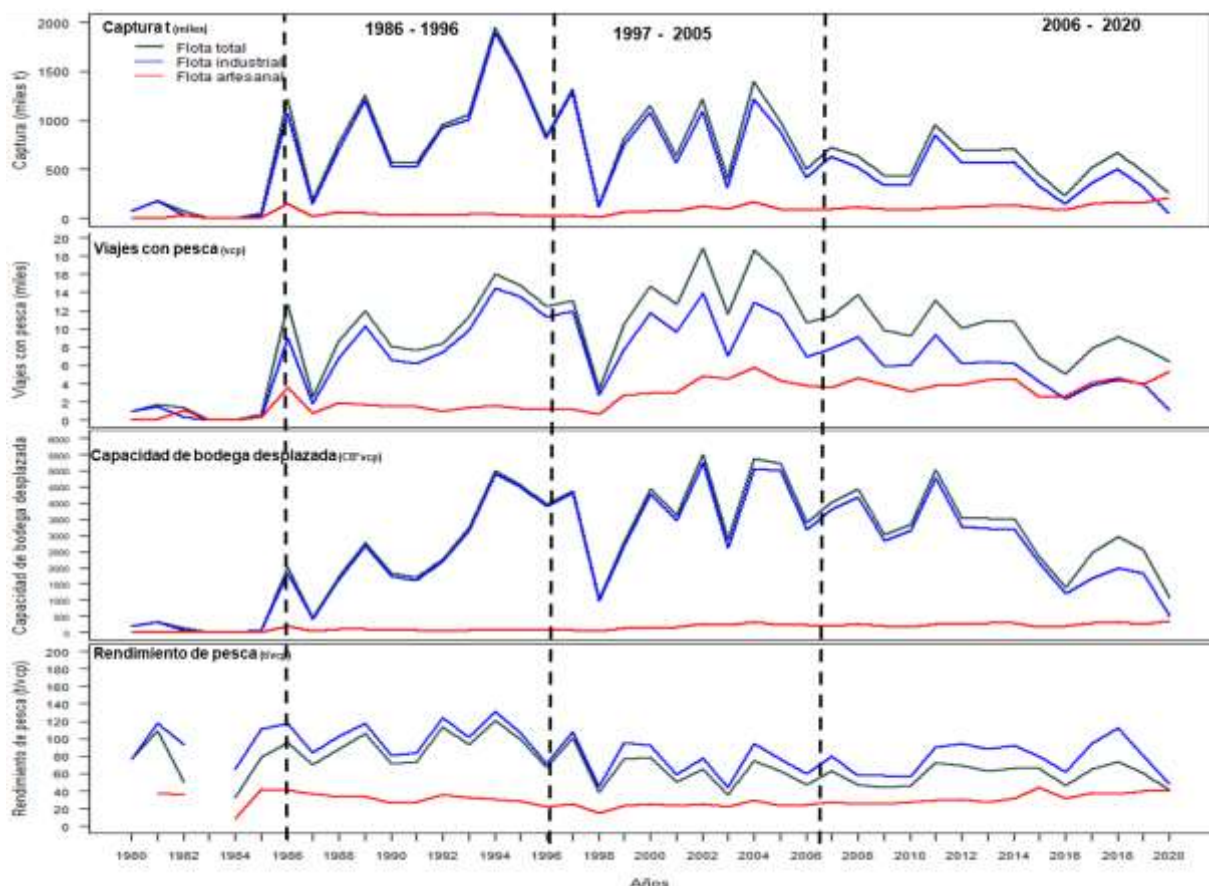


Figura 39. Principales indicadores operacionales de la pesquería de anchoveta en la zona Arica-Antofagasta entre 1980 y 2020. Flota industrial y flota artesanal. Las líneas verticales marcan los cambios de productividad del sistema.

En la zona norte, existen áreas de perforación al interior del área de reserva de la flota artesanal donde se autoriza la operación a la flota industrial. Al respecto, es posible observar que las capturas en estas áreas no superan el 15% con respecto a la captura industrial, excepto en los últimos cuatro años y entre 1991 y 1993 (**Figura 40**). Se destaca que las áreas de perforación situadas al sur de Iquique en los 20°30'S lideran las capturas (excepto en el año 2020). Es necesario mencionar que esta estimación podría estar subestimada debido a que en muchas ocasiones no se dispone de la georreferenciación de todas las capturas realizadas en el viaje o solo se reporta la posición del último lance.

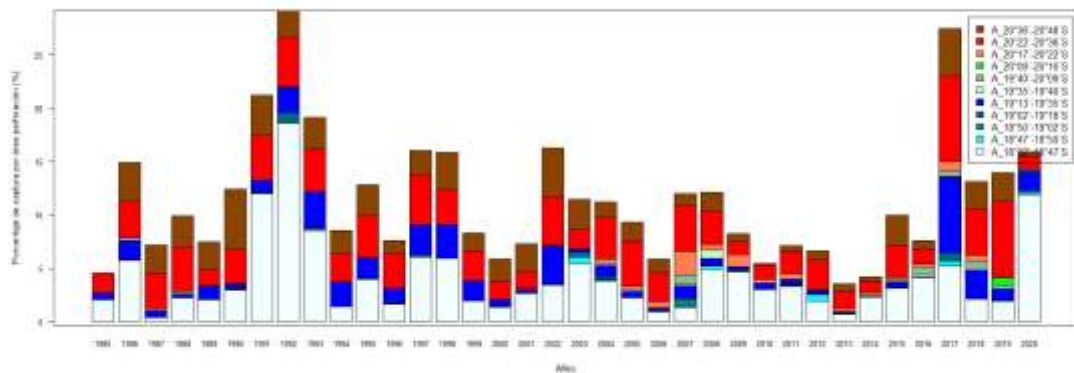


Figura 40. Evolución de las áreas de perforación industrial situadas en la zona exclusiva artesanal en la zona norte entre 1985 y 2020.

Las capturas realizadas por la flota industrial en el área de estudio presentan una alta variabilidad intra e inter anual, concentrando entre el 59 y 89% de los volúmenes en el período 2001-2019. Se destaca el año 2020, cuando las capturas industriales solo representaron el 20% de las capturas totales. Espacialmente existe un predominio histórico de la zona de Arica-Antofagasta (de 58 a 89% del total) y temporalmente durante el primer semestre del año (**Figura 41**). Esta variabilidad podría estar asociada con cambios en las condiciones ambientales acercándose el recurso a las zonas costeras, afectando la disponibilidad de la anchoveta.

En el periodo 2001-2020, las capturas de anchoveta han sido extraídas principalmente por la flota industrial en la zona norte (Arica-Antofagasta). Se registran dos períodos: el primero, del 2001 al 2005 con capturas altas (819 mil t como promedio) y el segundo, entre 2006 y 2020, con niveles medios de captura (438 mil t), se destacan los años 2016 y 2020 con las menores capturas de 150 mil y 54 mil t, respectivamente (**Figura 41 b**).

La flota artesanal que operó en el período 2001-2019 en la zona norte registró una tendencia creciente de las capturas con promedios de 116 mil t hasta 2016 (**Figura 41 c**). El año 2017 las capturas fueron 33 mil t, cifra 69% menor a lo registrado el año 2016 (106 mil t). No obstante, en los últimos tres años destaca un aumento en las capturas con un promedio de 174 mil t.

En relación a la contribución por zona, el mayor aporte para esta flota está dado históricamente por la zona de Arica, seguido por Iquique y Antofagasta, sin embargo, posterior al 2005 esta contribución disminuyó en promedio un 50% comparado con años anteriores, cuando representaba más del 60%, situación contrarrestada en los últimos años cuando se ha registrado un desplazamiento de la anchoveta desde el sur del Perú al norte de Chile (Arica), principalmente entre junio y agosto.

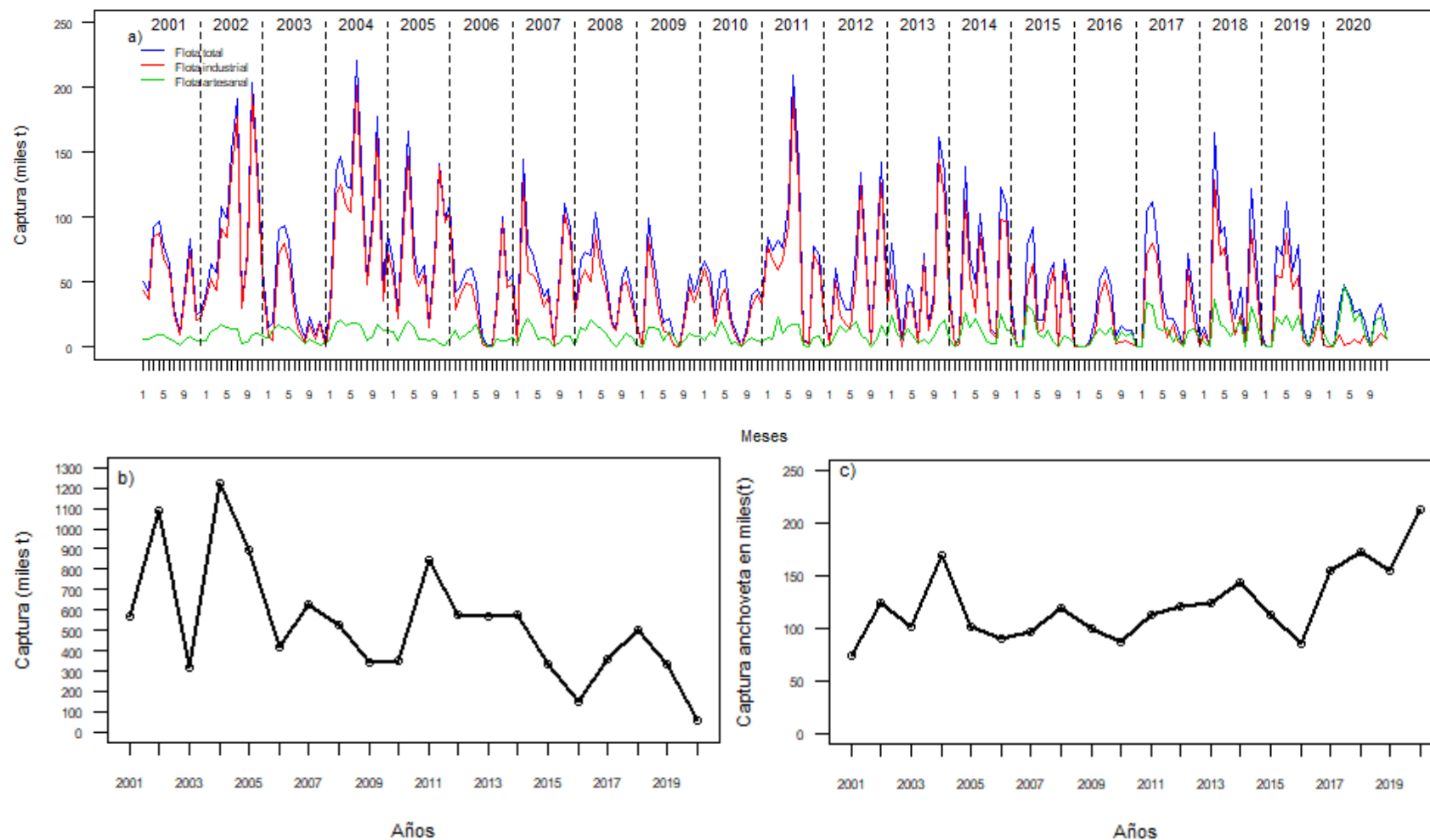


Figura 41. Evolución de las capturas de anchoveta en la zona norte (Arica-Antofagasta) en el período 2010-2020. a) Capturas mensuales por flota. b) capturas anuales de la flota industrial y c) capturas anuales de la flota artesanal.

2) Reducción de la ocupación del espacio y concentración en áreas costeras

La anchoveta presenta una alta variabilidad en la ocupación del espacio entre 1986 y 2020. Previo a 1997 se registraron valores promedios superiores al 55% del índice de cobertura (IC), posteriormente entre 2000 y 2013 el índice de cobertura se mantuvo en torno al 50%. Desde el 2014 se observó una disminución en la ocupación del espacio de 40% a solo 25%. En relación a la concentración espacial de las capturas (IAE), se registró una tendencia a disminuir hasta 1993, luego entre 2000 y 2006 se observó variaciones entre 0,35 y 0,4. En tanto, el periodo 2007-2013 mostró una tendencia decreciente con un mínimo de 0,28 el 2013, a partir del 2014 se observó una tendencia creciente registrando una mayor concentración espacial en zonas costeras para la anchoveta en la zona norte (**Figura 42 y Figura 43 b**). Con respecto, a la concentración de las capturas según la distancia a la costa, ésta mostró un cambio el 2014 con una mayor concentración en áreas costeras en la zona norte. Entre 2006 y 2014 un promedio del 10% de las capturas se extrajo en la franja de 0-5 millas y un 38% entre 5 y 10 millas de la costa, estos valores se aumentan entre 2015 y 2019 a 21% y 52%, respectivamente. Se destaca el 2020 con el 94% de las capturas de anchoveta registradas en las 10 primeras millas de la costa (**Figura 43 d y Figura 44**). El centro de gravedad en latitud mostró una distribución promedio en torno a los 21°30'S hasta 2013, posteriormente se registró un leve desplazamiento hacia el sur, retomando los últimos dos años el centro de latitud promedio (**Figura 43 c**).

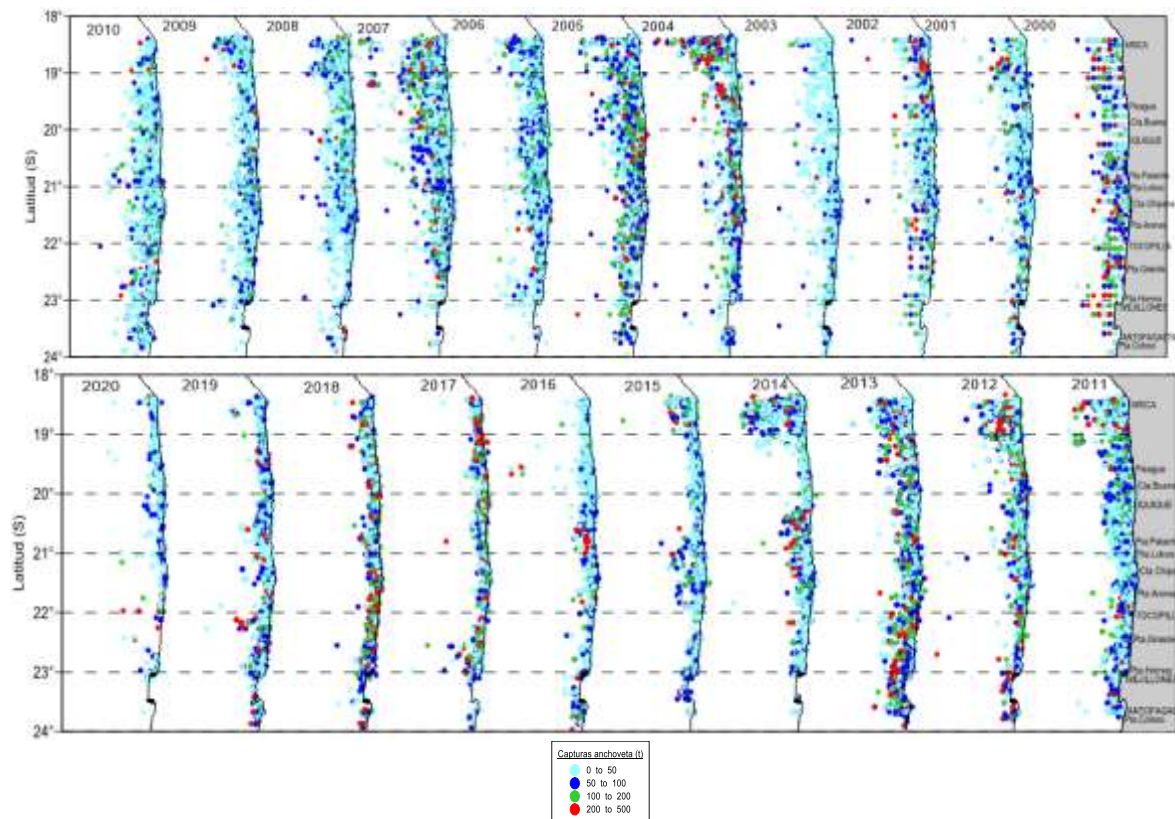


Figura 42. Distribución de las capturas de anchoveta por viaje de pesca en la zona norte, años 2000 a 2020.

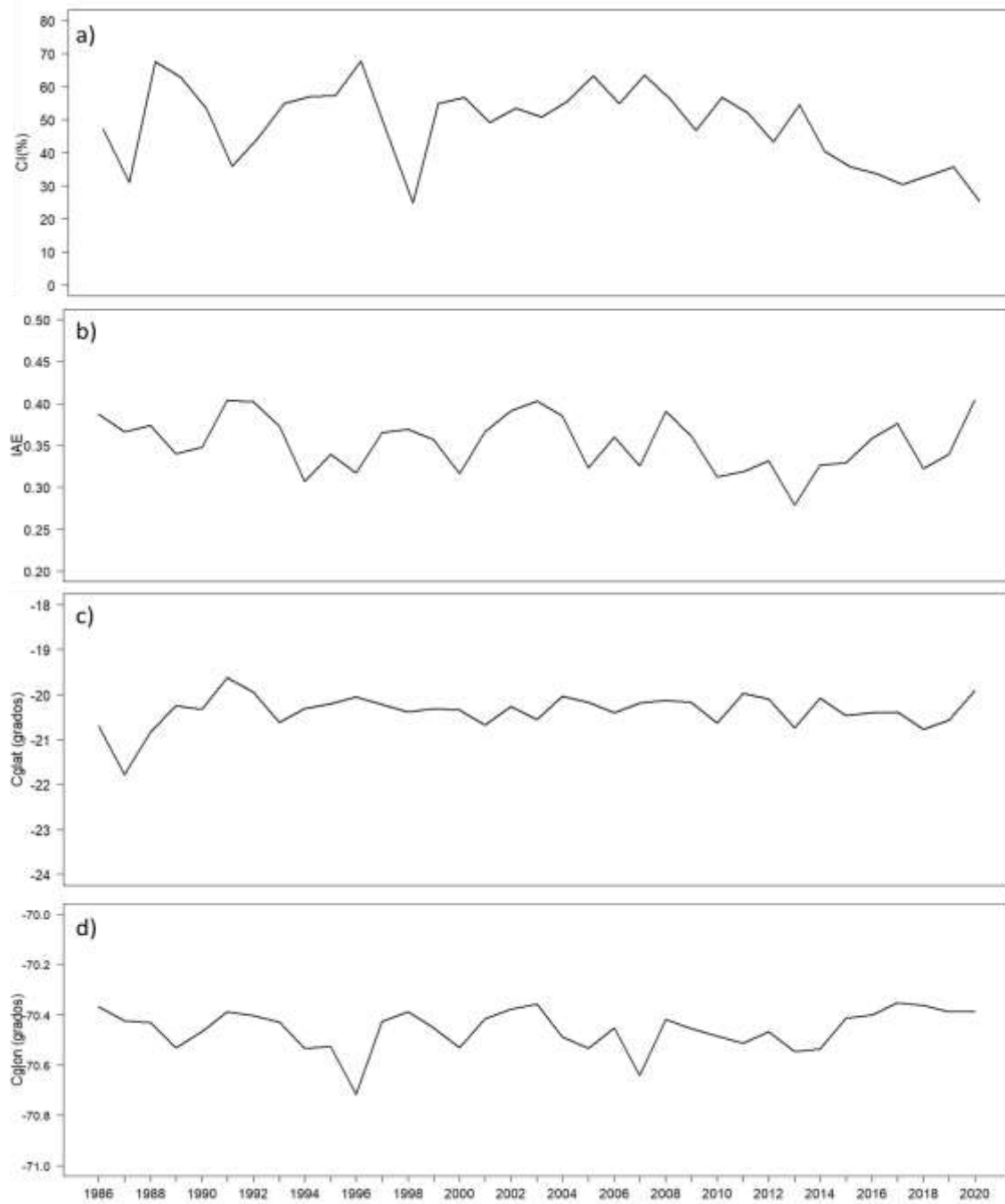


Figura 43. Indicadores espaciales para la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta entre 1986 y 2020. a) Índice de cobertura (IC); b) índice de agregación espacial (IAE); c) centro de gravedad de las capturas en latitud y d) centro de gravedad de las capturas en longitud.

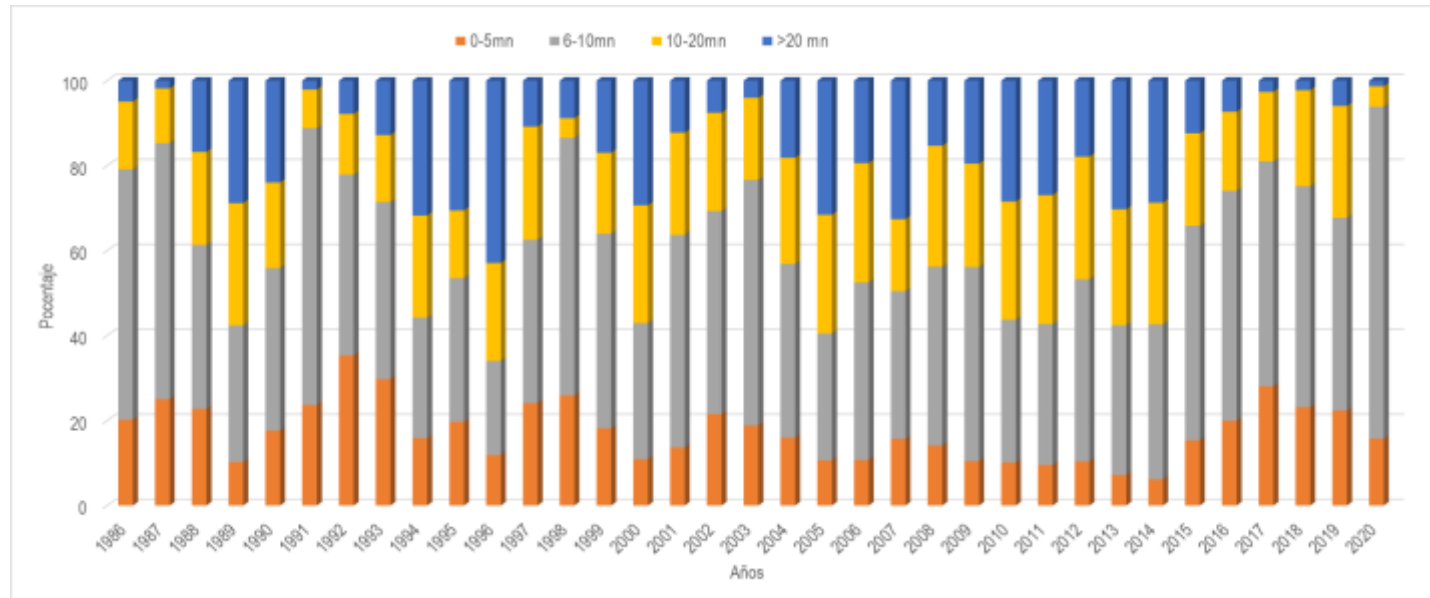


Figura 44. Evolución en la proporción de captura de anchoveta en la zona de Arica-Antofagasta, por distancia de la costa. Años 1986 a 2020.

Tabla 9. Porcentaje de captura de anchoveta en la zona de Arica-Antofagasta, por rango latitudinal. Años 1986 a 2020.

Arica-Antofagasta																																			
Rangos latitud	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
18°21' 18°59'	15	6	12	26	23	53	43	24	25	28	34	28	26	31	31	23	25	30	34	26	23	25	32	38	18	40	36	26	42	29	31	24	20	22	52
19°00' 19°29'	6	1	5	13	10	6	5	6	8	14	12	13	12	8	7	5	5	2	6	9	8	10	7	4	6	8	10	6	3	4	9	11	7	7	5
19°30' 19°59'	8	4	4	8	7	4	8	9	9	10	8	8	7	6	4	3	12	2	8	9	8	9	5	3	9	6	5	5	1	7	4	6	6	6	2
20°00' 20°29'	17	17	14	9	8	8	6	6	11	5	10	9	7	4	6	5	8	2	8	9	6	11	6	5	9	9	6	8	8	6	12	14	7	15	11
20°30' 20°59'	12	6	13	12	17	8	8	11	11	9	6	8	7	9	12	15	13	9	12	16	12	12	11	10	16	8	8	6	11	12	7	10	9	10	7
21°00' 21°29'	16	4	21	11	17	11	14	12	14	15	11	15	18	20	14	23	23	31	18	15	20	17	26	23	15	11	18	11	15	16	8	11	17	9	1
21°30' 21°59'	7	12	18	6	8	4	3	11	11	8	6	6	6	7	8	8	6	11	9	8	11	9	9	9	12	7	8	9	10	12	14	7	10	6	3
22°00' 22°29'	3	3	5	5	3	0	1	4	4	2	2	3	1	4	5	3	2	2	1	3	4	3	1	1	3	2	2	6	2	1	1	2	5	7	1
22°30' 22°59'	8	14	4	5	5	4	8	7	3	2	4	4	9	7	6	7	5	9	2	3	8	4	2	6	6	4	3	10	7	10	4	9	15	12	7
23°00' 23°29'	7	25	3	3	1	1	2	7	2	4	4	3	2	4	4	2	1	1	0	1	1	0	1	2	2	3	1	7	1	3	2	5	3	3	11
23°30' 23°59'	1	8	1	1	1	1	1	3	2	3	2	3	4	1	2	6	0	2	1	1	0	0	0	0	4	1	2	5	0	0	9	0	1	4	0



La distribución espacial de las capturas de anchoveta registra un patrón de comportamiento inter e intra anual. El patrón de distribución durante el primer semestre alcanza hasta el sur de Antofagasta, en tanto el segundo se produce una contracción hacia el norte. En julio, la anchoveta se extrae principalmente hasta la desembocadura del Río Loa ($21^{\circ}26'S$), excepto los años 2008 y 2010, donde sobrepasó incluso Mejillones. En agosto (y en algunos años parte de septiembre) la operación de la flota es escasa o nula dado la aplicación de la veda reproductiva, sin embargo, los registros disponibles presentan una distribución más dispersa y oceánica al norte de caleta Chipana. En el último trimestre la distribución se aprecia más alejada de la costa (30-40 millas) con un foco relevante entre punta Camarones e Iquique (**Figura 45 y Figura 46**).

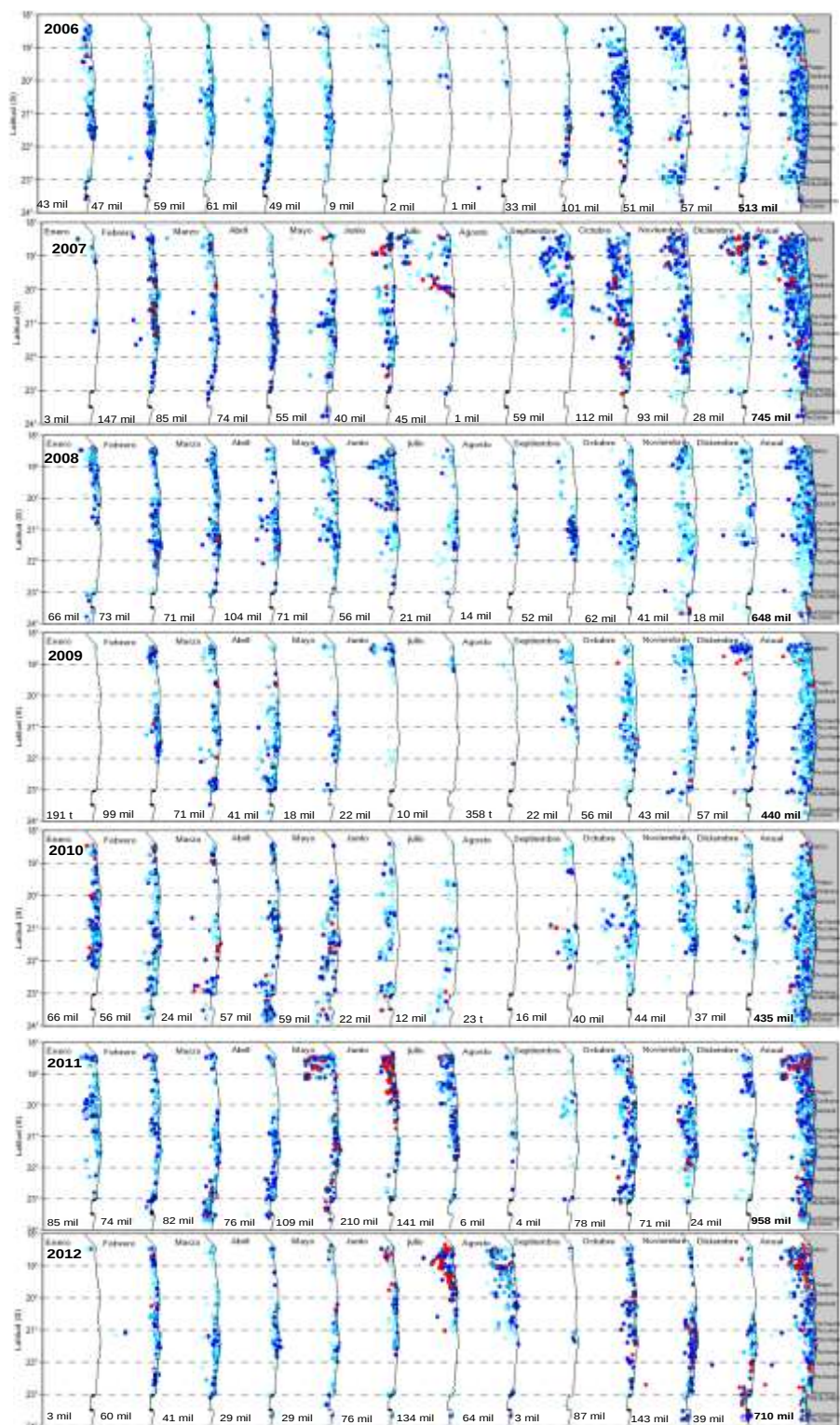


Figura 45. Evolución mensual de las capturas de anchoveta en la Zona de Arica-Antofagasta, años 2006 a 2012.

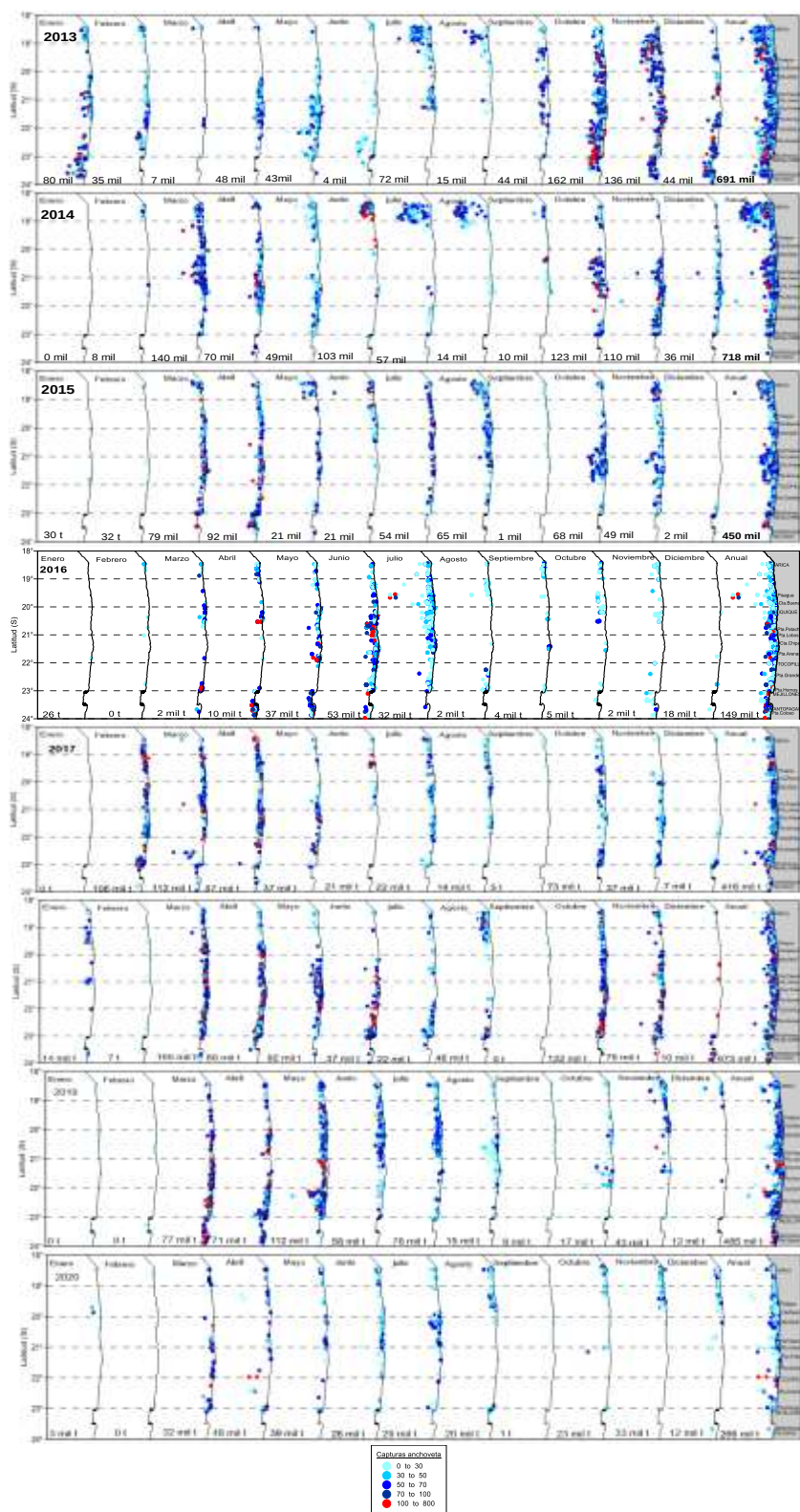


Figura 46. Distribución mensual de las capturas por viaje de pesca de anchoveta en la zona norte, años 2013 a 2020.

3) Cambios en la estructura de talla de anchoveta (Anexo 2)

La proporción por grupo de talla mensual entre 1988 y 2020 para anchoveta muestra dos cambios, el primero caracterizado por la reducción en la proporción de ejemplares mayores a 16,0 cm de longitud total (LT). El segundo cambio fue la mayor participación de ejemplares juveniles ($\leq 11,5$ cm LT) a partir del año 2015. Históricamente, la presencia de juveniles ha estado acotada principalmente al periodo de verano (enero y febrero) con presencia desde diciembre hasta marzo del año siguiente. Sin embargo, estos últimos años este patrón se interrumpe reportando gran parte del año alta presencia de juveniles (**Figura 47**; **Figura 48** y **Figura 51**). Se destacan los años 2016, 2019 y 2020 por la mayor proporción de ejemplares menores o iguales a 11,5 cm durante todo el año. Los cambios en la estructura de talla se reflejan claramente en la talla media anual de anchoveta, la cual presenta una tendencia decreciente a partir del año 2000 con un leve incremento los años 2017 y 2018 disminuyendo hasta alcanzar los 11,5 cm el año 2020 (**Figura 48** y **Figura 50**). La estructura de talla registrada a partir del 2015 para la anchoveta es unimodal con dominancia de ejemplares con modas entre 12,0 y 13,5 cm de LT, para el año 2020 el rango de talla fue entre 5,0 a 16,0 cm de LT, marcando el menor valor en el límite superior de la serie (**Figura 48**).

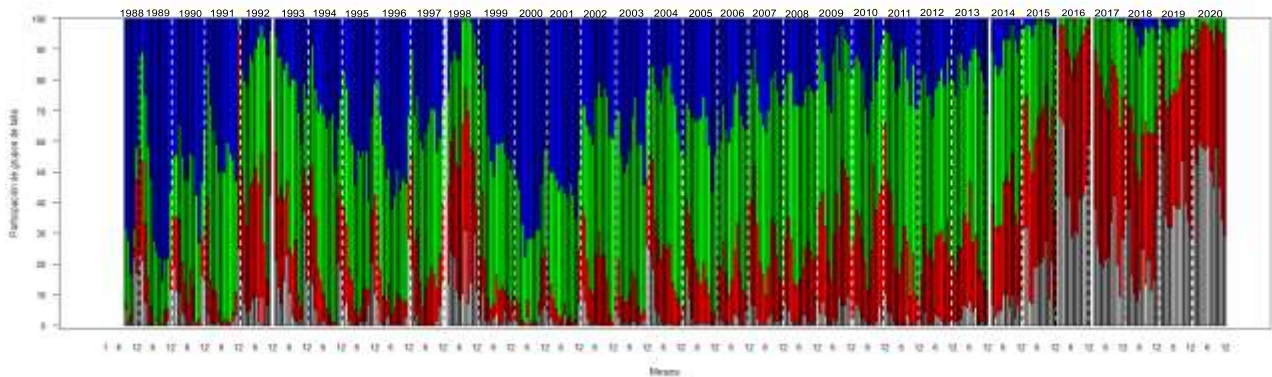


Figura 47. Proporción mensual de la anchoveta extraída en la zona norte, por grupo de tamaño entre 1988 y 2020. Grupo de longitud $\leq 11,5$ cm LT (gris), grupo 12,0 a 13,5 cm LT (rojo), grupo 14,0 a 16,0 cm LT (verde) y el grupo $>16,0$ cm LT (azul).

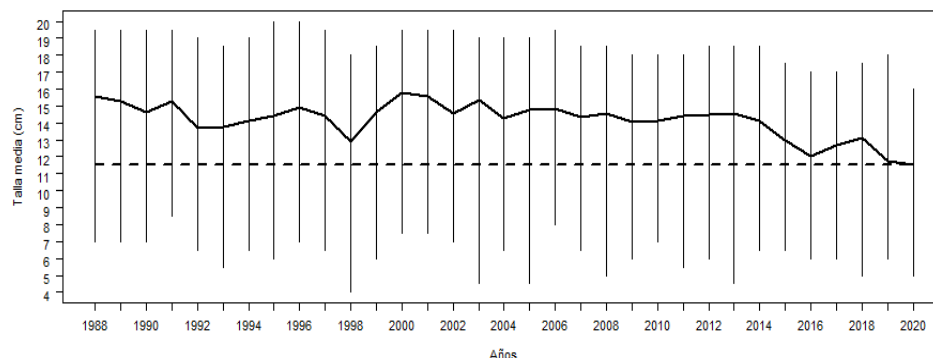


Figura 48. Talla media para anchoveta en la zona norte entre 1988 y 2020. Las líneas verticales corresponden al mínimo y máximo de longitud anual. La línea punteada horizontal corresponde a la talla de madurez sexual.



Espacialmente las tallas registran un patrón marcado por un gradiente latitudinal, con tallas menores de norte-sur, sin embargo, el 2020 se observan tallas modales menores en Antofagasta y un alto porcentaje de juveniles (**Figura 49**). La zona norte reportó tallas modales entre 11,5 y 12,0 cm de LT. Mensualmente se observó el 2019 una entrada de ejemplares de menor tamaño el mes de enero con moda en 8,5 cm LT pudiendo observar una progresión modal hasta mayo. En junio nuevamente se observó una entrada de ejemplares con tallas modales entre 8,0 y 9,0 cm de LT principalmente en las zonas de Arica e Iquique. En la zona de Antofagasta la entrada de ejemplares de tallas modales menores no es clara en el segundo semestre. Para el 2020 la entrada de ejemplares el segundo semestre no es clara excepto para la zona de Antofagasta (**Figura 50**).

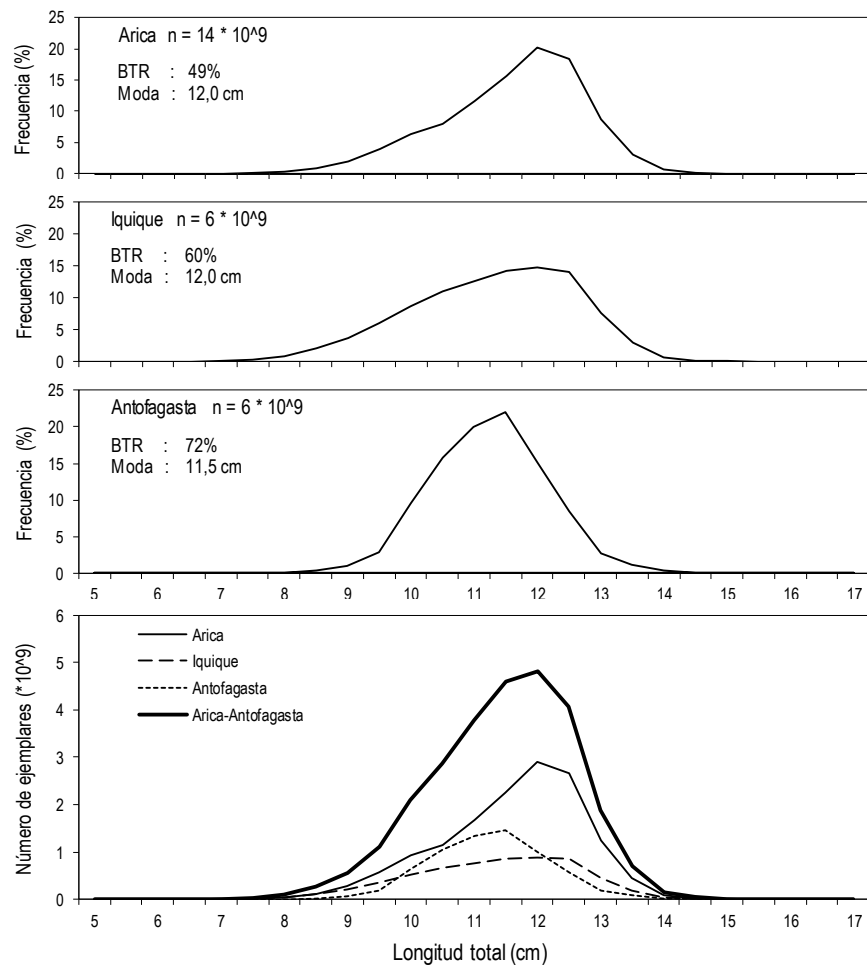


Figura 49. Captura en número de anchoveta en la zona norte, por tallas. Flota total, año 2020.

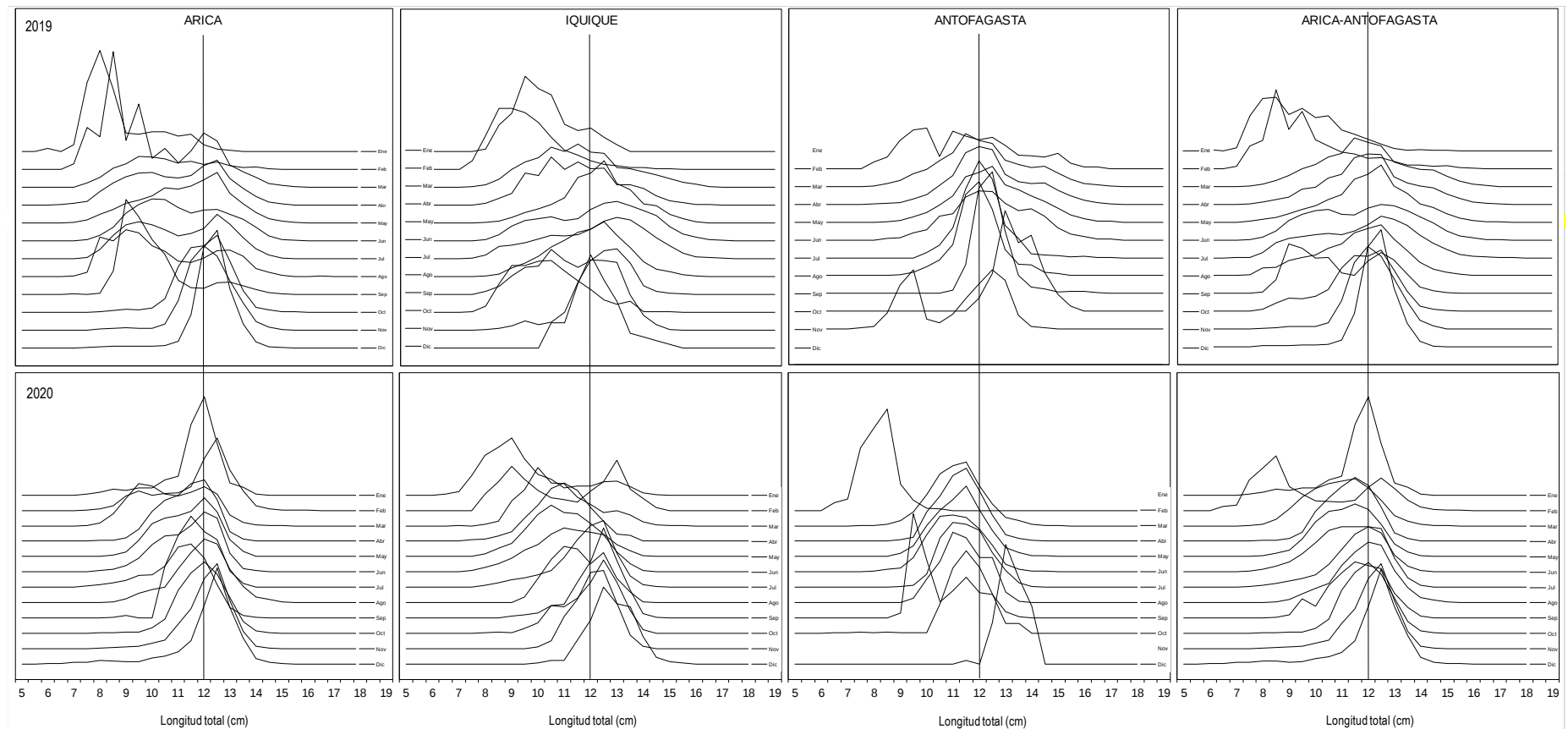


Figura 50. Distribución de frecuencias de longitudes en las capturas de anchoveta en la zona norte. Flota total, años 2019 y 2020.

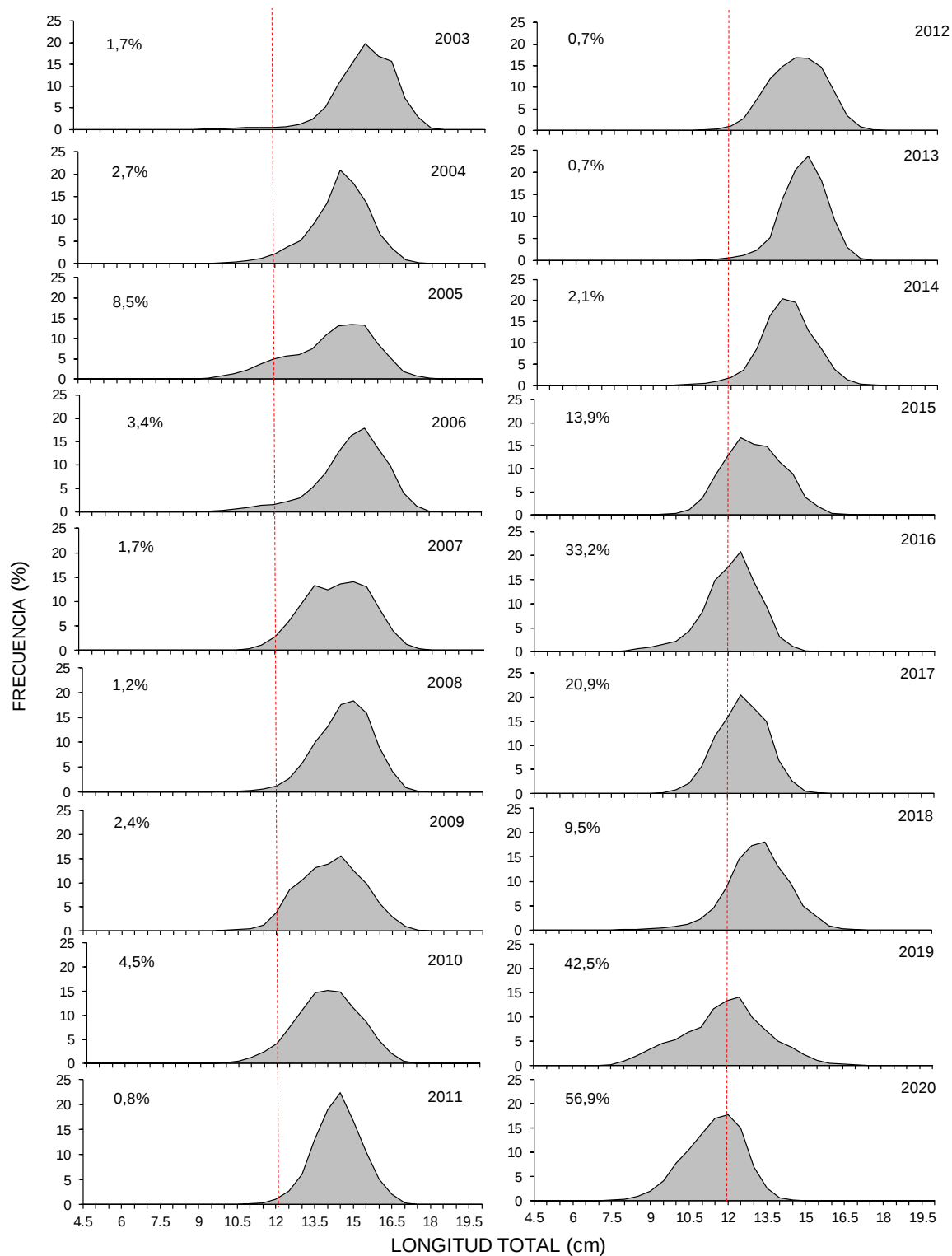


Figura 51. Serie histórica de la estructura de talla anual de anchoveta en la zona norte. Años 2003 a 2020.

4) Cambios en la actividad reproductiva

Monitoreo del proceso de desove

Los objetivos del monitoreo son: (1) monitorear la evolución del índice gonadosomático (IGS); del índice de hembras activas (IHA); del índice de actividad de desove (IAD) y del índice de atresia ovárica (IAO) y (2) determinar el inicio y término del proceso de máxima intensidad de desove (MID). El monitoreo reproductivo contempla el ciclo anual y se intensifica a partir de junio.

El comportamiento anual del índice gonadosomático en la anchoveta de la zona norte muestra una clara estacionalidad reproductiva que abarca invierno a verano. En esta especie, el inicio y duración del evento reproductivo se establece con el umbral IGS 5%, por asociarse este valor, a nivel histológico de los ovarios, con sobre 90% de hembras sexualmente activas, en fases ováricas avanzadas, mientras que, la máxima actividad se define con $IGS \geq 6\%$ (Díaz *et al.*, 2013).

De acuerdo al umbral del 5%, en la última década el comportamiento del IGS mostró con mayor frecuencia un desfase en el incremento de la actividad, como se visualiza en la tendencia de la serie 2010-2019, patrón que se caracteriza por el inicio más tardío del evento en julio y máximos en el bimestre agosto-septiembre, aunque con valores menos intensos en invierno (**Figura 52** y **Anexo 4**).

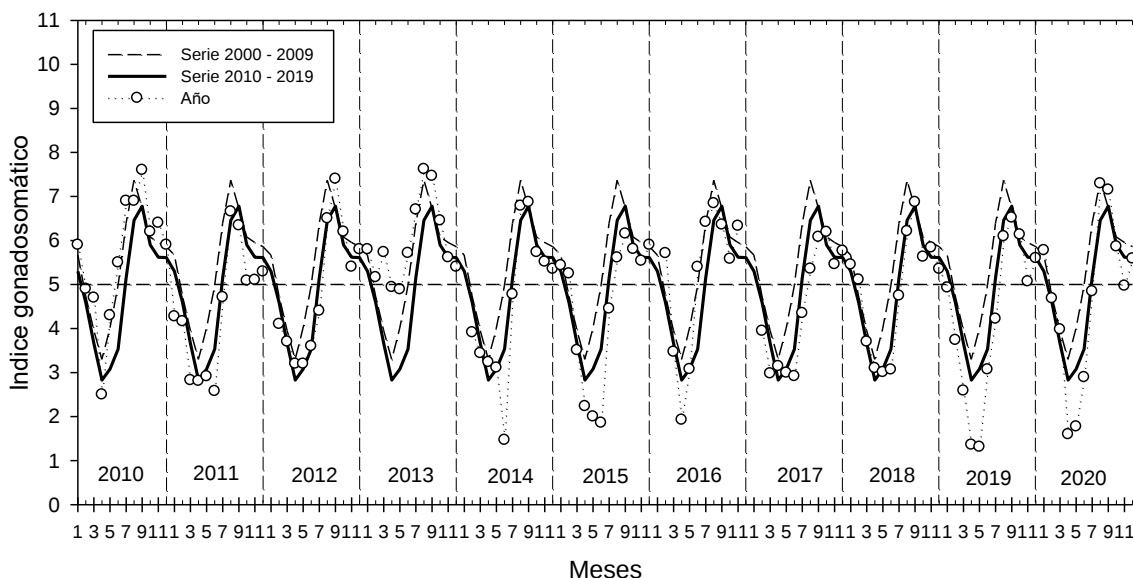


Figura 52. Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la zona norte entre 2010 y 2020 y series 2000-2009 y 2010-2019. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).

En los últimos tres años (2017-2019), la estacionalidad reproductiva fue acorde a la serie 2010-2019, evidenciándose el aumento de la actividad a mediados de invierno, con máximos centrados en la primavera, y con un leve incremento secundario entre fines e inicios de cada año, no obstante, en el año 2019, el inicio del evento fue aún más tardío a mediados de agosto (**Figura 52**). En el 2020, la

actividad disminuye a mediados de febrero, con registros mínimos en abril-mayo. A partir de junio, el aumento del indicador reflejó la reactivación de la maduración gonadal, para iniciar el periodo reproductivo en la cuarta semana de julio superando el umbral del 5%, con mayores registros entre fines de invierno y la primavera (agosto a mediados de octubre), antecedentes que evidenciaron el comportamiento del IGS que es coincidente con la tendencia de los últimos años al desfase en la manifestación de evento reproductivo (**Figura 53**).

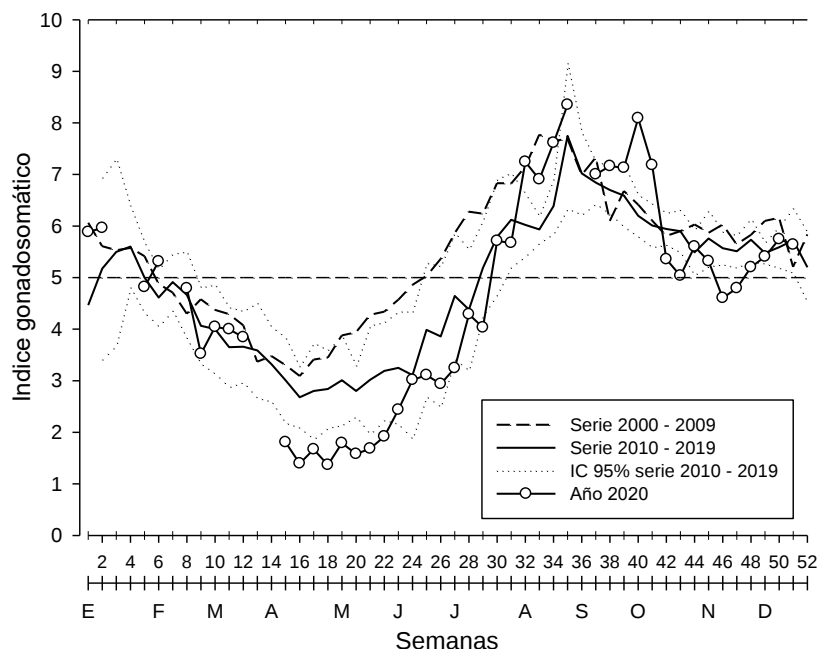


Figura 53. Variación semanal del índice gonadosomático (IGS) de la anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y para las series 2000-2009 y 2010-2019. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).

De acuerdo al criterio de IGS 5% en la anchoveta de la zona norte, la **Figura 54** muestra el desfase en la última década en el inicio del periodo reproductivo, hacia mediados y fines de invierno, con valores máximos en la primavera, y con consecuencias en la duración del evento.

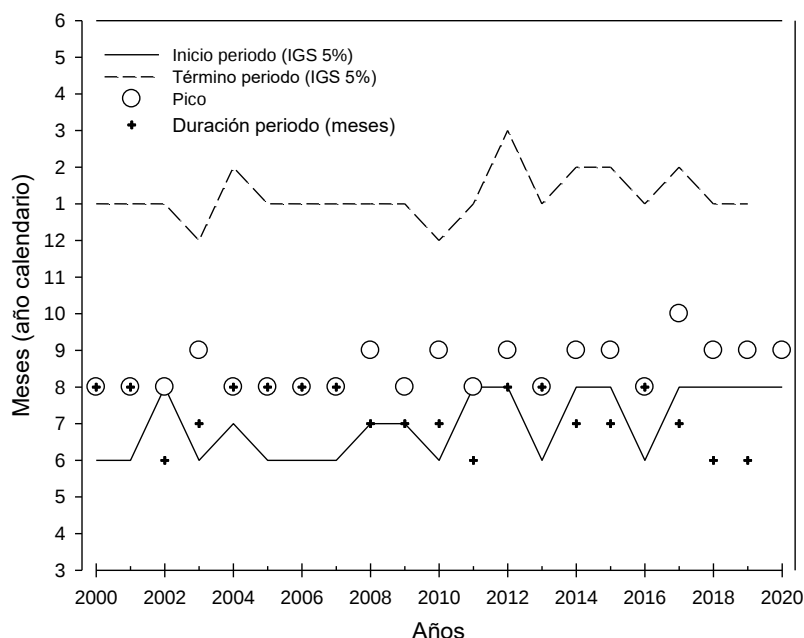


Figura 54. Determinación del inicio y término del periodo reproductivo de acuerdo al criterio referencial IGS = 5%, como referencial de la actividad ovárica (Díaz *et al.*, 2013), entre 2000 y 2020. En círculo el mes con valor más alto del IGS. En cruz la duración del evento en meses.

El IGS por zonas reflejó comportamiento reproductivo similar entre mediados de invierno y verano (**Figura 55**), con el incremento de la actividad en julio y registros máximos a fines de invierno y la primavera. Al respecto, en este año el mayor aporte de hembras analizadas correspondió a la zona de Arica (65%), que se caracterizó por el incremento en julio con menor registro respecto a las otras zonas, y con máxima actividad en el bimestre agosto-septiembre, para posteriormente mantenerse en torno al 5% entre octubre y diciembre. De igual manera, las hembras más frecuentes en los muestreos y que mayormente influyeron en el análisis de la estacionalidad reproductiva para la zona norte pertenecieron al grupo de tamaños entre 12,0 y 13,5 cm de LT (73%), principalmente recolectadas en la zona de Arica (66%), las que mostraron el aumento de la actividad en julio y alcanzaron los valores máximos en agosto y septiembre, mientras que, el grupo de mayor tamaño analizado (14,0-15,5 cm LT) que evidenció claramente una mayor actividad ovárica decayó en los muestreos a 2%. En tanto, el grupo más pequeño, entre 8,5 y 11,5 cm de LT, con 25%, presentó una estacionalidad de julio a octubre, disminuyendo a partir de noviembre (**Figura 56**). En cuanto al IGS por grupos de tamaños y por zonas (**Figura 57**), en los grupos con mayor frecuencia ($\leq 13,5$ cm LT), el IGS presentó un comportamiento similar, con máximos a fines de invierno y primavera, destacando un repunte en octubre en las zonas de Iquique al sur.

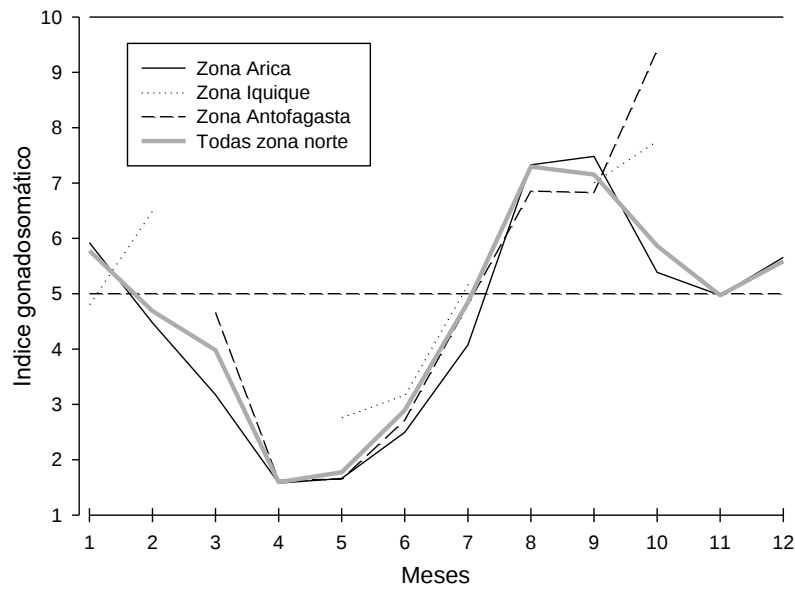


Figura 55. Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta por zona y para la zona norte. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).

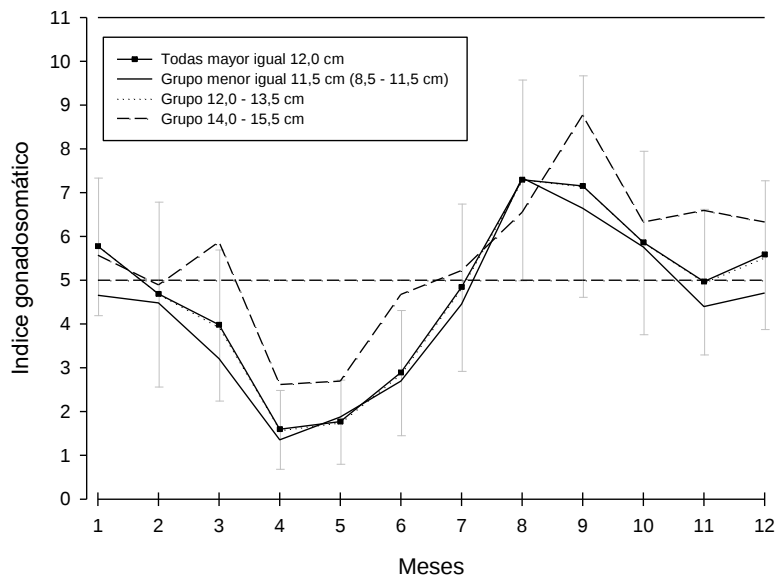


Figura 56. Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la zona norte por grupos de tamaños de las hembras. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).

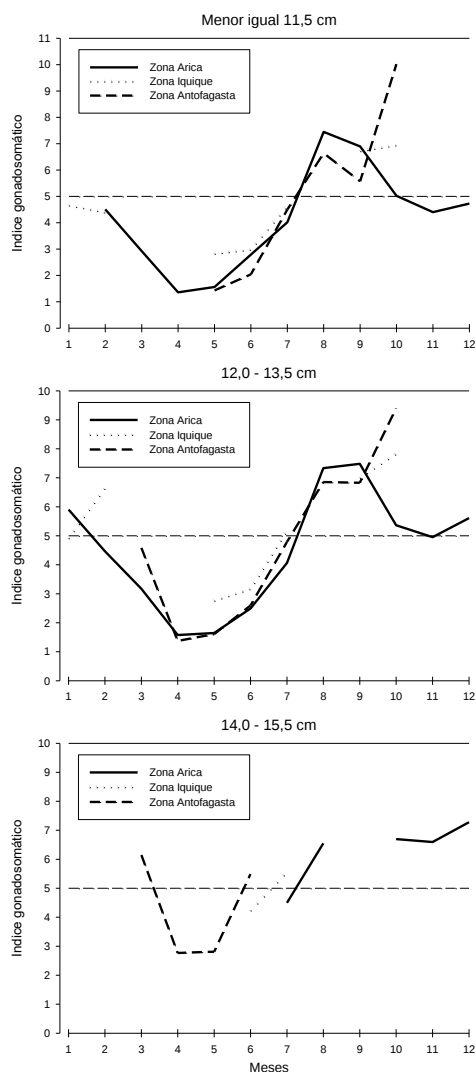


Figura 57. Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta por grupos de tamaños de las hembras y por zonas: Arica, Iquique y Antofagasta. (La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva).

• **Análisis microscópico zona norte**

Incidencia de hembras con actividad reproductiva (IHA)

La incidencia de hembras sexualmente activas (IHA), a nivel histológico, se caracteriza por registros sobre 90% durante el evento reproductivo. Como se reflejó con el IGS, en los últimos años la anchoveta de la zona norte presentó un desfase en el proceso de maduración gonadal como se evidencia en la serie 2010 - 2019, donde el patrón supera el umbral en julio, aproximadamente un mes después, respecto a la serie más antigua (**Figura 58**). En el año 2020, similar a los últimos tres años (2017-2019), el levantamiento de la actividad fue acorde al patrón más reciente (2010-2019), durante

junio, para superar el umbral 90% a inicios de julio, hecho que evidenció el inicio del proceso reproductivo, el cual se mantiene a diciembre (**Figura 58; Anexo 4B**).

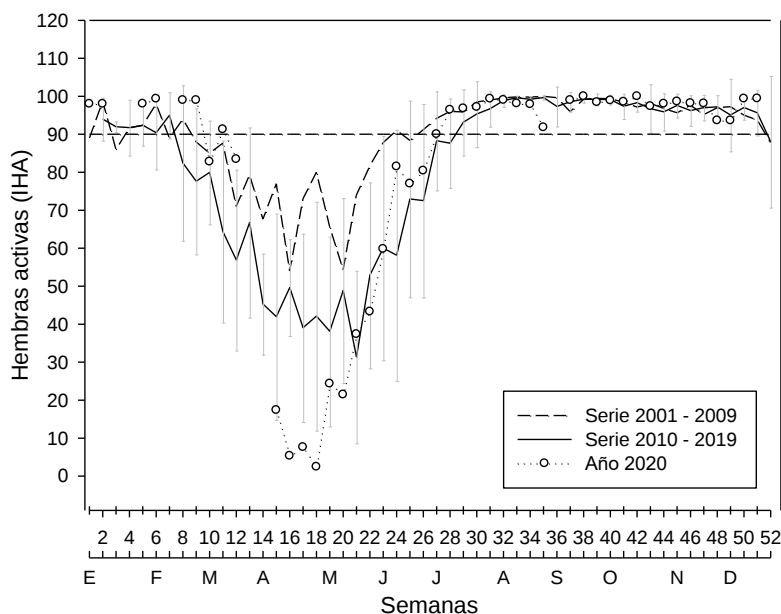


Figura 58. Variación semanal del índice de hembras sexualmente activas de anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y para las series: 2001-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar).

Índice de actividad de desove (IAD)

La proporción de hembras desovantes de menos de 24 hrs, definidas como aquellas hidratadas (EMS VI) en desove inminente, más las que desovaron en la misma noche y en la noche anterior a la captura, con FPO entre I y IV, permite monitorear la intensidad de desove de la anchoveta mediante el indicador de la actividad de desove (IAD).

La tendencia del IAD en la anchoveta de la zona norte muestra un periodo de aumento que abarca invierno y mediados de primavera, para disminuir hacia fines de octubre y mantenerse en registros que mayormente no sobrepasan el 15% hasta otoño, y en los últimos años, con valores bajos que se extienden a inicios de invierno (junio). Consecuente con el proceso de maduración más tardío manifestado por la anchoveta en el último tiempo, la intensificación de los desoves mostró un desfase como se evidencia en la serie 2010-2019 (**Figura 59**). De acuerdo al umbral 25% para definir el periodo de máxima intensidad de desove (Díaz *et al.*, 2013), el patrón más reciente muestra la intensificación de los desoves a partir de agosto, con un desfase de un mes respecto a la serie más antigua (1999-2009), no obstante, sin cambios evidentes en la duración (octubre), indicando un periodo más acotado y menos intenso (**Figura 59**).

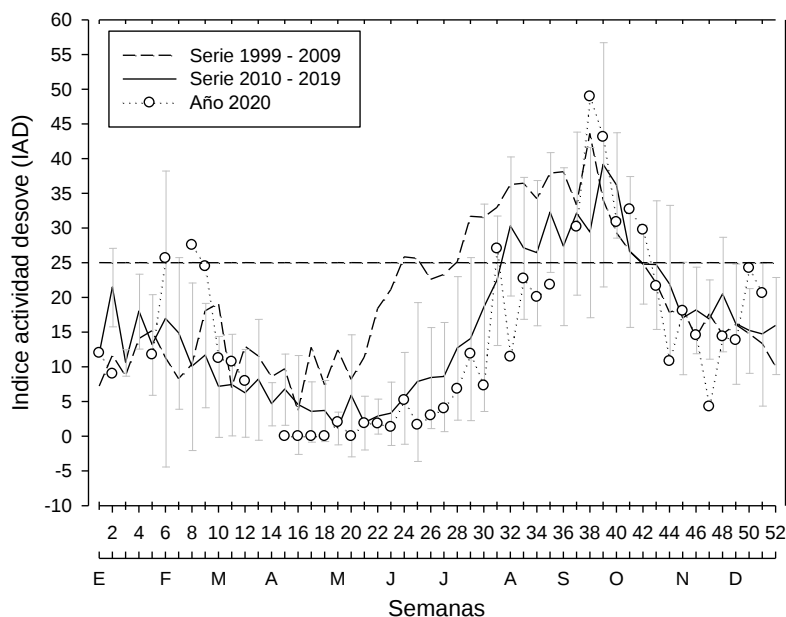


Figura 59. Variación semanal del índice de actividad de desove de anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y las series: 1999-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar). (La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves).

En los últimos tres años (2017-2019), la intensificación de los desoves mostró una tendencia acorde a la serie 2010-2019, entre mediados de agosto y octubre en 2017 y 2018, y con un mayor desfase en 2019, entre inicios de septiembre y octubre, destacando este año por no evidenciar el aumento histórico de agosto. En el año 2020, los desoves aumentaron a partir de fines julio, no obstante, los mayores registros ($IAD \geq 25\%$) abarcaron las semanas de septiembre a octubre, caracterizándose por una menor intensidad de desove en invierno, respecto a los patrones históricos, a su vez, se observa un repunte acotado a modo de desove secundario durante febrero en hembras recolectadas en la zona de Arica (únicas muestras) (**Figura 59**). Durante las semanas de mayor actividad de desove, las hembras en desove inminente (hidratadas) y desovantes de menos 24 horas (con FPO I al IV) se recolectaron principalmente en lances con rango de TSM entre 13° y 18°C (media 16°C), en profundidades medias inferiores a 30 m (**Figura 60**).

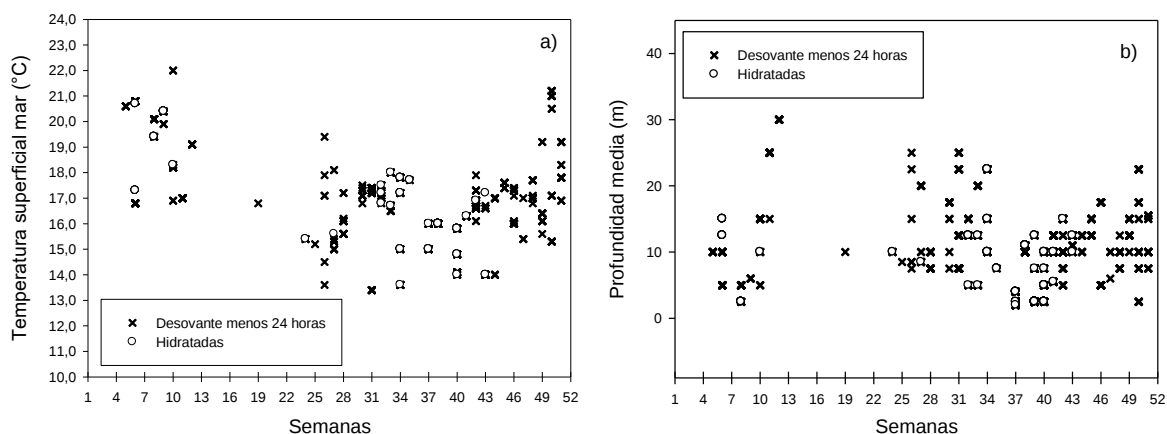


Figura 60. Rango de temperatura superficial del mar (a) y de profundidad media (b) de lances con incidencia de hembras desovantes de menos 24 h (en desove inminente y/o desovaron en la misma noche y/o en la noche anterior a la captura).

Por zonas, el mayor aporte de hembras analizadas para el IAD correspondió a la zona de Arica (61%), con desoves más intensos en primavera (septiembre-octubre), comportamiento que fue similar en las hembras de Iquique (24%) con el mayor aumento en septiembre, mientras que, en la zona de Antofagasta (15%), el menor número de hembras analizadas mostró valores máximos en el bimestre agosto-septiembre (**Figura 61**). Por tamaños, las hembras más frecuentes correspondieron al grupo 12,0-13,5 cm de LT (71%), con desoves intensos entre septiembre y octubre, tendencia similar del indicador en las hembras maduras del grupo menor igual a 11,5 cm LT ($\geq 9,0$ cm) con 27%, mientras que, los tamaños entre 14,0 y 15,5 cm de LT mostraron una escasa participación (2%), siendo las hembras de mayor tamaño analizadas, de tal manera que, la condición de las hembras de tamaños entre 12,0 y 13,5 cm fueron las que mayormente influyeron en la estacionalidad de los desoves descrito para la zona norte (**Figura 62**).

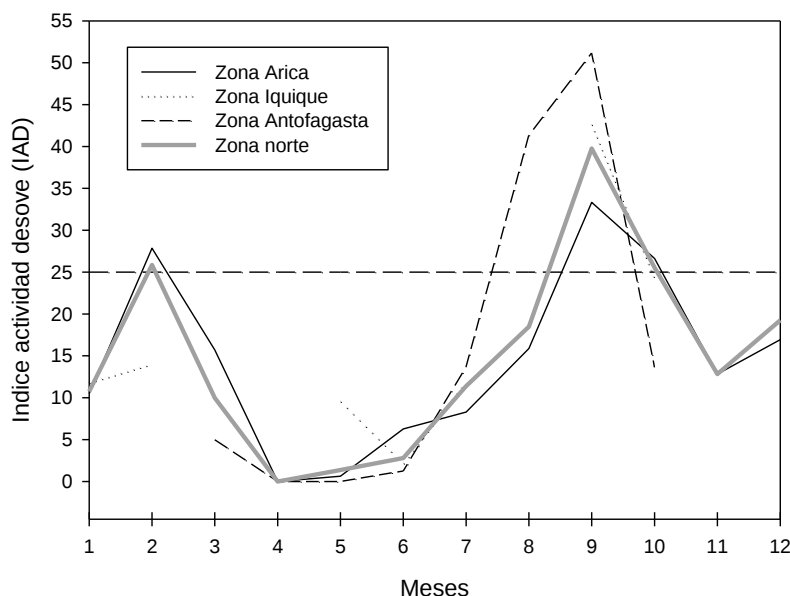


Figura 61. Variación mensual del índice de actividad de desove de anchoveta por zonas. La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.

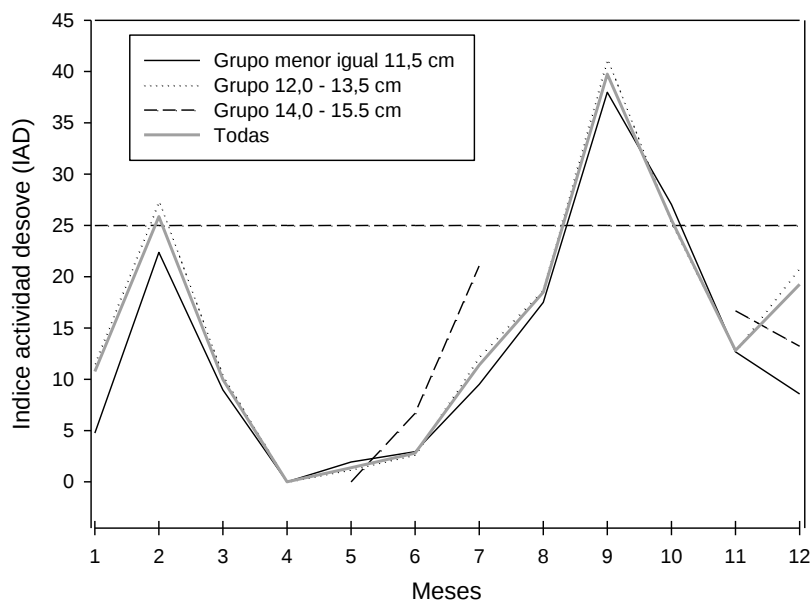


Figura 62. Variación mensual del indicador de desove de anchoveta en la zona norte por grupos de tamaños de las hembras. La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.

La **Figura 63** muestra la variabilidad interanual del indicador IAD, caracterizándose por registros que señalan en los últimos años un desfase en la intensificación de los desoves, como se evidencia en la serie 2010-2019, consecuente con el proceso de maduración gonadal más tardío reflejado mediante los indicadores de actividad (IGS/IHA). En los recientes años 2017 y 2018, los valores indicaron una

menor intensidad de desove a mediados y fines de invierno (julio-agosto), con un IAD muy bajo en julio, mientras que, en 2019 no se observó el aumento histórico de agosto, lo que significó un mayor desfase, visualizándose los mayores desoves en septiembre y octubre. En este año, la tendencia del indicador mostró un comportamiento similar al 2019, con menor intensidad en agosto y desoves mas intensos en primavera (septiembre-octubre), a la vez que, se destaca un repunte acotado en febrero a modo de desove secundario, como también se pudo observar en los años 2015, 2016 y 2018.

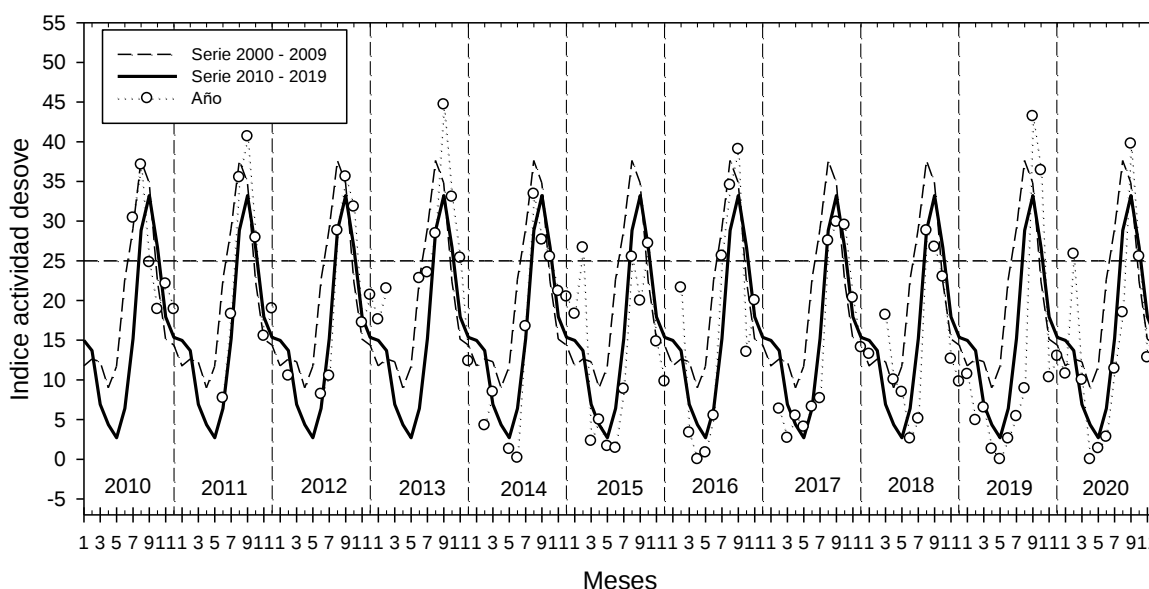


Figura 63. Variación mensual del indicador de desove de anchoveta en la zona norte, entre 2010 y 2020, y para las series: 2000-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar). La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.

Índice de atresia ovárica (IAO)

La proporción de hembras con atresia mayor, mediante el indicador de atresia ovocitaria (IAO), presenta la mayor incidencia en los meses de otoño, en el término del evento reproductivo de la anchoveta en la zona norte, mientras que, durante el desarrollo normal del proceso reproductivo su incidencia es baja o nula. La tendencia de la serie 2010-2019 muestra el descenso gradual del IAO en junio, para presentar los menores registros desde mediados de julio, acorde con el desfase en la reactivación de la maduración gonadal en los últimos años (**Figura 64**). En el 2020, el mayor aporte de atresia se manifestó en otoño, acorde al patrón, para disminuir en invierno, con menores registros a partir de julio, en que se reactiva el proceso de maduración gonadal (**Figura 64; Anexo 4B**).

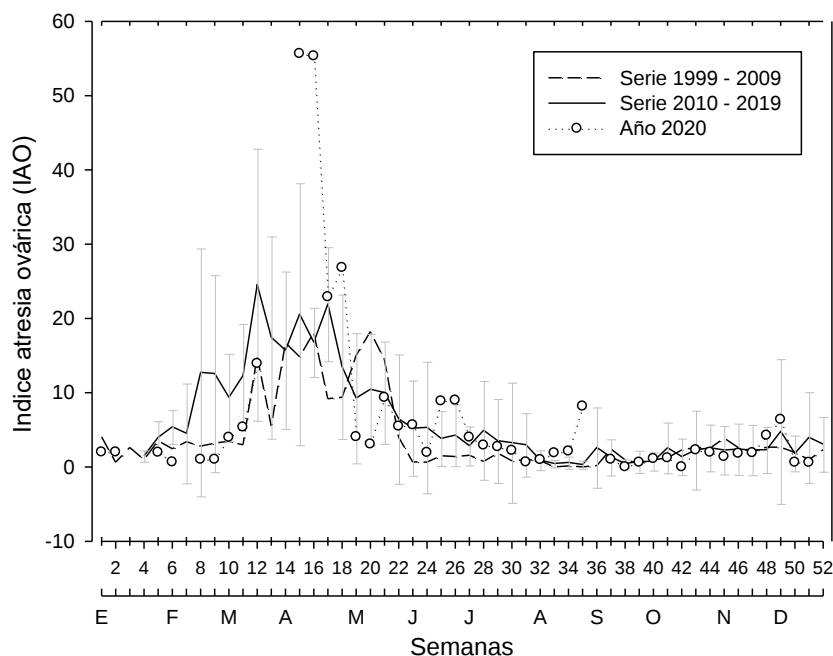


Figura 64. Variación semanal del índice de atresia ovárica de anchoveta en la zona norte, para el año 2020 y las series: 1999-2009 y 2010-2019 (con desviación estándar).

Determinación del periodo de máxima intensidad de desove (MID)

La anchoveta es un desovador de tandas de ovocitos sucesivas durante un periodo reproductivo prolongado. El análisis de la variabilidad temporal del IAD en la anchoveta de la zona norte permite evidenciar desoves durante todo el año, pero con cambios en su intensidad (Díaz *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2013).

El análisis de las series históricas de los indicadores de la actividad reproductiva (macroscópico y microscópico) y de desove (microscópico) permiten establecer el valor de $IAD \geq 25\%$ como umbral del periodo de la máxima intensidad de desove (MID) de anchoveta en la zona norte (Díaz *et al.*, 2013), el cual se caracteriza por sobre 90% de hembras sexualmente activas (IHA), en máxima actividad ovárica ($IGS \geq 6\%$), y por nula o baja incidencia de atresia mayor (IAO), a la vez que, se fundamenta en la mayor frecuencia de ovarios hidratados y con folículos postovulatorios (FPO).

La **Figura 65** muestra la anomalía semanal del IAD respecto al umbral de máximo desove ($IAD 25\%$) para las series: 1999-2009 y 2010-2019, y para el año 2020, y del IGS respecto al criterio de máxima actividad ovárica ($IGS 6\%$) para el 2020. En los últimos años, la anchoveta manifestó un retraso en la maduración gonadal, con consecuencias que significaron un desfase temporal en el inicio de la intensificación de los desoves, como se refleja en la tendencia de la serie 2010-2019, no obstante, ambas series históricas no varían mayormente en la caída de la actividad en octubre, indicando para la última serie un periodo MID más acotado y menos intenso entre agosto y octubre.

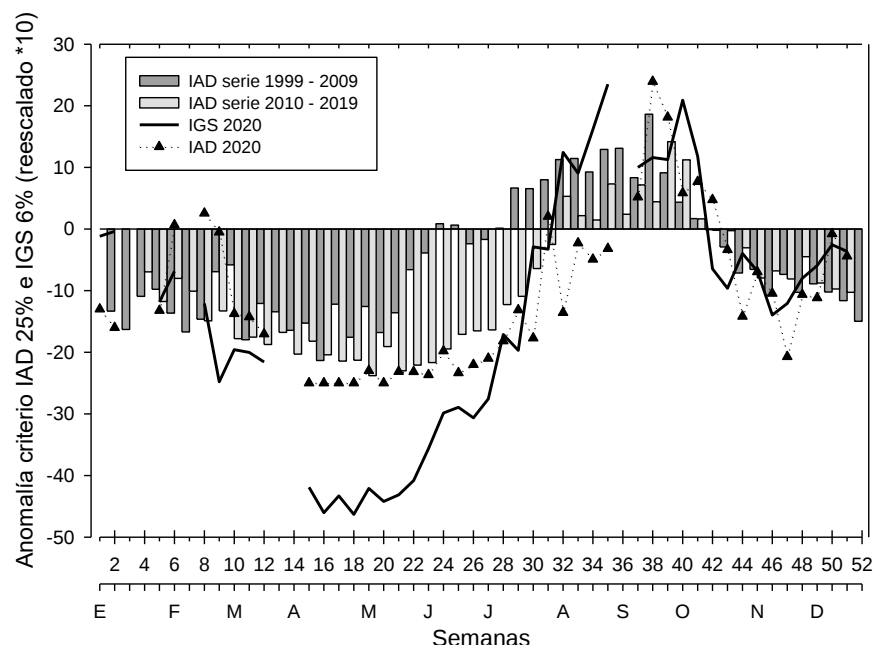


Figura 65. Anomalía semanal del IAD para las series: 1999-2009 y 2010-2019, y para el año 2020 (triángulos) y del IGS para el año 2020 (línea) de anchoveta en la zona norte, respecto al criterio de IAD= 25% de máxima intensidad de desove (MID) y de IGS= 6% de máxima actividad ovárica.

En el año 2020, la variabilidad del IAD mostró el aumento en julio, acorde al IGS, no obstante, en las semanas de agosto se mantuvo relativamente estable próximo al umbral, para superarlo a inicios de septiembre, hecho que señaló el periodo MID entre la segunda semana de septiembre (primera sin datos) y la tercera semana de octubre (42), indicando un periodo acotado de aproximadamente 7 semanas con registros de alta intensidad, sin mostrar el nivel histórico de agosto y centrar los mayores desoves en primavera (**Figura 65**), condición de desove similar a la observada en 2019 (Böhm *et al.*, 2020).

Evaluación de la veda reproductiva de la anchoveta zona norte

En este año, según D. EX. N° 749 (Subpesca, julio 2013), ante el incumplimiento de los criterios que establecen la veda, se activó automáticamente el periodo de resguardo de veda fija, encontrándose la anchoveta en el área marítima de las regiones de Arica y Parinacota a Antofagasta con veda biológica entre el 25 de agosto y 8 de octubre, ambas fechas inclusive.

Con el fin de contar con antecedentes durante la veda biológica se ejecutó la pesca de investigación: “Monitoreo del proceso de desove de anchoveta durante la veda biológica, regiones Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, 2020” (R. EX. N° E-2020-420, agosto 2020) (**Anexo 5**). Complementariamente, para una mayor cobertura espacial y temporal durante la veda, se obtuvieron muestras de la ejecución de la pesca de investigación denominada “Pesca de investigación en el marco de la evaluación de stock desovante de anchoveta entre Arica y Parinacota y los 26° L.S., año 2020” (R. EX. N° E-2020-486, septiembre 2020) del proyecto “Monitoreo de las condiciones bio-



oceanográficas y evaluación del stock desovante de anchoveta, entre Arica y Parinacota y Antofagasta, año 2020” (MPDH).

De acuerdo a los antecedentes, durante el periodo de resguardo de veda fija, la anchoveta se encontró en su periodo de máxima intensidad de desove (MID), no obstante, de mayor duración que la medida administrativa de 45 días.

Proporción de maduros y estimación de la talla de madurez sexual de anchoveta en la zona norte

Para estimar la proporción de hembras maduras y ajustar la ojiva de madurez se consideraron los muestreos realizados en el bimestre septiembre-octubre, periodo en que la anchoveta presentó una condición de máxima actividad ovárica y con alta intensidad de desove, sin indicios robustos de ejemplares en regresión y/o regeneración que señalen el término próximo del evento reproductivo (**Figura 66**). Los ejemplares fueron recolectados a partir de 14 lances que abarcaron las tres zonas de estudio (Arica, Iquique y Antofagasta), en el marco de la prospección de la pesca de investigación con embarcaciones artesanales, por encontrarse la anchoveta con veda biológica.

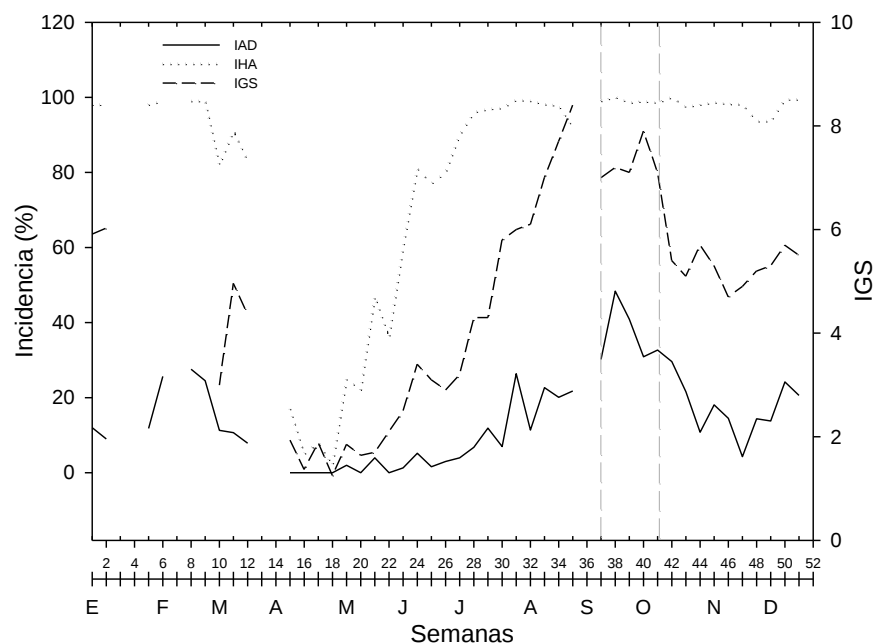


Figura 66. Tendencia semanal de indicadores de actividad ovárica (índice gonadosomático (IGS) y hembras sexualmente activas (IHA)) y de desove (IAD) de anchoveta en la zona norte (las líneas verticales acotan el periodo de muestreo para la ojiva).

Para el ajuste se contó con 489 registros histológicos de madurez, en hembras con tamaños que fluctuaron entre 5,5 y 14,0 cm de longitud total. El criterio para discernir hembras maduras fue la presencia del estadio de crecimiento secundario de alveolos corticales (Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011; Leal y Díaz, 2012). Según la escala apreciativa propuesta se clasificaron como sexualmente maduras las hembras en EMS II al IX.

La incidencia de las fases histológicas a la talla de las hembras mostró la transición a la madurez sexual en longitudes entre 9,0 y 10,0 cm de LT, con bajo aporte de actividad a los 9,0 cm y con un claro predominio de ovarios activos a los 10,0 cm LT (**Figura 67**), caracterizándose las hembras menores e iguales a 8,5 cm LT por presentar en su totalidad la condición de virginales, mientras que, en longitudes mayores e iguales a 10,5 cm LT se encontraron maduras sexualmente (**Figura 68**).

El estimado de la talla de madurez ($L_{50\%}$) fue 9,3 cm LT, con intervalos de confianza al 95% entre 9,2 y 9,5 cm de LT. Los parámetros β_0 y β_1 que describen el modelo logístico alcanzaron valores de -41,1754 y 4,4088, respectivamente (**Figura 69**).

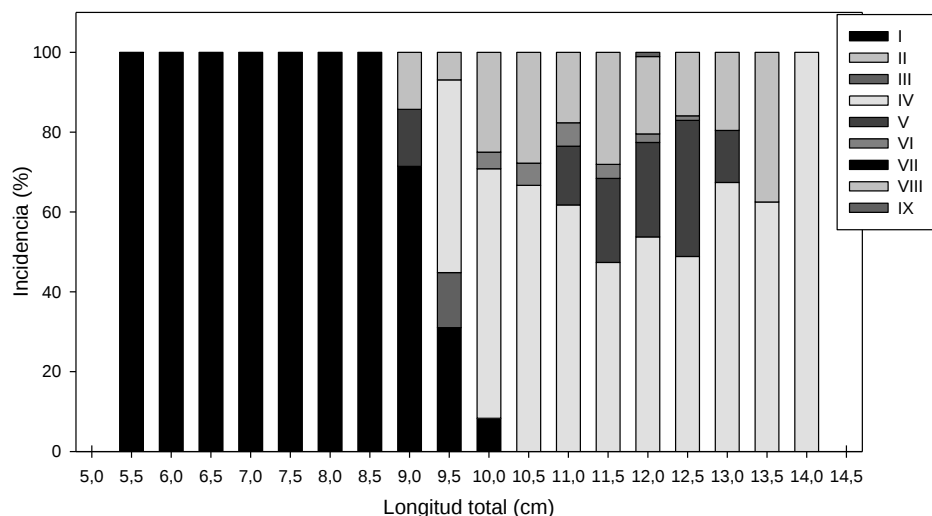


Figura 67. Incidencia de fases histológicas de madurez ovárica por tamaño de los ejemplares de anchoveta en la zona norte, año 2020.

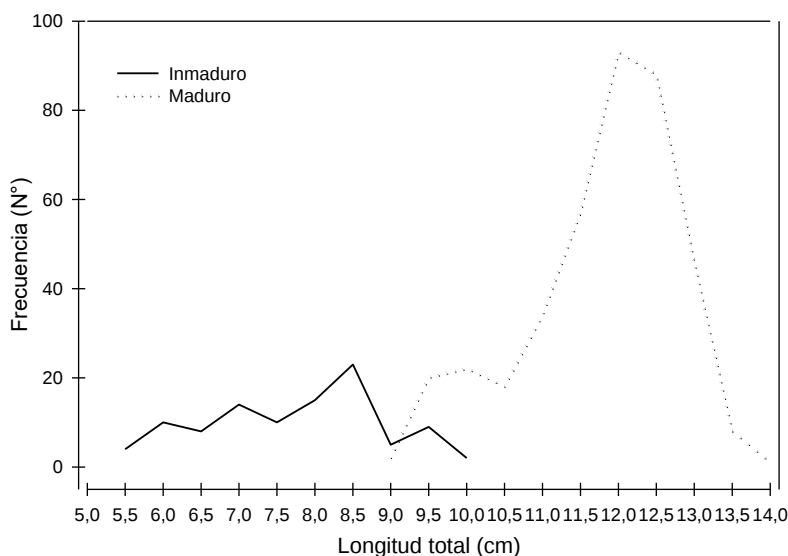


Figura 68. Frecuencia de inmaduros y maduros sexualmente en relación al tamaño de anchoveta en la zona norte, para el ajuste de la ojiva de madurez.

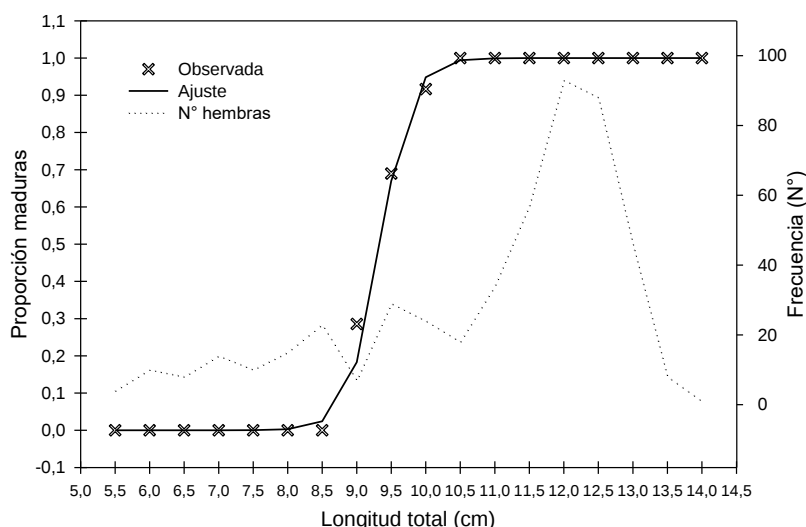


Figura 69. Ojiva de madurez estimada para hembras de anchoveta en la zona norte, año 2020.

Asimismo, durante este año se realizó la determinación de la edad media de madurez de anchoveta. Para este efecto se seleccionaron 100 ejemplares, a los que previamente se le había estimado su madurez histológica para el análisis de la longitud media de madurez ($L_{50\%}$). Esta submuestra seleccionada incluyó a 60 ejemplares con tallas entre 9,0 y 10,0 cm de LT que presentaron individuos tanto maduros como inmaduros; 24 ejemplares totalmente inmaduros de 7,0 a 8,5 cm de LT y 12 ejemplares cuyas tallas fueron 100% maduras (entre 10,0 y 10,5 cm de LT).

La edad de las hembras analizadas fluctuó entre 97 y 180 días. La edad media de madurez fue de 143 días, equivalente a 4,8 meses de vida. Sobre los 200 días (6,7 meses) el 100% de las hembras se encuentran maduras (**Tabla 10** y **Figura 70**).

Tabla 10. Parámetros del ajuste logístico entre la proporción de madurez y la edad con su error estándar (EE), significancia de los parámetros y del ajuste don n corresponde al tamaño de muestra. Se incluye además la estimación de la edad media de madurez ($E_{50\%}$).

Parámetro	Estimación	E.E.	Z _{valor}	P _{valor}
β_0	12,289	3,018	-4.073	4,65e-5
β_1	0,086	0,020	4,213	2,53e-5
$E_{50\%} (\beta_0 / \beta_1)$	142,9 días			
Log like	-31,05 (gl=2)			
AIC	66,10			
n	69			

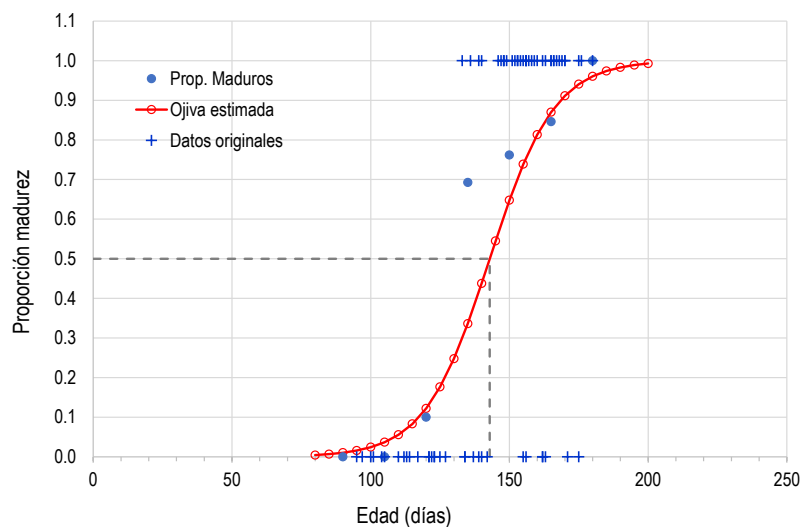


Figura 70. Ojiva de madurez en edad de hembras de anchoveta de la zona Arica-Antofagasta. La línea entrecortada indica la posición de la edad media de madurez.

5) Proceso de reclutamiento

Reclutamiento es definido como: “La cantidad de peces que sobreviven a las etapas de huevo, larva y juvenil que se incorporan por primera vez a la fase explotable de una población de peces, siendo susceptibles de ser capturados por un arte particular de pesca” (Bakun, 1989). Este proceso biológico de las poblaciones de peces es de gran relevancia debido a que determina el éxito que la población tendrá para mantenerse en el tiempo.

Por tal razón entre los meses de octubre 2020 y el 20 de abril 2021 se llevó a cabo un monitoreo intensificado del proceso de reclutamiento de la anchoveta en la zona norte, mediante la recolección de muestras por parte de los observadores científicos en las plantas de proceso (muestreo en tierra) y a bordo de las embarcaciones pesqueras, registrándose los antecedentes biológicos pesqueros (peso (g), longitud total (cm), frecuencia, captura-desembarque, zona de pesca etc), con los cuales se estimó el porcentaje ponderado (en número) a la captura (t) de ejemplares juveniles (reclutas) que son removidos por la actividad extractiva de la flota pesquera (información del desembarque entregada por cada empresa pesquera).

Para efectos de este monitoreo (octubre 2020 al 20 de abril 2021), se consideró como ejemplares juveniles (reclutas) a aquellos individuos $\leq 11,5$ cm de longitud total, utilizando la siguiente delimitación.



L3mites de las regiones consideradas en el 3rea de estudio.

	Regi3n	L3mite norte	L3mite sur
	Arica y Parinacota	18°21'	19°13'
Zona norte	Tarapac3	19°13'	21°25'
	Antofagasta	21°25'	26°00'

Veda biol3gica de reclutamiento

Se establece veda de reclutamiento con el fin de asegurar la sustentabilidad del recurso en el 3rea mar3tima que comprende las regiones de Arica y Parinacota, Tarapac3 y Antofagasta y con el objeto de reducir la mortalidad por pesca durante el periodo de reclutamiento de la anchoveta, a fin de propiciar el cuidado de la fracci3n juvenil que, en el corto plazo, se incorporar3 al stock parental para contribuir a la renovaci3n y conservaci3n del mismo.

El 19 de enero de 2021 la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura (Subpesca) establece mediante el D. EX. N°202100002 la implementaci3n de un modelo de veda de reclutamiento, en base a los criterios establecidos por el Comit3 Cient3fico de las Pesquer3as de Pequeños Pel3gicos, modelo en el que se fija un periodo referencial de reclutamiento desde el 16 de diciembre hasta al 15 de abril del siguiente a3o (ambas fechas inclusive), y se considera como indicador biol3gico un porcentaje $\geq$ al 30,0% de la presencia de ejemplares $\leq$ 11,5 cm (reclutas), medido en n3mero y ponderado a la captura semanal, periodo referencial que tendr3 una duraci3n aproximada de 120 d3as en total, y ser3 distribuido de la siguiente manera:

- 60 d3as de referencia para aplicaci3n de una veda formal, periodo llamado “veda continua” fijado entre el 01 de enero y el 28 de febrero periodo que corresponde al m3ximo de reclutamiento hist3rico, y en el cual se monitorear3 el recurso evaluando el establecimiento de veda por 30 d3as continuos si se cumple el indicador biol3gico fijado, si esta veda finaliza antes del 28 de febrero, se evaluar3 semanalmente su continuidad hasta finalizar el periodo referencial. As3 mismo si la veda de 30 d3as se gatilla previendo su finalizaci3n posterior al 28 de febrero, finalizar3 autom3ticamente en esta fecha.
- 60 d3as de referencia para aplicaci3n de un periodo llamado “veda semanal”, que se fija entre el 16 y el 31 de diciembre, y entre el 01 de marzo y el 15 de abril de cada a3o, modalidad que estar3 sujeta a si el indicador biol3gico antes se3alado ($\geq$ 30,0% ponderado a la captura) se cumple o no. La aplicaci3n de esta veda ser3 bajo la evaluaci3n semanal del Comit3 de Manejo (CM) y la Subpesca, aplic3ndolo mediante cierres espacio-temporales que pueden ser por regi3n o 3reas, consider3ndose incluso cierres longitudinales, as3 mismo se considerara dentro de este periodo, la aplicaci3n permanente del “Protocolo de cierre de cuadrantes por enmalle” que ha sido incorporado por la industria pesquera en la zona norte.

En concordancia con lo anterior, durante el presente monitoreo y de acuerdo a los resultados obtenidos durante la semana 02 (11-17 de enero 2021), se fija una veda continua de reclutamiento por 30 d3as



corridos entre las regiones de AyP a ANTOF, desde el viernes 22 de enero hasta el domingo 21 de febrero, extendiéndose hasta el 28 de febrero.

A partir del 1 de marzo y hasta el 15 de abril de 2021 se dio comienzo al periodo de veda semanal, donde se establecieron cierres espacio-temporales, frente a la alta presencia de ejemplares juveniles ($\leq 11,5$ cm) que se registraron semanalmente en los desembarques e informados en los boletines semanales de reclutamiento, efectuándose los siguientes cierres:

Reunión 3 de marzo: detención de la flota industrial y artesanal, desde el límite norte de la Región de Arica y Parinacota (AyP) hasta el sector de pta. Gruesa ($20^{\circ}21'S$), de la costa a las 5 mn y entre el 5 y el 11 de marzo, posteriormente en una reunión sostenida el 5 de marzo: se rectifica el cierre acordado el 3 de marzo, modificando el límite inferior, del sector pta. Gruesa ($20^{\circ}21'S$) por pta. Camarones ($19^{\circ}10'S$). Además, se establece un cierre de pta. Hornos ($22^{\circ}53'S$) a pta. Baja ($23^{\circ}05'S$), desde la costa a las 5 mn, entre el 7 y el 13 de marzo.

Reunión 12 de marzo: detención de la flota industrial y artesanal, del 14 al 20 de marzo, desde el límite norte de la Región AyP hasta la región de ANTOF, exceptuando las siguientes áreas: 1) entre pta. Pisagua ($19^{\circ}34'S$) y pta. Chucumata ($20^{\circ}32'S$) y 2) entre pta. Hornos ($22^{\circ}53'S$) y pta. Baja ($23^{\circ}05'S$).

Reunión 19 de marzo: permanece la macrozona cerrada, de la costa a las 5 mn, exceptuando las siguientes áreas: 1) desde el límite norte de Chile hasta pta. Madrid ($19^{\circ}00'S$) en la Región AyP, limitando la operación a un viaje diario por embarcación y 2) desde el río Loa ($21^{\circ}26'S$) hasta pta. Cobija ($22^{\circ}33'S$), en la Región de ANTOF.

Reunión 26 de marzo: permanece la macrozona cerrada para ambas flotas del 28 de marzo al 3 de abril, desde la costa hasta las 5 mn.

Reunión 1 de abril: permanece la macrozona cerrada para ambas flotas del 4 al 10 de abril, desde la costa hasta las 5 mn, exceptuando las siguientes áreas donde se acuerda para la flota artesanal, un viaje por día por embarcación: 1) de cta. Vitor ($18^{\circ}45'S$) a cta. Camarones ($19^{\circ}12'S$), 2) entre pta. Gruesa ($20^{\circ}22'S$) y pta. San Marcos ($21^{\circ}06'S$) y 3) de pta. Cobija ($22^{\circ}33'S$) al pto. Mejillones ($23^{\circ}05'S$).

Reunión 9 de abril: permanece la macrozona cerrada para ambas flotas del 11 al 17 de abril, desde la costa hasta las 5 mn, exceptuando las siguientes áreas donde se acuerda para la flota artesanal un viaje por día, por embarcación: 1) desde el límite norte hasta cta. Vitor ($18^{\circ}45'S$), 2) de pta. Gruesa ($20^{\circ}22'S$) a pta. San Marcos ($21^{\circ}06'S$) y 3) desde el Río Loa ($21^{\circ}25'S$) hasta Gatico ($22^{\circ}30'S$), para ambas flotas pesqueras.

Capturas

Durante el periodo del monitoreo de reclutamiento la actividad ejercida sobre el recurso anchoveta, estuvo representada en un 77% por la operación extractiva de la flota artesanal, la que estuvo restringida a sectores costeros y marcada por la alta presencia de ejemplares juveniles. La flota industrial representó el 23% de la captura total, no pudiendo operar en las áreas de reserva artesanal (por un recurso de protección), desplazando su actividad a áreas más alejadas de la costa, lo que propició que esta flota extrajera principalmente jurel y caballa (**Tabla 11**).

**Tabla 11.** Resumen de la actividad extractiva de la flota comercial de la zona norte, periodo octubre 2020 al 20 de abril 2021.

REGIONES	FLOTA	CAPTURA (t)	N° VIAJES MUESTREADOS	N° EJEMPLARES MUESTREADOS	CAPTURA DEL MUESTREO (t)	AMPLITUD TALLA (cm)	MODA (cm)	% JUVENILES ⁽¹⁾
AyP	IND	23.745	155	22.042	6.700	5,0-15,5	12,5	28
	ART	93.305	274	36.631	12.242	6,0-15,0	12,5	58
	TOT	117.050	429	58.673	18.942	5,0-15,5	12,5	52
TPCA	IND	8.903	20	3.736	1.634	8,0-16,5	15,0	22
	ART	7.772	21	2.950	1.018	7,0-14,5	11,5	63
	TOT	16.675	41	6.686	2.652	7,0-16,5	11,5	50
ANTOF	IND	2.162	7	803	292	9,0-15,5	12,0	46
	ART	16.324	93	11.395	3.533	6,5-15,5	11,5	64
	TOT	18.486	100	12.198	3.825	6,5-15,5	11,5	64
ZONA NORTE	IND	34.810	182	26.581	8.626	5,0-16,5	12,5	27
	ART	117.401	388	50.976	16.793	6,0-15,5	12,5	59
	TOT	152.211	570	77.557	25.419	5,0-16,5	12,5	54

⁽¹⁾: Proporción de ejemplares juveniles ($\leq 11,5$ cm)**Estructura de talla e incidencia de ejemplares $\leq 11,5$ cm LT**

En la zona norte la amplitud de talla presentó una estructura unimodal, con moda en los 12,5 cm LT para ambas flotas. La flota artesanal registró una amplitud de talla entre 6,0 y 15,5 cm LT, observándose una estructura de talla homogénea, evidenciando un crecimiento más uniforme en todas las regiones, destacando como grupo principal a los ejemplares $> 12,5$ cm LT. La flota industrial exhibió una amplitud de talla conformada por ejemplares entre 5,0 y 16,5 cm LT, observándose en las regiones de AyP y ANTOF una estructura de talla representada principalmente por ejemplares de 10,0 a 13,5 cm LT. Esta distribución es diferente a lo registrado en la región de TPCA, donde la estructura de talla estuvo conformada por ejemplares de mayor tamaño los que se concentraron entre las tallas de 13,5 a 16,5 cm LT (**Figura 71 a y b y Tabla 11**).

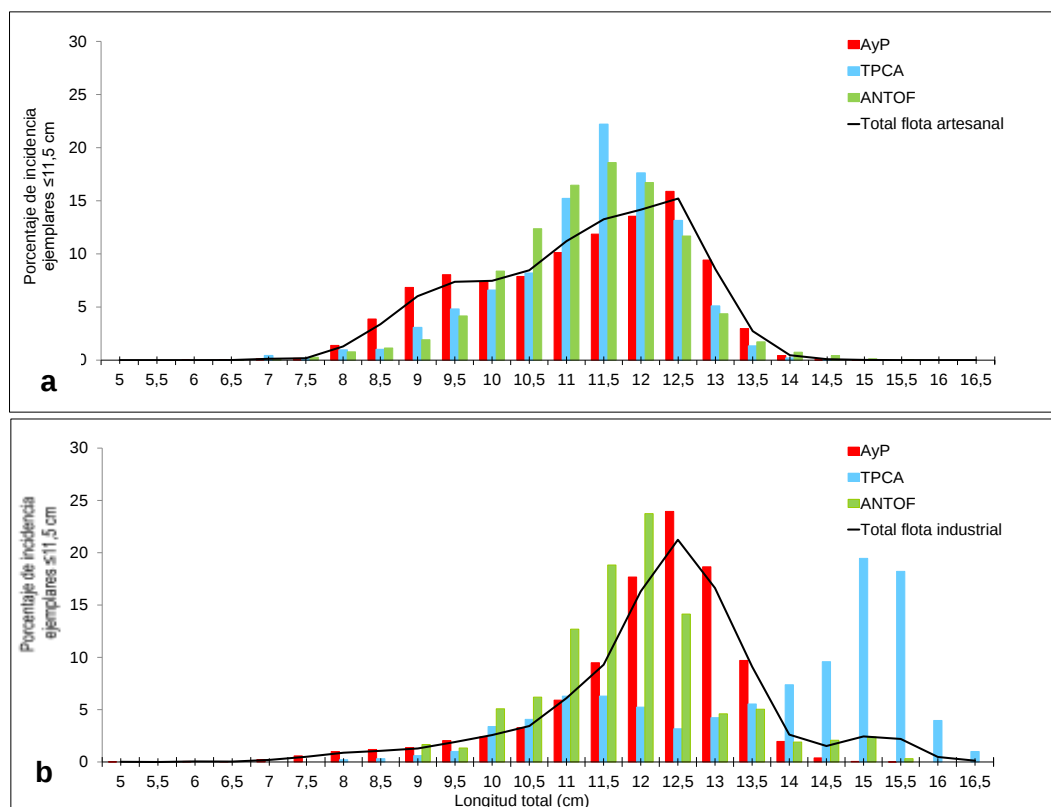


Figura 71. Estructura de talla de anchoveta de la flota comercial por región (a: flota artesanal y b: flota industrial).

En el presente monitoreo se estimó un porcentaje de incidencia total de ejemplares $\leq 11,5$ cm ponderados en número a la captura de 54%, concentrando el mayor aporte la actividad extractiva ejercida por la flota artesanal que alcanzó al 59% (**Figura 72 a**). En este sentido, la mayor presencia de juveniles de anchoveta se observó en las regiones de ANTOF y TPCA (64% y 63%, respectivamente). Si bien la flota industrial tuvo una menor participación, destaca la actividad en la región de ANTOF donde se registró el mayor aporte de juveniles extraídos por esta flota (**Figura 72 b y c**). La distribución espacial de ambas flotas se concentró durante el primer trimestre del monitoreo entre las costas del puerto de Arica ($18^{\circ}28'S$) hasta cta. Pisagua ($19^{\circ}35'S$), principalmente entre las 5 y las 10 millas náuticas. A partir de enero de 2020 se registran escasas salidas por parte de la flota industrial dado que el recurso se mantuvo concentrado en sectores costeros respondiendo a una alta presencia de ejemplares juveniles, razón por la cual la flota artesanal concentra su actividad dentro de las primeras 5 mn, principalmente en sectores focalizados, frente el puerto de Arica ($18^{\circ}28'S$), el puerto de Iquique ($20^{\circ}12'$), en pta. Blanca ($22^{\circ}08'$) y en Mejillones del Sur ($23^{\circ}06'$) (**Figura 74**). Estas áreas son reconocidas por ser zonas de pesca históricas que registran una gran presencia de ejemplares juveniles, sin embargo, al igual que el monitoreo anterior (2019-2020) el mayor aporte de ejemplares juveniles fue observado en el sector norte de la península de Mejillones, antecedente no registrado en años anteriores.

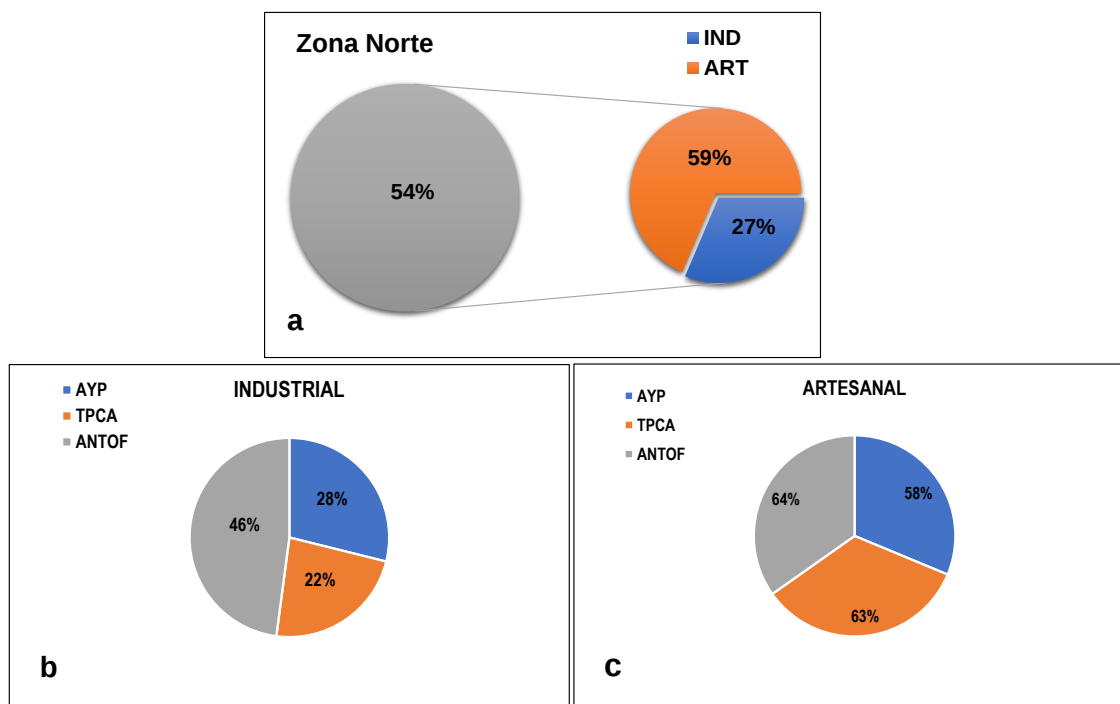


Figura 72. Porcentaje de incidencia de la fracción juvenil de anchoveta ponderadas (número) a la captura octubre 2020-abril 2021, por región y tipo de flota.

En la **Figura 73 a y b** se grafica el porcentaje de incidencia semanal (flota total) de los ejemplares $\geq 11,5$ cm muestreados en los dos últimos monitoreos realizados. Aquí es posible observar que la incidencia promedio de ejemplares registrados durante el monitoreo 2020-2021 fue mayor lo estimado para el monitoreo 2019-2020, estimaciones que evidencian la presencia constante de ejemplares juveniles en el borde costero de la zona norte, reforzando la hipótesis de encontrarnos con un cambio poblacional del recurso donde se puede observar una importante mezcla entre ejemplares adultos y juveniles en gran parte del año, cambios que se ven influenciado por la variabilidad registrada en las condiciones ambientales.

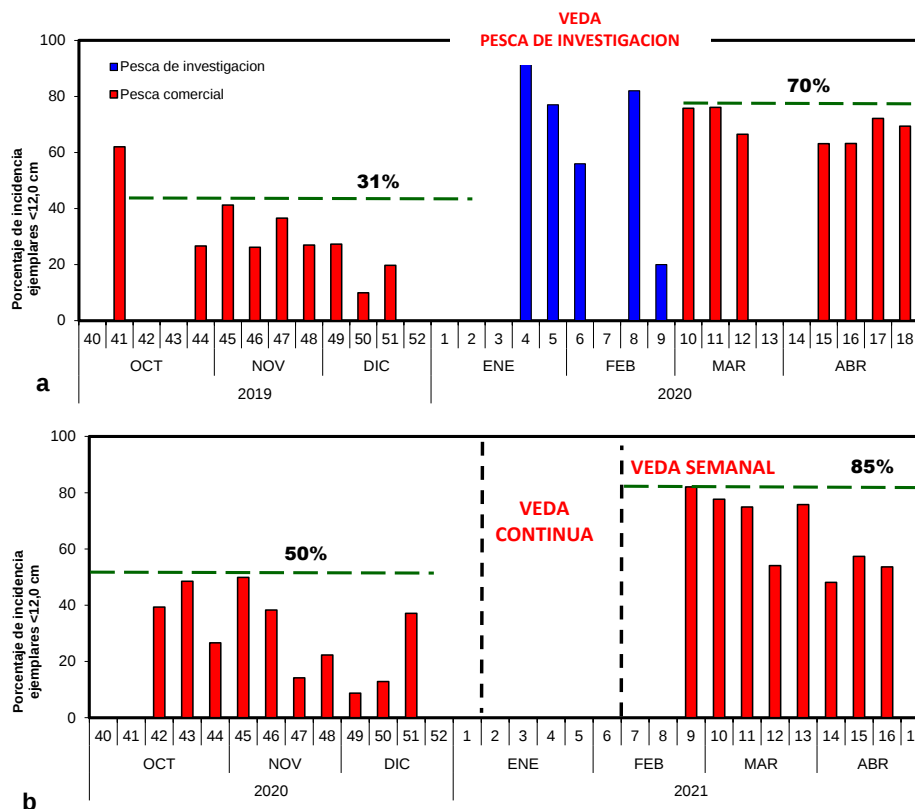


Figura 73. Incidencia (%) semanal de la fracción juvenil de anchoveta ponderadas a la captura para las regiones de Arica y Parinacota a Antofagasta, monitoreo **a)** octubre 2019-abril 2020 y **b)** octubre 2020-al 20 de abril 2021.

Serie histórica

En la serie histórica analizada (1997- abril 2021), se observa que para los últimos años (2015-2021) el porcentaje de incidencia de la fracción juvenil ponderada en número a la captura registra valores promedio $>30\%$ (**Figura 75**). Este escenario es muy distinto a las estimaciones de años anteriores donde se observaba un porcentaje de incidencia estacional, cuyos máximos no superaban el 20% y se concentraban solamente durante el periodo de máxima intensidad (octubre-marzo). En el periodo 2015-2021, los altos porcentajes estimados también han sido registrados fuera del periodo establecido del monitoreo de reclutamiento (octubre-marzo), razón por la cual éste se ha extendido hasta abril e incluso al resto del año.

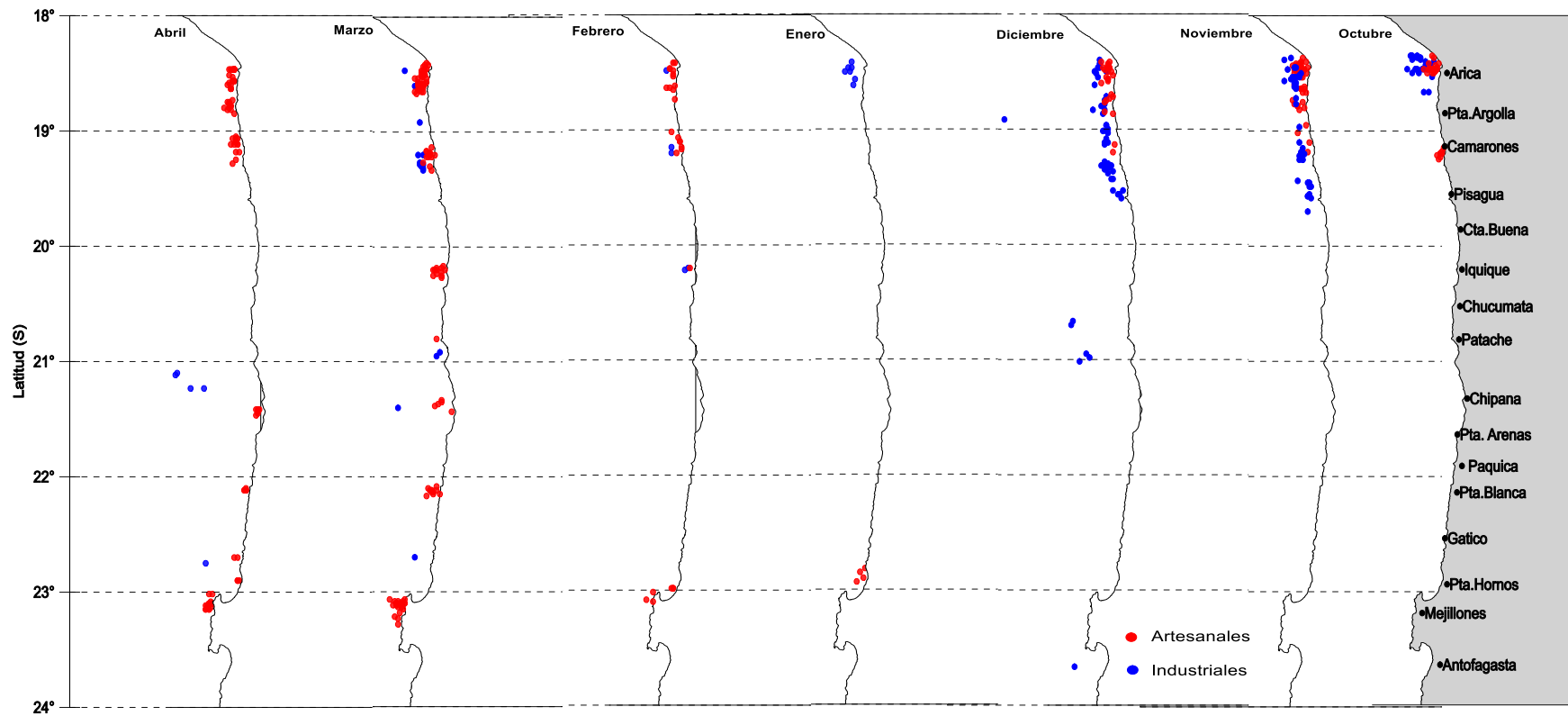


Figura 74. Posición geográfica de los viajes muestreados (flota Industrial y artesanal) en la zona norte.

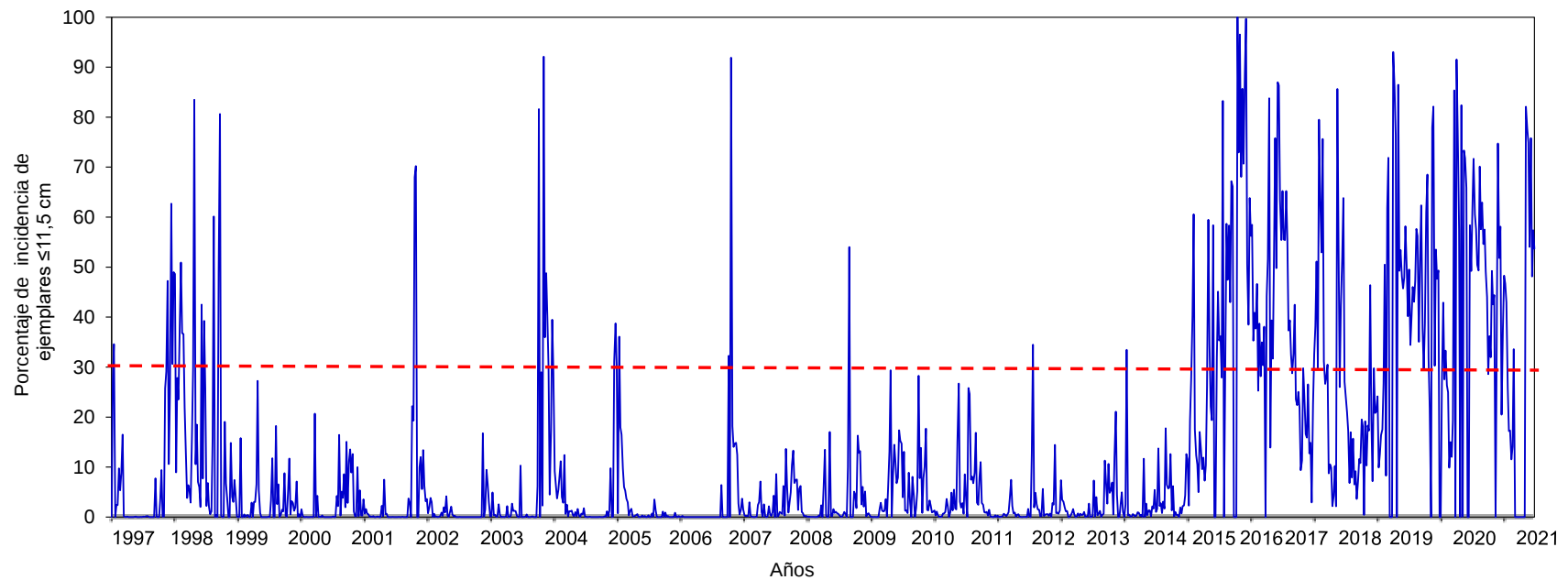


Figura 75. Serie hist3rica semanal del porcentaje de incidencia de la fracci3n juvenil de anchovetas, zona norte, a5os 1997-2021. (Antecedentes del 2021 provenientes del monitoreo). La l3nea punteada marca el 30% de incidencia de ejemplares $\leq 11,5$ cm LT.

6) Tendencia de los indicadores biológicos

La tendencia de la condición del pez (FC) mostró una disminución persistente en el largo plazo con interrupciones en 1993, 1998 y 2012. Estos puntos marcan un cambio de nivel en la condición del pez, pero se mantiene la tendencia negativa (**Figura 76**). El peso promedio mostró una tendencia decreciente, con cambios de nivel marcados por un aumento del peso en 1994, 1999 y 2011. La tendencia continúa mostrando una fuerte disminución hasta ahora (**Figura 77**). Estas bajas en los pesos promedio de la anchoveta también han sido reportadas en los últimos cruceros correspondientes al Proyecto Método de Producción de Huevos de anchoveta realizado con el B/C Abate Molina en agosto-septiembre durante el período de veda reproductiva.

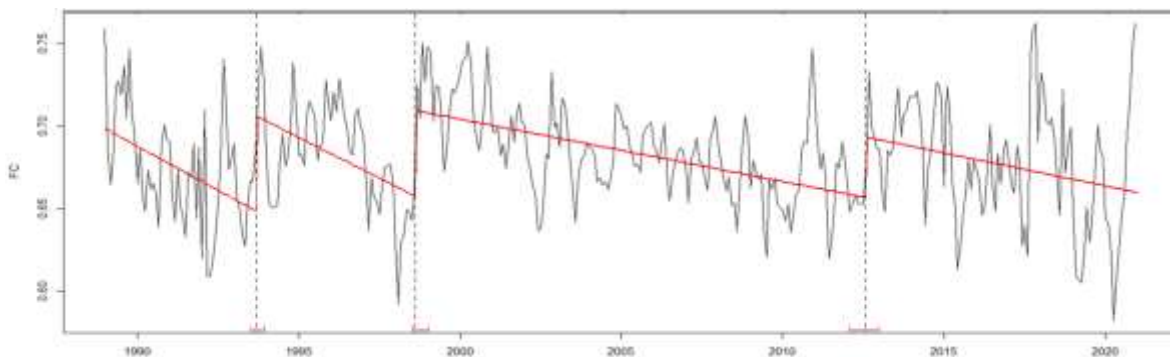


Figura 76. Evolución de la condición corporal (FC) para anchoveta entre 1989 y 2020, puntos de interrupción obtenidos por la función BFAST (línea de puntos negros) y la tendencia variable (línea roja).

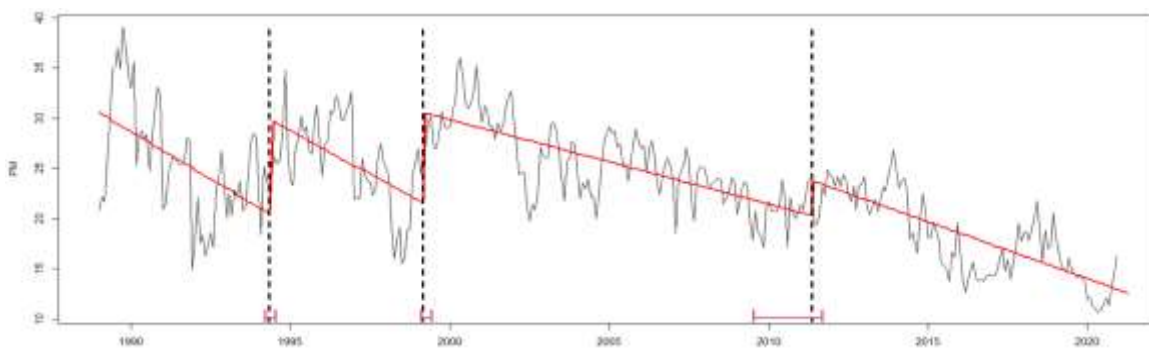


Figura 77. Evolución del peso medio (g) para anchoveta entre 1989 y 2020, puntos de interrupción obtenidos por la función BFAST (línea de puntos negros) y la tendencia variable (línea roja).

7) Edad de los ejemplares de anchoveta en la zona norte

La reducción de la talla media y su impacto principalmente en el proceso reproductivo, plantea la necesidad de identificar los factores que han gatillado y conducen estos cambios demográficos de la población. Una de las hipótesis con mayor aceptación entre los investigadores, dice relación con cambios en el hábitat asociados con una menor abundancia, composición (fitoplancton y zooplancton) y tamaño del alimento, cuyo efecto es modulado por el crecimiento, el cual podría haber disminuido



en alguna etapa de desarrollo ontogenético de la anchoveta. En este sentido, el 2020 se analizó el crecimiento de ejemplares juveniles y adultos. Los resultados que se entregan a continuación son parte de un subcontrato ejecutado por la Escuela de Ciencias del Mar (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) y el informe completo se entrega en el **Anexo 6**.

a) Variables de tamaño del otolito derivadas del análisis micro-estructural

Un primer hallazgo notorio al examinar la micro-estructura de ejemplares <14,0 cm de la anchoveta de las zonas de Arica, Iquique y Mejillones, fue la ocurrencia de una cantidad considerable de otolitos que evidenciaron alternancia de bandas de crecimiento opacas y hialinas a nivel macro-estructural bastante distintivas. En estos otolitos los micro-incrementos fueron resolubles (identificables) en la región opaca nuclear, tornándose mucho menos resolubles en la mayoría de las regiones hialinas. Para evaluar el alcance de este primer hallazgo sorpresivo se optó por analizar primero la macro-estructura con el fin de identificar patrones de depósito macro-estructural y su correspondencia a nivel micro-estructural. Para ello, se analizaron principalmente las zonas de transición y los bordes de los otolitos, en muestras embebidas en resina, pero sin ser pulidas, para evitar la aparición de perturbaciones por efecto de la técnica, especialmente en zonas hialinizadas.

Se identificaron los siguientes 6 tipos de depósitos macro y micro-estructurales:

Otolito completamente opaco (CO): se caracterizan por ser opacos y a nivel micro-estructural los incrementos muestran una elevada resolución, con un primordio marcado y anillos finos cercanos al núcleo, que se ensanchan rápidamente hasta alcanzar los grosores máximos entre los 50 y 60 días (**Figura 78 a-d**). Posteriormente los anillos comienzan a disminuir progresivamente su grosor hasta el final de la zona opaca en algunos ejemplares (**Figura 78 c**) y en otros casos el grosor se mantiene estable (**Figura 78**). Hacia el borde anterior y posterior es factible encontrar regiones de crecimiento sub-diario que se intensifica cuando hay un sobre-pulido.

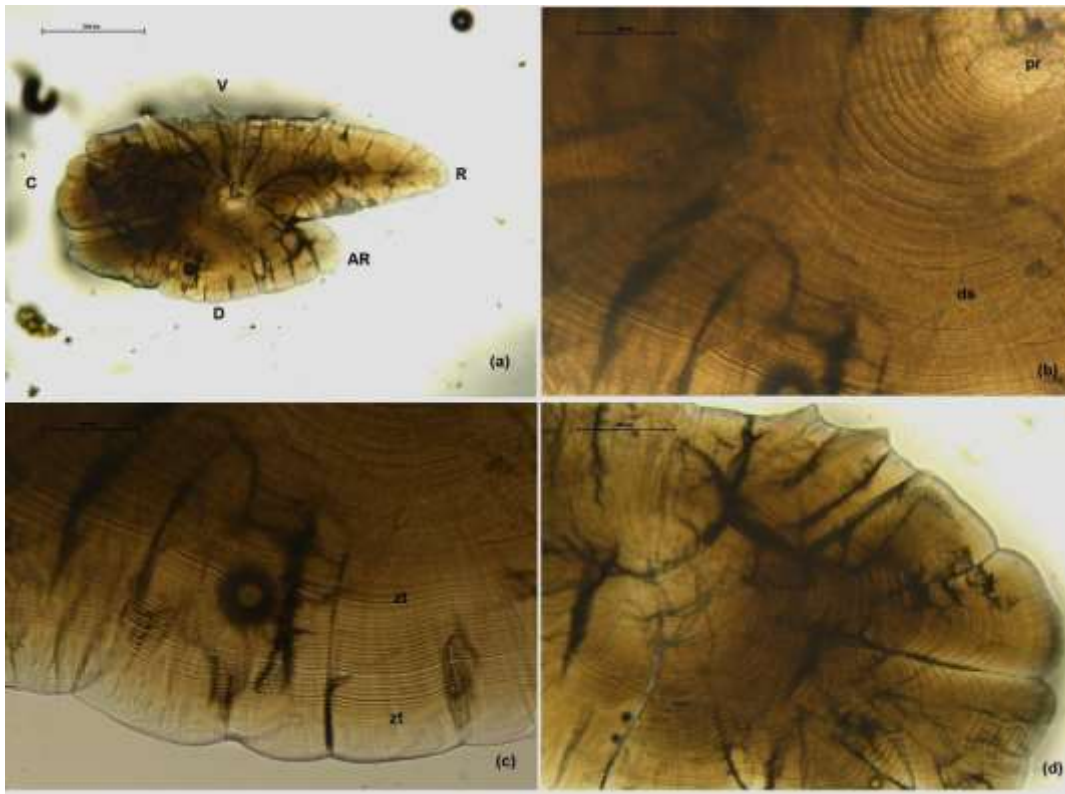


Figura 78. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos CO de ejemplares de 9,5 cm (a, b y c) y 9 cm (d) de LT de *Engraulis ringens*, recolectados en la zona norte de Chile, durante el 2020. Zt: zonas de transición; V: ventral; R: rostrum; C: caudal; D: dorsal.

Núcleo opaco y borde hialino tenue (1HT): este tipo de otolito mantiene la mayoría de las características del otolito CO, pero se caracteriza por presentar bordes hialinos tenues en las regiones dorsales y ventrales y algo más prominentes en la zona anterior y posterior (cauda) de los otolitos (**Figura 79 a y b**). Es común en este tipo de otolitos encontrar un cambio de fase sustantiva, con una disminución en el grosor y resolución de los micro-incrementos en la fase hialina hacia la periferia.



Figura 79. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo HT de un ejemplar de 12,5 cm de LT (1,76 mm de radio caudal) de *Engraulis ringens*, recolectado en la zona norte de Chile, durante el 2020. dt: discontinuidad evidenciando un cambio de fase de depósito opaco hialino e la región posterior (recuadro negro).

Núcleo opaco y borde hialino ancho (1HA): los bordes hialinos aparecen bien definidos en toda la periferia de los otolitos, hasta alcanzar dimensiones de aproximadamente 1/3 de la región opaca depositada en la zona nuclear. La micro-estructura en la región nuclear opaca mantiene su elevada resolución, pero se distingue una transición abrupta, que generalmente se traduce en la existencia de abundantes incrementos muy finos, combinados con perturbaciones, discontinuidades, que se pueden observar incluso en otolitos montados y sin pulir, particularmente en las regiones del cauda, rostro y anti rostro (**Figura 80 a, b y c**), donde a magnificaciones de 100X tienden a ser más resolubles (**Figura 80 c**). En las regiones ventrales y dorsales, se observan agregados de micro-incrementos fusionados sobre todo en la parte periférica. En ocasiones se pueden distinguir zonas micro-estructurales difusas, donde nos evidencias micro-incrementos, incluso a mayores magnificaciones.

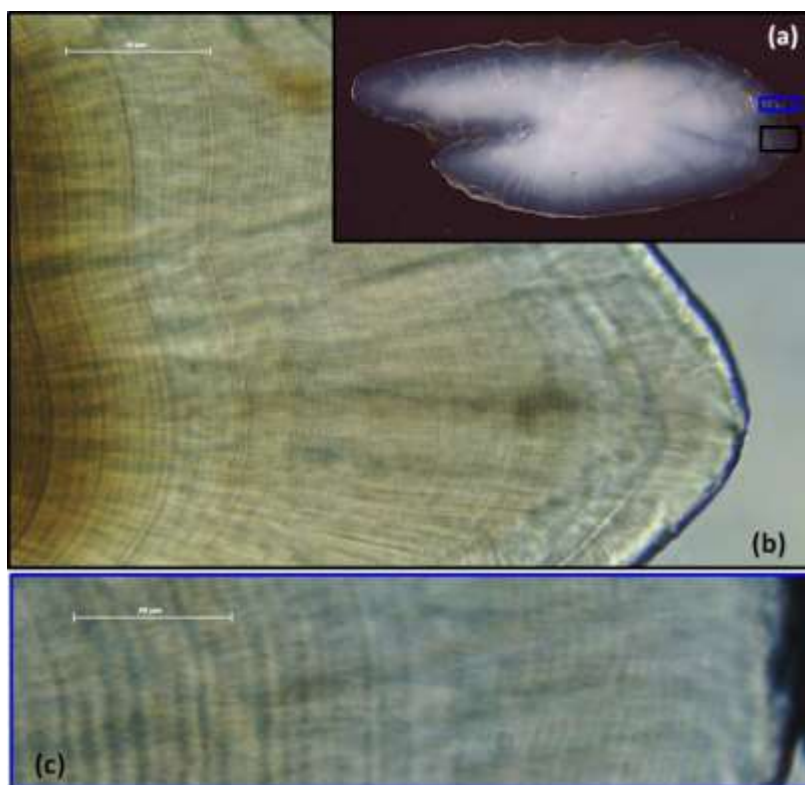


Figura 80. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo HT de un ejemplar de 9,5 cm de LT (1,86 mm de radio caudal; a), evidenciado un cambio evidente de fase, de depósito opaco a hialino y presencia de una zona difusa (dz) en la región posterior (b) (recuadros negro y azul). (c) Fotografía a 100X (inmersión) de magnificación.

Núcleo opaco y zona de transición ancha (ZTA): este tipo de otolito se caracteriza por presentar un núcleo opaco relativamente pequeño, circundado por una vasta región de crecimiento intermedio (opaco-hialino), que puede llegar hasta la periferia de los otolitos o dar inicio a un borde hialino tenue. En ocasiones en los otolitos ZTA, es factible observar alternancia de varias bandas opacas y hialinas de menor grosor, que aparecen muy distintivas nivel macro-estructural (**Figura 81 c**). A nivel micro-estructural toda la región de transición muestra una secuencia de micro-incrementos más finos que en la zona opaca nuclear. En ocasiones estos anillos se funden para dar origen a cúmulos de micro-incrementos (**Figura 81 a**).

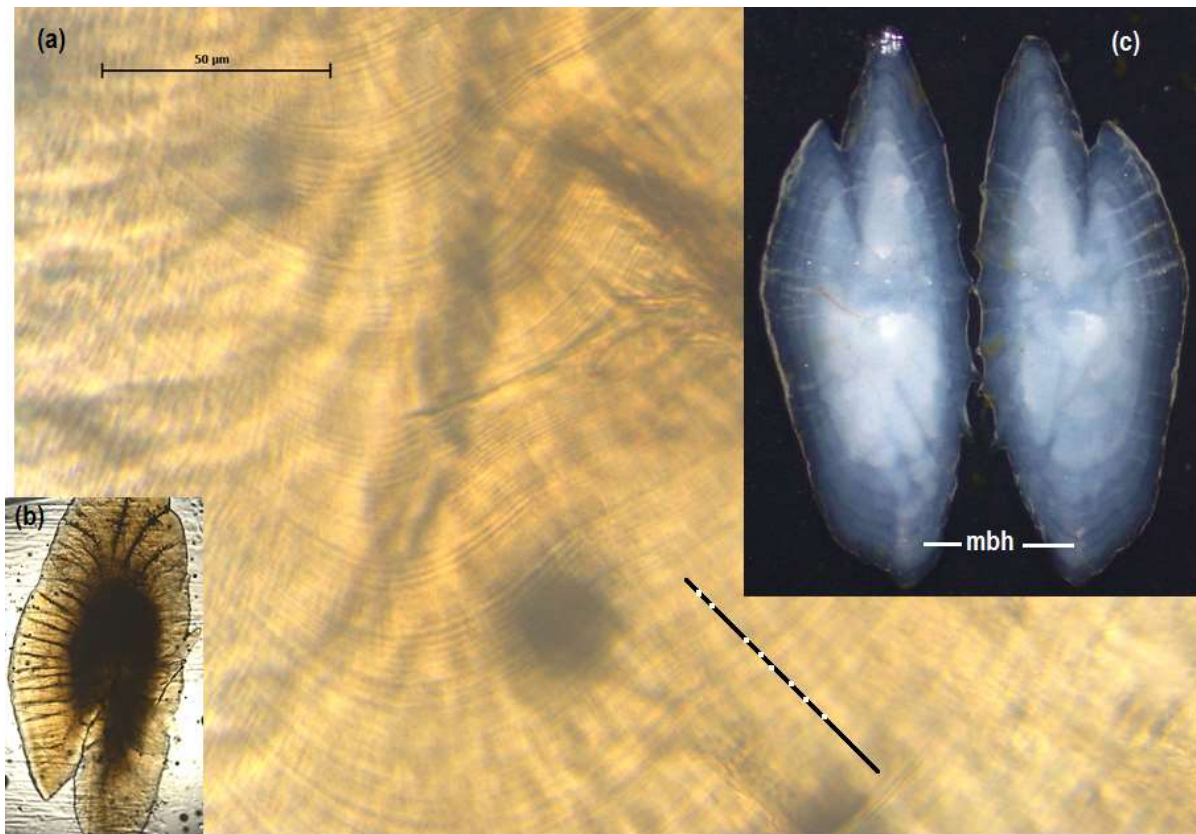


Figura 81. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo ZTA de un ejemplar de 12 cm de LT (6b; 1,62 de radio caudal) y de 12 cm (1,82 mm de RC; c). La línea recta ilustra la presencia de potenciales cúmulos de micro-incrementos. Mbh: bandas hialinas múltiples. Las secciones no han sido pulidas.

Núcleo opaco con 2 bandas hialinas (2H): en este tipo de otolitos es posible distinguir dos zonas hialinas claramente distinguibles, separadas por un depósito opaco, que en la mayoría de los casos es de menor extensión (**Figura 82 a-f**). A nivel micro-estructural sólo es factible observar secuencias de micro-incrementos muy finos hacia el rostro y el cauda, aunque es común que la secuencia sea interrumpida por la ocurrencia de micro-incrementos más gruesos e irregulares, combinado con existencia de perturbaciones en la micro-estructura y discontinuidades. Los micro-incrementos en la región opaca de transición son resolubles, pero también son interrumpidas ocasionalmente por zonas difusas y/o hialinizadas.

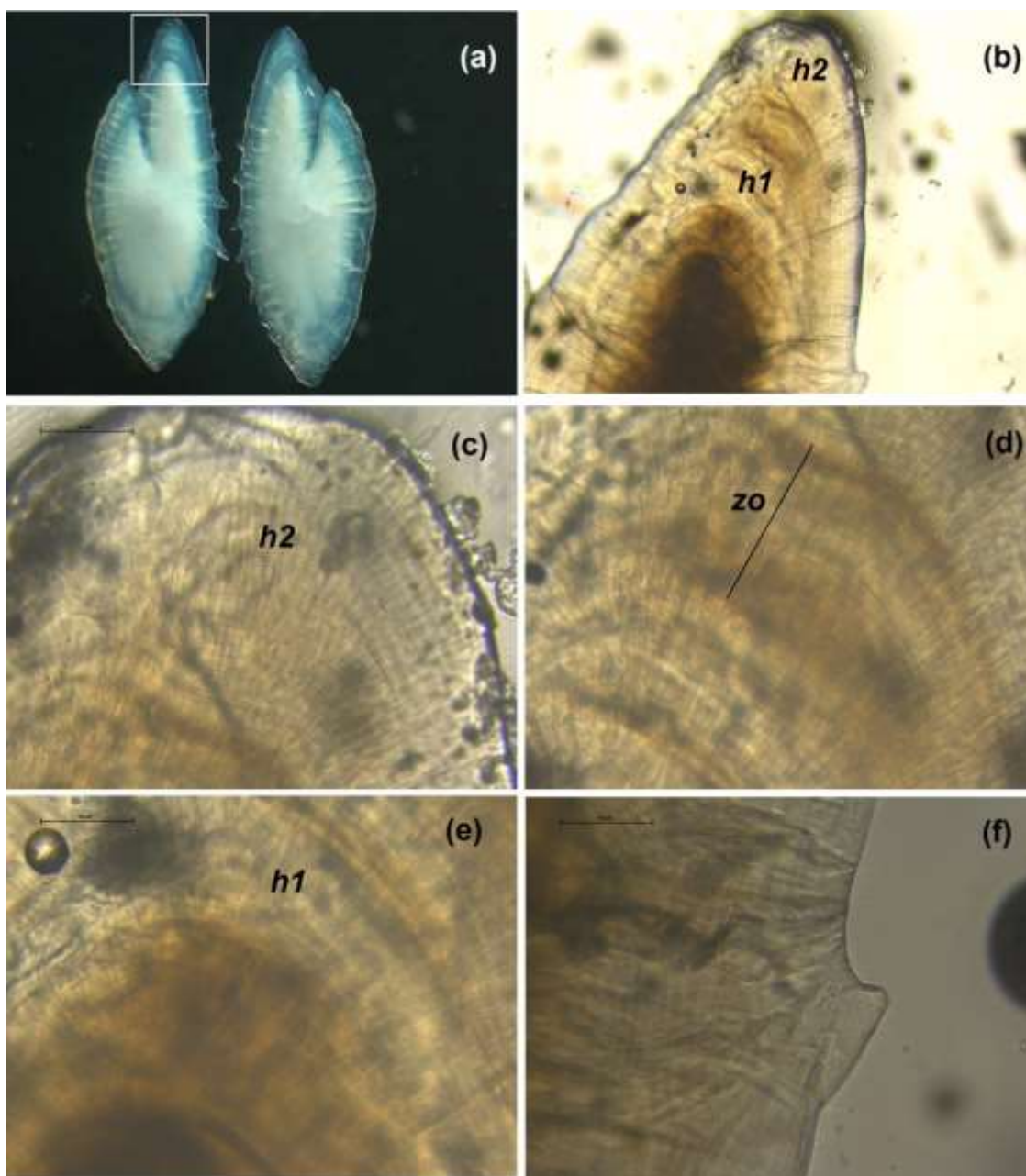


Figura 82. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo 2H, de un ejemplar de 13 cm de LT (1,87 mm de radio caudal), ilustrando los cambios de fases entre regiones opacas y hialinas (h1 & h2) (b, c, d & e). (f) Correspondencia micro-estructural de un área de la región dorsal del otolito. Las secciones no han sido pulidas.

Núcleo opaco con 3 bandas hialinas (3H): en este tipo de otolitos, es factible distinguir tres zonas hialinas claramente distinguibles, separadas por dos depósitos opacos intermedios (**Figura 83 a**). En estos otolitos la micro-estructura en las zonas hialinas y opacas de la periferia es resoluble con una suave preparación, evitando sobre pulir el eje medio, debido a la mayor convexidad de la estructura. Las zonas hialinas y opacas son distinguibles con mayor claridad a 100X de magnificación (inmersión),

donde se parecía una secuencia de micro-incrementos muy finos, interrumpidos por discontinuidades y zonas difusas, exceptuando la zona hialina del borde que en ocasiones puede observarse con mayor nitidez, en el borde del cauda o en el rostro (Figura 83 d y e).

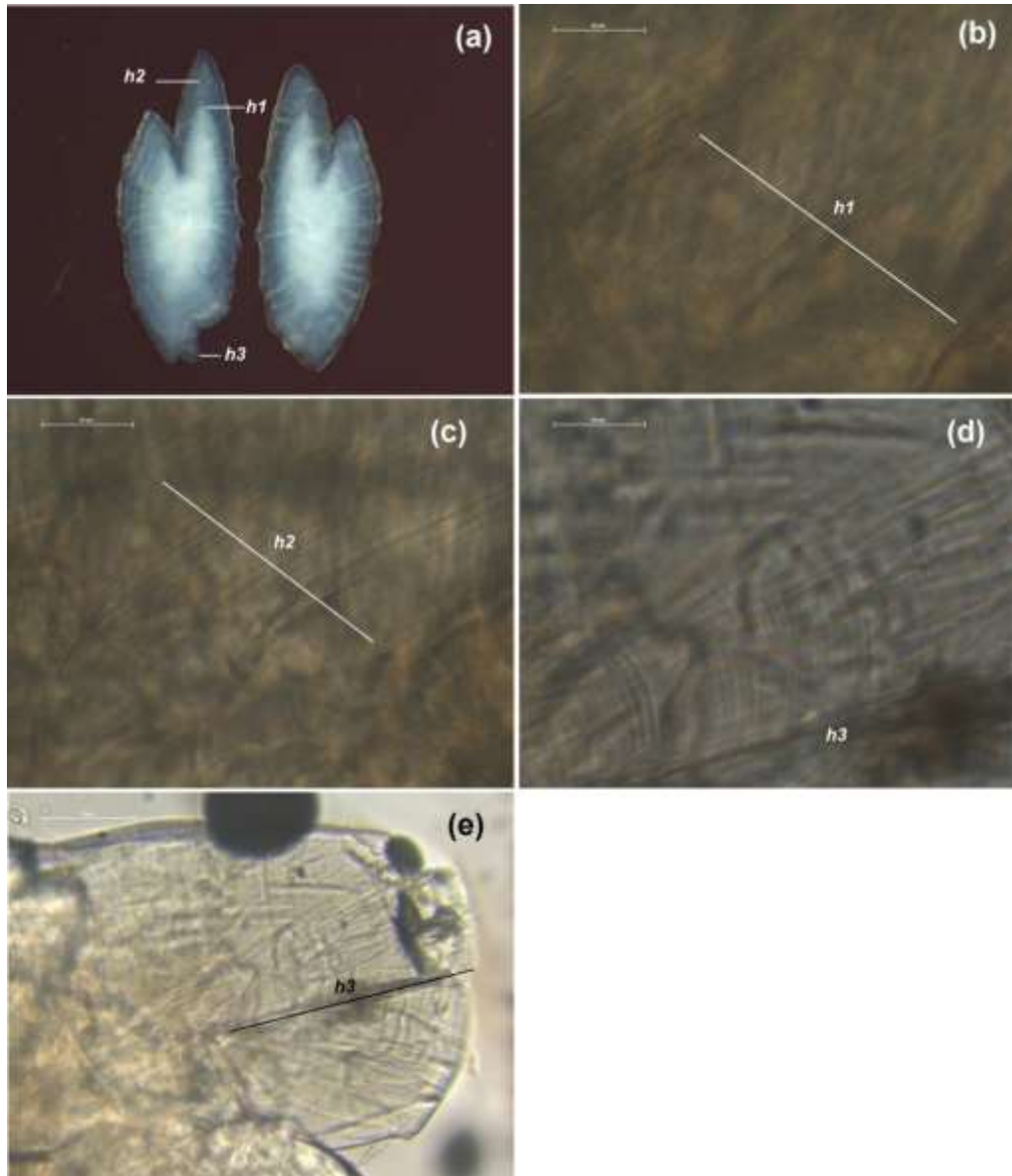


Figura 83. Fotografías bajo luz transmitida de análisis micro-estructural de otolitos tipo 3H, de un ejemplar de 10,5 cm de LT y 1,74 mm de radio caudal, ilustrando los cambios de fases entre regiones opacas y hialinas (h1-h3) (a, b, c & d) a 100X de magnificación. (f) Correspondencia micro-estructural de un área de la región del cauda a una magnificación menor.



La **Tabla 12** resume el diagnóstico que se ha realizado hasta la fecha en un total de 868 otolitos sagitales para ejemplares entre 8 y 14,5 cm de LT de la anchoveta en la zona norte, donde es factible evidenciar que independiente de le estado ontogenético (i.e., juvenil vs adulto) es factible encontrar los 6 tipos de depósitos macro-estructurales, aunque las primeras 4 categorías representaron el 68 y 80% para juveniles y adultos, respectivamente. Es importante destacar también que el tipo de otolitos mayoritariamente opacos en ejemplares > 12 cm LT, sólo representaron el 24%.

Tabla 12. Frecuencia de ocurrencia de 6 tipos de depósitos macro-estructurales en otolitos sagitales de ejemplares de anchoveta, recolectados en la zona norte de Chile, entre abril y junio del año 2020.

Estado	Zona	CO	1HT	1HA	ZTA	2H	3H	Total
Juveniles	Arica	27	73	56	27	22	5	210
	Iquique	72	202	90	29	23		416
	Total	99	275	146	56	45	5	626
Adultos	Arica	2	16	59	23	20	3	123
	Iquique		28	48	4	17	4	101
	Mejillones		11	3		1	3	18
	Total	2	55	110	27	38	10	242

Cuando se analizó la ocurrencia de estos tipos de depósitos macro y micro-estructurales, en función de la longitud de los ejemplares recolectados, fue factible evidenciar un patrón curvilíneo, donde el tipo CO, estuvo asociado mayoritariamente a juveniles < 12 cm y con los otolitos más hialinizados alcanzando un plateau (**Figura 84**), característica que fue también evidente cuando la información fue combinada (**Figura 85**). La excepción fueron los ejemplares que presentaron tres zonas hialinas distintivas, que tuvieron longitudes significativamente mayores, aunque los tamaños de muestra en este grupo fueron marcadamente inferiores.

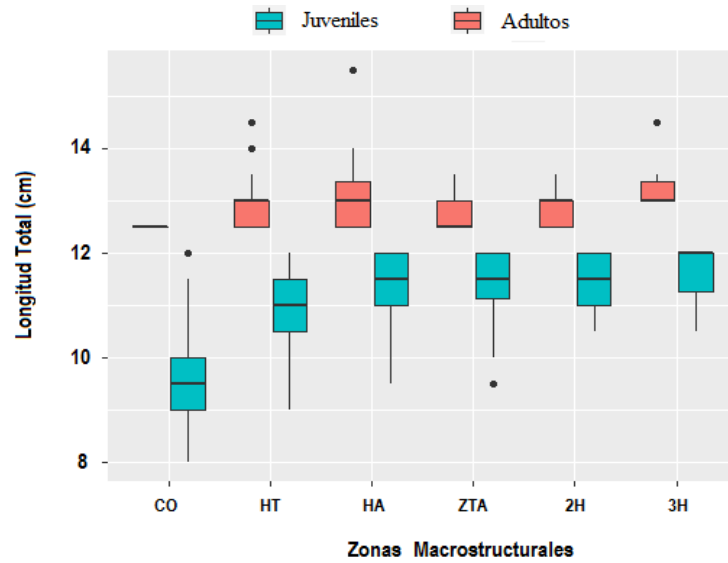


Figura 84. Ilustración de los cambios en las tendencias centrales, magnitudes y rangos del tamaño de los ejemplares de anchoveta, en función de los tipos de depósitos micro y macro-estructurales.

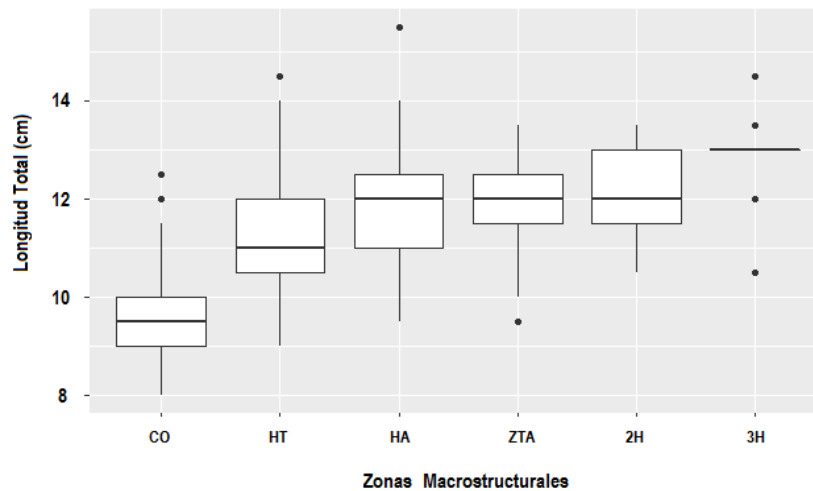


Figura 85. Ilustración de los cambios en las tendencias centrales, magnitudes y rangos del tamaño de los ejemplares de anchoveta, en función de los tipos de depósitos micro y macro-estructurales, con la información combinada.

b) Determinación de edad en otolitos tipo CO y HT

Frecuencias de edades y longitudes

En base a los resultados derivados de los tipos de depósitos macro y micro-estructurales, la determinación de edad a nivel diario, sólo se focalizó en los otolitos CO y HT y esporádicamente en aquellos otolitos HA y ZTA que tuvieron una elevada resolución de los micro-incrementos. Después del proceso de preparación, un total de 152 secciones (101 juveniles y 51 adultos) presentaron una resolución adecuada para determinación de edad. Todos los ejemplares datados tuvieron edad < 250 días, donde los juveniles < 12 cm LT ($10,26 \pm 1,04$; CV=11%) datados fluctuaron entre 77 y 250 días (152 ± 40 ; CV=26%) y los adultos > 12 cm ($12,90 \pm 0,50$; CV=4%) TL fluctuaron entre 113 y 228 días (162 ± 23 ; CV=14%) (**Figura 86 b**). La distribución de fechas de nacimiento retro-calculadas de la fecha de captura y corregidas de acuerdo a Plaza et al. (2019), evidenciaron que los ejemplares provinieron de desoves principalmente de primavera 2019 y verano 2020 (**Figura 86 a**).

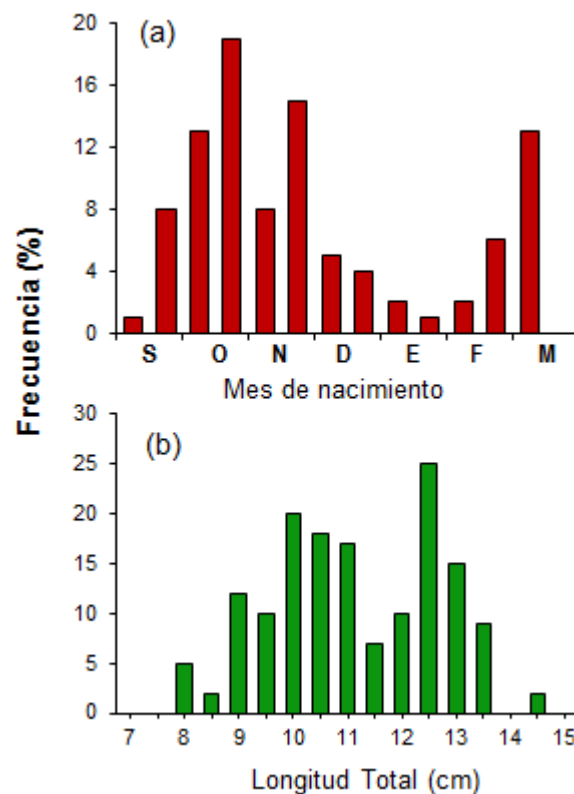


Figura 86. Distribución de frecuencias de fechas de nacimiento(a) y de tallas (b) de 152 ejemplares de la anchoveta, recolectados entre abril y junio del año 2020 en la zona norte de Chile.

Análisis de perfiles de grosores

Para los ejemplares < 12 cm LT fue posible obtener un registro completo del grosor de la secuencia de micro-incrementos desde una marca prominente circundó al primordio a un radio de $5,73 \pm 2,31$ micrones. En general los micro-incrementos fluctuaron entre 0,5 y 36 μm , mostrando un patrón ascendente y descendente marcado antes y después del segundo mes de vida respectivamente, independiente del área geográfica analizada (**Figura 87**). Para establecer si existieron diferencias significativas en el grosor dos MLM, uno para la parte ascendente de la curva, para los primeros dos meses de vida y otros para la parte descendente desde el día 61 hasta el 5 mes de vida. Los MLM evidenciaron diferencias significativas en el grosor en ambos enfoques entre zonas geográficas y con donde el mes de captura se tornó más importante para el período de reducción del crecimiento (**Tabla 13**).

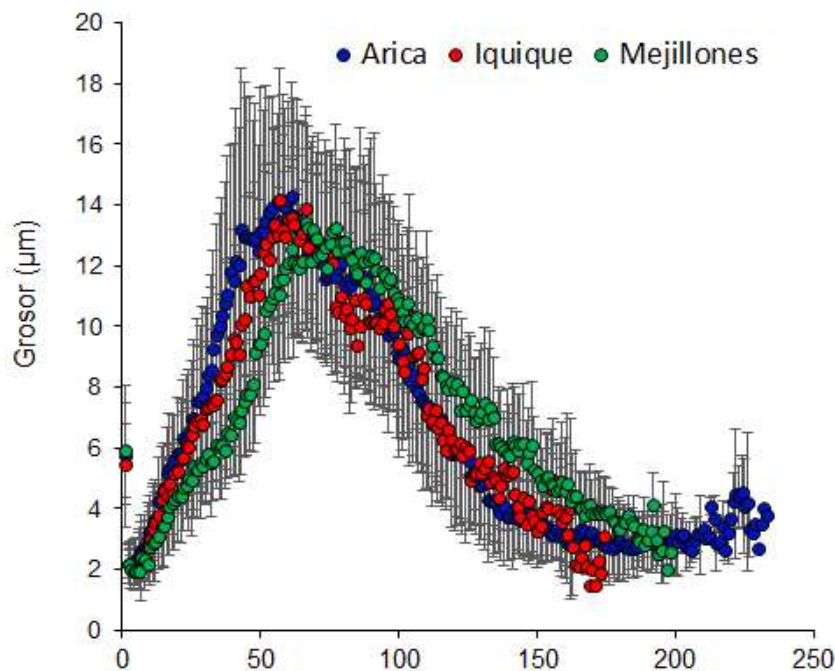


Figura 87. Perfiles de grosor de micro-incrementos diarios de otolitos de ejemplares de la anchoveta de entre 8 y 14,5 cm de LT, recolectados en la zona norte de Chile, entre abril y junio del año 2020, en tres zonas geográficas.



Tabla 13. Resumen de las fuentes de variación y significancia de los Modelos Lineales de efectos Mixtos, ajustados al grosor de los micro-incrementos, medidos a cada edad, por zona y mes de captura de la anchoveta en la zona norte de Chile. Var= Variable; FV=Fuente de variación; SC=Suma de cuadrados; GLn= Grados de libertad del numerador; GLd=Grados de libertad de denominador; **P<0,01; *** P<0,001. Mes_N: Mes de captura.

Intervalo	FV	SC	CM	GLn	GLd	F	P-value	Pr(>F)
1-60 (a)	Zona	131	66	2	98	10,93	0,0001	***
	Mes	6	6	1	98	1,05	0,31	
							2,20E-	
	Edad	77.213	77.213	1	5.782	12.861,27	16	***
		AIC	BIC	LogLik	Desv	GI Resi		
		27.539,8	27.586,6	13.762,9	27.525,8	5.873		
Var	FV	SC	CM	GLn	GLd	F	P-value	Pr(>F)
61-150 (b)	Zona	65	33	2	92	8,42E-03	1,472E-07	***
	Mes	77	77	1	93	8,30E-04	2,2E-16	***
	Edad	57.187	57.187	1	7138	2,2E-16	2,2E-16	***
		AIC	BIC	LogLik	Desv	GI Resi		
		33.842,7	33.890,9	16.914,4	33.828,7	7131		

Relación talla edad

La relación talla-edad de todos los ejemplares combinados a la fecha de captura mostró una elevada variabilidad para el rango de longitud (7,5-14,5 cm LT; CV= 19%) y edad analizada (77-234 días; CV=19%) (**Figura 88**). Debido al estrecho rango de longitud y edad de los ejemplares analizados este enfoque se complementó con información de: (i) 130 pre-reclutas de entre 3 y 5 cm (4,1±0,51) y entre 43 y 83 días (62±10), recolectados a fines de primavera del año 2019; y (ii) 57 larvas, recolectadas durante el invierno de 2019, que fluctuaron entre 2 y 6 mm (4,91±2,4), y entre 3 y 21 días de vida (8±4). La relación talla-edad para toda la información combinada se ajustó significativamente a un modelo Laird-Gompertz (**Tabla 14 a; Figura 88 a**), donde la edad explicó un 98% de la variabilidad en la longitud. Una explicación aún mayor de la variabilidad de longitud fue obtenida cuando se excluyeron los ejemplares de la cohorte de verano que tendieron a tener mayores tallas a una misma edad (**Tabla 14 b; Figura 88 b**). Ambos modelos permitieron estimar tasas de crecimiento absolutas al punto de inflexión de 0,90 mmd⁻¹ y de 0,97 mmd⁻¹, respectivamente.



Tabla 14. Parámetros derivados de ajustes de modelos Laird-Gompertz, a la relación talla-edad de ejemplares, de forma combinada (a) y para la cohorte de invierno y primavera de 2019 (b), para ejemplares de entre 2 y 14,5 cm LT, recolectados en la zona norte de Chile.

Cohorte	Efecto	Coefficiente $\pm$ ES	LCI	LCS	Valor-t	Pr(> t)
Global	L_{∞}	15,271 $\pm$ 0,368	14,546	22,816	41,490	<2e-16
	K	0,0160 $\pm$ 0,001	0,015	0,027	22,190	<2e-16
	X_0	77,115 $\pm$ 2,122	72,936	60,685	36,340	<2e-16
Inv-Pri	L_{∞}	14,250 $\pm$ 0,310	13,643	14,863	45,930	<2e-16
	K	0,019 $\pm$ 0,001	0,017	0,020	20,620	<2e-16
	X_0	69,490 $\pm$ 1,672	66,197	72,772	41,570	<2e-16

Los principales hallazgos del presente estudio revelaron un patrón de depósito macro y micro-estructural con un predominio de depósito de tipo hialino, sobre todo en ejemplares mayores a 11 cm de LT de esta especie en la zona norte de Chile. Este patrón se diferencia del predominio de depósito macro-estructural mayoritariamente opaco, con alternancia de bandas hialina tenues, reportados en el proyecto FIP 2009-17, en la misma área geográfica para ejemplares de entre 8,0 y 17,0 cm. Es importante destacar que estudios posteriores también reportaron un patrón de depósito mayoritariamente opaco, donde la secuencia de micro-incrementos pudo ser distinguidas a lo largo de toda la micro-estructura, al menos en ejemplares < 15,0 cm.

En el presente estudio fue posible identificar 6 tipos de depósitos macro-estructurales con su correspondencia micro-estructural y sus respectivas frecuencias de ocurrencia, donde se pudo constatar que el depósito mayoritariamente opaco sólo representó un 24% en ejemplares > 12,0 cm, para el área de estudio. Para esta fracción fue posible efectuar un estudio de determinación de edad con confiabilidad que reportó tasas de crecimiento absolutas al punto de inflexión, a través de un modelo LG cercanas a 1 mmd⁻¹, cuando la información se complementó con datos de edad y longitud para larvas y pre-reclutas de la misma zona de estudio.

El análisis de los perfiles de grosores, derivados de otolitos mayoritariamente CO y HT, confirman los hallazgos previos reportados para esta especie, donde la mayor variabilidad de crecimiento diario se produce en los primeros 3 meses de vida, maximizándose entre el primero y segundo mes, para posteriormente decaer de forma gradual. Se confirma también que hay un componente cohorte-específico que está impactando la variabilidad del crecimiento, conjuntamente con el componente espacial, presumiblemente vinculado a la gran extensión de la época de desove, que genera múltiples cohortes que son impactadas por forzantes ambientales en épocas distintas.

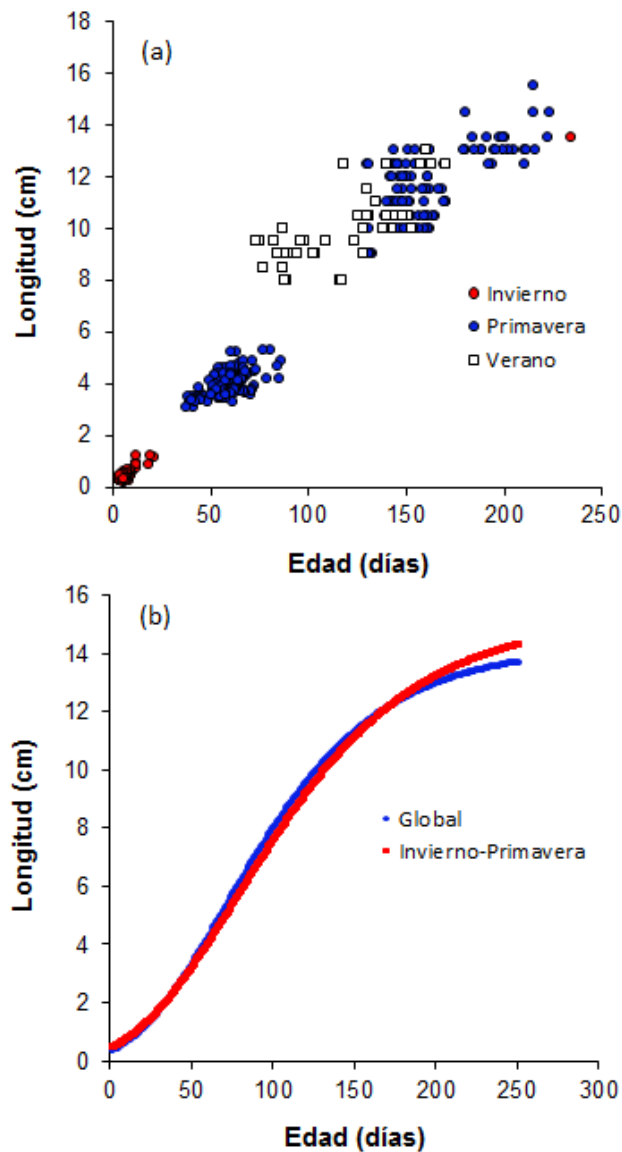


Figura 88. . Relaciones talla-edad a la fecha de captura (a) y predichas con modelos Laird-Gompertz (b), para ejemplares de entre 2 y 14 cm de LT de la anchoveta, recolectados en la zona norte de Chile. Los parámetros del ajuste se indican en la Tabla 5.

Los resultados del análisis de la micro-estructura de otolitos demostró que ninguno de los ejemplares analizados menores a 14,0 cm con otolitos opaco y tenuemente hialinos en sus bordes, tuvo edades superiores a 250 días. Estos resultados confirman que el crecimiento rápido de la especie en la fracción juvenil, asociada principalmente a un patrón de depósito opaco. Sin embargo, no fue posible datar a nivel diario una fracción importante de otolitos más hialinizados, debido a la gran inestabilidad en el patrón de depósito de los micro-incrementos, que ocurrieron principalmente en un rango de entre 10,0 y 14,0 cm. En base a estos hallazgos es razonable inferir que la ocurrencia de una gran cantidad de micro-incrementos finos y aumento de la hialinización, sea el resultado de una reducción del



crecimiento. Alternativamente estos ejemplares con otolitos altamente hialinizados podrían corresponder a un componente poblacional con una huella micro-estructural distinta a lo tradicionalmente observado en la zona de estudio para esta especie.

A la luz de los resultados obtenidos sería recomendable avanzar en las siguientes acciones en el corto plazo:

- I. Realizar un análisis comparativo de la micro-estructura de los otolitos de los tres pares de otolitos (sagitas, lapillus & asteriscus) en una muestra menor, donde sea posible identificar los patrones de depósitos macro-estructurales reportados. Al tener el Lapillus y Asteriscus un tamaño considerablemente menor, es muy factible esperar que exista una menor perturbación en el patrón micro-estructural, lo que puede ser útil para dilucidar la naturaleza de los micro-incrementos finos visibles en los otolitos sagitales más hialinizados.
- II. Iniciar un registro permanente de digitalización de los otolitos sagitales que se recolectan a través de los procesos de monitoreo. Esto permitiría registrar los cambios en la ocurrencia de los tipos de otolitos y su potencial relación con la época de desove y la estacionalidad. De esta forma se podría evaluar si el proceso de mayor hialinización observado en presente estudio correspondió a un evento aislado o responde a una gradualidad, presumiblemente vinculado a factores extrínsecos o intrínsecos. Este mismo proceso de digitalización podría permitir abordar también un análisis de tipo de borde y/o de incremento marginal, con la intención de validar el tiempo de formación de estas bandas opacas y hialinas, que al menos en el presente estudio aparecieron muy distintivas.
- III. Un registro digital secuencial de otolitos puede otorgar la base para la búsqueda de indicadores macroscópicos del otolito, como por ejemplo ciertos rasgos morfométricos, presumiblemente asociados a procesos biológicos de esta especie, como por ejemplo el ángulo de cierre entre el rostro y anti-rostro, dimensiones del núcleo opaco y/u otros indicadores, que podrían otorgar interesantes insumos para comprender la dinámica crecimiento-reproducción en esta especie. Adicionalmente un registro digitalizado de los otolitos puede ser muy importante para avanzar en la elaboración de colecciones de referencia.

8) Principales ítems alimentarios de la anchoveta (Anexo 7)

Se analizaron un total de 1.228 ejemplares de anchovetas de distintos tamaños donde en la Zona 1 y Zona 2 concentraron la mayor cantidad de ejemplares. En el área de pesca los estómagos de anchoveta presentaron un 55% con algún tipo de contenido estomacal, lo cual fue 12% mayor que el periodo anterior (2018/2019), como también en los grupos de tamaños, con un 41% de estómagos con contenido. Cabe destacar, que estos estudios han sido exitosos, siendo el mayor esfuerzo de toma de muestras para analizar la trofodinámica de la anchoveta en la zona norte.



Importancia de las presas: Los estómagos de anchovetas presentaron un patrón similar en número y frecuencia de ocurrencia. En las zonas de pesca, los copépodos, seguido de las salpas fueron el mayor aporte en número y frecuencia de la dieta (**Figura 89**), mientras en las distintas fases de desarrollo ontogenético (pre-reclutas, reclutas y adultos), dominan las larvas y restos de plásticos (**Figura 90**). Se observó una diferencia significativa en la dieta de anchoveta por zona (método bayesiano) (PERMANOVA; $F=8,279$, $p<0,01$) (**Figura 91**). Cabe destacar, que los copépodos fueron las presas de mayor importancia en todas las zonas, los cuales sin embargo variaron en número y frecuencia. Por fase de desarrollo, se evidenció un patrón similar en los pre-reclutas, reclutas y adultos, recayendo la importancia en las mismas especies de presas, sin embargo, el análisis estadístico, comprobó una diferencia significativa entre los pre-reclutas y adultos (PERMANOVA; $F=12,14$; $p<0,01$) (**Figura 92**).

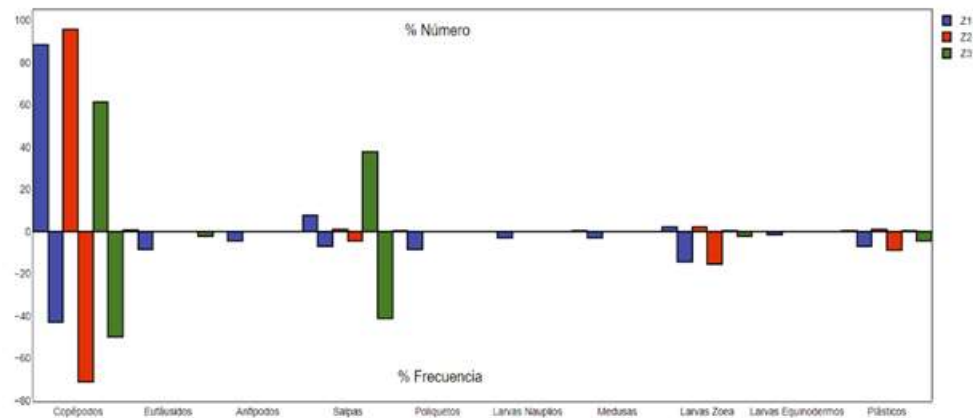


Figura 89. Relación del porcentaje en número y frecuencia de ocurrencia en las distintas zonas de pesca en la temporada 2019-2020.

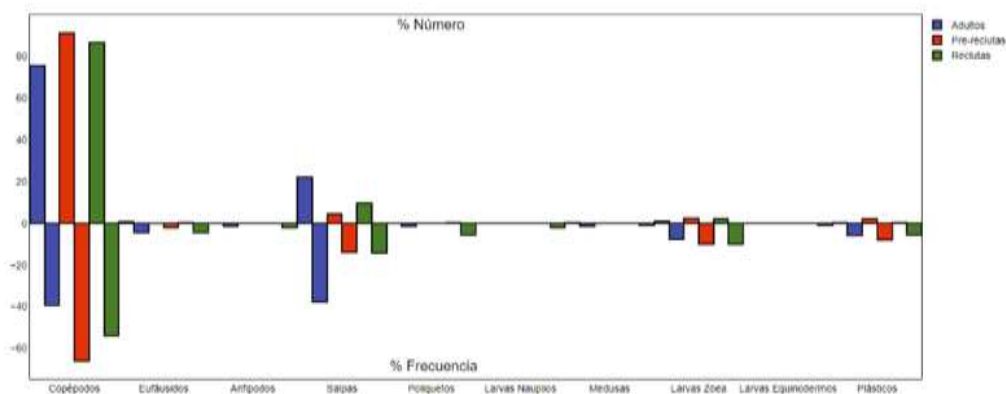


Figura 90. Relación del porcentaje en número y frecuencia de ocurrencia en los distintos rangos de talla en la temporada 2019-2020.

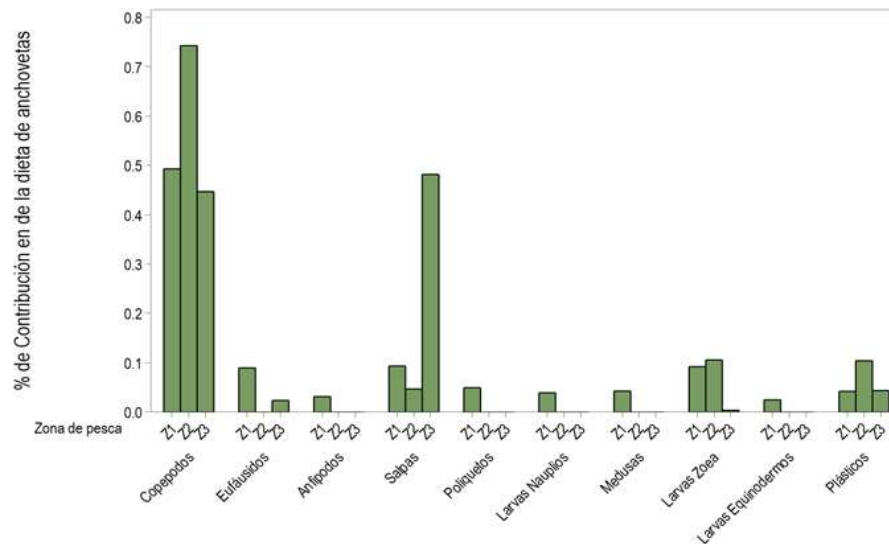


Figura 91. Resumen de la modelación Bayesiana en los análisis estomacales por las distintas zonas de pesca en la temporada 2019-2020.

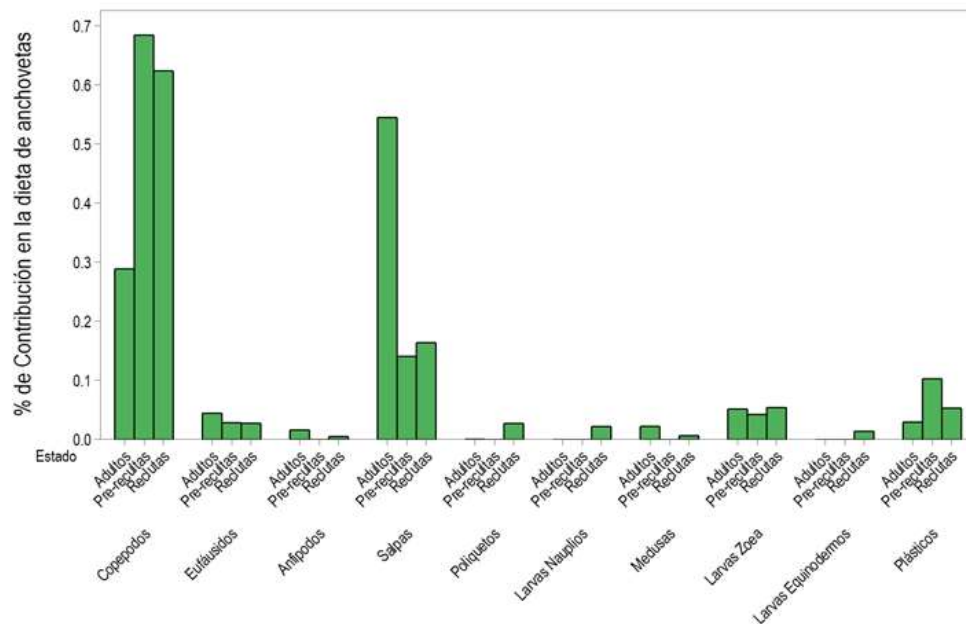


Figura 92. Resumen de la modelación bayesiana en los análisis estomacales entre los distintos estados de madurez en la temporada 2019-2020.

Relación entre las presas y el volumen estomacal de las anchovetas: Existieron dos aproximaciones a las relaciones tróficas, por un lado, la fase pre-reclutas/reclutas y por otro, reclutas/adultos. En el primer caso, la H_0 en el test de Wilk's fue aceptada, por lo tanto, existe una tendencia entre el tamaño de las anchovetas versus el número de presas (ANCOVA; $F=20,18$; $p<0,001$), mientras que el modelo general lineado, mostró una tendencia al incremento (GLM; $S=118,52$; $R-sq=32,38\%$). En la segunda



aserción, fue rechazada la H_0 , puesto que no existe una relación entre las zonas de pesca y el número de presas (ANCOVA; $F=1,29$; $p=0,132$), el cual fue ratificado por el modelo general lineado (GLM; $S=91,42$; $R\text{-sq}=7,05\%$). Se encontró diferencias significativas entre las temporadas 2018/2019 y 2019/2020 (PERMANOVA; $F=8,279$, $p<0,01$), principalmente por el mayor aporte de copépodos y salpas en la presente temporada de pesca, como también la nula presencia de escamas de peces

Se analizaron 600 anchovetas en término de valores isotópicos las que mostraron una media de $-17,65 \pm 1,2$ de $\delta^{13}C$, mientras que para el $\delta^{15}N$ $10,42 \pm 2,61$. Las presas putativas como fitoplancton y la agrupación general del zooplancton mostraron valores homogéneos de $\delta^{13}C \sim -20,00$ y para el $\delta^{15}N$ una marcada variabilidad. Como por ejemplo la fracción vegetal, magnitudes de $2,44 \pm 3,55$, y en el otro extremo, las salpas con $22,38 \pm 1$. Para las anchovetas pre-reclutas el valor medio de $\delta^{13}C$ fue de $-17,49 \pm 0,84\%$, mientras que el $\delta^{15}N$ fue de $7,72 \pm 1,48\%$. Los reclutas presentaron un valor medio de $\delta^{13}C$ de $-17,81 \pm 1,31\%$, y de $\delta^{15}N$ fue de $10,03 \pm 1,31\%$. Mientras que los adultos de anchovetas el $\delta^{13}C$ de $-17,39 \pm 1,10\%$, y de $\delta^{15}N$ fue de $11,91 \pm 1,40\%$. Se evidenció valores enriquecidos de $\delta^{15}N$, lo que hace inferir que las anchovetas analizadas tienen una diferenciación en sus valores de nitrógeno (ANOVA; $F=57,38$; $p<0,01$). Este contraste isotópico, fue principalmente entre adultos y pre-reclutas, cual se hace inferir que los pre-reclutas presentaron una alimentación más enriquecida y cercana a la costa que los adultos, lo cual podría estar reflejando la influencia del NO^3 derivado de la surgencia característica de la zona norte del país.

Diferencias isotópicas de anchovetas en las zonas de pesca evidenciaron que si existieron diferencias en los valores de $\delta^{15}N$ - $\delta^{13}C$ latitudinalmente (PERMANOVA; $F=42,48$; $p<0,001$). Pues bien, en términos de $\delta^{15}N$, a medida que aumenta la latitud, las anchovetas tienden a enriquecerse. Inverso al $\delta^{15}N$, el $\delta^{13}C$ de las anchovetas mostró un empobrecimiento en sus valores. Al parecer, las anchovetas que fueron pescadas en Z1 realizan sus actividades más cerca a una zona pelágica, mientras que las de más al sur tienden a realizar su alimentación en zonas costeras. Para mayor información el informe final se entrega en el **Anexo 8**.

5.2.5 Recurso sardina española

1) Capturas

Los indicadores pesqueros para sardina española, muestran un periodo con altas capturas entre los años 1980 y 1993, operación realizada principalmente por la flota industrial. Al término de la fase cálida en el año 2000 las capturas declinan de 35 mil t a menos de 31 t el 2008 (**Figura 37**). Entre el 2009 y 2013 solo se registraron capturas de 1 y 5 t los años 2010 y 2013, respectivamente. Posterior al 2014 las capturas fluctuaron entre 2 a 1.980 t (2020).

A partir del 2001 las escasas capturas de sardina se concentran en la zona norte y extraídas principalmente por la flota industrial, destacando que en el año 2020 las mayores capturas de esta especie fueron realizadas por la flota artesanal, en tanto en la zona centro norte se extraen principalmente por la flota artesanal (**Figura 93**). Las escasas capturas de sardina española no permiten distinguir un patrón estacional (**Figura 94**).

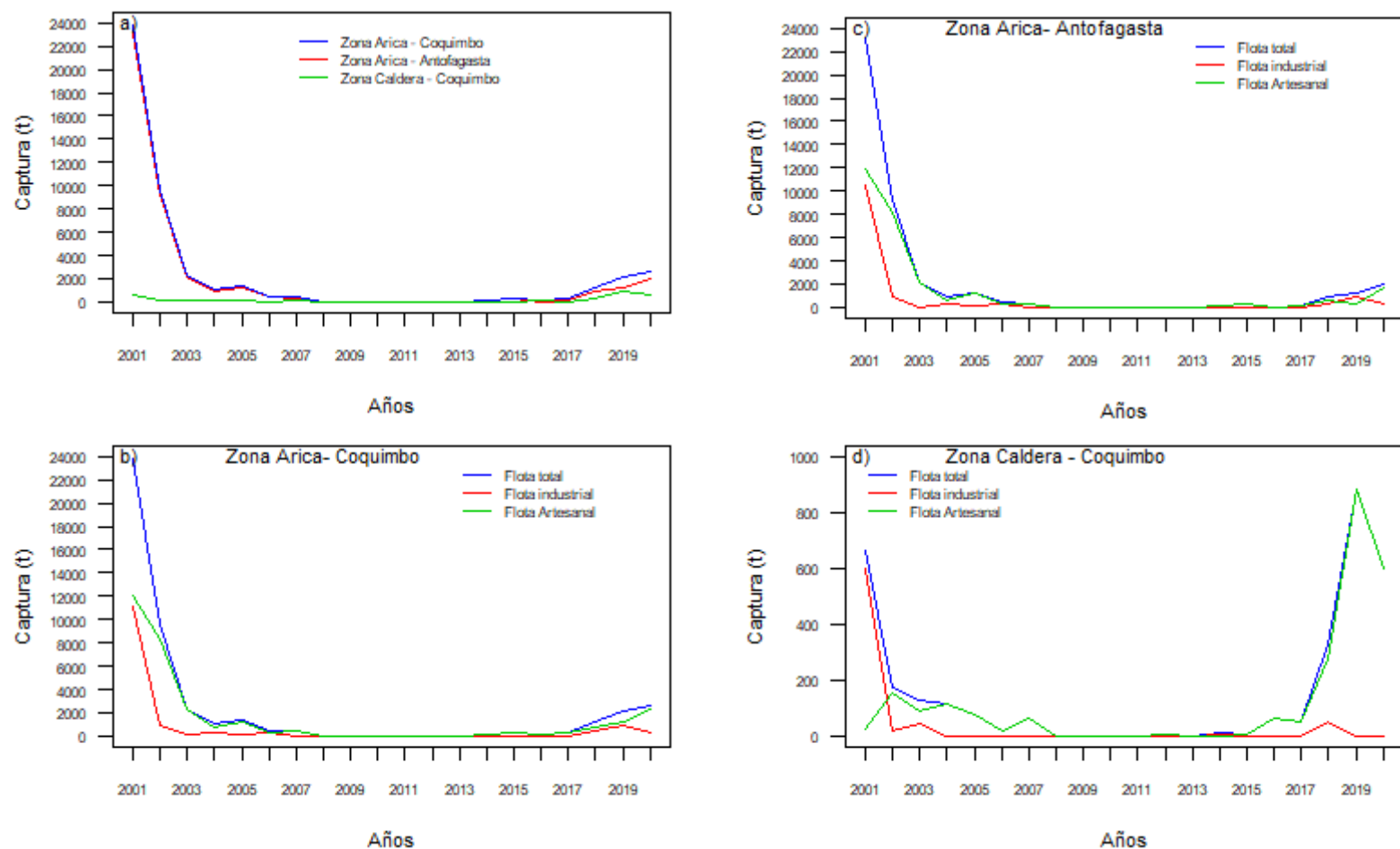


Figura 93. Evolución de las capturas anuales de sardina española en el período 2001-2020 en el área de estudio. **a)** Capturas por zona; **b)** capturas por flota; **c)** captura por flota, zona Arica-Antofagasta y **d)** captura por flota, zona Caldera-Coquimbo.

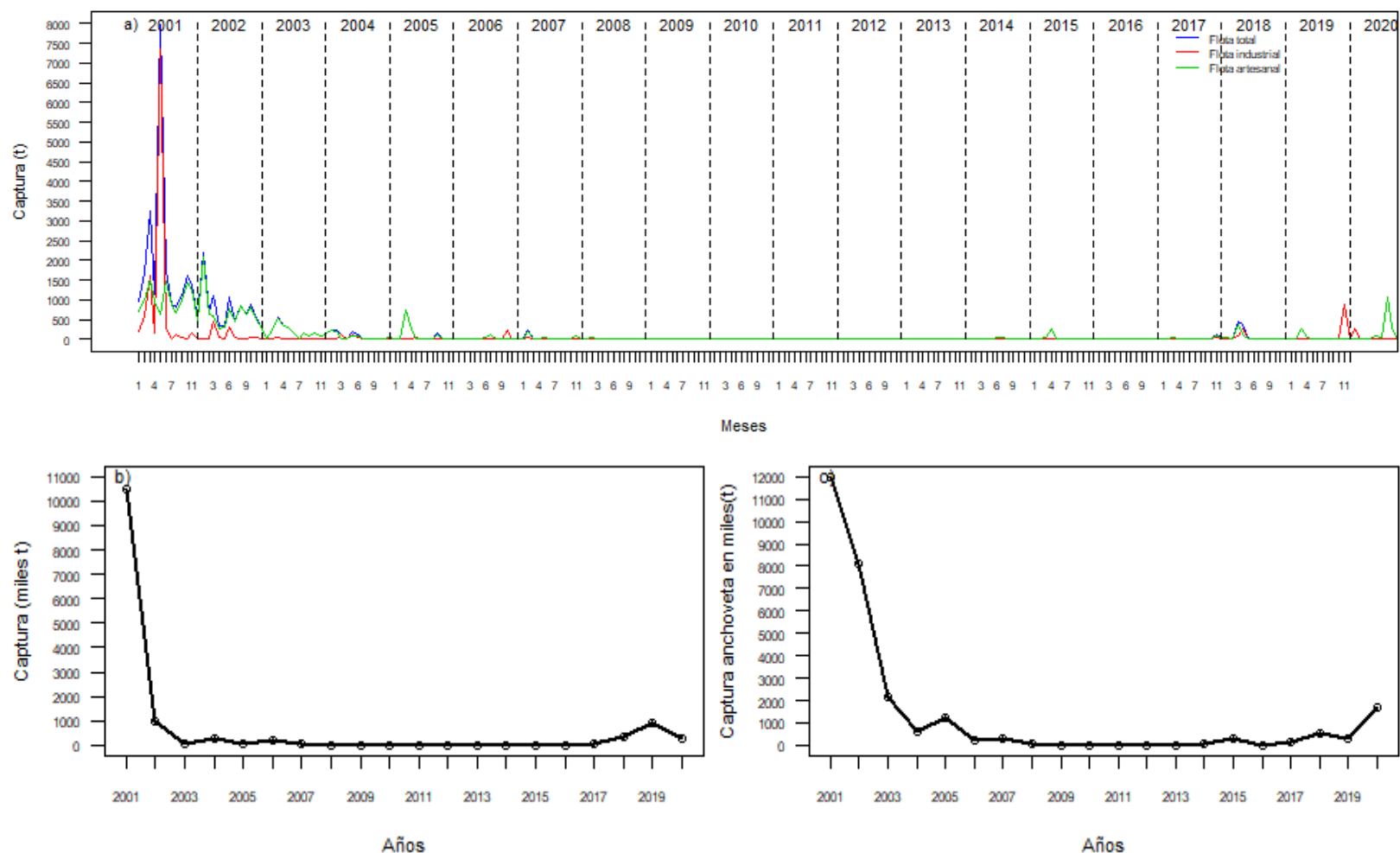


Figura 94. Evolución de las capturas de sardina española en la zona norte en el período 2001-2020. **a)** Capturas mensuales por flota; **b)** capturas anuales de la flota industrial y **c)** capturas anuales de la flota artesanal.



2) Distribución espacial de las capturas

La distribución espacial de la sardina española en la zona norte, muestra altas capturas principalmente en áreas alejadas de la costa hasta el año 1993, posteriormente se observa una distribución más costera y al sur de Iquique. El año 2018 las capturas se reportan al sur de Iquique y solo durante marzo y abril (**Tabla 15, Figura 96**).

Con respecto a distribución costa océano, entre 1986 y 1991 se destaca una distribución fuera de las 20 millas, posteriormente la sardina comienza a desplazarse hasta áreas más cercanas a la costa mostrando una concentración principalmente costera entre 2000 y 2007. Las escasas capturas reportadas entre 2014 y 2018 se registran principalmente entre la costa y las 10 millas, al igual que en el 2020. Sin embargo, el año 2019 se presentan fuera de las 10 millas (**Tabla 15**).

Espacialmente se observa entre 2000-2004 y 2017-2020 una distribución principalmente al sur de Iquique, entre 2005 y 2016 las capturas de sardina en la zona norte fueron escasas o nulas (**Figura 95**).

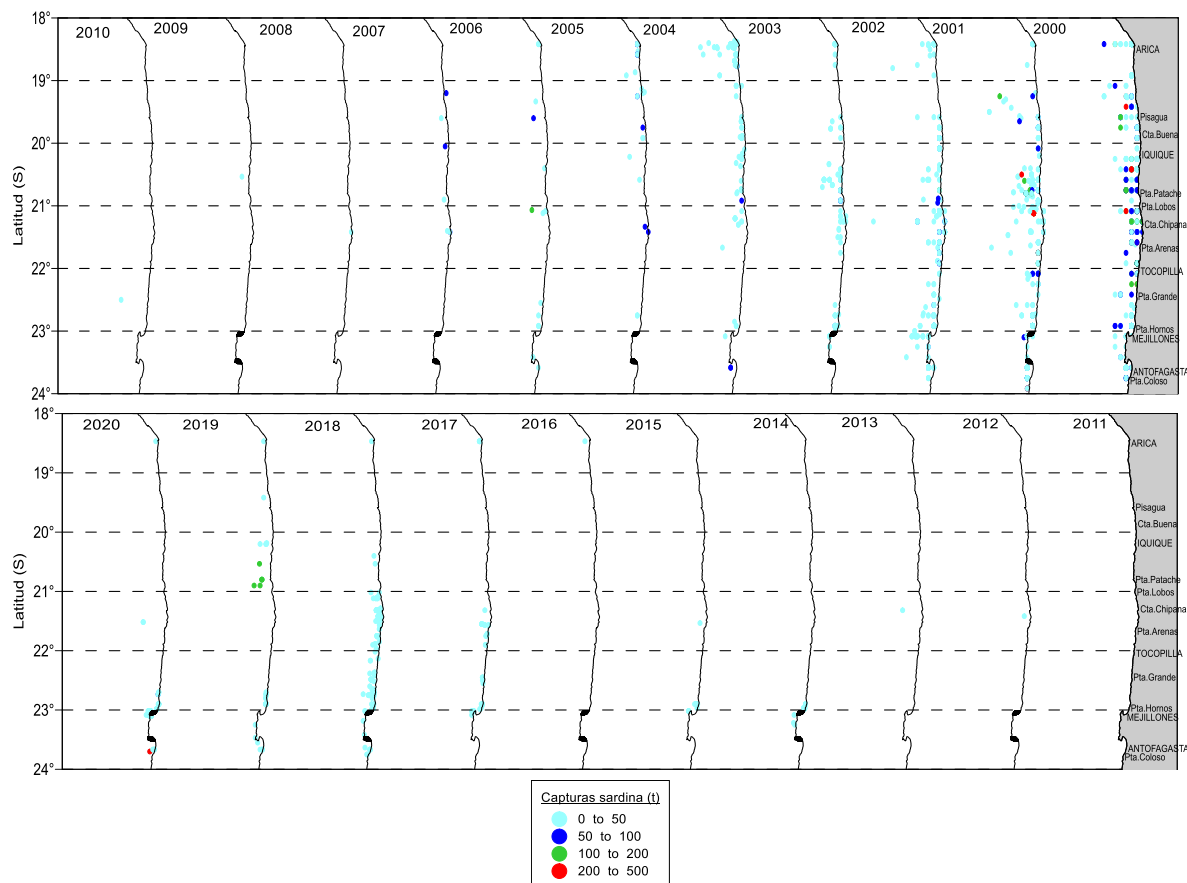


Figura 95. Evolución anual de las capturas de sardina española en la zona norte, años 2000 a 2020.

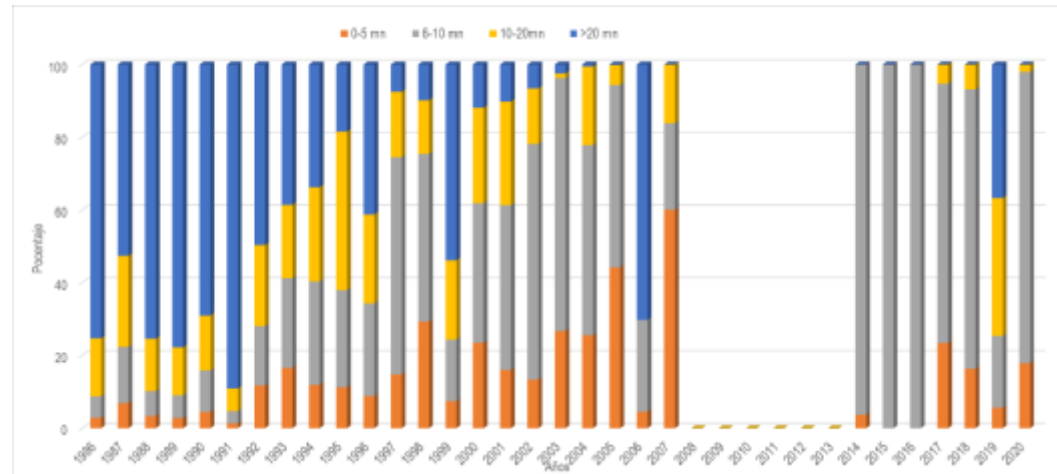


Figura 96. Evoluci3n en la proporci3n de captura de sardina espa1ola en la zona norte, por distancia a la costa. A1os 1986 a 2020.

Tabla 15. Porcentaje de captura de sardina espa1ola en la zona norte, por rango latitudinal. A1os 1980 a 2020.

	Zona norte																																			
Rangos latitud	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
18°21'18°59'	19	27	17	20	14	62	28	24	17	3	3	1	22	8	7	1	12	24	50	66	18	0	0						0	0	100	1	0	0	0	
19°00'19°29'	13	6	14	8	19	13	10	7	4	0	0	2	3	11	5	1	0	0	4	12	1	22	0						0	0	0	0	0	0	0	
19°30'19°59'	9	6	7	5	7	3	7	3	1	1	0	0	7	17	6	4	7	5	2	8	19	16	0						0	0	0	0	0	0	0	
20°00'20°29'	15	10	15	10	10	4	12	7	4	9	2	13	9	12	8	1	6	5	9	0	1	24	0						0	0	0	0	0	1	0	
20°30'20°59'	13	9	7	14	13	4	10	11	6	4	0	8	14	9	14	15	5	31	10	0	0	0	0						0	0	0	0	0	73	0	
21°00'21°29'	12	10	11	16	8	4	9	14	10	14	18	3	2	10	21	20	14	5	6	12	56	39	100						0	0	0	0	15	0	0	
21°30'21°59'	8	9	9	11	6	2	9	8	13	9	4	3	1	11	8	7	8	1	0	0	0	0	0						0	0	0	16	9	0	0	
22°00'22°29'	4	8	8	5	10	2	5	12	14	2	5	0	0	5	4	4	2	0	0	0	0	0	0						0	0	0	0	7	0	0	
22°30'22°59'	4	6	6	7	5	3	4	8	14	15	23	20	19	6	16	27	28	24	2	1	2	0	0						92	84	0	57	57	20	26	
23°00'23°29'	3	4	4	3	3	1	5	4	3	11	28	21	7	6	2	2	6	5	0	0	2	0	0						8	16	0	25	3	2	57	
23°30'23°59'	2	5	4	2	6	2	2	3	12	32	17	29	16	5	10	17	11	0	15	0	2	0	0						0	0	0	0	9	5	17	
captura (miles t)	2220	1827	1367	1425	709	585	654	319	77	33	23	4	8	213	38	22	9	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2



3) Estructura de talla

La proporción de grupos de tallas para sardina española muestra la mayor participación del grupo de ejemplares entre 25 a 30 cm de LT, seguido del grupo de 20 a 25 cm LT. Entre 1997 y 2004 dominó el grupo entre 20 y 25 cm de LT seguido por ejemplares de 25 a 30 cm, destacando una mayor participación de ejemplares menores a 20 cm de LT y una reducción con el grupo de mayor tamaño (30 cm LT) (**Figura 97**).

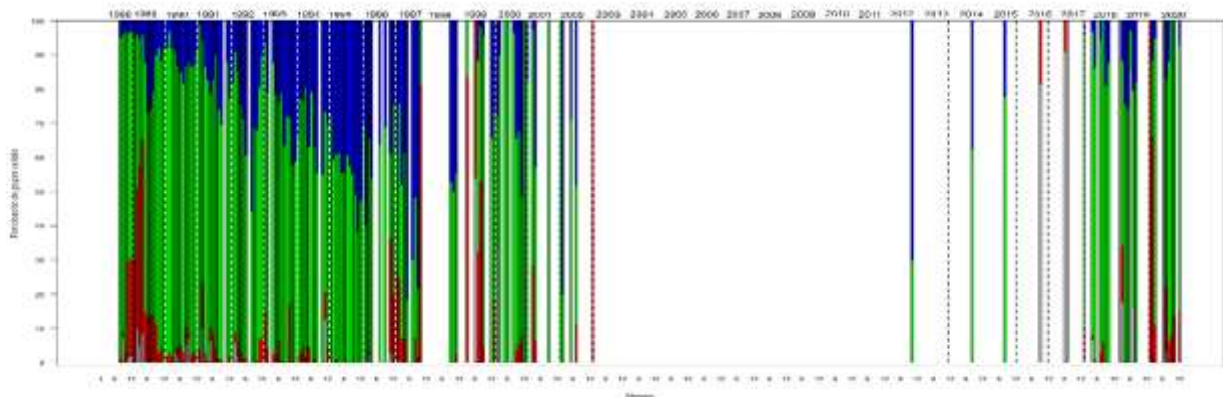


Figura 97. Proporción mensual de sardina española en la zona norte, por grupo de tamaño entre 1988 y 2020. Grupo de longitud ≤ 20 cm LT (gris), grupo entre 20 a 25 cm LT (rojo), grupo 25 a 30 cm LT (verde) y el grupo >30 cm LT (azul).

La talla media para la sardina se registró cercana a los 24 cm de LT con una alta variabilidad posterior al 2002. Entre 2014 y 2020 la talla media presenta una tendencia creciente variando entre los 8,0 y los 27,0 cm de LT. Entre el 2009 y 2013 no se dispone de información (**Figura 98**).

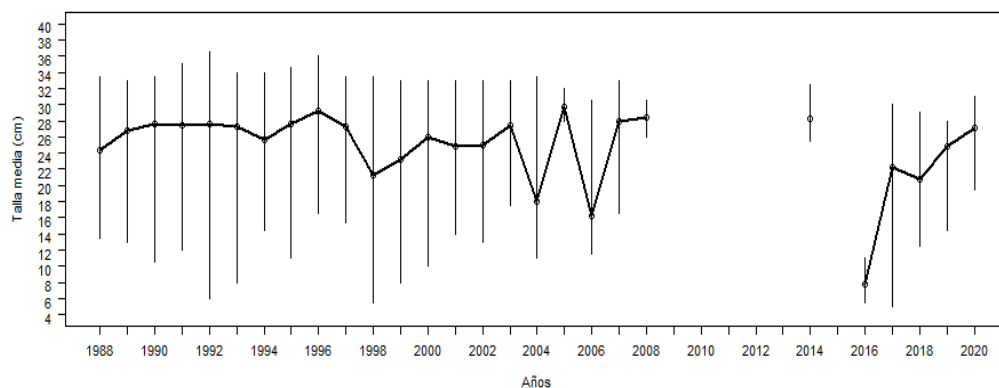


Figura 98. Talla media para sardina española en la zona norte entre 1988 y 2020. Las líneas verticales corresponden al mínimo y máximo de longitud anual.



En la zona norte solo se dispuso de muestras de sardina española en la zona de Antofagasta. La distribución de tallas presentó una estructura multimodal conformada por ejemplares de 19,5 a 31,0 cm de LT, con moda principal en 27,5 cm (20%) (**Figura 99** y **Figura 100**). Es importante señalar que las capturas en la zona de Antofagasta se focalizaron en julio, agosto y octubre. Mensualmente las estructuras son similares, excepto en octubre que se registraron algunos ejemplares de menor talla.

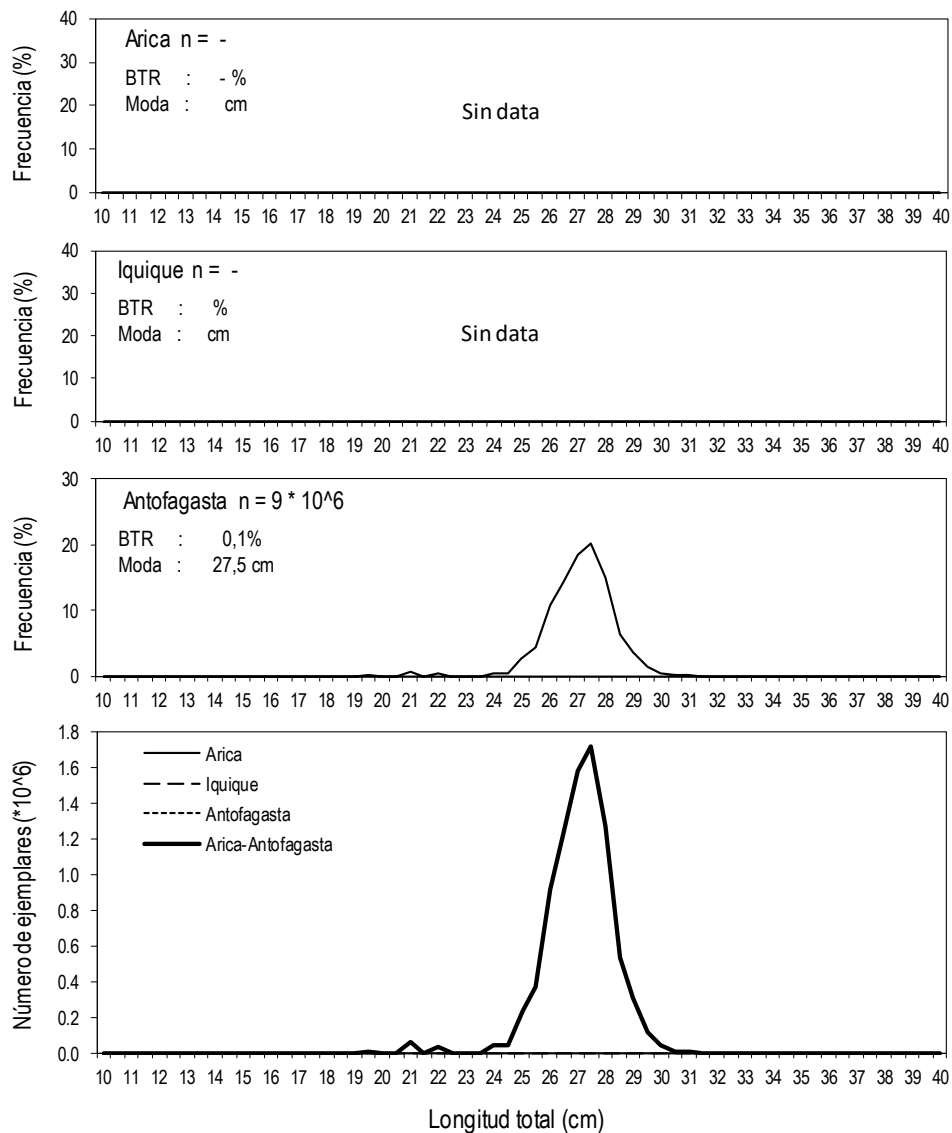


Figura 99. Captura en número de sardina española según tallas, zona norte. Flota total, año 2020.

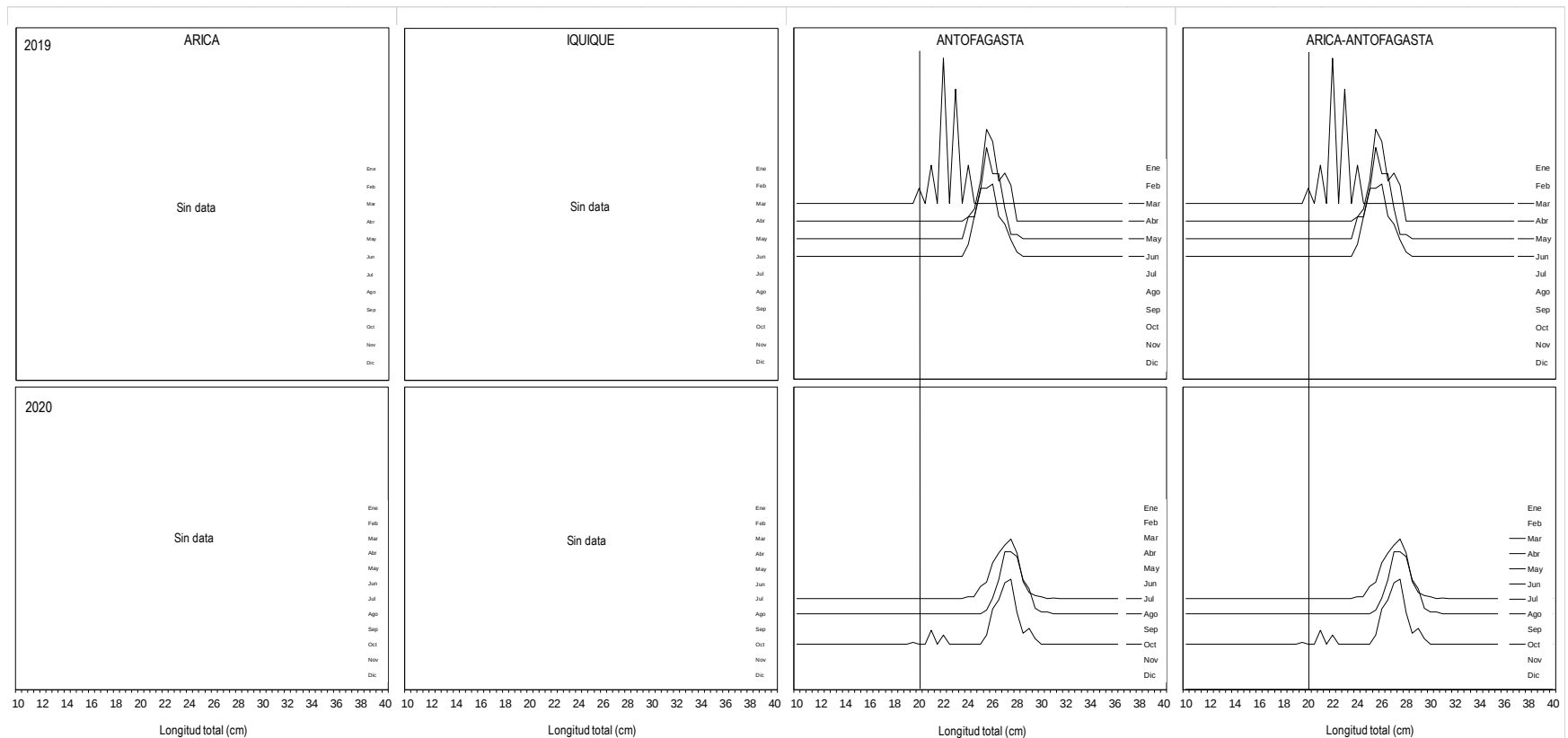


Figura 100. Distribución de frecuencias de longitudes en las capturas de sardina española, zona norte. Flota total, año 2020.

5.2.6 Integración de resultados

En este capítulo se entregan los resultados de la relación entre la temperatura e indicadores biológicos que dan cuenta de factores maternos y el IGS.

El análisis de la temperatura satelital mostró quiebres en la estacionalidad y la tendencia. Para la estacionalidad se registraron dos puntos de quiebres 1993 y 2009. La tendencia muestra cinco puntos de quiebres en los años 1992, 1997, 2001 y 2007 (**Figura 101** panel superior). Los resultados indican un cambio intraestacional en la TSM registrando tres periodos: menor a 1993, 1993 a 2009 y 2009 a 2017 (**Figura 101** panel inferior). Estos periodos se caracterizan por un desplazamiento temporal en la estacionalidad de la TSM durante el ciclo anual. El patrón interanual del IGS para los tres periodos establecidos correlacionados con la TSM, registró una pérdida de acoplamiento hacia el final del periodo de estudio. Para el primer periodo se estimó una correlación negativa de -85,5%, -64,1% para el segundo, y para el tercer periodo -54,04%.

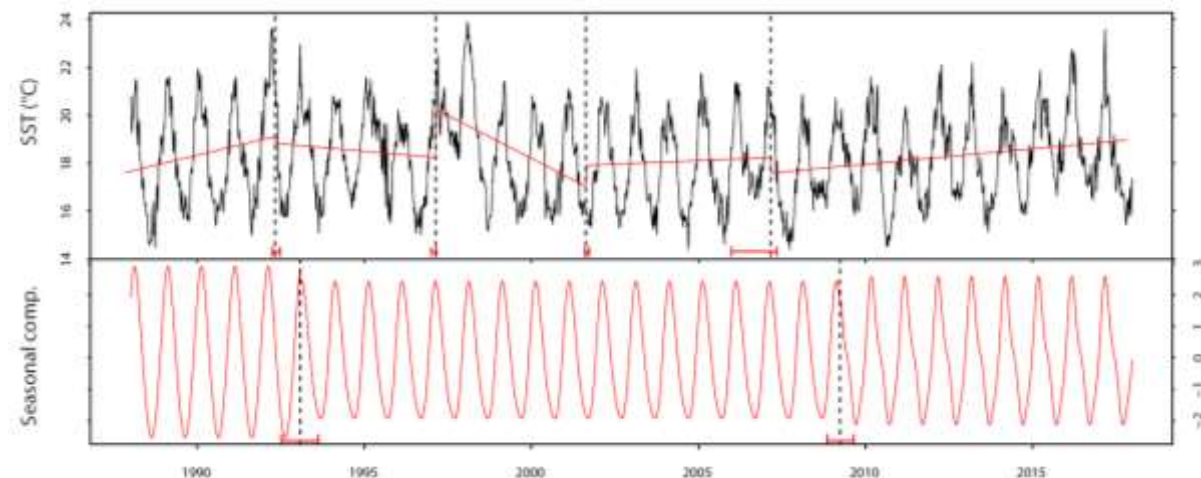


Figura 101. Evolución de la temperatura satelital (panel superior) y la descomposición de la serie en estacionalidad (panel inferior) y tendencia en el largo plazo (línea roja en panel superior), entre 1988 y 2017. La línea punteada marca los puntos de quiebre para la serie por función Bfast.

En el primer periodo, el IGS muestra un máximo en la actividad reproductiva durante agosto, alcanzando un mínimo en abril con valores menores 1,5%, destacando veranos más cálidos e inviernos más fríos en relación a los siguientes periodos. En el segundo periodo el reposo reproductivo no fue tan evidente, registrando un descenso paulatino del IGS desde diciembre con mínimos en abril superiores a 3% y un máximo en agosto. Destacando un adelanto en el inicio de la actividad con mayores valores de IGS respecto al primer periodo, se observaron menores temperaturas con respecto al primer periodo, con temperaturas en invierno menos frías. Posterior al 2009 la actividad reproductiva mostró un desplazamiento situando el máximo en septiembre, contrario, a lo que ocurría antes de 2009 donde el máximo se alcanzaba en agosto. En tanto el inicio de la actividad se trasladó en el último periodo a junio a diferencia de lo registrado en los periodos previos donde se registró en mayo (**Figura 102**). La temperatura muestra menores valores en verano, sin embargo, se registran mayores temperaturas a partir de mayo en relación a los periodos anteriores.

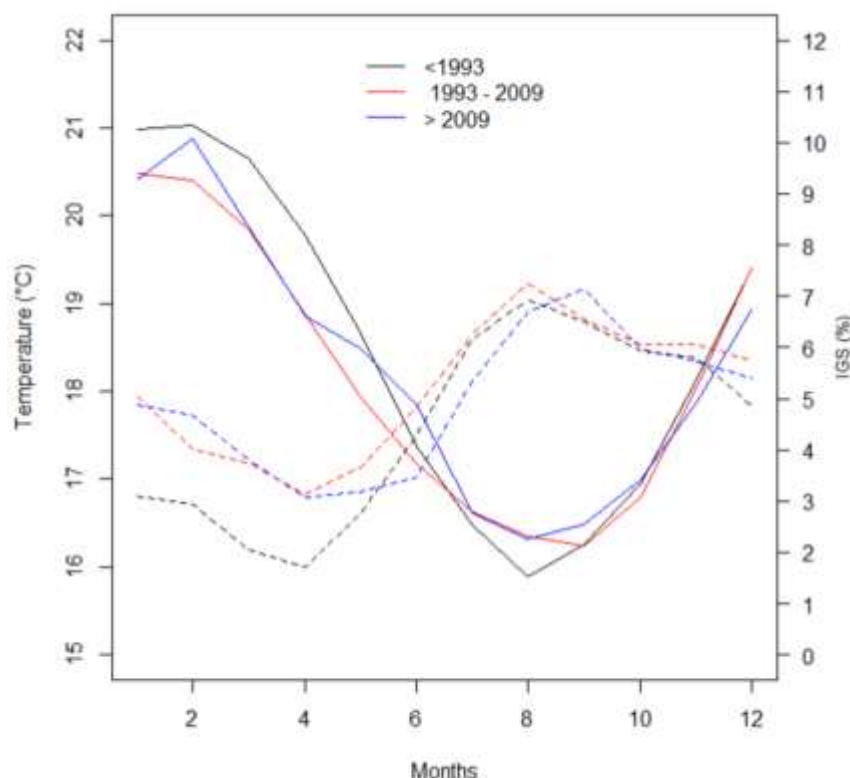


Figura 102. Evolución de la temperatura estacional (línea entera) e IGS (línea punteada) para los periodos estimados por función Bfast para la temperatura.

En los modelos GLM y GAM se incluyeron el efecto del medio ambiente a través de la tendencia (t_{tem}) y la estacionalidad (s_{tem}) de la temperatura para cuantificar si la variabilidad de la actividad reproductiva (IGS) está asociado con los cambios en la estacionalidad o el aumento de la temperatura en el largo plazo. El efecto maternal se analizó a través de la condición corporal del pez (fc), el peso medio (pm) y la tendencia de estas variables en el largo plazo. El modelamiento por GLM, explica el 48,4 de la variabilidad total de la actividad reproductiva. Las co-variables que mayor reducen la devianza fueron la estacionalidad de la temperatura que explica un 39,3%, de la variabilidad, la condición del cuerpo un 7,3% y la tercera variable explica 1,9%. Las co-variables temperatura, peso medio y la tendencia del peso medio y factor de condición no fueron significativo (**Tabla 16**).

Los modelos GAM explican mayor variabilidad en relación a los modelos GLM, el Mod2 con suavizamiento Loes explico un 55,5% de la variabilidad en tanto Mod3 con suavizamiento spline explico un 57,2%. Para el Mod2 las covariables que mayor aportan a la reducción de la devianza fueron la estacionalidad de la temperatura con un 34% y FC un 5,5%. La temperatura, el peso medio y la tendencia del factor de condición aportan marginal a la reducción del modelo (**Tabla 16**).



Tabla 16. Análisis de varianza del modelo GLM y GAM para IGS de anchoveta, con sus correspondientes valores F, AIC y Pseudo coeficiente de determinación.

Co-variable	Df	Resid. Dev	Deviance Resid.	F	Pr(>F)	AIC	Pseudo R ²
GLM							
Null	347	55,942				355,48	
Estacionalidad TSM	346	33,958	21,98	262,520	< 2,2e-16	183,75	0,3929
Factor condición	345	29,862	4,096	48,903	1,407e-11	141,03	0,0732
Tendencia TSM	344	28,808	1,054	12,591	0,0004413	130,52	0,01884
GAM (spline)							
Null	347	55,942				355,4769	
Estacionalidad TSM	343,0001	32,6023	23,3397	3,7159	0,011834	175,5793	0,4172
Factor condición	338,9997	27,0272	5,5751	6,7588	0,000195	118,317	0,0659
TSM	334,9997	26,1145	0,9127	4,4434	0,004449	114,3625	0,0496
Tendencia del peso medio	330,9999	25,2767	0,8378	2,7042	0,045457	111,0141	0,0149
GAM (Loess)							
Null	347	55,942				355,4769	
Estacionalidad TSM	343,7524	33,4667	22,4753	3,1981	0,0366516	183,1816	0,4018
Factor condición	339,484	27,629	5,8377	6,6827	0,0001288	125,0118	0,1044
Tendencia del peso medio	335,6018	26,5174	1,1116	4,8482	0,0029724	118,4858	0,0199

El desacople del ciclo estacional de la temperatura y el índice gonadosomático muestra un desfase de un mes para la serie 2000-2009, 2010-2014 y 2015-2019 comenzando la actividad en junio, julio y agosto, respectivamente (**Figura 104 a**), conjuntamente con una pérdida de intensidad de la actividad principalmente para el último periodo con IGS que no superan el 7% (excepción 2018) e IAD cercanos a 30% (**Figura 103**).

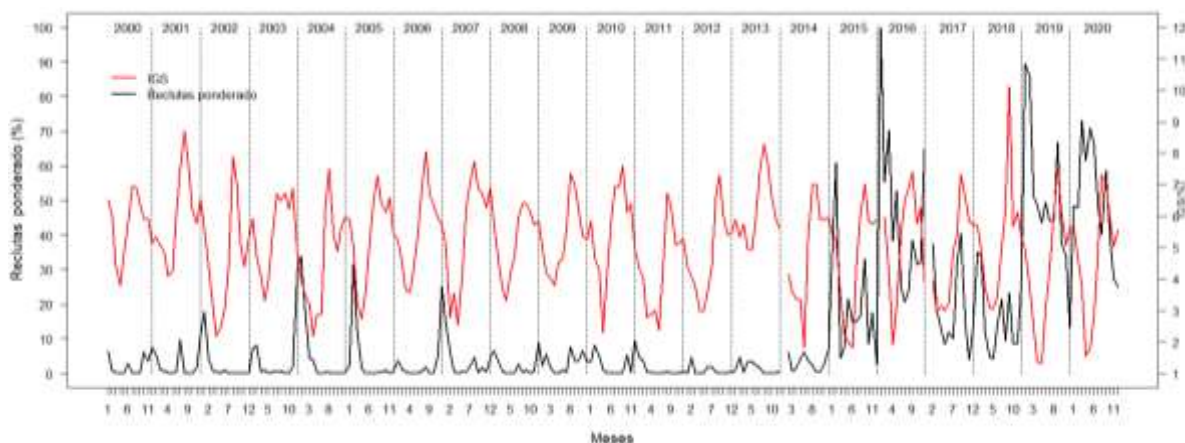


Figura 103. Evolución de los reclutas ponderados y el índice gonadosomático de la anchoveta entre los años 2000 y 2020.

Este desfase registra un efecto en la estacionalidad del proceso de reclutamiento. El patrón estacional del reclutamiento muestra para la serie 2000-2009 y 2010-2014 un periodo de máxima incidencia entre noviembre y marzo (**Figura 104 b**) con un desfase de 6 meses con el periodo principal de desove y correlaciones máximas de 0,4 y 0,3, respectivamente (**Figura 105 a y b**). Se destaca para la serie 2010-2014 mayores niveles de reclutas cercano a 14% en relación al periodo anterior (10%), con evidencias de un desove secundario con valores de reclutas entre abril y julio (menores a 4%) (**Figura 104 b**). La serie 2015-2020 registra un cambio de patrón evidenciando dos pulsos de reclutamiento, el principal de diciembre a abril y un pulso secundario de julio a octubre (**Figura 104 c**). El pulso principal de reclutas (diciembre-abril) esta correlacionado con el pulso principal de desove (agosto-diciembre) y el pulso secundario de reclutas (julio-octubre) con el periodo secundario de desove (enero a marzo), ambos con un desfase de 6 meses y correlaciones cercanas a 0,2 pero no significativas (**Figura 104 c**). Considerando el año 2015 como un año de transición se estimaron las correlaciones para el periodo 2016-2020 registrando correlaciones positivas y significativas con un desfase de 7 meses de 0,32 (**Figura 104 d**).

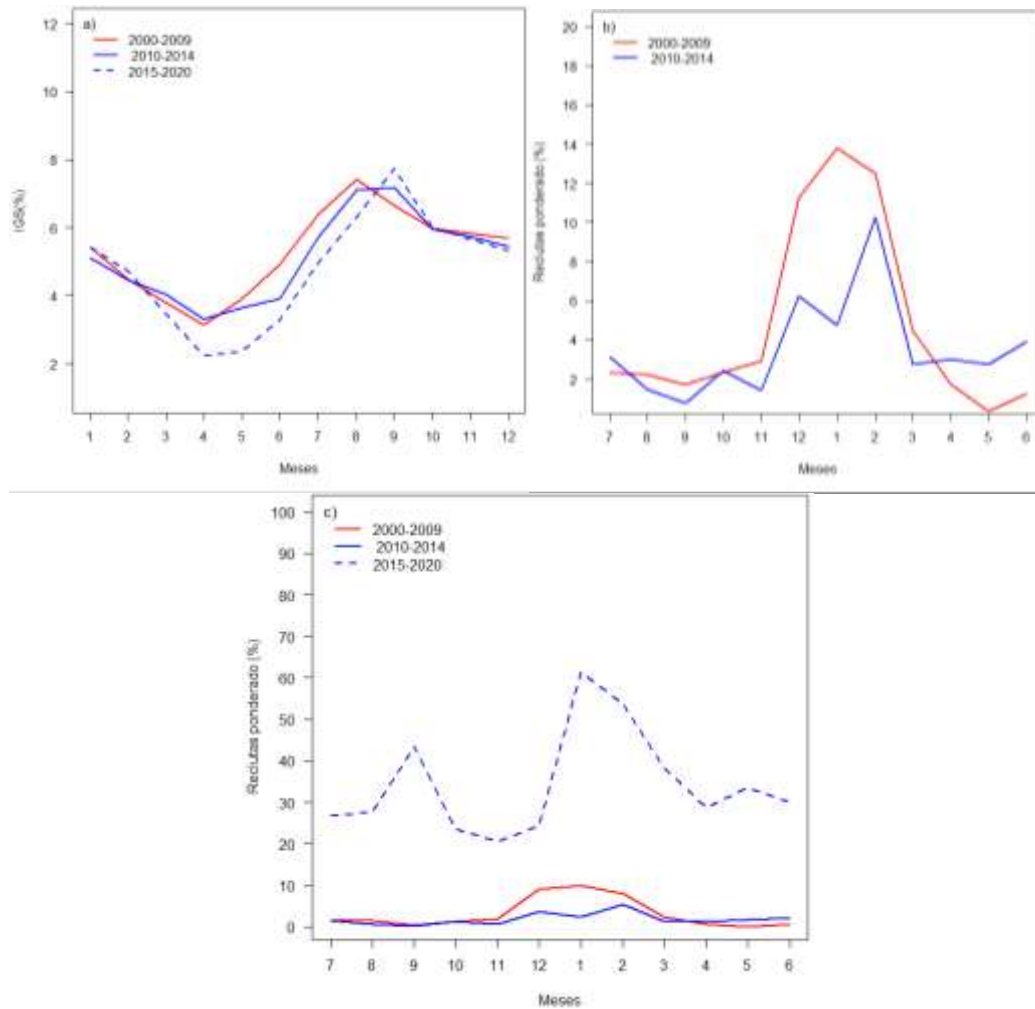


Figura 104. Ciclo anual del índice gonadosomático (IGS) (a) y de los reclutas ponderados de anchoveta en la zona norte (b y c) entre 2000 y 2020.

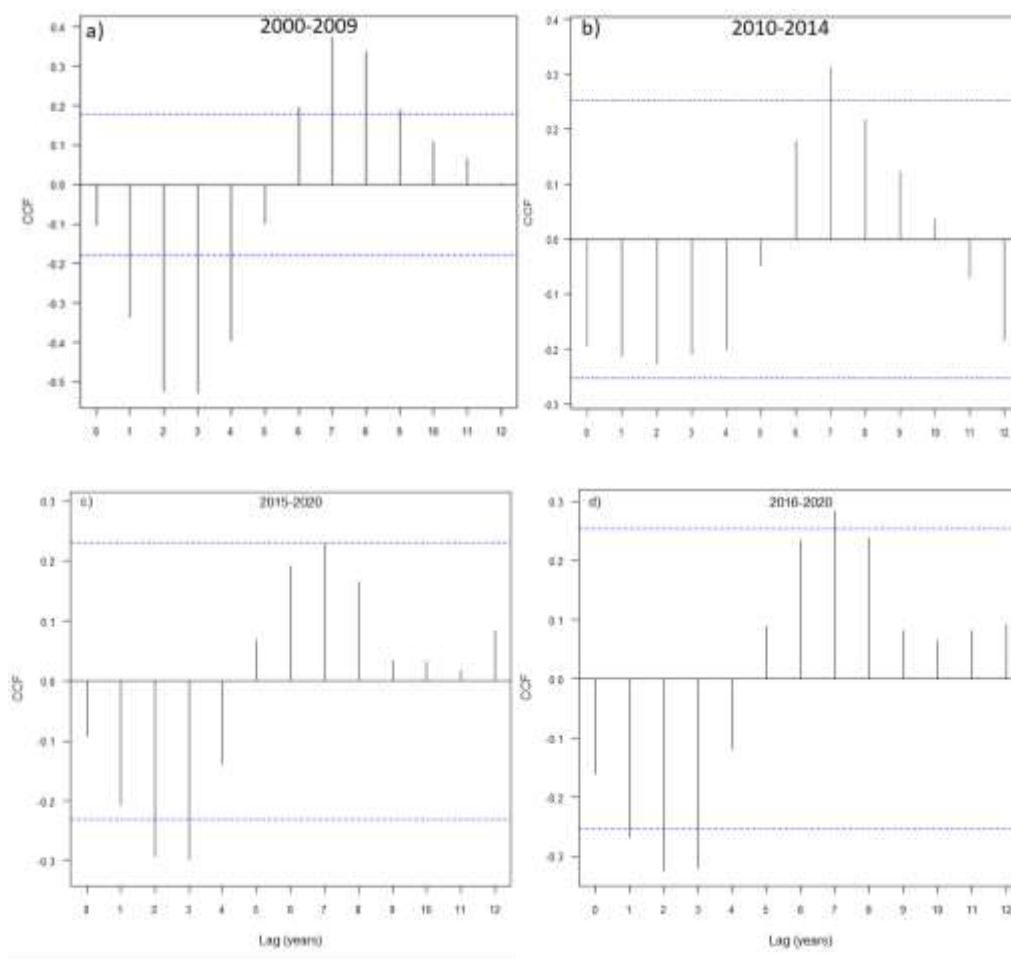


Figura 105. Correlaciones entre los reclutas ponderados y el índice gonadosomático de la anchoveta en la zona norte para las series a) 2000-2009; b) 2010-2014; c) 2015-2020 y d) 2016-2020.

5.3 Objetivos específico 3.2.3. Caracterizar y analizar la fauna acompañante, captura incidental y sus aspectos ambientales y oceanográficos asociados a estas pesquerías, a través de la estimación de indicadores y sus variaciones espacio-temporales.

A lo largo de la costa chilena, la inyección de nutrientes desde aguas profundas hacia aguas superficiales a través de los eventos de surgencia resulta en alta producción primaria; lo que promueve al zooplancton y la producción de peces sobre extensas áreas, lo que, a su vez, sostiene niveles tróficos superiores, incluyendo grandes poblaciones de aves y mamíferos marinos (Thiel *et al.*, 2007). Esto ha permitido el desarrollo de una actividad pesquera enfocada en especies como la anchoveta, jurel, caballa y sardina española, a partir de los años 50 en el norte del país. Sin embargo, cuando el esfuerzo de pesca se encuentra dirigido hacia dichas especies, en ocasiones suelen atraer otros animales que se acercan para alimentarse de la captura y terminan siendo capturados por los artes y/o aparejos de pesca. Esto se conoce como captura incidental (bycatch), la cual conforme a la



legislación chilena (Ley 20.625, Art. 2) es definida como aquella conformada por especies que no son parte de la fauna acompañante y que están constituida por reptiles marinos, aves marinas y mamíferos marinos, situación que actualmente constituye una amenaza para una adecuada administración de las pesquerías.

A nivel mundial se ha visto que a medida que la actividad pesquera aumenta, también lo hace la interacción con grupos de animales como mamíferos marinos (Szteren & Páez, 2002), en pesquerías como las localizadas en Norteamérica, Japón, Noruega y Gran Bretaña y Chile. En Chile se reporta que el lobo común es la única especie que causa daños durante las operaciones de pesca (Oliva *et al.*, 2003) y al igual que otros pinnípedos, ha aprendido a seguir a las embarcaciones (Huckstadt & Antezana, 2003; Northridge & Hofman, 1999). Otros estudios como el realizado por Wickens en el año 1995 indican que las interacciones entre mamíferos y la pesquería pueden ser de dos tipos: (1) biológicas, en la que tanto pescadores como mamíferos compiten por un mismo recurso, y (2) operacionales, en la que los mamíferos son considerados perjudiciales para las actividades pesqueras, tales como enmalle en redes, rotura de paños de redes, lentitud en el virado de la red o incluso ataques a los pescadores.

Las aves marinas por su parte, son un grupo que suele alimentarse de crustáceos, moluscos y peces, lo que les permite ubicarse, junto con los mamíferos marinos, en los niveles superiores de las cadenas tróficas en el ambiente marino. Esto las convierte en un componente clave de los ecosistemas pelágicos como indicadores del estado de conservación tanto de los ecosistemas marinos como de las poblaciones de las presas que consumen (Munilla, 2014, Furness, 1978).

Es así que la evaluación del impacto de una pesquería sobre las poblaciones de mamíferos, aves o tortugas marinas presenta algunos problemas como la dificultad en la evaluación del tamaño poblacional las consecuencias de una tasa de captura incidental relativamente baja e impredecible. Sin embargo, la incapacidad de las poblaciones de delfines de recuperarse puede indicar que existen mortalidades adicionales indirectas causadas por la pesca y los efectos de otros factores que aún no son bien comprendidos (Kelleher, 2005).

En la zona norte los registros de captura incidental a bordo de la flota cerquera artesanal e industrial comenzaron a registrarse parcialmente a partir del año 2015 en el marco del Programa de Seguimiento de las principales pesquerías pelágicas. A partir del año 2017 los datos, en términos de cobertura y robustez, se incrementaron con la incorporación del Programa de Descarte en la pesquería norte con especial énfasis en un enfoque eco sistémico.

Se resumen los resultados de los registros de captura y mortalidad incidental de aves, reptiles y mamíferos marinos que interactuaron con las actividades de pesca comercial de las flotas cerqueras artesanal e industrial que capturan como especie objetivo el recurso anchoveta en la zona norte durante el periodo 2017-2020.



Flota artesanal anchoveta

A bordo de la flota artesanal se reportó la captura incidental de 867 animales correspondiente a 7 especies identificadas (**Tabla 17**). Del total de los animales capturados, los mamíferos marinos representaron el 67%, con reportes de captura entre el límite norte de la región de Arica ($18^{\circ}21'S$) hasta Punta Chilena ($21^{\circ}30'S$), siendo el lobo marino común quien reportó el 100% de las capturas de este grupo. La captura de aves marinas representó el 33%, cuyos registros se ubican del límite norte de región de Arica y Parinacota a Punta Gruesa ($20^{\circ}22'S$), donde la mortalidad total de este grupo fue de un 98%, siendo el guanay la especie que presentó la mayor captura y mortalidad promedio. En esta flota solo se reportó la captura de un ejemplar de tortuga verde localizado a 2 millas frente a caleta Camarones ($19^{\circ}15'S$) (**Tabla 17 y Figura 106**).

Tabla 17. Captura y mortalidad incidental por especie en la flota cerquera artesanal que operó sobre el recurso anchoveta, en la zona norte. Datos provenientes del registro de observadores científicos sobre 649 lances de pesca comerciales durante el periodo 2017-2020.

Nombre común	Nombre Científico	Captura	Muertos	Mort (%)	CIP	CV _{CIP}	MIP	CV _{MIP}
Lobo marino común	<i>Otaria flavescens</i>	582	4	0.69	0,897	297,4	0,006	1558,0
Guanay	<i>Phalacrocorax bouganvilli</i>	217	217	100	0,334	2351,3	0,33	2362,1
Piqueros	<i>Sula variegata</i>	53	51	96.2	0,082	1389,8	0,079	1441,1
Fardela negra	<i>Ardenna grisea</i>	8	8	100	0,012	2013,1	0,012	2013,1
Pelicano peruano	<i>Pelecanus thagus</i>	4	4	100	0,006	1558,0	0,006	1558,0
Gaviota garuma	<i>Larus modestus</i>	2	0	0	0,003	2547,5	0	
Tortuga verde	<i>Chelonia mydas</i>	1	0	0	0,002	2547,5	0	

Mort (%) = Mortalidad = Número de animales muertos/Número de animales capturados.

Captura Incidental Promedio (CIP) = Número de animales capturados/Número de lances observados.

Coefficiente de Variación Captura Incidental Promedio (CV_{CIP}).

Mortalidad Incidental Promedio (MIP) = Número de animales muertos/Número de lances observados.

Coefficiente de Variación Mortalidad Incidental Promedio (CV_{MIP}).

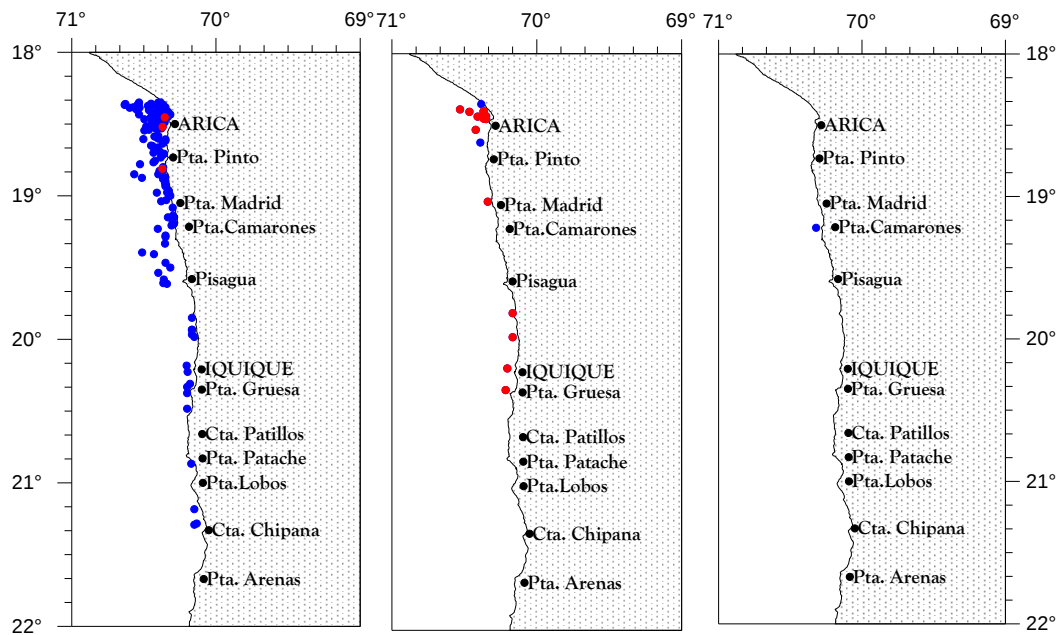


Figura 106. Distribución espacial de los lances realizados por la flota artesanal dirigidos a la captura de anchoveta, en la zona norte, durante el periodo 2017-2020. Lances con captura incidental (azul), lances con mortalidad incidental (rojo). Mamíferos marinos (izquierda), aves marinas (centro), tortugas marinas (derecha).

Flota industrial anchoveta

A bordo de la flota industrial en el periodo 2017-2020 se registró la captura incidental de 5.833 animales correspondiente a 21 especies (**Tabla 18**). Los mamíferos marinos representaron el 79% de los animales capturados incidentalmente, con reportes de captura entre el límite norte de la región de AyP (18°21'S) y punta Piedras (24°40'S), siendo el lobo marino común quien reportó las mayores capturas promedio (**Figura 107**). La captura de aves marinas representó el 20% de las capturas con 1.209 animales capturados, donde el guanay y fardela negra mostraron las mayores captura promedio, representando el 84% de las capturas de este grupo (**Tabla 18**). Respecto a la captura de reptiles marinos, este representó el 1% de las capturas con 9 reportes durante el periodo analizado y cuyas capturas se observaron mayoritariamente entre las regiones de AyP y TPCA (**Figura 107**). La mortalidad incidental afectó (en términos de números de individuos) especialmente a delfines (44%), en el grupo de los mamíferos marinos, y al guanay (93%) y la fardela negra (69%), por parte del grupo de aves marinas. No se reportaron mortalidades para el grupo de los reptiles marinos.

**Tabla 18.** Captura y mortalidad incidental por especie en la flota cerquera industrial que operó sobre el recurso anchoveta, en la zona norte. Datos provenientes del registro de observadores científicos sobre 3.350 lances de pesca comerciales durante el periodo 2017-2020.

Nombre común	Nombre Científico	Captura	Muertos	Mort (%)	CIP	CV _{CIP}	MIP	CV _{MIP}
Lobo marino común	<i>Otaria flavescens</i>	4468	9	0,20	1,33	354,0	0,003	1927,0
Fardela negra	<i>Ardenna grisea</i>	568	390	68,7	0,17	3204,5	0,12	3147,0
Guanay	<i>Phalacrocorax bouganvilli</i>	452	420	92,9	0,13	3763,0	0,13	4020,4
Delfín común	<i>Delphinus delphis</i>	71	23	32,4	0,02	2084,3	0,007	2345,4
Piqueros	<i>Sula variegata</i>	68	58	85,3	0,02	2054,8	0,017	2193,5
Gaviotín monja	<i>Larosterna inca</i>	61	0	0	0,02	5693,8	0	
Delfín oscuro	<i>Lagenorhynchus obscurus</i>	56	38	67,9	0,02	2382,2	0,011	2463,8
Pelicano peruano	<i>Pelecanus thagus</i>	29	16	55,2	0,009	2081,6	0,005	2168,5
Delfín sin identificar	-	15	0	0	0,004	5787,9	0	
Pingüino de Humboldt	<i>Spheniscus humboldti</i>	10	1	10	0,003	2453,9	0,0003	5787,9
Fardela blanca	<i>Ardenna creatopus</i>	8	8	100	0,002	5787,9	0,002	5787,9
Gaviota garuma	<i>Larus modestus</i>	6	6	100	0,002	5787,9	0,002	5787,9
Delfín nariz de botella	<i>Tursiops truncatus</i>	4	4	100	0,001	5787,9	0,001	5787,9
Yeco	<i>Phalacrocorax bouganvilli</i>	4	4	100	0,001	5787,9	0,001	5787,9
Tortuga verde	<i>Chelonia mydas</i>	3	0	0	0,001	3340,7	0	
Tortuga olivácea	<i>Lepidochelys olivacea</i>	3	0	0	0,001	5787,9	0	
Gaviota de Franklin	<i>Larus pipixcan</i>	2	2	100	0,001	5787,9	0,0006	5787,9
Tortuga laud	<i>Dermochelys coriacea</i>	2	0	0	0,001	4092,1	0	
Albatro ceja negra	<i>Thalassarche melanophris</i>	1	1	100	0,0003	5787,9	0,0003	5787,9
Tortuga cabezona	<i>Caretta caretta</i>	1	0	0	0,0003	5787,9	0	
Lobo fino austral	<i>Arctocephalus australis</i>	1	0	0	0,0003	5787,9	0	

Mort (%) = Mortalidad = Número de animales muertos/Número de animales capturados.

Captura Incidental Promedio (CIP) = Número de animales capturados/Número de lances observados.

Coeficiente de Variación Captura Incidental Promedio (CV_{CIP}).

Mortalidad Incidental Promedio (MIP) = Número de animales muertos/Número de lances observados.

Coeficiente de Variación Mortalidad Incidental Promedio (CV_{MIP}).

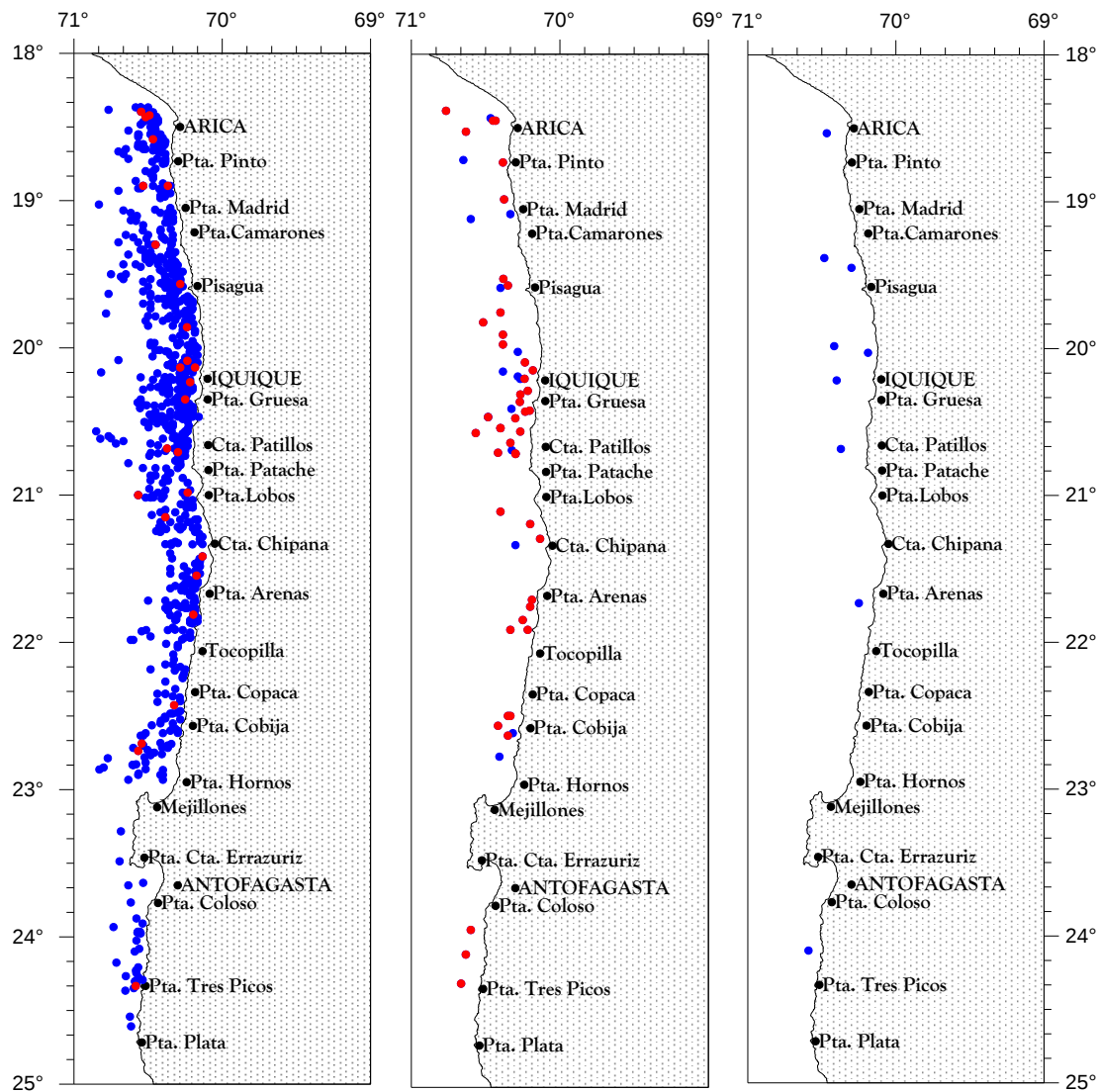


Figura 107. Distribución espacial de los lances realizados por la flota industrial dirigidos a la captura de anchoveta, en la zona norte, durante el periodo 2017-2020. Lances con captura incidental (azul), lances con mortalidad incidental (rojo). Mamíferos marinos (izquierda), aves marinas (centro), tortugas marinas (derecha).

Análisis interanual

El análisis interanual de la tasa media de captura incidental para las pesquerías que operaron entre la región de AyP a ANTOF, arrojó diferencias significativas en las capturas de mamíferos marinos para todas las pesquerías. La pesquería artesanal de anchoveta presentó las mayores capturas promedio durante el periodo 2018 y 2019 con valores similares, mientras que la pesquería industrial de anchoveta y jurel mostraron mayores capturas durante el año 2019. En el grupo de las aves marinas se observaron diferencias significativas en la tasa media de captura incidental solo para la pesquería industrial de anchoveta, sin reportes de captura en la pesquería industrial de jurel. Las mayores



capturas promedio observadas en la pesquería artesanal de anchoveta se registraron durante el año 2017, mientras que para la pesquería industrial de anchoveta se observaron durante el año 2020. Las diferencias en las desviaciones reportadas en estas pesquerías para los años 2017 y 2020 respectivamente responden a la captura de aves en rangos que oscilaban entre 1-250 ejemplares. En el grupo de los reptiles marinos no se observaron diferencias significativas en sus capturas. La pesquería industrial de anchoveta presentó capturas en todos los años con un leve incremento en el año 2018, mientras que en la pesquería artesanal de anchoveta solo se capturó un ejemplar durante el año 2019. En la pesquería industrial de jurel no se reportaron capturas durante el periodo evaluado (Tabla 19).

Tabla 19. Tasa media de la captura incidental por grupo de especie ($\pm$ desviación estándar) entre años de estudio, en la flota cerquera artesanal que operó entre la Región de AyP y ANTOF. Datos provenientes del registro de observadores científicos en el periodo 2017 - 2020. Valores P indican resultados de la Prueba de Kruskal - Wallis para comparar las tasas de captura entre los diferentes años.

Pesquería	Grupo de especies	Año				Valor P
		2017	2018	2019	2020	
Artesanal anchoveta		0,9 $\pm$ (2,7)	1,0 $\pm$ (3,3)	1,0 $\pm$ (2,5)	0,6 $\pm$ (2,1)	0,018*
Industrial anchoveta	Mamíferos marinos	0,5 $\pm$ (2,3)	0,9 $\pm$ (2,6)	2,7 $\pm$ (7,9)	1,8 $\pm$ (3,7)	< 2,2E-16*
Industrial jurel		0,05 $\pm$ (0,3)	0,0 $\pm$ (0,0)	2,5 $\pm$ (6,6)	2,3 $\pm$ (3,7)	5,57E-04*
Artesanal anchoveta		1,6 $\pm$ (16,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,07 $\pm$ (0,5)	0,1 $\pm$ (0,9)	0,074
Industrial anchoveta	Aves marinas	0,7 $\pm$ (10,6)	0,03 $\pm$ (0,6)	0,1 $\pm$ (1,3)	1,2 $\pm$ (16,0)	3,33E-10*
Industrial jurel		0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	--
Artesanal anchoveta		0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,01 $\pm$ (0,07)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,490
Industrial anchoveta	Reptiles marinos	0,001 $\pm$ (0,03)	0,01 $\pm$ (0,07)	0,001 $\pm$ (0,03)	0,003 $\pm$ (0,05)	0,238
Industrial jurel		0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	--



Por tipo de pesquería

El análisis por tipo de pesquería presentó diferencias significativas solo para el grupo de aves marinas, donde la mayor la captura de este grupo se observó en la flota industrial-anchoveta, sin reportes de captura en la flota industrial-jurel. En el grupo de mamíferos marinos se reportan capturas en todas las pesquerías y cuyas mayores tasas de captura incidental se observaron en la flota industrial-jurel. Respecto a reptiles marinos se reportan capturas solo para la pesquería artesanal e industrial cuya especie objetivo era anchoveta (**Tabla 20**).

Tabla 20. Tasa media de la captura incidental por grupo de especie ($\pm$ desviación estándar) por tipo de pesquería en la flota cerquera que operó entre las regiones de AyP y Antof. Datos provenientes del registro de observadores científicos en el periodo 2017-2020. Valores P indican resultados de la Prueba de Kruskal-Wallis usada para comparar tasas de captura entre pesquerías.

Grupo especies	Pesquería			Valor P
	Artesanal anchoveta	Industrial anchoveta	Industrial jurel	
Mamíferos marinos	0,90 $\pm$ (2,67)	1,38 $\pm$ (4,75)	1,79 $\pm$ (4,79)	0,553
Aves marinas	0,44 $\pm$ (7,94)	0,36 $\pm$ (7,52)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,005*
Reptiles marinos	0,002 $\pm$ (0,04)	0,001 $\pm$ (0,04)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,709

Análisis estacional

El análisis estacional arrojó diferencias significativas en la tasa media de captura incidental para el grupo de mamíferos marinos en la pesquería artesanal e industrial de anchoveta. Las mayores capturas de mamíferos marinos se observaron durante el invierno en la pesquería artesanal e industrial de anchoveta, mientras que en la pesquería industrial de jurel las mayores capturas se reportaron durante la primavera. En el grupo de las aves marinas se observaron diferencias significativas solo para la pesquería industrial de anchoveta, cuyas mayores capturas ocurrieron durante el invierno, al igual que en la pesquería artesanal y sin reportes de captura en la pesquería industrial de jurel.

Finalmente, para el grupo de los reptiles marinos, solo se reportó la captura de un ejemplar de tortuga verde en la flota artesanal durante el otoño 2019. En la flota industrial se registraron capturas de tortuga verde, cabezona, laud y olivácea durante todo el año, con un leve incremento en la primavera (**Tabla 21**).



Tabla 21. Tasa media de la captura incidental por grupo de especie ($\pm$ desviación estándar), en la flota cerquera industrial que operó sobre el recurso anchoveta en la zona norte. Datos provenientes del registro de observadores científicos en el periodo 2017-2020. Valores P son del test de Kruskal-Wallis para comparar estaciones.

Pesquería	Grupo de especies	Estación				Valor P
		Verano	Otoño	Invierno	Primavera	
Artesanal anchoveta	Mamíferos marinos	0,4 $\pm$ (0,9)	0,6 $\pm$ (2,0)	1,1 $\pm$ (2,5)	1,0 $\pm$ (3,5)	0,027*
Industrial anchoveta		0,7 $\pm$ (2,2)	1,4 $\pm$ (6,0)	2,2 $\pm$ (4,9)	1,4 $\pm$ (3,4)	< 2,2E-16*
Industrial jurel		1,0 $\pm$ (2,4)	1,8 $\pm$ (3,7)	0,0 $\pm$ (0,0)	2,3 $\pm$ (6,4)	0,087
Artesanal anchoveta	Aves marinas	0,0 $\pm$ (0,0)	0,1 $\pm$ (1,4)	1,2 $\pm$ (13,9)	0,03 $\pm$ (0,2)	0,023
Industrial anchoveta		0,002 $\pm$ (0,04)	0,08 $\pm$ (1,6)	0,8 $\pm$ (11,1)	0,6 $\pm$ (10,7)	4,48E-08*
Industrial jurel		0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	--
Artesanal anchoveta	Reptiles marinos	0,0 $\pm$ (0,0)	0,005 $\pm$ (0,07)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,530
Industrial anchoveta		0,002 $\pm$ (0,04)	0,002 $\pm$ (0,04)	0,003 $\pm$ (0,05)	0,005 $\pm$ (0,07)	0,548
Industrial jurel		0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	0,0 $\pm$ (0,0)	--

Avistamiento de cetáceos y aves marinas

En el periodo 2017-2020 se observó la presencia de 184 cetáceos agrupados en 6 especies: ballena azul (*Balaenoptera musculus*), ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), ballena Sei (*Balaenoptera boreales*), ballena fin (*Balaenoptera physalus*), delfín común (*Delphinus delphis*), delfín oscuro (*Lagenorhynchus obscurus*) y orca (*Orcinus orca*), además de dos especies sin identificar (**Tabla 22**); avistamientos realizados mayoritariamente a bordo de la flota industrial. Los avistamientos de odontocetos se concentraron entre punta Blanca (18°37'S) y Chipana (21°20'S) (**Figura 108**) e involucraban entre 3-50 ejemplares, asociados a conducta de alimentación y/o desplazamiento. Los 3 ejemplares de orcas avistados se encontraban asociados a la presencia de lobos marinos, ya que se les observó persiguiendo permanentemente a estos animales. Por otro lado, el avistamiento de misticetos abarcó desde el límite norte de la región de AyP (18°21'S) hasta punta Copaca (22°19'S)



(Figura 108), donde se pudo reconocer, en ocasiones, a adultos junto a sus crías y asociados a una conducta de desplazamiento.

Tabla 22. Avistamientos de cetáceos entre las zonas de AyP y ANTOF durante el año periodo 2017-2020, según información proporcionada por observadores científicos.

Fecha avistamiento	Posición geográfica		Flota	Especie	% seguridad	N° animales	Conducta
	Latitud	Longitud					
14-06-2018	20°42'15"	--	Industrial	Ballena azul	75%	1	Desplazamiento
07-06-2018	21°16'19"	70°26'35"	Industrial	Delfín común	100%	3	Desplazamiento
07-06-2018	20°53'06"	70°22'33"	Industrial	Delfín común	75%	3	Alimentación
06-03-2018	19°06'00"	70°20'00"	Industrial	Delfín común	100%	6	Desplazamiento
06-03-2018	19°26'00"	70°19'00"	Industrial	Delfín común	100%	6	Desplazamiento
11-08-2018	18°53'00"	70°30'00"	Artesanal	Delfín s/i	100%	20	Alimentación
26-10-2017	22°19'00"	70°31'00"	Industrial	Ballena Jorobada	50%	2	Desplazamiento
17-08-2017	18°56'00"	70°23'00"	Artesanal	Ballena Sei	75%	1	Desplazamiento
18-08-2017	18°21'00"	70°25'00"	Artesanal	Ballena Sei	50%	1	Desplazamiento
18-10-2017	19°48'00"	70°22'00"	Industrial	Delfín común	100%	8	Alimentación
12-10-2017	20°20'00"	70°16'00"	Industrial	Delfín común	100%	20	Desplazamiento
04-08-2017	19°48'00"	70°10'00"	Artesanal	Delfín oscuro	100%	15	Desplazamiento
23-08-2017	18°37'00"	70°21'00"	Artesanal	Delfín oscuro	100%	40	Alimentación
02-03-2019	21°45'00"	70°12'00"	Industrial	Ballena Sei	75%	2	--
21-07-2019	20°28'00"	70°13'00"	Artesanal	Orca	100%	3	--
04-03-2019	21°21'00"	70°13'00"	Industrial	Ballena s/i	100%	1	--
07-03-2019	22°15'00"	70°17'00"	Industrial	Ballena Jorobada	100%	1	--
19-03-2019	20°29'00"	70°15'00"	Industrial	Ballena fin	75%	1	--
06-07-2020	20°10'18"	70°11'30"	Artesanal	Delfín común	100%	50	Desplazamiento

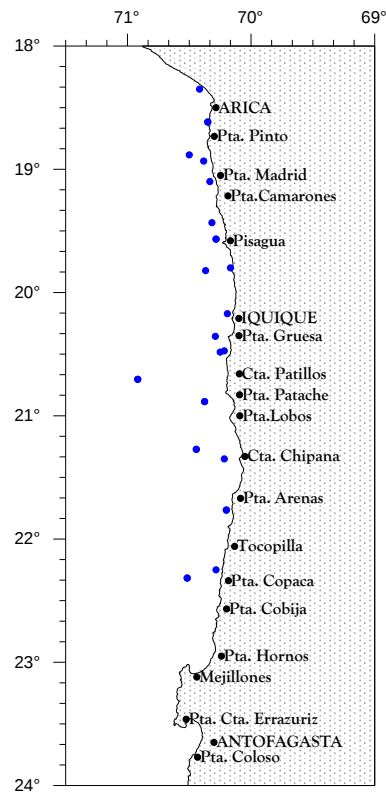


Figura 108. Distribución espacial de los avistamientos de cetáceos durante los viajes realizados por la flota cerquera artesanal e industrial, entre las regiones de AyP y ANTOF, en el periodo 2017-2020.

Interacción de aves, mamíferos y tortugas en la pesquería de cerco

Los mamíferos y aves marinas que interactuaron con las actividades pesqueras de la zona norte, durante el año 2020, fueron agrupados según el tipo de interacción en: (1) alimentándose de la captura (AC), (2) alimentándose de desechos (AD), (3) interacción indirecta (IN), (4) choque con la embarcación (CE), (5) colisión con el arte de pesca (CAP), (6) izado a bordo (IB) y (7) capturado por el arte (CA). Según el momento de interacción se agruparon en: (1) durante el calado (C), (2) durante el virado (V), (3) durante el calado y virado (C+V) y (4) durante el atrinque y succión de la captura (AS). En este sentido, el 95,7% de los mamíferos marinos contabilizados, representados únicamente por el lobo marino común, se encontraban alimentándose de la captura, un 4% alimentándose de desechos y apenas un 0,3% resultó capturado por el arte de pesca (**Figura 109**). En el grupo de las aves marinas estuvo representado por 10 especies, las que presentaron una tendencia similar, donde el 93% de ellas se encontraban alimentándose de la captura, un 6,8% se alimentaba de desechos y un 0,2% resultó capturado por el arte de pesca (**Figura 109**). Respecto al momento de interacción, el 98% de los mamíferos se observaron durante el calado y virado o solo durante el virado (**Figura 110**), mientras que el 99,1% de las aves marinas fueron contabilizadas en esos mismos momentos (**Figura 110**). Estas interacciones, sin embargo, no provocaron impactos negativos en las maniobras pesqueras ni se reportaron animales muertos.



Figura 109. Resumen del tipo de interacción de mamíferos (izquierda) y aves marinas (derecha) con las operaciones de pesca comercial de la flota artesanal e industrial de la zona norte, año 2020.



Figura 110. Resumen del momento de interacción de mamíferos (izquierda) y aves marinas (derecha) con las operaciones de pesca comercial de la flota artesanal e industrial de la zona norte, año 2020.

5.4 Objetivos específico 3.2.4. *Implementar un Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría (PMCCA) del programa de Seguimiento de las Pesquerías.*

Cabe señalar que IFOP lleva a cabo un proceso de mejora continua de la calidad de la recopilación, almacenamiento y validación de los datos, en las pesquerías pelágicas de la zona norte, siguiendo el respectivo Manual de Muestreo de Pesquerías ((IT-1/PE-7-2), instructivo de trabajo enmarcado en el Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001/2015, cuya acreditación tiene el IFOP, las que contemplan revisiones constantes de los procedimientos de muestreo. En esta línea y con el propósito de avanzar hacia un análisis con enfoque ecosistémico se ha avanzado en la recopilación de las interacciones entre aves, mamíferos y las faenas de pesca, además el registro de las capturas incidentales de éstas. Esta actividad se ha desarrollado en conjunto con el proyecto Descarte para estandarizar los criterios de levantamiento de datos.

Asimismo, se ha considerado relevante incorporar en el seguimiento el estudio de la trofodinámica de la anchoveta, a través del análisis periódico y cuantitativo de los contenidos gástricos los que permiten comprender el rol que cumplen estos recursos pesqueros en la estructura de los ecosistemas en los que habitan.



El programa de monitoreo para el manejo conlleva la responsabilidad de mantener las líneas de investigación bajo estándares de calidad actualizados y que aseguren el buen uso de los recursos disponibles. A su vez, la administración pesquera exige el diseño de acciones tendientes a identificar oportunidades de mejoras en el proceso de asesoría científica, mediante un análisis integral del proceso, desde la toma del dato hasta la generación del producto. En este camino, se busca la evaluación de pesquerías con “estándar completo” de datos y análisis, lo que desemboca finalmente en un conocimiento de calidad, confiable y seguro. Por tal motivo, el IFOP deberá mantener un proceso de recopilación de datos bajo criterios de mejoramiento continuo y deberá evaluar las mejoras requeridas en la asesoría científica para el manejo.

a) Calidad en la recopilación de datos

El IFOP lleva a cabo un proceso de mejora continua de la calidad en la recopilación, almacenamiento y validación de los datos, que en este proyecto considera el recurso anchoveta y jurel. Este proceso se encuentra certificado actualmente bajo la Norma de Calidad ISO 9001/2015 por ABS Quality Evaluations Inc, desde el año 2006 y el proyecto Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas de la zona norte ha implementado paulatinamente este formato a todas las pesquerías monitoreadas en este estudio, estrategia que se mantendrá y potenciará durante los próximos años.

b) Calidad en la asesoría

En el corto plazo se continuará revisando las tareas tendientes a identificar y mejorar algunos aspectos, tanto en la recopilación de información como en la asesoría directa. Para la identificación de los aspectos deficitarios se realizarán reuniones con los técnicos de Subpesca y en lo posible, con investigadores de otros estudios (e.g. evaluadores de stock, evaluadores directos e integrantes de los Comités Científicos), en las que se deberá consensuar una visión general sobre las mejoras requeridas, poniendo énfasis en la obtención de datos e información para que cada pesquería avance a un estado de “estándar completo”, teniendo en consideración el avance hacia un enfoque ecosistémico del manejo.

Desde la perspectiva en la mejora en la recolección de datos y su análisis, las capacitaciones a los Observadores Científicos, con el fin de perfeccionar y avanzar en las capacidades de recopilación de información a bordo. Esta capacitación consiste en la realización de cursos que abarcan diferentes ámbitos entre la toma del dato y la digitación en la base de datos, actividad que cuenta con una parte teórica y una segunda parte práctica. Además, se realizaron los cursos básicos requeridos por el Reglamento de Observadores Científicos.

Se continuarán realizando reuniones con la Subpesca, de manera de consensuar una visión sobre las mejoras requeridas, poniendo énfasis en la generación de información para alcanzar un “estándar completo” en cada pesquería, incorporando paulatinamente un enfoque ecosistémico. Uno de los aspectos de mejora identificados, tiene relación con el desarrollo de la Pesca de Investigación del proceso de reproductivo y de reclutamiento de la anchoveta. Además, de estudios que tienen que ver con recopilación de información en cuanto a diseño y tamaño de muestra a una escala temporal



(semanal) que se ajuste a los requerimientos actuales para el manejo, principalmente relacionado con los procesos de reproducción y reclutamiento. En la misma línea se incrementará la presencia a bordo de los Observadores Científicos tendientes a mejorar la cobertura y oportunidad de muestreo. Todo ello redundará a mediano plazo en mejoras de la data, resultados, precisión y menor incertidumbre para focalizarlos en los estatus modelo basado de la pesquería.

Dentro de las mejoras para implementar en el corto y mediano plazo, se considera la estandarización de la escala de madurez sexual para anchoveta, contrastando la escala macroscópica con las características microscópicas, con el propósito de elaborar una cartilla de madurez que facilite la asignación y precisión de la inspección visual de las gónadas. Esta actividad se vio interrumpida el año 2020 y se contempla continuar la recopilación durante el año 2021 dada la dificultad para obtener gónadas apropiadas para captar las características en los distintos estados de madurez en fotografía.

Se considera revisar los tamaños de muestra para muestreos de longitud a nivel semanal utilizados en los monitoreos de reclutamiento de anchoveta en la zona norte.

Durante el segundo semestre del 2021, se analizará la información necesaria y suficiente para analizar los cambios en los procesos de desove y reclutamiento con el propósito de asesorar oportunamente a la Subpesca.

Cuantificar el desove secundario en la zona norte durante el verano del 2022. Esta actividad se desarrollará en la medida que el presupuesto indicativo del proyecto no sea afectado por una reducción.

Con la entrega del informe año 2019 se realizó a solicitud de la Subpesca una reestructuración en la entrega de los resultados del informe final, separando por Unidad de Pesquería: 1) Unidad de Pesquería anchoveta y sardina española de la zona norte (Arica-Antofagasta), 2) Unidad de Pesquería anchoveta y sardina española de la zona centro norte (Caldera-Coquimbo) y 3) Integración de la información de la pesquería de jurel y caballa de las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo. Además, se incorporó un capítulo de integración de resultados para las dos primeras Unidades de Pesquería. Este formato se mantendrá e irá mejorando para facilitar el análisis de las pesquerías.

Durante el año 2020 se implementó el cálculo de las estructuras mensuales ponderadas a la captura en programación R, para disponer de la serie histórica con el propósito de mejorar los análisis internos y poner a disposición de otros equipos que lo requieran.

A partir del 2018 se inició la estandarización metodológica en la recopilación de datos a bordo de las embarcaciones pesqueras entre los programas de seguimiento y descarte de la zona norte. A través de talleres se implementó que los OC de ambos proyectos realicen las mismas actividades con los criterios establecidos. Se contempla continuar con los talleres metodológicos para asegurar la estandarización en la recopilación debido a la rotación de los OC. Los talleres se vieron afectados el año 2020 por el tema de la pandemia no pudiendo realizarse actividades en terreno.



Durante el primer trimestre del año 2021 se dio por finalizada la validación de la base de datos histórica por parte del equipo técnico traspasando la base al departamento de informática para su revisión y posterior migración a la base institucional.

c) Reducción de la talla de anchoveta

Frente al actual escenario de la pesquería de anchoveta de la zona norte de Chile, caracterizado por la reducción en la proporción de ejemplares mayores a 16,0 cm LT y la mayor presencia de ejemplares juveniles ($\leq 11,5$ cm) sumado a una reducción de la talla media de la población a partir de 2015. Creemos necesario identificar los factores que han gatillado y conducen estos cambios demográficos de la población, que están impactando fuertemente procesos como el reclutamiento, la reproducción, el crecimiento, entre otros.

Una de las hipótesis con mayor aceptación entre los investigadores, dice relación con cambios en el hábitat asociados con una menor abundancia, composición (fitoplancton y zooplancton) y tamaño del alimento, cuyo efecto es modulado por el crecimiento, el cual podría haber disminuido en alguna etapa de desarrollo ontogenético de la anchoveta. Otro factor que podría disminuir el crecimiento es el aumento de la temperatura en la zona, la cual registra desde 2009 a 2017 una tendencia positiva (Hernández-Santoro *et al.*, 2019b). Al respecto, el aumento de la temperatura incrementa el consumo de oxígeno para mantener el metabolismo basal, demanda que no puede ser satisfecha (superficie de intercambio de gases aumenta directamente con la longitud del pez), con lo cual, los peces sacrifican crecimiento para mantener su metabolismo (Pauly & Cheung, 2017). En esta línea se plantean algunas hipótesis:

Hipótesis 1

El menor crecimiento en alguna de las etapas de desarrollo ontogenético provoca una disminución en la talla media de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile.

Hipótesis 2

La tasa de crecimiento de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile depende de los cambios en la abundancia, tamaño y composición de sus presas.

Hipótesis 3

El aumento de la temperatura del mar provoca una disminución del crecimiento en alguna de las etapas de desarrollo ontogenético de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile.

Para avanzar a entender los factores que influyen la disminución se la talla media se propone lo siguiente:

- Analizar la información de crecimiento de juveniles disponibles hasta 2020.
- Analizar los datos de temperatura superficial del mar.



- Relacionar el patrón de crecimiento con la temperatura.
- Analizar las variaciones temporales de fitoplancton y zooplancton disponible en el proyecto RECLAN.
- Analizar las variaciones temporales de la abundancia y biovolumen de zooplancton de las series mensuales de tres estaciones fijas de la zona norte de Chile disponible en el proyecto MOBIO-MPH.
- Continuar con la determinación de la ojiva de madurez a la talla y edad de anchoveta iniciada el 2020, la cual será incorporada como parte del monitoreo (Seguimiento norte).

Los resultados preliminares de estos análisis serán expuestos en el taller de anchoveta programado para la primera semana de noviembre del 2021, en el cual han sido invitados como expositores colegas de Universidades Chilenas e IMARPE. Es necesario destacar, que la propuesta planteada, no es suficiente para el desarrollo de las hipótesis expuestas, siendo necesario realizar en el largo plazo otros análisis los cuales por varios motivos (financiamiento, insuficientes HH disponibles y pandemia) no pueden ser abordados actualmente como, por ejemplo:

- Realizar lecturas de crecimiento a nivel diario de adultos de anchoveta. El avance de esta tarea se proyecta a través de subcontratos.
- Reanalizar muestras de MPH para determinar la composición y tamaño del zooplancton. Para esta labor se necesita levantar un proyecto de largo aliento.
- Recopilar información de composición y tamaño de fitoplancton y zooplancton.
- Analizar las variaciones temporales de la abundancia, estructura de tamaño y biomasa del zooplancton de las series mensuales de tres estaciones fijas de la zona norte de Chile disponible en el proyecto MOBIO-MPH



6. DISCUSIÓN

Los resultados indican que las capturas de anchoveta presentan a partir del año 1986, dos cambios de productividad marcando dos periodos, el primero entre 1996 -2005 donde las capturas promedian las 900 mil t, el segundo periodo entre 2006 a la fecha reportó tendencia decreciente, destacando el año 2019 como uno de los años con menores capturas después del 2016. Esta menor productividad del sistema podría estar relacionada con la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). El efecto desfavorable para la anchoveta podría aumentar debido al cambio a una fase cálida del PDO esperado entre 2025-2030, sumando el efecto del cambio climático el cual podría aumentar la temperatura más rápido en relación a la fase fría donde el efecto se describe más lento (Chen *et al.*, 2016). Si bien, esta tendencia negativa en las capturas de mantiene, se observa una recuperación en las capturas, la cual es relativa, debido a que este aumento está relacionado con capturas de ejemplares de tallas menores a 12,0 cm LT las que representan en promedio el 40%, provenientes de dos pulsos uno principal en verano y otro secundario en otoño-invierno.

La anchoveta en la zona norte presenta a partir del año 2014, una distribución más costera y un leve desplazamiento hacia la parte sur del área. Estos cambios de distribución frente a bajas en la abundancia, son concordantes con lo reportado para California donde la sardina (*Sardinops sagax*) se trasladó hacia aguas costeras ubicadas en Baja California cuando su abundancia disminuyó y la anchoveta (*Engraulis mordax*) se desplazó hacia la cuenca sur de California (Marr, 1960; Checkley *et al.*, 2009). Lo anterior podría estar relacionado principalmente a cambios ambientales a nivel decadal e interanual que gatillan desplazamientos de estas poblaciones en busca de mejores condiciones ambientales y de alimento.

A partir del año 2008 la anchoveta registra una disminución de la talla media y una reducción en la proporción de ejemplares mayores a 16,5 cm LT y mayor presencia de ejemplares juveniles durante gran parte del año. La reducción de la talla podría estar relacionada con la actividad de la pesca y el aumento de la temperatura. El aumento en la tendencia de la temperatura evidenciado desde el 2009, podría tener tanto un efecto directo como uno indirecto en la disminución de la talla media. El aumento de la temperatura disminuye el oxígeno en el mar, al mismo tiempo que los peces aceleran su metabolismo al aumentar la demanda de oxígeno. Por otro lado, a medida que los peces aumentan de tamaño, también lo hace la demanda de oxígeno, pero la superficie de intercambio de gases de las branquias no crece al mismo ritmo, por lo que los peces dejan de crecer y disminuyen de tamaño debido a la falta de oxígeno (Pauly & Cheung, 2018; Pauly, 2010; Cheung & Pauly, 2017). Por otro lado, un efecto indirecto es debido a la disminución de la surgencia con efectos en la producción primaria y composición y tamaño del fitoplancton y zooplancton lo que podría provocar una escasez de alimentos para la anchoveta juvenil y adulta, reduciendo su condición corporal y la tasa de crecimiento debido a un control ecológico de abajo hacia arriba ("bottom up"). Un caso similar se ha descrito para la sardina (*Sardina pilchardus*) y la anchoa (*Engraulis encrasicolus*) en el Golfo Lions, donde la disminución del mesozooplancton redujo la condición corporal de los pelágicos (Brosset *et al.*, 2015). Además, los cambios en la temperatura del agua de mar influyeron en un cambio en la disponibilidad de presas y en la fenología de las sardinias (*Sardina pilchardus*) a lo largo de la costa portuguesa (Rosa *et al.*, 2010). Mientras tanto, en el Golfo de Alaska para el abadejo de lucioperca



(*Gadus calcarogrammus*), la temporada de desove comenzó antes y duró más, asociada con un aumento de la temperatura (Rogers & Dougherty, 2018).

En la zona norte la temperatura muestra un cambio en la estacionalidad, marcando tres periodos antes de 1993, entre 1994 y 2009 y posterior al 2009 (Hernández-Santoro *et al.*, 2019b). Este desfase en la estacionalidad de la temperatura gatilla un retraso en la actividad reproductiva de la anchoveta en la zona. Al respecto, el proceso reproductivo de la anchoveta mantuvo el comportamiento de los últimos años, con el aumento de la actividad ovárica que se desfasó hacia mediados de invierno (julio), tendencia que se puede evidenciar en el patrón de la serie más reciente 2010-2019, que se caracteriza por reflejar la estacionalidad que se inicia en julio, y con valores de actividad menos intenso en invierno, respecto a la serie 1999-2009. En los recientes años 2017 al 2019, consecuente con el retraso de la maduración gonadal, los desoves se intensificaron más tardíamente, entre mediados de agosto y octubre en 2017 y 2018, y con un mayor desfase en 2019, entre inicios de septiembre y octubre, caracterizándose este año por no mostrar el aumento histórico de agosto. En este año, el indicador de desove (IAD) aumentó a fines de julio, no obstante, los mayores desoves se reflejaron en el bimestre septiembre-octubre, lo que significó desoves menos intensos en invierno, condición similar a la observada en 2019 (Böhm *et al.*, 2020). El desfase del proceso reproductivo podría ser explicado por la sensibilidad a la variabilidad ambiental de la anchoveta (Ñiquen *et al.*, 1999; Swartzman *et al.*, 2008), pudiendo presentar plasticidad en su comportamiento reproductivo en condiciones adversas, como el desfase en la maduración gonadal y desoves menos intensos frente a un evento El Niño con anomalías térmicas fuertes (Buitrón y Perea, 2000; Perea *et al.*, 2015; Hernández-Santoro *et al.*, 2019a), así mismo, con repercusiones en los aspectos biológicos modulados por cambios de régimen, como en la duración y tipos de ciclos reproductivos (Mori *et al.*, 2011; Claramunt *et al.*, 2014; Contreras-Reyes *et al.*, 2016; Canales *et al.*, 2018; Hernández-Santoro *et al.*, 2019b).

En el análisis de las hembras, los tamaños más frecuentes en los muestreos y que mayormente influyeron en la estacionalidad reproductiva correspondió a individuos entre 12,0 y 13,5 cm LT. Los antecedentes del monitoreo de la pesquería de la zona norte dan cuenta de cambios en la estructura poblacional de la anchoveta, y en la proporción de tamaños del reproductor, caracterizándose a partir de 2014 por el predominio de ejemplares entre 12,0 y 13,5 cm de LT, a la vez que, disminuyen los tamaños entre 14,0 y 15,5 cm de LT, mientras que, la presencia de hembras mayores a 15,5 cm LT es baja o nula, destacándose en este año una escasa participación del grupo entre 14,0 y 15,5 cm LT (Hernández-Santoro *et al.*, 2019a). Por otro lado, hembras menores a 12,0 cm LT (>7,5 cm) mostraron contrariamente una mayor proporción a partir de 2015, las que manifiestan una definida estacionalidad ovárica, evidenciando una mayor contribución de tamaños pequeños al evento reproductivo. Estos antecedentes dejan de manifiesto que el proceso reproductivo de anchoveta en la zona norte esta sostenido en el último tiempo por hembras de bajas longitudes, de menor experiencia reproductiva y con edades de menos de un año (Cerna y Plaza, 2016). Se ha descrito que la estacionalidad del desove puede variar: (1) anualmente debido a cambios en causas exógenas, principalmente la temperatura; (2) espacialmente, con la latitud, pero también con otros factores del hábitat, y (3) demográficamente debido al tamaño y edad de la población desovante (Wright y Trippel, 2009). El tamaño de las hembras puede afectar la duración e intensidad del desove, como también la época (Lambert, 1987). El aporte a los procesos reproductivos de ejemplares más pequeños y jóvenes es inferior a los ejemplares desovantes más grandes y viejos, son menos fecundos y desovan con menor



frecuencia, en un periodo de desove de menor duración, iniciando después y terminando antes que las hembras más grandes (Marshall *et al.*, 1998; Lambert *et al.*, 2003; Barneche *et al.*, 2018). Los cambios detectados en la estructura de la población de anchoveta, que muestran la disminución de las tallas medias en la pesquería, podrían estar explicando el desfase y acortamiento del periodo de desove durante los últimos años.

Para determinar la madurez sexual en anchoveta de la zona norte se consideraron las clasificaciones histológicas del desarrollo gonadal, durante el periodo de mayor actividad reproductiva, de tal manera de disminuir la incertidumbre en el reconocimiento de un individuo inmaduro de uno maduro en reposo reproductivo (inactivo). Con frecuencia existen diferencias en las estimaciones de la ojiva y talla de madurez sexual, que pueden ser atribuidas a factores metodológicos entre los estudios, como sesgos en la obtención de muestras representativas de la población, tipo de análisis y criterio usado en la asignación de los estados de madurez gonadal. Los resultados de este año mostraron que todas las hembras fueron inmaduras en tamaños menores e iguales a 8,5 cm LT, y que la proporción de maduros aumentó desde 9,0 cm LT para alcanzar 100% a partir de 10,5 cm LT, con el estimado de longitud de madurez (L_{50}) de 9,3 cm LT, que fue inferior a los estimados disponibles para la anchoveta de la zona norte y centro-sur de Chile (Cubillos *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 2008; Böhm *et al.*, 2015; Böhm *et al.*, 2019). El valor reportado para la zona centro-sur considerando el periodo 1993-1997 se ubicó en 11,5 cm LT, aunque este estimado se basó en una función de madurez con una escala macroscópica de desarrollo ovárico (Cubillos *et al.*, 1999). En la zona norte, para los últimos 14 años, a partir de datos de la pesquería se reportan tres estimados mediante mismo procedimiento de ajuste y clasificación de ovarios, con registros muy similares que variaron entre 11,1 y 11,5 cm LT (Martínez *et al.*, 2008; Böhm *et al.*, 2015; Böhm *et al.*, 2019). De acuerdo a esto, los datos de este año evidenciaron cambios en la proporción de maduros a la talla (ojiva de madurez), con la consecuente disminución del parámetro de madurez sexual. En los últimos años, los antecedentes del monitoreo de la pesquería dan cuenta del incremento en la proporción de ejemplares bajo 11,0 cm LT que se encuentran activos sexualmente. Algunas posibles explicaciones para una maduración más temprana se relacionan con altas tasas de explotación sostenida sobre el recurso (Rochet, 2009), que afecta la distribución de tamaños del stock reclutado, reduciendo la proporción de individuos de mayor tamaño. Estos cambios en la maduración serían el resultado de la plasticidad fenotípica, la respuesta compensatoria ante la menor competencia intraespecífica, aunque en el largo plazo la presión selectiva de la pesca puede llevar a cambios a nivel genético como respuesta evolutiva (Engelhard y Heino, 2004). El indicador de la pesquería que refleja la tendencia decreciente en los tamaños promedios de anchoveta, con la escasez de ejemplares desde los 14,0 cm LT y prácticamente nula incidencia sobre los 16,0 cm, señala que la disminución de la madurez sexual podría estar mediado por el factor crecimiento, que se debiese explorar. El parámetro de madurez se relaciona con la longevidad y el tamaño máximo de los peces (Silva *et al.*, 2006), y los rasgos de historia de la anchoveta con un ciclo de vida corto señalan un rápido crecimiento, madurez temprana y alta mortalidad natural.

El impacto de la estructura de tallas en el proceso reproductivo, debido a la reducción de ejemplares mayores a 16,0 cm y una mayor actividad ovárica de ejemplares entre los 12,0-13,5 cm de LT en el periodo desde el año 2014, reportando desoves de verano, una menor intensidad y duración del proceso de desove. Lo anterior, muestra repercusiones en el proceso de reclutamiento, el que se traduce en un cambio estacional en la mayor presencia de juveniles en el área, pasando de un patrón



de mayor intensidad de reclutas entre noviembre a marzo para la serie 2000-2009 y 2010-2014, a un patrón con dos pulsos de reclutamiento, el principal de diciembre a abril y un pulso secundario de julio a octubre. Este cambio en el patrón de reclutamiento se debe principalmente a la mayor proporción de desoves en los meses de verano desde el 2015 en relación a las series anteriores, destacando presencia de reclutas entre abril y junio el periodo 2010-2014 sin superar 4%. Los mayores desoves de verano podrían estar relacionado con la disminución de la temperatura reportada después del 2009, con veranos más fríos e inviernos más cálidos, menores temperaturas que podrían afectar positivamente la alimentación de anchoveta asociado a mayores abundancias de fitoplancton (Hernández-Santoro *et al.*, 2019b). Ambos pulsos de reclutas se distinguen a través de una progresión modal, sin embargo, algunos años el pulso secundario es débil debido a desoves secundarios focalizados hacia la zona sur del área y por problemas muestrales debido a la baja actividad pesquera por veda o paralizaciones voluntarias. Por otro lado, el desfase en las mayores correlaciones entre los eventos de desove y reclutamiento de 5 a 6 meses, podría estar relacionado con crecimiento rápido descrito para esta especie durante su primer año de vida, donde los reclutas de entre 11,0 y 12,0 cm de longitud total tendrían entre 4 y 5 meses de edad (Plaza y Cerna, 2015).

La anchoveta registra una tendencia a la baja en el factor de condición y el peso medio. Esta disminución podría ser explicada como consecuencia del aumento de la temperatura y la actividad pesquera. El aumento de temperatura registrado a partir del 2009, podría provocar escasez de alimentos para la anchoa juvenil y adulta, reduciendo su condición corporal y la tasa de crecimiento debido a un control de abajo hacia arriba. Por otro lado, la actividad pesquera ha removido los ejemplares de mayor tamaño, concentrando en la actualidad su operación principalmente en ejemplares de tamaños menores a 12,0 cm LT los cuales sobrepasan el 50% en las capturas

La captura incidental durante el periodo 2017-2020, reportó un mayor número de animales capturados y número de especies en la pesquería industrial de anchoveta, debido al mayor esfuerzo de observación a bordo en esta pesquería. La captura de otáridos representó el grupo de mayor incidencia y principalmente en el periodo invernal. Lo anterior, está asociado con su distribución amplia en la costa chilena, donde se estiman cerca de 59 loberas y unos 62.000 ejemplares entre las regiones de AyP y ANTOF (Bartheld *et al.*, 2008), a sus hábitos tróficos y a la facilidad de alimentarse en las operaciones pesqueras (Sielfeld, 1999; Arias-Schreiber, 2003). El patrón estacional es concordante con lo descrito por Sepúlveda *et al.* (2007) y Sepúlveda & Oliva (2005), donde reportan una mayor interacción de otáridos con la actividad de pesca durante la época no reproductiva (de abril a diciembre), ya que en época reproductiva (enero a marzo), los machos adultos y subadultos permanecen en las loberas. La mortalidad fue baja en comparación al número de animales capturados, lo cual, podría estar relacionado con la adaptabilidad frente a las maniobras pesqueras, pudiendo entrar y salir de la red con facilidad, soportar el hacinamiento y esquivar la yoma si llegan a ser afectados. De hecho, la mortalidad observada de otáridos está asociada a individuos pequeños (juveniles) o a individuos atrapados por la red que resultaron con heridas graves debido al paso por el netwinche y netstacker.

Paralelamente el lobo fino austral presenta escasas interacciones con la pesquería de la zona norte, lo cual estaría asociado al bajo número de animales presentes entre Arica y Antofagasta, descritos por Bartheld (2008), donde estimaron un tamaño poblacional de 5.238 individuos; población mucho



menor en comparación al lobo marino común. Este comportamiento se contrapone al de los cetáceos, los cuales no tienen la capacidad de escapar de la red una vez que el cerco se encuentra cerrado y son más susceptibles al estrés provocado por el encierro, afectando su ritmo cardíaco, presión sanguínea, sistema inmunológico y actividad gastrointestinal, los que podrían ser un factor determinante en la sobrevivencia (Ugaz *et.al.*, 2013). Otros estudios, como los realizados por la NOAA sobre el efecto de la actividad pesquera de atún en delfines, indican que los factores de estrés inducidos por la pesca pueden tener efectos fisiológicos inmediatos en los delfines producto de la separación social y podrían provocar daño muscular, hipertermia y ser susceptibles a cardiomiopatía (Turnbull & Cowan, 1998). Por otra parte, Romano (1993) sugirió que los factores de estrés detectados en cetáceos afectados por enredo en artes de pesca pueden comprometer el sistema inmunológico a largo plazo, haciéndolos vulnerables ante la presencia de patógenos como virus, bacterias y parásitos.

El incremento de los reportes de captura y mortalidad de aves marinas en los periodos fríos, estaría asociado a una mayor presencia de especies como el piquero, cormoranes y fardelas (otoño). Por otro lado, especies como pelícanos y pingüinos mostraron capturas durante todo el año. Las mayores interacciones de fardela se produjeron en octubre y abril, periodo en que la fardela negra y blanca realizan migraciones desde o hacia sus áreas de nidificación localizadas en islas de la zona sur austral de Chile, Islas Malvinas, Nueva Zelanda y Australia. Sin embargo, durante el año 2020 no hubo reportes de interacción con esas especies en la zona norte. El piquero, por su parte, registró el 96% de las interacciones con la pesquería durante otoño-invierno, debido a que de septiembre a febrero tiene su periodo reproductivo (Prado, 2008) y se desplazan a sus áreas de nidificación localizadas en islotes o acantilados entre isla Lobos de Tierra (Perú) hasta la costa central de Chile (Martínez & González, 2004; Sáez *et al.*, 2016) y el guanay, a pesar de reproducirse durante todo el año, sus capturas se concentraron en el invierno y un pequeño grupo lo hizo durante el otoño.

La captura incidental de tortugas corresponde a un total de diez registros en la pesquería de cerco de la zona norte, sin un patrón estacional claro. En el periodo de estudio, no se registraron mortalidades ni daños que pudieran afectar la sobrevivencia post-liberación de las tortugas. Esto debido a las características operacionales en las faenas de pesca, donde pueden permanecer en el cerco sin estar sumergidas y por lo general son liberadas después del bombeo o izadas a bordo para facilitar el bombeo de la captura.



7. CONCLUSIONES

- En la zona ecuatorial, la condición ENOS fue neutral desde fines de 2019 hasta junio-julio de 2020. En agosto se confirmó el evento La Niña 2020-21, condición que se mantuvo hasta marzo de 2021.
- En el 2020, la zona norte de Chile registró condiciones en general cálidas hasta septiembre. La condición fría ecuatorial comenzó a afectar la zona desde octubre, sin embargo, el área más afectada fue la norte hasta los 22°S, ya que, hacia el sur la condición cálida se mantuvo dominante.
- Las concentraciones de clorofila-a durante el año 2020, fueron menores en relación a los tres años anteriores, sin embargo, se mantuvieron los focos recurrentes de altas concentraciones en Arica, Mejillones y Antofagasta. El máximo de clorofila-a de verano 2020 fue más productivo en concentración y duración que el de la primavera anterior. Durante el año 2020, las concentraciones menores en la costa se registraron en invierno, mientras que, en el sector oceánico, producto de la actividad de mesoescala, se distribuyeron extensamente hacia el oeste, concentraciones bajas, situación que no se observó en verano 2020.
- Las capturas de la zona norte muestran un comportamiento fluctuante con tendencia descendente entre 2006 y 2020 asociada principalmente con la disponibilidad de anchoveta, la variabilidad en las condiciones ambientales y el desplazamiento del recurso entre el sur del Perú y norte de Chile.
- En el año 2020 las capturas de anchoveta en la zona norte alcanzaron las 266 mil t, cifra un 45% menor respecto al año anterior, asociado a la alta presencia de juveniles en el área la cual limitó la operación de la flota sumado a la restricción a la flota industrial para ingresar al área de reserva a la pesca artesanal.
- La anchoveta presenta una reducción del área ocupada, distribuyéndose más concentrada en zonas costeras y levemente hacia el sur el último periodo.
- La proporción por grupo de talla para anchoveta muestra dos cambios entre 1988 y 2020, el primero por la reducción en la proporción de ejemplares mayores a 16,0 cm LT y segundo, la mayor participación de ejemplares juveniles (<12 cm LT) a partir del año 2015.
- La distribución de tallas de la anchoveta en el 2020 presentó un rango que fluctuó entre 5,0 y 16,0 cm LT y que está constituida principalmente por ejemplares de 10,5 a 12,5 cm LT (82%) con una alta incidencia de ejemplares juveniles durante el año ($\leq 11,5$ cm: 57%).
- El proceso reproductivo registra en el periodo 2015-2020, un retraso en el inicio de la actividad la segunda semana de agosto hasta finales de diciembre, con baja intensidad y menor duración, además de un desove secundario durante el verano.
- El proceso de reclutamiento en el periodo 2015-2020, presentó dos pulsos de reclutas, el primero entre diciembre y abril y un pulso secundario de julio a octubre.



- Las tallas modales presentaron un cambio en el patrón histórico (incremento modal norte-sur) los años 2019 y 2020 reportando tallas menores en Antofagasta y una mayor presencia de juveniles.
- Durante el periodo 2017-2020 se reportó la captura total de 6.700 animales y 21 especies en la pesquería artesanal e industrial que operó sobre la anchoveta, donde los mamíferos marinos representaron el 76% de las capturas.
- Las mayores capturas promedio se reportaron durante el invierno, tanto para mamíferos y aves marinas en ambas pesquerías, mientras que el análisis interanual mostró mayores capturas de mamíferos marinos durante el 2019. La captura de aves fue mayor durante el año 2017 para la pesquería artesanal y durante el 2020 para la pesquería industrial.
- El análisis comparativo entre las 3 pesquerías que operan en la zona norte arrojó que las mayores capturas promedio de mamíferos marinos se observó en la pesquería industrial de jurel, en tanto para las aves en la pesquería artesanal de anchoveta y en los reptiles en la pesquería industrial de anchoveta.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araya, M., L. Cubillos y J. Peñailillo. 2008. Validación de la edad de la anchoveta en la costa de Chile. Informe final Proyecto FIP/2004-38, 138 p.
- Arias-Schreiber, M. 2003. Prey spectrum and feeding behaviour of two sympatric pinnipeds (*Arctocephalus australis* and *Otaria flavescens*) in relation to the 1997-98 ENSO in southern Peru. M.Sc. Thesis, Faculty of Biology and Chemistry, University of Bremen, Bremen, 59 p.
- Bardenet, R., A. Doucet and C. Holmes. 2017. On Markov chain Monte Carlo methods for tall data. *J Mach Learn Res* 18(1):1515-1557.
- Barneche, D. R., D. Ross Robertson, C. R. White and D. Marshall. 2018. Fish reproductive-energy output increases disproportionately with +body size. *Science* 360, 642-645.
- Bartheld, J. H. Pavés, C. Manque, C. Vera y D. Miranda. 2008. Cuantificación poblacional de lobos marinos en el litoral de la I a IV Región. Informe Final Proyecto FIP 2006-50: 1-124.
- Böhm, G., C. Hernández, E. Díaz, G. Pérez, R. Ojeda, M. Gómez, H. Reyes, M. Pizarro, U. Cifuentes, R. Aravena, G. Muñoz y C. Gaspar. 2020. Convenio I: Asesoría Integral para la Pesca y Acuicultura. Convenio de Desempeño. Programa Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Norte, 2019. Informe de Final. Convenio Subsecretaría de Economía y EMT – IFOP, 151 p + Anexos.
- Böhm, G., C. Hernández, G. Pérez, E. Díaz, F. Cerna, C. Valero, C. Machuca, L. Muñoz, H. Reyes, U. Cifuentes, J. Letelier, R. Aravena, M. Troncoso, C. Gaspar y Z. Young. 2015. Convenio I: Asesoría Integral para la Pesca y Acuicultura, 2014. Convenio de Desempeño. Programa Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Norte, 2014, Informe de Final. Convenio Subsecretaría de Economía y EMT – IFOP, 289 p + Anexos.
- Böhm, G., C. Hernández, G. Pérez, E. Díaz, M. Lichtenberg, R. Ojeda, F. Cerna, C. Valero, M. Gómez, C. Machuca, L. Muñoz, M. Pizarro, R. Aravena, G. Muñoz, C. Gaspar y O. Yáñez. 2019. Convenio I: Asesoría Integral para la Pesca y Acuicultura, 2018. Convenio de Desempeño. Programa Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas de la Zona Norte de Chile, XV-IV Regiones, año 2018. Informe de Final. Convenio Subsecretaría de Economía y EMT – IFOP, 228 p + Anexos.
- Brosset, P., F. Menard, J-M. Fromentin, S. Bonhommeau, C. Ulses, J-H. Bourdeix, J-L. Bigot, E. Van Beveren, D. Ross and C. Saraux. 2015. Influence of environmental variability and age on the body condition of small pelagic fish in the Gulf of Lions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 529: 219-231.
- Buitrón, B. y A. Perea. 2000. Aspectos reproductivos de la anchoveta peruana durante el período 1992-2000. *Bol. Inst. Mar Perú* 19: 45-53.
- Canales, C., N. Adasme, L. Cubillos, M.J. Cuevas and N. Sánchez. 2018. Long-time spatio-temporal variations in anchovy (*Engraulis ringens*) biological traits off northern Chile: an adaptive



- response to long-term environmental change?. ICES Journal of Marine Science, 75(6), 1908-1923.
- Cerna, F. and G. Plaza. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. Marine and Freshwater Research.
- Chávez, F., J. Ryan, S. Lluch-Cota and M. Ñiquén. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. Review. Science, 299(5604): 217-221.
- Checkley, D.M.J., P. Ayon, T. Baumgartner, M. Bernal, J.C. Coetzee, R. Emmett, R. Guevara-Carrasco, L. Hutchings, L. Ibaibarriaga, H. Nakata, Y. Oozeki, B. Planque, J. Schweigert, Y. Stratoudakis and C.D. Van der Lingen. 2009. Habitats. In: Checkley, D., J. Alheit, Y. Oozeki and C. Roy (eds.), Climate Change and Small Pelagic Fish. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 12-44.
- Chen, D., H. J. Wang, S. Yang and Y. Gao. 2016. A multidecadal oscillation in the northeastern Pacific. Atmospheric and Oceanic Science Letters 9, 315-326.
- Chirichigno, N. y J. Vélez. 1998. Clave para identificar los peces marinos del Perú (2da edición). Pub. Esp. Inst. Mar Perú. 500 p.
- Claramunt, G., L. Cubillos, L. Castro, C. Hernández and M. Arteaga. 2014. Variation in the spawning periods of *Engraulis ringens* and *Strangomera bentincki* off the coasts of Chile: A quantitative analysis. Fisheries Research, 160, 96-102.
- Contreras-Reyes, J., T.M. Canales and P.M. Rojas. 2016. Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. Journal of Marine Systems 164, 67-75.
- Cubillos, L., T.M. Canales, D. Bucarey, A. Rojas y R. Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla de primera madurez de *Strangomera bentincki*, y *Engraulis ringens* en el periodo 1993-1997 en la zona centro sur de Chile. Investigaciones Marinas 27: 73-85.
- Díaz, E., G. Böhm, C. Hernández y C. Bernal. 2013. Determinación del período reproductivo y máxima intensidad de desove (MID) de la anchoveta en la Zona Norte. Informe Coyuntural. Convenio Asesoría Integral para la Toma de Decisiones en Pesca y Acuicultura, 2013. Proyecto 1.10: Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Norte. Subsecretaría de Economía / Junio-2013.
- Docmac, F., M. Araya, I. A. Hinojosa, C. Dorador and C. Harrod. 2017. Habitat coupling writ large: pelagic-derived materials fuel benthivorous macroalgal reef fishes in an upwelling zone. Ecology 98(9): 2267-2272.
- Engelhard, G. y M. Heino. 2004. Maturity changes in Norwegian spring-spawning herring *Clupea harengus*: compensatory or evolutionary responses? Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 272: 245-256.
- Folch, J., M. Lees, and G. H. Sloane Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. The Journal of biological chemistry, 226, 497-509.
- Fry, B. 2006. Stable Isotope Ecology. New York: Springer. 316 p.



- Furness, R. W. 1978. Energy requirements of seabird communities: a Bioenergetics model. *Journal of Animal Ecology* 47: 39-53.
- Gómez, F. 2007. Variabilidad ambiental y pequeños pelágicos de la zona norte y centro-sur de Chile. Tesis Magister en Ciencias, mención Pesquerías. Universidad de Concepción, 90 p.
- Hernández-Santoro, C., M. Landaeta and J. Castillo. 2019a. Effect of ENSO on the distribution and concentration of catches and reproductive activity of anchovy *Engraulis ringens* in northern Chile. *Fish Oceanogr.* 28: 241-255.
- Hernández-Santoro, C., J. Contreras y M. Landaeta. 2019b. Intra-seasonal variability of sea surface temperature influences phenological decoupling in anchovy (*Engraulis ringens*). *Journal of Sea Research*. *Journal of Sea Research* 152.
- Hernández, C., G. Pérez, E. Díaz y G. Böhm. 2013. Análisis de indicadores macro y microscópicos para establecer el período de máxima intensidad de desove de la anchoveta *Engraulis ringens* en la zona norte de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 48 (3): 451-457.
- Hückstädt, L. A. and T. Antezana. 2003. Behaviour of the southern sea lion (*Otaria flavescens*) and consumption of the catch during purse-seining for jack mackerel (*Trachurus symmetricus*) off central Chile. *ICES Journal of Marine Science* 60: 1003-1011.
- Hyslop, E. J. 1980. Stomach contents analysis—a review of methods and their application. *J Fish Biol.*
- Kelleher, K. 2005. Discards in the world's marine fisheries. An update. FAO Fisheries Technical Paper:131. Rome.
- Kiljunen, M., J. Grey, T. Sinisalo, C. Harrod, H. Immonen and R. I. Jones. 2006. A revised model for lipid-normalizing $\delta\delta$ C values from aquatic organisms, with implications for isotope mixing models. *Journal of Applied Ecology*(43): 1213-1222.
- Klarian, S. A., B. E. Molina-Burgos, A. Saavedra, P. Gálvez, R. Vargas, R. Meléndez, and E. T. Schultz. 2018. New insights on feeding habits of the southern blue whiting *Micromesistius australis* Norman, 1937 in eastern South Pacific waters. *J Appl Ichthyol* 34(3): 694-697.
- Lambert, Y., N. Yaragina, G. Kraus, G. Marteinsdottir and P. Wright. 2003. Using environmental and biological indices as proxies for egg and larval production of marine fish. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 33: 115-159.
- Lambert, T. 1987. Duration and intensity of spawning in herring *Clupea harengus* as related to the age structure of the mature population. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 39, 209-220.
- Lasker, R. and P. E. Smith. 1977. Estimation of the effects environmental variations on the eggs and larvae of the northern anchovy. *Calif. Coop. Oceanic Fish, Rep.* 19: 128-137.
- Leal, E. y E. Díaz. 2012. Estimación de la ojiva de madurez sexual en jurel. Informe Final, Subpesca.
- Leiva, F., R. Vargas, C. Grendi, M. Pizarro, U. Cifuentes, B. Leiva, F. Cerna, A. López, F. Sanchez, C. Lang, J. Angulo, V. Valenzuela, F. Osorio, L. Herrera, J. Jaque y M. Albornoz. 2017. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2016. Instituto de Fomento Pesquero, 281 p.



- Litz, M. N., J. A. Miller, L. A. Copeman, D. J. Teel, L. A. Weitkamp, E. A. Daly and A. M. Claiborne. 2017. Ontogenetic shifts in the diets of juvenile Chinook Salmon: new insight from stable isotopes and fatty acids. *Environmental biology of fishes*, 100, 337-360.
- Lowerre-Barbieri, S. K., N. J. Brown-Peterson, H. Murua, J. Tomkiewicz, D. Wyanski and F. Saborido-Rey. 2011. Emerging Issues and Methodological Advances in Fisheries Reproductive Biology. *Mar. Coast. Fish.* 3: 32-51.
- Marr, J. C., 1960. The causes of major variations in the catch of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard). In: Rosa J, Murphy G (eds.), *Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Sardines and Related Species*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 667-791.
- Marshall, C. T., O. S. Kjesbu, N. A. Yaragina, P. Solemdal and O. Ulltang. 1998. Is spawner biomass a sensitive measure of the reproductive and recruitment potential of Northeast Arctic cod?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 1766-1783.
- Martínez, C., G. Böhm, E. Díaz, L. Ossa, H. Reyes, R. Aravena, F. Cerna, V. Bocic, C. Machuca, L. Muñoz y M. Troncoso. 2008. Programa: Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Proyecto: Investigación de la Situación de la Pesquería Pelágica de la Zona Norte, 2007 – Informe Final. Convenio SUBPESCA – IFOP. Instituto Fomento Pesquero Valparaíso, Chile.
- Martínez, D. y G. González. 2004. *Las aves de Chile. Nueva guía de campo*. Ediciones del Naturalista, Santiago. 620 p.
- Mori, J., B. Buitrón, A. Perea, C. Peña y C. Espinoza. 2011. Variabilidad interanual en la estrategia reproductiva de la anchoveta peruana en la región norte-centro del litoral del Perú. *Ciencias Marinas*, 37 (4B): 513-525.
- Munilla, I. 2014. *Guía básica de aves marinas del parque nacional de las islas Atlánticas de Galicia y de las rías baixas*.
- Northridge, S. P. and R. J. Hofman. 1999. Marine mammal interactions with fisheries. Pages 99–119 in J. R. Twiss Jr. and R. R. Reeves, editors. *Conservation and management of marine mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Ñiquen, M., M. Bouchon, S. Cahuin y J. Valdez. 1999. Efectos del fenómeno “El Niño 1997-98” sobre los principales recursos pelágicos en la costa peruana. In: Tarazona, J. y E. Castillo (Eds.). *El Niño 1997-98 y su impacto sobre los Ecosistemas Marino y Terrestre*. Rev. Perú biol. Vol. Extraordinario: 85-96.
- Oliva, D., W. Sielfeld, L. Durán, M. Sepúlveda, M. Pérez, L. Rodríguez, W. Stotz y V. Araos. 2003. Interferencia de mamíferos marinos con actividades pesqueras y de acuicultura. Informe Final Proyecto FIP 03-32: 1-216. Subsecretaría de Pesca, Valparaíso.
- Ottersen, G., S. Kim, G. Hused, J. Polovina and N. Stenseth. 2010. Major pathways by which climate may force marine fish populations. *J. Mar. Syst.*, 79(3-4): 343-360.
- Parada, C., B. Yannicelli, S. Hormazábal, S. Vásquez, J. Porobić, B. Ernst, C. Gatica, M. Arteaga, A. Montecinos, S. Núñez y A. Grechina. 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.
- Parnell, A.C., R. Inger, S. Bearhop and A. L. Jackson. 2010. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PLoS One* 5(3): e9672.
- Pauly, D. 2010. Gasping fish and panting squids: oxygen, temperature and the growth of water-breathing animals. In: *Excellence in Ecology*. 22, International Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany.
- Pauly, D. and W. W. L. Cheung. 2017. Sound physiological knowledge and principles in modelling shrinking of fishes under climate change. *Glob. Chang. Biol.* 24, e15–e26.
- Pauly, D. and W. W. L. Cheung. 2018. On confusing cause and effect in the oxygen limitation of fish. *Glob. Chang. Biol.* 24, e743–e744.
- Perea, A., B. Buitrón, J. Mori, J. Sánchez y C. Roque. 2015. Anomalías de los índices reproductivos de anchoveta *Engraulis ringens* en relación al ambiente. En: "Estudio y monitoreo de los efectos del fenómeno El Niño en el ecosistema marino frente al Perú". *Boletín trimestral Oceanográfico*, Volumen 1, Números 1-4.
- Phillips, D. L. and P. L. Koch. 2002. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models. *Oecologia* 130(1):114-125.
- Plaza, G., F. Cerna F, M. Landaeta, A. Hernández and J. E. Contreras. 2018. Daily growth patterns and age-at-recruitment of the anchoveta *Engraulis ringens* as indicated by a multi-annual analysis of otolith microstructure across developmental stages. *J. Fish. Biol.* 93(2): 370-381.
- Plaza, G. y F. Cerna. 2015. Validation of daily microincrement deposition in otoliths of juvenile and adult Peruvian anchovy *Engraulis ringens*. *Journal of Fish Biology* 86, 203-216.
- Prado, C. 2008. Comportamiento reproductivo de *Sula variegata*, Tschudi 1845, en acantilados de Quirilluca, Horcón, Valparaíso. *Boletín Chileno de Ornitología* 14: 104-111.
- Quinn, G. P. and M. J. Keough. 2002. *Experimental design and data analysis for biologist*. Cambridge University Press.
- Rochet, M. J. 2009. Effects of fishing on the population. In: Jakobsen T, MJ Fogarty, BA Megrey & E Moksness (eds). *Fish reproductive biology*, pp. 172-206. Wiley-Blackwell Scientific Publications, Chichester.
- Rogers, L. A. and A. B. Dougherty. 2019. Effects of climate and demography on reproductive phenology of a harvested marine fish population. *Glob. Chang. Biol.* 25, 708–720.
- Romano, T. A. 1993. *Neural-Immune Interactions in the Beluga Whale, Delphinapterus leucas*. Ph.D. dissertation, University of Rochester, Rochester.
- Rosa, R., L. Gonzalez, B. R. Broitman, S. Garrido, A. M. Santos and M. L. Nunes. 2010. Bioenergetics of small pelagic fishes in upwelling systems: relationship between fish condition, coastal ecosystem dynamics and fisheries. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 410, 205–218.



- Sáez, J. J., T. Hornauer-Hughes, A. Tomaz, N. Van Rees. and J. C. Torres Mura. 2016. Natural history of the peruvian Booby (*Sula Variegata*) in the Quirilluca Cliffs, Valparaíso, Chile. El Hornero, 031(01), 001-006.
- Sardenne, F., E. Kraffe, A. Amiel, E. Fouché, L. Debrauwer, F. Ménard and N. Bodin. 2017. Biological and environmental influence on tissue fatty acid compositions in wild tropical tunas. Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology, 204, 17-27.
- Sengupta, S., A. Parekh, S. Chakraborty, K. Ravi Kumar and T. Bose. 2013. Vertical variation of oxygen isotope in Bay of Bengal and its relationships with water masses. J Geophys Res C: Oceans 118:1-14.
- Sepúlveda, M. and D. Oliva. 2005. Interaction between South American sea lions *Otaria flavescens* and salmon farms in southern Chile. Aquaculture Research 36: 1062-1068.
- Sepúlveda M, M.J. Pérez, D. Oliva, L.R. Durán, W. Sielfeld, V. Araos and M. Buscaglia. 2007. Operational interaction between South American sea lions *Otaria flavescens* and artisanal (small-scale) fishing in Chile: results from interview surveys and on-board observations. Fisheries Research 83: 332-340.
- Serra, R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: G.D. Sharp and J. Csirke (Eds.) Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18 - 29 April 1983. FAO Fish. Rep. 291 (2): 255-284.
- Silva, A., M. B. Santos, B. Caneco, G. Pestana, C. Porteiro, P. Carrera and Y. Stratoudais. 2006. Temporal and geographic variability of sardine maturity at length in the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. ICES Journal of Marine Science, 63: 663-676.
- Sielfeld, W. 1999. Estado del conocimiento sobre conservación y preservación de *Otaria flavescens* (Shaw, 1800) y *Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783) en las costas de Chile. Estudios Oceanológicos. (18): 81-96.
- Subpesca, 2021. Informe Sectorial de Pesca y Acuicultura. Consolidado 2020. Departamento de Análisis Sectorial, 21 p.
- Swartzman, G., A. Bertrand, M. Gutiérrez, S. Bertrand and L. Vasquez. 2008. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. Progress in Oceanography 79, 228-237.
- Szteren D. and E. Páez. 2002. Predation by Southern sea Lion (*Otaria flavescens*) and artisanal fishing catches in Uruguay. J Mar Freshw Res 53, 1161-1167.
- Team, R. C. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013. 3.5.1 edn.
- Thiel, M., E. C. Macaya, E. Acuña, W. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. A. Camus, J. C. Castilla, L. Castro, M. Cortés, C. P. Dumont, R. Escribano, M. Fernández, J. A. Fajardo, C. F. Gaymer, I. Gómez, A. E. González, H. 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.

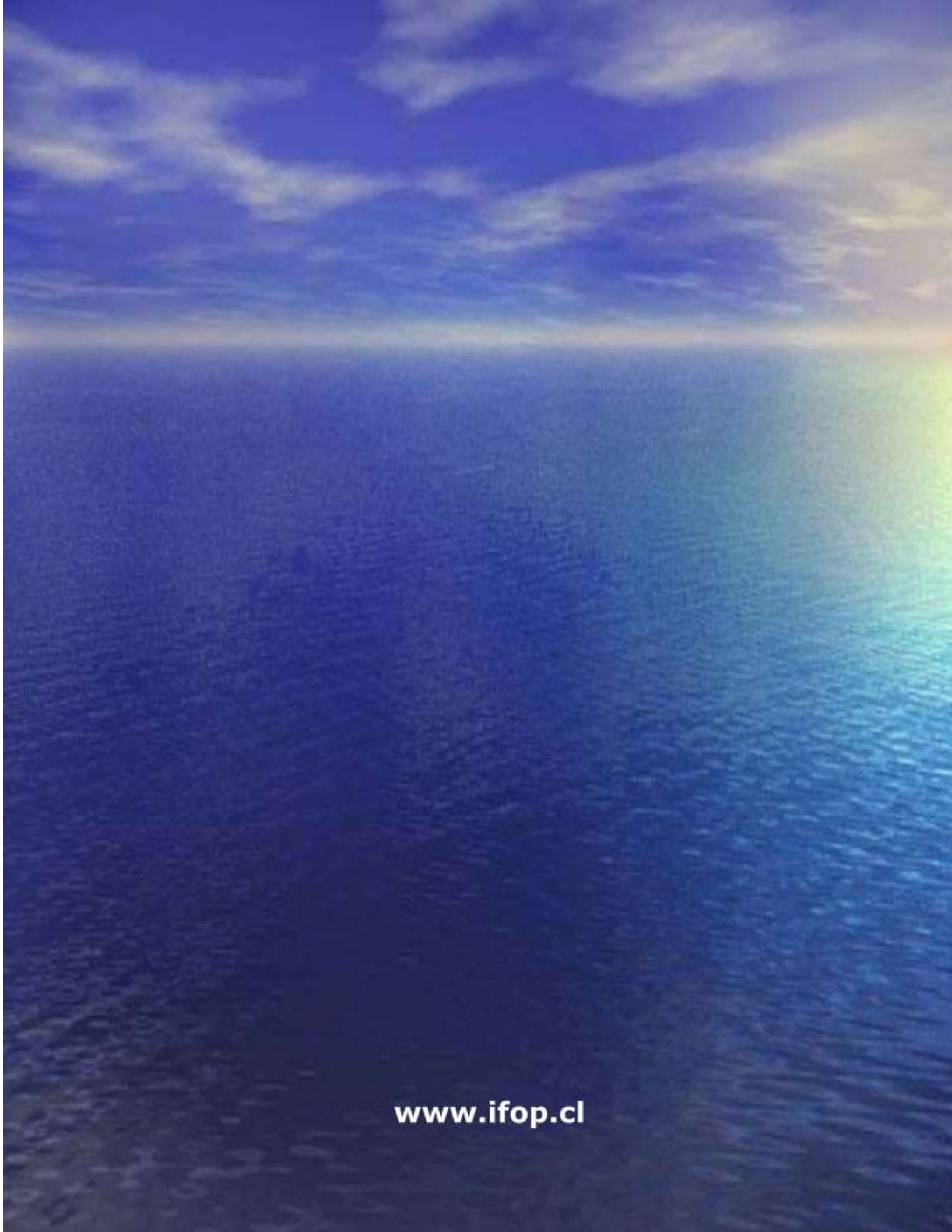


- Navarrete, E. Pérez, E. Poulin, J. Sellanes, H. Hito Sepúlveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C. A. Vargas, J. A. Vásquez and J. M. Alonso Vega. 2007. The Humboldt current system of northern and central Chile. Oceanographic processes, Ecological interactions and socioeconomic 50 feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual review* 45: 195-344.
- Turnbull, B. S, and D. F. Cowan. 1998. Myocardial contraction band necrosis in stranded cetaceans. *Journal of Comparative Pathology* 1 18(3): 17-327.
- Ugaz C., R. A. Valdez, M. C. Romano and F. Galindo. 2013. Behavior and salivary cortisol of captive dolphins (*Tursiops truncatus*) kept in open and closed facilities. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical applications and Research*, 8(4): 285-290.
- Ulloa, O., R. Escribano, S. Hormazábal, R. Quiñones, M. Ramos and R. González. 2001. Evolution and biological effects of the 1997-1998 El Niño in northern Chile. *Geophys. Res. Lett.*, 28(8): 1591-1594.
- Wickens, P. 1995. A review of operational interactions between pinnipeds and fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper* 346: 1-86.
- Wright, P. and E. Trippel. 2009. Fishery-induced demographic changes in the timing of spawning: consequences for reproductive success. *Fish and Fisheries*, 10, 283-304.
- Yáñez, E. M. A. Barbieri, C. Silva, K. Nieto and F. Espíndola. 2001. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. *Prog. Oceanogr.*, 49: 581-596.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl