



INFORME DE AVANCE

Convenio de Desempeño 2020
Evaluación del stock desovante de anchoveta y
sardina común entre la Región de Valparaíso y
la Región de Los Lagos, año 2020

SUBSECRETARÍA ECONOMÍA Y EMT / Mayo-2021



INFORME DE AVANCE
Convenio de Desempeño 2020

Evaluación del stock desovante de anchoveta y
sardina común entre la Región de Valparaíso y
la Región de Los Lagos, año 2020

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Abril 2021

REQUERIENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretario de Economía y EMT:
Julio Pertuzé Salas

ORGANISMO RESPONSABLE
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO-IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe División Investigación Pesquera (I)
Sergio Lillo Vega

Investigadores Responsables
Catherine Grendi Celedón
Hernán Reyes Rivas

Departamento Oceanografía y Medio Ambiente
Jaime Letelier Pino

ORGANISMO EJECUTOR

Instituto de Investigación Pesquera Octava Región S.A.

Director
Aquiles Sepúlveda Oróstica

JEFE DE PROYECTO IFOP

Catherine Grendi Celedón



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Abril 2021

AUTORES

Edición

Catherine Grendi Celedón
Hernán Reyes Rivas

Oceanografía

Sergio Núñez Elías
Sebastián Vásquez Pastene
Rubén Luna Aguayo

Índices huevos y Producción Diaria

Aquiles Sepúlveda Oróstica
Sebastián Vásquez Pastene
Jocelyn Silva Aburto

Índices Adultos y Reproductivos

Aquiles Sepúlveda Oróstica
Paola González Kother
Sylvia Vargas Rosado

Acústica sobre Adultos

Nicolás Alegría Landeros



I. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente Informe de Avance del proyecto “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2020”, se presentan los resultados parciales del objetivo específico 1) Determinar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común, junto con los resultados completos de los objetivos específicos: 2) Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos y 3) Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común.

Se ejecutaron los cruceros de huevos y de adultos orientados a la aplicación del Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) para evaluar el stock desovante de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomera bentincki*) en la zona centro sur de Chile (33°S – 41°30'S).

El crucero de recolección de huevos se realizó, entre el 28 de septiembre y el 19 de octubre de 2020, en tres sectores geográficos, similares a años anteriores: a) Sector norte, entre la bahía Valparaíso a Pichilemu (33°00'S – 34°20'S), b) Sector centro, entre punta de Lobos a Chaihuín (34°20'S – 40°S), y c) Sector sur, entre Chaihuín y playa Hua Huar (40°S – 41°20'S).

En el sector norte la separación de transectas fue de 20 mn (sector considerado exploratorio), mientras que, en el área principal de desove, el sector centro tuvo una separación de 5 mn y en el sector sur se estableció una separación de 10 mn entre transectas. Del total de 454 estaciones realizadas en la grilla 2020: 454 estaciones se realizaron con red PAIROVET (0-70 m); en 208 estaciones (68 en el norte, 78 en el centro y 62 en el sur) se obtuvieron perfiles oceanográficos en profundidad con CTD/OF (0-100 m), en 68 estaciones se tomaron muestras de mesozoopláncton con red cónica (0-100 m) y en 4 estaciones se realizó muestreo estratificado (25-0 m, 50-25 m, 75-50 m, 75-100 m) con red WP2. En 57 estaciones se tomaron muestras de fitopláncton con red WP2 (0-100 m) y en 13 estaciones se tomaron muestras de agua de mar (0-100 m) para la determinación de clorofila-a.

La distribución superficial de la temperatura reveló una banda costera de aguas frías, con leve gradiente meridional (~1°C), el dominio de isoterma de 11,5°-11°C en gran parte de la región nerítica, y aguas levemente más cálidas (~12°C) al norte de 34°S. No se observaron gradientes zonales de importancia. La variabilidad de la salinidad superficial mostró el dominio de isohalinas >34,3 al norte de 35°30'S. Al sur de 36°S-37°S se presentaron salinidades <33,5, producto del aporte de aguas continentales de los numerosos ríos locales. En estratos más profundos se observó una distribución térmica homogénea, con el dominio de las isoterma de 10°C y 10,5°C, sin presencia de gradientes zonales ni meridionales de importancia. A nivel subsuperficial predominaron salinidades >34,5 y concentraciones de oxígeno disuelto <2 mL L-1, caracterizando la masa de agua ecuatorial subsuperficial en su flujo hacia el polo.

La información satelital de TSM mostró el patrón latitudinal habitual con una banda costera de aguas más frías (11°C-12°C), y un gradiente zonal al norte de 37°S. En esta banda costera, también se



presentaron las mayores concentraciones de clorofila-a que superaron 10 mg m⁻³; así como el campo de corrientes geostróficas superficiales que intensificaron el flujo hacia el norte, junto con la presencia de tres remolinos de giro anticiclónicos entre 74°W-76°W.

La distribución en profundidad de las variables hidrográficas, mostró escasa estratificación térmica y escasa variación meridional en la mayoría de las estaciones, con predominio de temperaturas de 11°C que disminuyeron en los estratos más profundos. La salinidad exhibió un estrato superficial con un gradiente meridional positivo al norte de 35°30'S, escasa estratificación y la presencia de agua ecuatorial subsuperficial a partir de los 60-80 m (máximo salino y mínimo de oxígeno). Mientras que al sur de 36°S se observaron aguas con menor salinidad y densidad en los primeros 10 m de profundidad, evidenciando la influencia de la descarga de agua fluvial.

La capa de mezcla presentó un gradiente zonal con espesores menores a 20 m a lo largo de la costa, que se profundizó hacia el sector oceánico. La profundidad base de la termoclina también mostró un gradiente zonal con valores ~30 m en una banda muy costera en los sectores norte y centro. Al sur de 37°S-38°S la termoclina estuvo en ~20 m en la mayoría de las estaciones, sin variaciones zonales. En tanto la profundidad de la capa de mínimo oxígeno fue detectada a profundidades <50 m en la banda costera entre 38°S y 40°S, con un claro gradiente zonal debido a mayores profundidades hacia el límite occidental de los transectos.

El análisis de los diagramas T-S en la región de estudio indicó la presencia de las masas de agua subantártica en el estrato subprofundo (~40-50 m), junto con el agua ecuatorial subsuperficial a profundidades >80 m, en su flujo hacia el polo.

Se recolectaron 454 muestras de huevos con red Calvet y la mayor parte de las concentraciones de mayor densidad estuvieron asociadas a zonas de desove recurrentes y a estaciones costeras cercanas a la primera milla náutica, existiendo pocas estaciones positivas en áreas de mayores profundidades y más alejadas de la costa.

El área total de evaluación del crucero 2020 correspondió a 32.668 km². El porcentaje de estaciones positivas para los huevos de sardina común fue de 24,5% (111 estaciones) y para la anchoveta fue de 35,5% (161 estaciones), con densidades medias de 46,8 huevos/0,05 m² y 56,1 huevos/0,05 m², respectivamente.

Las larvas de ambas especies mostraron una amplia cobertura espacial desde la región de Valparaíso hasta la región de Los Lagos, con una alta positividad en el sector norte, lo que puede ser consistente con las condiciones de desplazamiento de masas de agua y transporte larval de sur a norte, dado el predominio de viento sur y condiciones regionales La Niña que imperaron en la primavera de 2020.

El período de tiempo por el cual se extendió el crucero de huevos y el de adultos de ambas especies fue similar al período de estudio de los últimos 10 años. El área total del desove para la anchoveta se estimó en 14.405 km² (44,12% del área evaluada) y el de sardina común se estimó en 10.296 km² (31,5% del área evaluada).



En ambas especies, los mayores valores de producción de huevos se obtuvieron en el sector sur (anchoveta: 1.124 huevos/m²/día y sardina común: 1.520 huevos/m²/día), con considerables diferencias en la tasa de mortalidad diaria, la que fue mayor para la sardina común.

Entre el 28 septiembre y el 3 noviembre de 2020, los cruceros de adultos realizaron un total de 79 lances de pesca en dos embarcaciones, de los cuales, 10 se efectuaron entre 33°41'S-35°51'S, 48 entre 36°22'S-38°25'S y 21 entre 38°38'S-41°18'S. En ambas especies, predominaron ejemplares adultos: con 2.857 individuos de anchoveta (1.350 en el norte, 1.300 en el centro y 207 en el sur) y 6.705 individuos de sardina común (270 en el norte, 4.280 en el centro y 2.155 en el sur).

La estructura de tallas de la sardina común mostró la presencia de juveniles (<8,5 cm LT) tanto en el sector norte como en el sector centro, observándose en el sector norte los individuos más pequeños (entre 5 y 7 cm LT) y la moda de la fracción adulta estuvo en torno a los 12 cm LT, talla cercana al 50% de madurez sexual en esta especie. En los sectores centro y sur, se observaron tallas mayores con modas de 15 y 14,5 cm LT, respectivamente. En el sector centro, destacó la moda en torno a 8,5 cm LT, la que correspondería a individuos del año que inician su primera madurez y contribuirían al stock desovante de la sardina común. En el caso de la anchoveta, existió un mayor aporte de peces de inicio de la madurez sexual (8 a 10 cm LT) en el sector norte, complementado con un amplio rango de tallas de fracciones adultas superiores a 10 cm LT.

El monitoreo reproductivo, representado con IGS promedio >4,5% y con una proporción de estados de madurez macroscópicos 3+ >80%, evidenció que el estudio se desarrolló dentro del período de máxima actividad reproductiva.

Respecto a los indicadores reproductivos, se presentó mayor número de hembras en sardina común, con 768 ejemplares (22 en el norte, 497 en el centro y 249 en el sur), en relación con la anchoveta, con 292 ejemplares (90 en el norte, 139 en el centro y 63 en el sur). Los valores de IGS promedio, entre las semanas 40 y 45 fueron mayores en la anchoveta (entre 4,7% y 9,1%), con dominio de EMS-3 en los sectores norte (88%) y sur (83%) en comparación con los IGS de sardina común (entre 4,5% y 6,2%) que también presentó EMS-3 >73% en los tres sectores (norte, centro y sur).

La sardina común se distribuyó mayormente en los sectores centro y sur, con una baja representación en las muestras del sector norte. En la anchoveta y de forma inversa, se observó una mayor representación en el sector norte, la que se redujo hacia el sur.

El laboratorio de histología procesó 759 góndadas de sardina común y 276 góndadas de anchoveta. Del análisis de los estados de madurez, se destacó que, si bien el crucero fue efectuado dentro del período de actividad reproductiva de ambos recursos, en la sardina común se observó la presencia de atresias e indicios de que el proceso de máxima actividad se habría iniciado semanas antes del inicio de colecta de adultos.

La estimación de la fecundidad parcial promedio de hembras hidratadas de sardina común fue de 13.421 ovocitos, mientras que la fecundidad parcial promedio de hembras hidratadas de anchoveta,



fue de 14.495 ovocitos. Los pesos medios de las hembras de ambas especies fueron determinados en laboratorio con 27,61 g para la sardina común y con 14,76 g para la anchoveta.

La proporción de hembras fue determinada desde las tomas de muestras a abordo y para cada lance de pesca, y sus estimados fueron de 0,469 para la sardina común (Centro: 0,504, Sur: 0,456) y de 0,392 para la anchoveta (Centro: 0,386, Sur: 0,458).

La fracción desovante de sardina común fue de 0,281 (Centro) y 0,074 (Sur) y en el caso de la anchoveta correspondió a 0,107 (Centro) y 0,024 (Sur).

La biomasa desovante estimada para la sardina común fue de 8.368 ton (Centro) y de 437.233 ton (Sur), equivalente a una biomasa desovante total de 445.601 ton (CV: 0,280). En la anchoveta, los estimados de biomasa desovante total fueron de 643.089 ton (CV: 0,261) y biomassas por sector de 71.121 ton (Centro) y de 571.968 ton (Sur).

Por otra parte, el análisis preliminar de la información acústica permitió identificar comportamiento de migración vertical en las agregaciones de ambas especies. Durante las horas de oscuridad las agregaciones estuvieron en los primeros 20 m de la columna de agua y luego migraron a mayores profundidades ~60 m. Este comportamiento también presentó diferencias espacio temporales, en septiembre se observó en los primeros 20 m y en octubre se profundizó a ~45 m, además a medida que aumentó la latitud las agregaciones fueron detectadas a mayor profundidad.



II. ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN EJECUTIVO	I
II. ÍNDICE GENERAL	V
III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	VIII
FIGURAS	IX
TABLAS	XII
IV. ANTECEDENTES	1
V. OBJETIVOS	3
1. Objetivo general	3
2. Objetivos específicos	3
VI. METODOLOGÍA GENERAL	4
1. Actividades administrativas y operacionales	4
2. Área y periodo de estudio	5
3. Objetivo 1: Determinar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común	7
3.1. Estaciones oceanográficas CTDO	7
3.2. Procesamiento de datos y muestras	8
3.3. Análisis de información	9
3.3.1. Cartas horizontales en diferentes estratos	9
3.3.2. Estructuras oceanográficas verticales	9
3.3.3. Diagramas TS	9
3.3.4. Información satelital	9
3.3.5. Información meteorológica	10
3.3.6. Análisis histórico	10
4. Objetivo 2: Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos	11
4.1. Muestreo planctónico	11
4.1.1. Muestreo de ictioplancton	11
4.1.2. Muestreo de fitoplancton y mesozoopláncton	13
4.2. Determinación del área del crucero y área de desove de anchoveta y sardina común	14
4.3. Determinación de la edad desde incubaciones y datación de huevos	15
4.3.1. Método convencional: procedimiento automatizado de Lo	15
4.3.2. Método Multinomial	16



4.4. Estimación de la Tasa de Mortalidad y Producción Diaria de Huevos	18
5. Objetivo 3: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común	20
5.1. Fecundidad parcial.....	23
5.2. Fecundidad parcial por hembra madura y fecundidad media poblacional.....	24
5.3. Caracterización de los folículos post ovulatorios de anchoveta y de sardina común	25
5.4. Modelo de estimación de la Biomasa Desovante basado en la producción diaria de huevos	26
5.4.1. Peso medio de las hembras maduras (W).....	28
5.4.2. Proporción sexual (R)	29
5.4.3. Fracción de hembras desovantes (S)	30
6. Estudio acústico de pelágicos pequeños.....	32
6.1. Equipamiento y área de estudio	33
6.2. Análisis de la información acústica	34
6.3. Identificación acústica de zooplancton	35
6.4. Distribución espacial mediante geoestadística	35
VII. RESULTADOS	39
1. Objetivo 1: Condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común	39
1.1. Condiciones meteorológicas	40
1.2. Distribución horizontal de las variables oceanográficas	42
1.2.1. Estrato de 5 m de profundidad.....	42
1.2.2. Estrato de 25 m de profundidad.....	45
1.2.3. Estrato de 50 m de profundidad.....	47
1.2.4. Estrato de 100 m de profundidad.....	49
1.3. Información satelital	51
1.3.1. Imágenes semanales.....	51
1.3.2. Información satelital promedio (26 septiembre-16 octubre 2020).....	55
1.4. Secciones oceanográficas	57
1.4.1. Secciones paralelas a la costa	57
1.4.2. Secciones perpendiculares a la costa	57
1.5. Perfiles verticales.....	59
1.6. Estructuras en profundidad.....	62
1.7. Diagramas TS	64
1.8. Análisis histórico	65
2. Objetivo 2: Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos	73
2.1. Distribución espacial y densidad de huevos y larvas.....	73
2.2. Determinación del área de crucero y área de desove por sector	77
2.3. Producción diaria de huevos (P_0) y mortalidad (Z)	79
3. Objetivo 3: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común	82
3.1. Crucero de adultos.....	82
3.1.1. Lances de pesca.....	82
3.1.2. Composición por tallas.....	82
3.1.3. Proporción de especies	84
3.2. Indicadores reproductivos	84
3.2.1. Índice gonadosomático (IGS)	86
3.3. Análisis histológicos y parámetros reproductivos	90



3.3.1. Estados de madurez macroscópicos	92
3.3.2. Índice Gonadosomático relacionado con la talla y el estado de madurez	95
3.4. Análisis histológico de la condición reproductiva de sardina común y anchoveta	97
3.5. Estados de madurez microscópicos	97
3.6 Distribución de folículos post ovulatorios y fracción diaria de hembras desovantes	101
3.7. Fecundidad parcial en el periodo de desove	104
3.8. Peso promedio y proporción de hembras	106
3.9. Biomasa desovante	106
4. Estudio acústico de pelágicos pequeños.....	108
VIII. DISCUSIONES	114
IX. CONCLUSIONES	117
X. REFERENCIAS	120
ANEXO I: SECCIONES OCEANOGRÁFICAS PERPENDICULARES A LA COSTA	131
Sector norte	131
Sector centro.....	131
Sector sur.....	132
ANEXO II: PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD.....	146
ANEXO III: TALLER METODOLÓGICO Y DE COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES	149



III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1. Mapa de la grilla de estaciones de muestreo efectuado en la zona de estudio. Crucero MPDH 2020.....	6
Figura 2. Distribución de lances de pesca de anchoveta y sardina común y lances sin pesca en estudio MPDH (28 septiembre al 03 noviembre, 2020).....	21
Figura 3. Track de navegación propuesto inicialmente (línea amarilla) y estaciones de muestreo (puntos rojos) en el sector centro.....	34
Figura 4. Variabilidad diaria de la intensidad del viento (nudos) para los sectores norte, centro y sur. Crucero MPDH, 2020.....	41
Figura 5. Variabilidad porcentual de la dirección del viento en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur. Crucero MPDH 2020. Variabilidad porcentual de la dirección de olas en los sectores: d) norte, e) centro y f) sur	42
Figura 6. Distribución horizontal el estrato superficial de 5 m de: a) temperatura (°C), b) salinidad, c) densidad, σt (kg m ⁻³), d) concentración de oxígeno disuelto (mL L ⁻¹) y e) concentración de clorofila-a (mg m ⁻³). Crucero MPDH, 2020.....	44
Figura 7. Distribución horizontal en el estrato de profundidad de 25 m de: a) temperatura (°C), b) salinidad, c) densidad, σt (kg m ⁻³), d) concentración de oxígeno disuelto (mL L ⁻¹), y e) concentración de clorofila-a (mg m ⁻³). Crucero MPDH, 2020.....	46
Figura 8. Distribución horizontal en el estrato de profundidad de 50 m de: a) temperatura (°C), b) salinidad, c) densidad, σt (kg m ⁻³), d) concentración de oxígeno disuelto (mL L ⁻¹), y e) concentración de clorofila-a (mg m ⁻³). Crucero MPDH, 2020.....	48
Figura 9. Distribución horizontal en el estrato de profundidad de 100 m de: a) temperatura (°C), b) salinidad, c) densidad, σt (kg m ⁻³), y d) concentración de oxígeno disuelto (mL L ⁻¹). Crucero MPDH, 2020.....	50
Figura 10. Distribución espacial de la temperatura superficial del mar (°C) durante el crucero. Semanas 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.....	51
Figura 11. Distribución espacial de la clorofila (mg m ⁻³) durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.....	52
Figura 12. Distribución espacial de la altura de nivel del mar (cm) en conjunto con la disposición superficial de corrientes geostróficas (cm s ⁻²), durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.....	53
Figura 13. Distribución espacial de la energía cinética asociada a remolinos (cm ² s ⁻²), en conjunto con la disposición superficial de corrientes geostróficas (cm s ⁻²), durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.....	54
Figura 14. Distribución espacial del patrón superficial de viento satelital (m s ⁻¹), durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.....	54
Figura 15. Distribución espacial promedio durante el crucero (26 septiembre – 16 octubre, 2020) de: a) temperatura superficial del mar (°C), b) clorofila-a (mg m ⁻³), c) altura de nivel del mar (cm) en conjunto con la disposición espacial de corrientes geostróficas (cm s ⁻²), d) energía cinética asociada a remolinos (EKE), y e) campo de viento satelital (m s ⁻¹). Crucero MPDH, 2020.....	56
Figura 16. Secciones paralelas a la costa en profundidad de: a) temperatura (°C), b) salinidad, y c) densidad, sigma-t (kg m ⁻³) y concentración de oxígeno disuelto (mL L ⁻¹). Crucero MPDH, 2020.....	58



Figura 17. Perfiles verticales continuos de temperatura (°C), salinidad, y densidad (σ_t), en los sectores norte (panel superior derecho), centro (panel inferior izquierdo) y sur (panel inferior derecho). Crucero MPDH, 2020.....	60
Figura 18. Perfiles verticales continuos de oxígeno disuelto (mL L^{-1}) y clorofila-a (mg m^{-3}) en los sectores centro (panel superior derecho) y sur (panel inferior). Crucero MPDH, 2020.....	61
Figura 19. Distribución espacial de las profundidades (m) de: a) la capa de mezcla (PCM), b) de la base de la termoclinia (PBT), c) del mínimo de oxígeno (PMO). d) El espesor de la termoclinia (ET, m) y e) la frecuencia de Brünt-Väisälä (N). Crucero MPDH, 2020.....	63
Figura 20. Diagramas TS: a) estaciones del sector norte, b) estaciones del sector centro, y c) estaciones del sector sur. Crucero MPDH, 2020.....	65
Figura 21. Series de tiempo de anomalías de TSM (°C) para el período 1991-2020, en los sectores: a) Norte ($33^{\circ}\text{S}-37^{\circ}10'\text{S}$), y b) Sur ($37^{\circ}10'\text{S}-41^{\circ}\text{S}$). Series de tiempo de anomalías de concentraciones de clorofila-a para el período 1998-2020, en los sectores: c) Norte ($33^{\circ}\text{S}-37^{\circ}10'\text{S}$), y d) Sur ($37^{\circ}10'\text{S}-41^{\circ}\text{S}$).	66
Figura 22. Distribución espacial de la TSM (°C) en los meses de julio de la serie 1999-2020.....	68
Figura 23. Distribución espacial de concentraciones de clorofila-a (mg m^{-3}) en los meses de julio de la serie 1999-2020.....	69
Figura 24. Distribución espacial de la anomalía de la altura del nivel medio del mar (cm) y corrientes geostróficas superficiales (cm s^{-1}) en los meses de julio de la serie 1999-2020.....	70
Figura 25. Distribución espacial de la intensidad (m s^{-1}) y dirección de viento satelital en los meses de julio de la serie 1999-2020.....	71
Figura 26. Distribución espacial del índice de turbulencia ($\text{m}^3 \text{s}^{-3}$) en los meses de julio de la serie 1999-2020.	72
Figura 27. Distribución espacial y densidad de huevos ($\text{ind}/0,05\text{m}^2$) de a) anchoveta y b) sardina común en toda el área del crucero MPDH, 2020.....	74
Figura 28. Distribución espacial y densidad de larvas ($\text{ind}/0,05\text{m}^2$) de: a) anchoveta, y b) sardina común en toda el área del crucero MPDH, 2020.....	76
Figura 29. Distribución espacial de las estaciones de muestreo realizadas durante el crucero de evaluación ictioplanctónica, MPDH, 2020. Se identifican en color azul las estaciones positivas para el desove de anchoveta y sardina común y en rojo las estaciones negativas.....	77
Figura 30. Distribución espacial de la densidad de huevos en $0,05 \text{ m}^2$ de: a) anchoveta y b) sardina común registrados en el crucero de evaluación ictioplanctónica, MPDH, 2020.....	78
Figura 31. Distribución de frecuencia de tamaños en sardina común (izquierda) y anchoveta (derecha), en los diferentes sectores o zonas, durante el crucero de adultos MPDH, 2020.....	83
Figura 32. Proporción de las especies de anchoveta y sardina común en los lances de pesca realizados durante el Crucero de pesca de adultos (MPDH, 2020), en los sectores: a) Norte, b) Centro, y c) Sur.....	84
Figura 33. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en sardina común en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.....	86
Figura 34. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en sardina común por rangos de tallas en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.....	87
Figura 35. Evolución semanal del IGS de sardina común en a) Región del Biobío, y b) Regiones de La Araucanía y de Los Ríos, promedio entre los años 2010-2018, junto con los años 2019 y 2020, hasta la semana 44 (05 al 07 de octubre, 2020).....	87
Figura 36. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en anchoveta en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.....	88



Figura 37. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en anchoveta por rangos de tallas en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020	88
Figura 38. Evolución semanal del IGS de anchoveta en a) Región del Biobío, y b) Regiones de La Araucanía y de Los Ríos, promedio entre los años 2010-2018, junto con los años 2019 y 2020 hasta la semana 50.	89
Figura 39. Distribución del Estado de Madurez Sexual (EMS) en sardina común en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.....	90
Figura 40. Distribución del Estado de Madurez Sexual (EMS) en anchoveta en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020	90
Figura 41. Histograma de frecuencias de longitud horquilla (LH) de: a) sardina común, y b) anchoveta para hembras provenientes del crucero MPDH, 2020	92
Figura 42. Frecuencia porcentual de los estados de madurez sexual macroscópicos de: a) sardina común, y b) anchoveta para el total de la muestra. MPDH, 2020	93
Figura 43. Frecuencia porcentual de estados de madurez sexual macroscópicos por día de captura durante: a) sardina común y b) anchoveta. MPDH, 2020.	94
Figura 44. Variación del IGS promedio con la longitud total correspondiente a: a) sardina común y b) anchoveta en el área prospectada. MPDH, 2020.	95
Figura 45. Valores de IGS promedios en relación con los estados de madurez sexual macroscópicos en ovarios de: a) sardina común y b) anchoveta en el área prospectada. MPDH 2020.	96
Figura 46. Proporción de los estados de madurez sexual microscópicos por sector de captura y día de muestreos obtenidos en el crucero de: a) sardina común y b) anchoveta. En línea negra: sector Norte, línea azul: sector centro norte y línea roja: sector centro sur.	99
Figura 47. Proporción de folículos post ovulatorios (FPO) en: a) sardina común, y b) anchoveta según día de captura.....	100
Figura 48. Proporción de las atresias por día de captura para: a) sardina común, y b) anchoveta	101
Figura 49. Relaciones entre la fecundidad parcial y la longitud total, peso total y peso eviscerado para la sardina común (a, c y e) y anchoveta (b,d,f).	105
Figura 50. Biomasa desovante total (miles de toneladas) de anchoveta y sardina común, proveniente de los cruceros MPDH 2002-2020.	108
Figura 51. Distribución batimétrica (profundidad media en metros), por hora de las agregaciones de anchoveta y sardina común	109
Figura 52. Distribución batimétrica (profundidad media en metros), de las agregaciones de anchoveta y sardina común en los meses de septiembre (9) y octubre (10).....	109
Figura 53. Distribución batimétrica (profundidad media en metros), por latitud de las agregaciones de anchoveta y sardina común.	110
Figura 54. Distribución espacial de las agregaciones de los pequeños pelágicos de anchoveta y sardina común y su densidad acústica. La línea punteada representa el track de navegación de la embarcación....	111
Figura 55. Distribución espacial de las agregaciones de anchoveta (círculos rojos) y sardina común (círculos verdes) y su densidad acústica (m^2/mn^2).....	112
Figura 56. Distribución espacial de enjambres de zooplancton y su densidad acústica (m^2/mn^2).	113

**TABLAS**

Tabla 1. Listado de embarcaciones participantes en el crucero ictioplanctónico y en la pesca de ejemplares adultos de anchoveta y sardina común	4
Tabla 2. Número de estaciones de muestreo oceanográfico (CTD/OF) realizadas en el crucero MPDH, 2020.	7
Tabla 3. Estaciones planctónicas programadas y realizadas por sector y totales. Crucero MPDH 2020.	12
Tabla 4. Información de los lances de pesca de adultos en los sectores norte, centro y sur, coordenadas geográficas, periodo de muestreo.	20
Tabla 5. Caracterización macroscópica para determinar la fase de madurez gonadal en hembras de anchovetas (Sepúlveda <i>et al.</i> , 2000).	22
Tabla 6. Clases de folículos post ovulatorios con sus respectivas características	25
Tabla 7. Estaciones analizadas y positivas a la ocurrencia de huevos de sardina, anchoveta y de presencia de otras especies. Densidades (ind/0,05m ²) mínimas (Mín.), máximas (Máx.) y promedio (D.E.: Desviación Estándar).....	73
Tabla 8. Estaciones analizadas y positivas a la ocurrencia de larvas de sardina, anchoveta y presencia de otras especies. Densidades (ind/0,05m ²) mínimas (Mín.), máximas (Máx.) y promedio (D.E.: Desviación Estándar).....	75
Tabla 9. Determinación del área de crucero y área de desove de anchoveta y sardina común por estrato geográfico: centro y sur. Estadísticos relativos al número de estaciones positivas para huevos de ambas especies y estimados de producción diaria de huevos (P_0) y mortalidad diaria (Z).....	79
Tabla 10. Estimados del logaritmo de la producción diaria (P_0) y mortalidad diaria (Z) de huevos de: a) Anchoveta y b) Sardina común en los sectores centro y sur, mediante el modelo de edad de Lo mediante modelo lineal generalizado (Lo tradicional) y enlace log con ponderación con el índice de agregación de Lloyd (se incorpora el error estándar de cada estimado, valor z y valor de significancia).	80
Tabla 11. Estimados del área de desove, producción diaria de huevos (P_0), mediante modelo lineal generalizado (Lo tradicional) y enlace log con ponderación con el índice de agregación de Lloyd y mortalidad diaria (Z) por especie y sector (centro y sur). Los números entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación de los estimados.	81
Tabla 12. Indicadores del muestreo de frecuencia de tamaños de anchoveta durante el crucero de adultos en los sectores norte, centro y sur, año 2020.....	82
Tabla 13. Indicadores del muestreo de frecuencia de tamaños de sardina común durante el crucero de adultos en los sectores norte, centro y sur, año 2020.....	83
Tabla 14. Indicadores reproductivos de anchoveta durante el crucero de adultos en las zonas norte, centro y sur, crucero MPDH, 2020.	85
Tabla 15. Indicadores reproductivos de sardina común durante el crucero de adultos en los sectores norte, centro y sur, crucero MPDH, 2020.	85
Tabla 16. Número de ejemplares hembras de sardina común y anchovetas analizadas histológicamente por sector de captura, fecha de captura y número de lances para examen macroscópico para muestreo biológico. (N: Norte, CN: Centro norte y CS: Centro sur)	91
Tabla 17. Valores de IGS promedios en ejemplares hembras de sardina en relación con zona de captura para examen macroscópico para muestreo biológico. (\pm Desviación estándar; número de ejemplares).....	97
Tabla 18. Frecuencia de estados de madurez microscópicos y de FPO según edad, para la estimación de frecuencia de desove por lance en sardina (EMMI = estado de madurez microscópico; FPO 0, 1, 2 = folículos post ovulatorios de día 0, 1, 2; F. DES 1, 2, 1+2 = fracción desovante FPO 1, 2, 1+2).....	102
Tabla 19. Frecuencia de estados de madurez microscópicos y de FPO según edad, para la estimación de frecuencia de desove por lance en anchoveta (EMMI = estado de madurez microscópico; FPO 0, 1, 2 = folículos post ovulatorios de día 0, 1, 2; F. DES 1, 2, 1+2 = fracción desovante FPO 1, 2, 1+2).	103



Tabla 20. Estimados de la fracción diaria de hembras desovantes para sardina común por sector (centro y sur) y para el área total.....	104
Tabla 21. Estimados de la fracción diaria de hembras desovantes para anchoveta por sector (centro y sur) y para el área total.....	104
Tabla 22. Estimaciones de Fecundidad media poblacional por sector (centro y sur) y para el área total de sardina común y de anchoveta (MPDH, 2020).....	105
Tabla 23. Estimaciones de peso promedio (g) y proporción de hembras maduras por sector (centro y sur) así como área total para sardina común y para anchoveta. MPDH, 2020.	106
Tabla 24. Parámetros del Método de Producción de Huevos y estimación de la biomasa de los stocks desovantes de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur (crucero MPDH, 2020). Entre paréntesis se presenta el coeficiente de variación de los estimados	107



IV. ANTECEDENTES

Los recursos pesqueros de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomer a bentincki*) se caracterizan por presentar un ciclo de vida corto, con tres a cuatro años de longevidad (Cubillos *et al.*, 1999, 2001), tener rápido crecimiento (Cubillos & Arancibia, 1993; Cubillos *et al.*, 2001; Castillo-Jordan *et al.*, 2010), una tasa elevada de mortalidad natural (Cubillos, 1999) y por estar fuertemente influenciadas por factores ambientales en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez *et al.*, 1990, Arcos *et al.*, 2004; Gómez, 2008; Cubillos, 1999; Castillo-Jordán *et al.*, 2010).

Estos recursos evidencian una distribución espacial muy costera, de 20 a 30 mn, tanto al analizar la expresión espacial del desove en cuanto a huevos y larvas (Cubillos *et al.*, 2007, 2010, 2011), como en la distribución de juveniles y adultos (Castillo *et al.*, 2009, 2010). Ambas especies forman cardúmenes relativamente densos, con un ciclo diario marcado, caracterizado por un alto nivel de agregación durante el día y dispersión en la noche y agregaciones superficiales menos densas (Castillo *et al.*, 2001; Castillo & Barbieri, 2001). Ambas especies son consideradas desovantes parciales durante todo el año, con una mayor actividad reproductiva entre julio y agosto, la cual se puede extender hasta enero en el caso de la anchoveta (Castro *et al.*, 1997; Cubillos *et al.*, 1999; Castillo-Jordán *et al.*, 2007; Cubillos *et al.*, 2007), y se puede detectar un máximo de densidad de estados larvales en el plancton entre septiembre y octubre (Sepúlveda, 1990).

Desde el contexto de la variabilidad espacial y temporal en los factores considerados forzantes para explicar la dinámica de estadios tempranos de ambas especies y la conectividad entre zonas de desove y reclutamiento en la zona Centro sur de Chile, se ha mostrado la existencia de diferencias meridionales en el ambiente nerítico del Centro sur, asociadas al patrón local de vientos y la variabilidad estacional del proceso de surgencia costera, la influencia de la descarga de aguas continentales por los principales ríos de la región, y forzantes hacia la distribución espacial de estos recursos como son el transporte de Ekman mar afuera y la distribución vertical de aguas más salinas y pobres en oxígeno. La condición ambiental, también está influenciada por procesos de mayor escala, asociados con El Niño Oscilación del Sur (Arcos *et al.*, 2004; Parada *et al.*, 2013).

En la zona Centro sur, la pesquería de sardina común se desarrolla estacionalmente en los meses de marzo y abril, especialmente por la flota artesanal de cerco en la Región del Biobío, mientras que, durante los meses de septiembre a noviembre, el mayor esfuerzo está dado por la flota industrial en la macrozona desde la Región de Valparaíso a la Región de Los Lagos. Las capturas de sardina común son variables y altamente dependientes de los pulsos de reclutamiento anual (Cubillos, 1999), el cual ocurre entre noviembre y enero de cada año y está caracterizado por peces de cuatro a cinco meses de edad y una longitud modal centrada entre 6 y 7 cm de longitud total (Cubillos *et al.*, 2001). La administración pesquera ha establecido vedas en el periodo de reclutamiento principal, las cuales operan entre los primeros días de diciembre y la primera semana de marzo (Castillo *et al.*, 2010).

La determinación del reclutamiento de sardina común en la zona Centro sur de Chile, se ha realizado desde 1999 mediante métodos hidroacústicos (Castillo *et al.* 2010), en tanto que la evaluación de la biomasa desovante se ha llevado a cabo desde el año 2002 mediante la aplicación del método de



producción diaria de huevos (Cubillos *et al.*, 2003; Claramunt *et al.*, 2003), que incorpora la dinámica reproductiva y la producción de huevos.

El Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH), ha sido uno de los métodos más utilizados para estimar la biomasa del stock desovante de peces con fecundidad indeterminada y parcial como la sardina común y la anchoveta, ya que considera la dinámica reproductiva del stock, principalmente en términos de la frecuencia del desove y la subsecuente producción de huevos realizada (Lasker, 1985; Hunter y Lo, 1993, 1997; Lo *et al.*, 2001; Somarakis *et al.*, 2004). Mediante este método la biomasa desovante, es definida como la razón entre la producción diaria de huevos (huevos por unidad de superficie por día) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos por día por tonelada métrica) en el área de desove. La producción diaria de huevos se evalúa a partir de la producción total de huevos en la época reproductiva mediante un crucero ictioplanctónico. La fecundidad específica diaria de la población se determina a partir de muestras de peces adultos obtenidos simultáneamente y de las cuales se determina la fecundidad media poblacional, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción sexual. Estos parámetros reproductivos, así como la producción diaria, son tasas instantáneas que permiten evaluar la biomasa desovante en un instante determinado, dentro del periodo reproductivo, sin la necesidad de integrar toda la producción de huevos en una estación de desove completa (Hunter & Lo, 1993, 1997). De esta manera, el supuesto principal es que la tasa de producción diaria de huevos se mantiene constante durante toda la estación reproductiva, independiente de su duración.



V. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Evaluar el stock desovante de los recursos anchoveta y sardina común durante el periodo de máxima actividad reproductiva, en el área comprendida entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos, y las condiciones oceanográficas asociadas a este proceso.

2. Objetivos específicos

- 2.1. Determinar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas durante el crucero de huevos de anchoveta y sardina común.
- 2.2 Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos.
- 2.3 Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común.
- 2.4 Actualizar indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona.



VI. METODOLOGÍA GENERAL

1. Actividades administrativas y operacionales

El método de producción diaria de huevos involucra el desarrollo de dos cruceros quasi simultáneos, el primero destinado al levantamiento de información de distribución y abundancia de huevos y larvas de anchoveta y sardina común, además de información relativa a las condiciones oceanográficas; y el segundo crucero destinado al levantamiento de parámetros reproductivos de ambas especies.

En términos administrativos, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura mediante Res. Ex. N° 2020-503 de fecha viernes 25 de septiembre de 2020, autorizó al Instituto de Investigación Pesquera Octava Región S.A. A realizar la pesca de investigación solicitada en el marco del estudio “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2020”.

La **Tabla 1** muestra el listado de embarcaciones titulares y de reemplazo empleadas en el crucero ictioplanctónico y de adultos. La distribución de las áreas de operación para las naves participantes fue hecha considerando una asignación equitativa de tiempos y distancias de navegación. En el caso de las naves que efectuaron capturas para la obtención de muestras de adultos de anchoveta y sardina común, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura autorizó 8 toneladas de cada recurso, destinadas al estudio de histología gonádica de ambas especies. En el sector central del área de estudio se programó un mayor número de lances y toma de muestras, razón por la cual se asignaron 4 toneladas de captura de cada recurso (2 ton en el sector norte y otras 2 en el sur).

Debido a las condiciones sanitarias por la pandemia COVID-19, se aplicaron estrictos protocolos de resguardo y protección de los equipos de trabajo previo al embarque. El día 25 de septiembre, con 48 horas previo al embarque y zarpe de las naves participantes, se efectuaron test de PCR a todo el personal embarcado, científico y tripulación completa de las naves.

Tabla 1. Listado de embarcaciones participantes en el crucero ictioplanctónico y en la pesca de ejemplares adultos de anchoveta y sardina común.

Sector	Embarcación titular (RPA)	Embarcación reemplazo (RPA)	Actividad realizada	Cuota de Pesca de Investigación
Norte (33°S - 35°55'S)	Pedro L (967898)	Maria (959209)	Trinidad Toma de muestras de ictioplancton	Sin cuota de pesca de investigación
	Northwestern (954089)	-	Toma de muestras de adultos	2 toneladas de sardina común y 2 toneladas de anchoveta
Centro (36°S – 38°26'S)	Eden I (969150)	Don Sixto (922996)	Toma de muestras de ictioplancton y prospección acústica	Sin cuota de pesca de investigación
	Azariel (950818)	Josue Segundo (968857)	Toma de muestras de adultos	4 toneladas de sardina común y 4 toneladas de anchoveta.
Sur (38°30'S – 41°20'S)	Alberto M (964972)	Río Valdivia (966254)	Toma de muestras de ictioplancton	Sin cuota de pesca de investigación
	Azariel (950818)	Josue Segundo (968857)	Toma de muestras de adultos	2 toneladas de sardina común y 2 toneladas de anchoveta.



Es importante señalar que no hubo casos de contagios por COVID, como tampoco ocurrieron accidentes en todo el período de duración de los traslados en la Región del Biobío, y desde esta región a las Regiones de Los Lagos y de Valparaíso, ni tampoco durante la navegación y ejecución de las labores de recolección de muestras planctónicas, datos oceanográficos y ejemplares adultos de anchoveta y sardina común. Debido a la época en la cual se efectuaron estas actividades, la rigurosidad del clima con predominancia de vientos fuertes y condiciones de oleaje imperantes en toda el área de estudio, en algunos casos impidió el normal desarrollo de las operaciones con equipamiento oceanográfico abordo y por razones de seguridad, en varias oportunidades tuvieron que cesar sus operaciones y buscar refugio en bahías y puertos de la macrozona.

2. Área y periodo de estudio

El área de estudio correspondió a la región nerítica de la zona Centro sur de Chile, entre 33°S y 41°20'S (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La región prospectada, según el diseño propuesto incluyó la realización de 74 transectas perpendiculares a la costa, entre la primera media milla de distancia respecto a la costa hasta el veril de los 200 m de profundidad, por lo que el límite occidental del área analizada tuvo un margen de extensión variable.

La grilla de muestreo (**Figura 1**) se realizó en tres sectores geográficos y diferenciados:

- Sector Norte, localizado entre 33°S y 34°20'S, considerado históricamente de carácter exploratorio. Las transectas estuvieron espaciadas cada 20 mn. En cada transecta, la disposición espacial de las estaciones de muestreo fue cada 4 mn.
- Sector Centro, localizado entre 34°20'S y 40°S, que corresponde al sector principal del estudio respondiendo al área histórica donde se han reportado la mayor cantidad de estaciones positivas y las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común en la última década. Las transectas estuvieron separadas cada 5 mn y en cada una de ellas la disposición espacial de las estaciones de muestreo fue cada 4 mn.
- Sector Sur, localizado entre 40°S y 41°20'S. Las transectas estuvieron espaciadas cada 10 mn. En cada transecta, la disposición espacial de las estaciones de muestreo fue cada 4 mn.

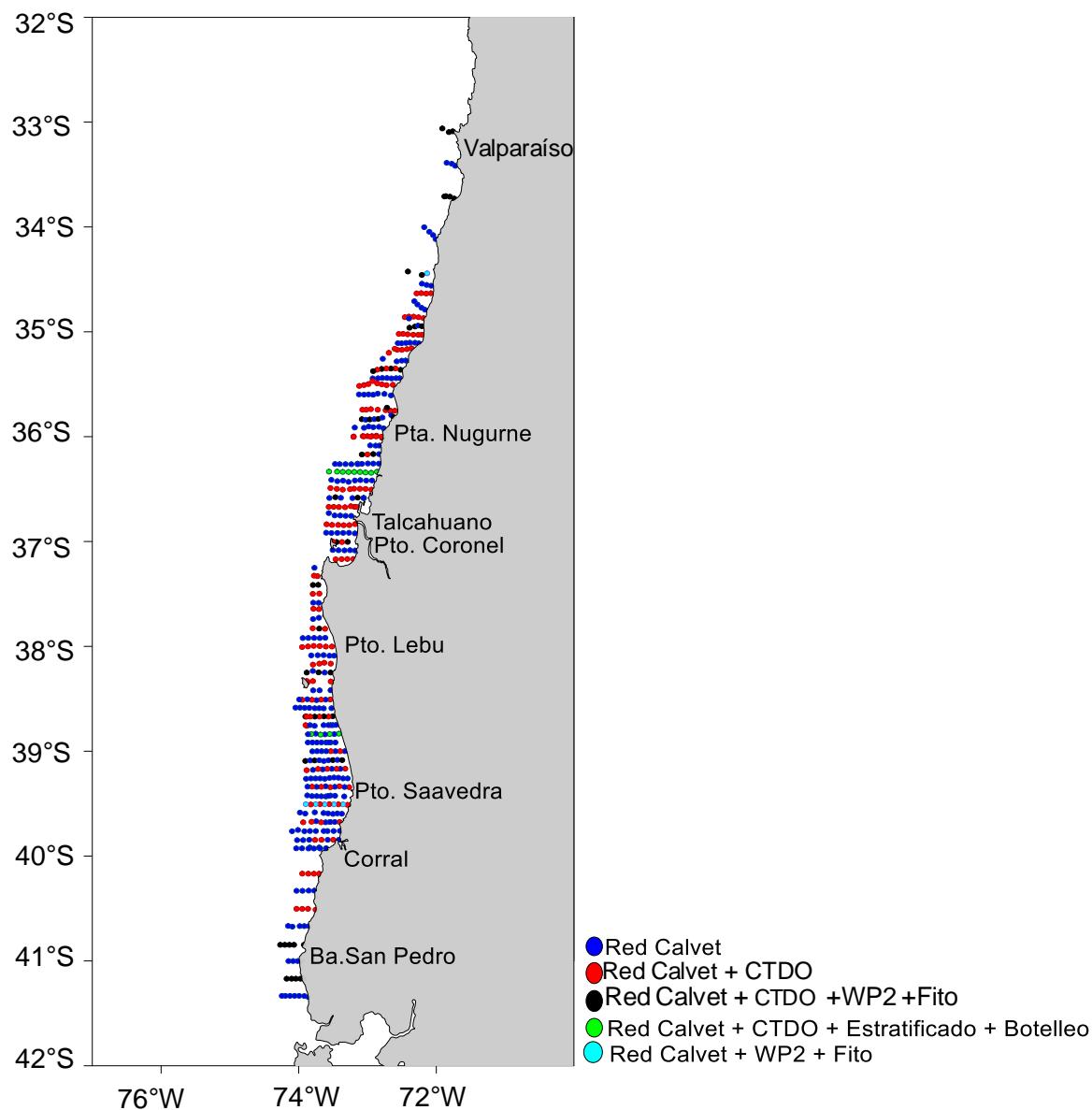


Figura 1. Mapa de la grilla de estaciones de muestreo efectuado en la zona de estudio. Crucero MPDH 2020.



3. Objetivo 1: Determinar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común

3.1. Estaciones oceanográficas CTDO

La grilla de estaciones oceanográficas (CTDO), asociada al diseño de distribución espacial de estaciones ictioplanctónicas para la determinación de estados tempranos de anchoveta y sardina común, se presenta en la **Figura 1**. En el área de estudio, las condiciones oceanográficas del hábitat nerítico se evaluaron transecta por medio (transectas impares, distanciadas cada 10 mn), respecto de las transectas con estaciones ictioplanctónicas.

Se realizó un total de 208 estaciones oceanográficas, de 266 planificadas (78,2% efectividad) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). En cada una de estas estaciones oceanográficas se desplegaron sondas CTD/OF para la obtención de perfiles verticales continuos, desde la superficie hasta un máximo de 100 m de profundidad (dependiendo de la profundidad del fondo en cada estación oceanográfica y de las normas de seguridad en la operación de los equipos), con el propósito de registrar en profundidad la distribución de temperatura (°C), salinidad, densidad, sigma-t (kg m⁻³), concentración de oxígeno disuelto (ml L⁻¹) y fluorescencia (u.r.). Los equipos de CTD/OF empleados fueron: Sea-Bird Electronics SBE 19 Plus v.2 (Sea Bird, 2011) y RBR modelo XR-620.

La recolección de datos hidrográficos realizada mediante lances verticales de CTD/OF fue interrumpida en los lances del sector norte (~33°S-36°S), debido a fallas en el sensor de oxígeno disuelto. Durante la operación del CTD/OF en la región norte (RBR modelo XR-620), éste recibió fuertes golpes contra la embarcación debido al mal tiempo (vientos fuertes) y las malas condiciones en el estado del mar. Las fallas no fueron detectadas hasta el momento del proceso de descarga y pre procesamiento de los datos, donde se evidenciaron valores erróneos en la concentración de oxígeno disuelto los que fueron descartados debido a la incoherencia en la información vertical.

Tabla 2. Número de estaciones de muestreo oceanográfico (CTD/OF) realizadas en el crucero MPDH, 2020.

Sector	CTDO	Fecha muestreo	Nº estaciones CTD/OF
Norte	RBR modelo XR-620.	28/09-09/10/2020	68
Centro	RBR modelo XR-620.	28/09-08/10/2020	78
Sur	Sea-Bird modelo 19 plus v2.	05/10-14/10/2020	62
Total			208



3.2. Procesamiento de datos y muestras

Con el propósito de comprobar el correcto funcionamiento de los sensores de conductividad y oxígeno disuelto de la unidad CTD/OF, así como para la transformación de las lecturas de fluorescencia en concentraciones de clorofila-a (método de fluorescencia extractiva) en 13 estaciones se tomaron muestras de agua con botellas tipo Niskin de 5 L de capacidad con cierre activado por mensajeros lanzados desde la superficie, en los niveles de profundidades estándares: 0, 5, 10, 25, 50 y 100 m, dependiendo de la profundidad de ecosonda (**Figura 1**),.

Las muestras de agua de mar para la determinación de la concentración de oxígeno disuelto, fueron fijadas inmediatamente después de ser colectadas en frascos iodimétricos ámbar de 125 mL con tapa esmerilada. Una vez en el laboratorio en tierra, se procedió a la titulación del oxígeno disuelto mediante el método de Winkler, siguiendo lo reseñado en Parsons *et al.* (1984). Las muestras de agua de mar para la determinación de la conductividad (salinidad) se almacenaron en frascos de 500 mL en un lugar fresco y seco hasta el momento de su posterior análisis.

Para la cuantificación de la clorofila-a, las muestras fueron almacenadas desde las botellas Niskin en frascos oscuros de 500 mL de capacidad. En la embarcación se filtraron 250 mL de agua de mar por medio de un sistema de filtración MFS para filtros Whatman de 47 mm de diámetro y 0,45 µ provisto de bomba de vacío. Los filtros se identificaron en sobres de papel aluminio, y fueron almacenados en contenedor con nitrógeno líquido. El procesamiento de las muestras en el laboratorio se realizó a través de la técnica de fluorescencia extractiva, utilizando un fluorómetro Turner Designs Modelo Trilogy de última generación (calibración: 30 de Mayo de 2019), según la metodología establecida en Parsons *et al.* (1984), para el método con y sin acidificación.

El procesamiento de los datos de CTD/OF fue realizado siguiendo las recomendaciones del fabricante. Los datos fueron convertidos a ascii usando los coeficientes de calibración y el archivo de configuración asociado a los equipos. Posteriormente, se procedió a alineamiento de los sensores, corrección por histéresis, corrección por balance, eliminación de datos erróneos y promedios cada un metro de profundidad. Se consideraron como datos erróneos o atípicos a los que escapan a la tendencia general (para cada una de las variables), ya sea en el perfil propiamente tal, a los obtenidos durante la estabilización del CTD/OF en la columna de agua.

El diseño de muestreo originalmente planteó un total de 266 estaciones de CTD/OF en los tres sectores (norte n=60, centro n= 107 y sur n=99). Sin embargo, en el transcurso del terreno, tanto las condiciones ambientales desfavorables (estado del mar y de viento sur intenso) y su efecto sobre la seguridad de equipos y personal (científicos, técnicos y tripulantes), así como también el rediseño espacial de estaciones oceanográficas que se encontraban por fuera del dominio espacial asociado a la isóbata de 200 m de profundidad, junto con la decisión de modificar a un diseño operativo en la región sur, determinaron la realización del 78,2% de las estaciones oceanográficas originalmente planteadas.

En el caso de la toma de muestras de agua de mar estratificada con botellas Niskin, el rediseño de la zona sur por efecto de las malas condiciones de mar y viento, hizo reducir también la realización de



estaciones de botelleo a estación por medio y se realizó un total de 13 estaciones (botelleo estratificado) para el traspaso de la información de fluorescencia in vivo a biomasa fitoplanctónica (clorofila-a).

3.3. Análisis de información

3.3.1. Cartas horizontales en diferentes estratos

Para la generación de las cartas de distribución horizontal de las variables, la información ambiental fue interpolada mediante la metodología DIVA (Data Interpolating Variational Analysis, Troupin *et al.*, 2010b), en los estratos de 5 m, 25 m, 50 m y 100 m de profundidad.

3.3.2. Estructuras oceanográficas verticales

Para cada una de las estaciones oceanográficas se calcularon las siguientes estructuras verticales:

- a) Estabilidad de la columna de agua mediante el cálculo de la frecuencia de Brunt-Vaisala.
- b) Profundidad de la capa de mezcla (PCM) siguiendo la metodología reseñada en Lorbacher *et al.* (2006).
- c) Profundidad base de la termoclina (ET) por medio del criterio de diferencia finita descrita por Glover & Brewer (1988), a partir del perfil de densidad.
- d) Profundidad del mínimo de oxígeno (PMO) correspondiente a la profundidad en la cual la concentración de oxígeno alcanza los 1 ml L⁻¹ (Schneider, 2006).

3.3.3. Diagramas TS

Para los Diagramas TS, se establecieron los triángulos de mezcla para identificar las masas de agua presentes en el área prospectada (Silva *et al.*, 2009).

3.3.4. Información satelital

La información satelital fue analizada en la escala semanal, así como en un promedio del período del crucero MPDH 2020. Se consideraron las siguientes variables de tipo ambiental: temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila-a (CLOA), anomalías del nivel del mar (ANM) en conjunto con el campo espacial de corrientes geostróficas superficiales, además del campo de viento satelital e índice de turbulencia (IT) y la energía cinética asociada a remolinos (EKE).



Para la TSM y CLOA se utilizaron datos diarios con una resolución espacial de 4x4 km, provenientes del programa Modis-Aqua Level-3 globales (Ocean Color Web; <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

El campo de velocidades geostróficas superficiales fue obtenido a partir de información satelital de altura de nivel mar correspondientes a la información combinada de los altímetros ERS/Topex/Jasón con una resolución espacial de 0,25°x0,25°, obtenidas desde el Programa AVISO (<http://www.aviso.oceanobs.com>).

Los datos de viento corresponden a datos provenientes del programa IFREMER CERSAT Global Blended Mean Wind Fields (Cersat-Copernicus), y con una resolución espacial de 0,25x0,25° y resolución temporal diaria (<https://resources.marine.copernicus.eu/>). Con el propósito de analizar esta variable en el plano histórico (para las escalas estacional e interanual), se utilizó la data proveniente del CCMP para el periodo 1999-2020, que combina una calibración cruzada de vientos obtenidos del Sistema de Sensores Remotos (REMSS, por su sigla en inglés), utilizando el Método de Análisis Variacional (VAM, por su sigla en inglés) para producir un análisis grillado de alta resolución (<http://dx.doi.org/10.5067/CCF30-01XXX>; NASA/GSFC/NOAA 2009; Atlas *et al.* 2011).

La turbulencia fue calculada como el cubo de la intensidad del viento ($m\ s^{-1}$), proveniente del campo de viento satelital. Y la energía cinética de las corrientes asociada a remolinos y meandros energéticos (Eddy Kinetic Energy, EKE) se estimó desde el campo superficial de las corrientes geostróficas.

3.3.5. Información meteorológica

La información meteorológica se registró en cada una de las estaciones de muestreo por medio de estaciones meteorológicas instaladas en las lanchas participantes, especialmente para el registro de datos de la intensidad y dirección del viento, junto con la altura y dirección de las olas. Para su registro a bordo, se utilizaron las normas, tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991).

3.3.6. Análisis histórico

Series de tiempo de anomalías

En el análisis de las series de TSM y de la clorofila-a, se consideraron dos regiones meridionales distintas: a) sector norte (33°S-37°10'S), y b) sector sur (37°10'S-41°S). Las series de tiempo se presentan como anomalías mensuales de clorofila-a entre los años 1998 y noviembre 2020 y anomalías de temperatura superficial del mar entre los años 1991 y noviembre. Para la obtención de las anomalías mensuales se removió la estacionalidad a cada una de las series de tiempo, obtenida mediante el ajuste de constantes armónicas utilizando el método de mínimos cuadrados (Emery & Thompson, 2001). Para aproximarse a la variabilidad interanual de la serie de tiempo de anomalías de las variables seleccionadas, se aplicó el filtro simétrico pasa baja coseno Lanczos de 13 pesos.



Análisis espacial histórico

Se analizó la distribución horizontal de la TSM ($^{\circ}\text{C}$), clorofila-a satelital (mg m^{-3}), anomalías del nivel del mar (m) y corrientes geostróficas (cm s^{-1}), intensidad (m s^{-1}), y dirección del viento satelital superficial, junto con la distribución espacial del índice de turbulencia ($\text{m}^3 \text{s}^{-3}$), correspondientes al dominio espacial abordado por el crucero, y al mes de julio donde se da inicio al proceso de desove de ambas especies objetivos en la región nerítica de Chile centro sur, para la serie de años entre los años 1999 y 2020. Las fuentes de información satelital fueron señaladas en el punto 3.3.4.

4. Objetivo 2: Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos

4.1. Muestreo planctónico

En la **Tabla 3** se reseña la información operacional asociada a la realización de estaciones de muestreo planctónico durante el crucero:

- a) Muestreos del ictioplancton para la determinación huevos y larvas de anchoveta y sardina común, por medio de redes planctónicas Pairovet.
- b) Muestreos verticales del fitoplancton para el análisis de la oferta de alimento de anchoveta y sardina común en el área prospectada.
- c) Muestreos verticales para el mesozooplancton para el análisis de la oferta de alimento de anchoveta y sardina común en el área prospectada.
- d) Muestreos ictioplanctónicos estratificados para determinar la distribución vertical en la columna de agua, de huevos y larvas de las especies objetivo del estudio.

4.1.1. Muestreo de ictioplancton

Se realizó un total de 454 estaciones de ictioplancton de las 535 planificadas (120 en sector norte, 140 en sector centro y 194 en sector sur), correspondiendo a un 84,9% de lo planificado (**Tabla 3**). En el muestreo se utilizaron redes Pairovet, con toma de muestra de ambos copos. La reducción de estaciones se explica por: i) malas condiciones en el estado del mar y de viento sur intenso, en atención a la seguridad de equipos y personal, y b) la existencia de estaciones previamente establecidas en el diseño que luego en el terreno, se encontraron más allá de la posición del veril de 200 m de excediendo los límites occidentales del área de estudio.

**Tabla 3.** Estaciones planctónicas programadas y realizadas por sector y totales. Crucero MPDH 2020.

Sector	NºEst. Calvet planificadas	NºEst. Calvet realizadas	(%) Est. realizadas
Norte	122	120	98,4
Centro	217	140	64,5
Sur	196	194	99,0
Total	535	454	84,9
Sector	NºEst. Fitoplancton planificadas	NºEst. Fitoplancton realizadas	(%) Est. realizadas
Norte	22	22	100,0
Centro	25	13	52,0
Sur	34	22	64,7
Total	81	57	70,4
Sector	NºEst. Zooplancton planificadas	NºEst. Zooplancton realizadas	(%) Est. realizadas
Norte	22	22	100
Centro	25	22	88
Sur	34	24	70,6
Total	81	68	84,0
Sector	NºEst. Muestreo Estratificado	NºEst. realizadas	(%) Est. realizadas
Norte	-	-	-
Centro	11	0	0
Sur	16	4	25,0
Total	27	4	14,8

La toma de muestras de huevos de anchoveta y sardina común en cada estación se efectuó por medio arrastres verticales con redes zooplánctonicas PAIROVET (redes CalVET pareadas) de 0,05 m² de área de boca, equipadas con mallas de 200 µ de tamaño de poro. El muestreo planctónico en el ambiente nerítico correspondió a pescas planctónicas verticales desde una profundidad máxima de 70 metros de profundidad a la superficie, a una velocidad aproximada de 1 m s⁻¹. Para los lances verticales se empleó un peso muerto (depresor) de 25 a 30 kg con el propósito de asegurar la verticalidad de cada uno de los lances planctónicos. Durante el lance se aseguró la medición de ángulos mediante un inclinómetro manual, de manera que estos no superen los 25° a 30°.

Las muestras fueron preservadas mediante una solución de formalina en agua de mar al 5% de concentración final, neutralizada con tetraborato disodio (borax). Este método de fijación es conveniente cuando se requiere conservar la muestra de ictiopláncton de forma conjunta a la presencia de otros taxones del zoopláncton (Beers, 1978; Omori & Ikeda 1984; Harris *et al.*, 2000).

La distribución vertical de estadios tempranos de desarrollo de anchoveta y sardina común se evaluó en 4 estaciones, mediante pescas planctónicas estratificadas con redes WP-2 de 60 cm de diámetro de boca, equipadas con mallas de 300 µ de abertura de poro, y mecanismos de cierre mediante



mensajeros desplegados desde la superficie. Los estratos considerados fueron: 25-0 m, 50-25 m, 75-50 m y 75-100 m.

En el Laboratorio de Plancton Marino del Instituto de Investigación Pesquera, las muestras de ictioplancton se analizaron estación por medio, extrayendo y cuantificando todos los huevos de sardina común y anchoveta bajo estereomicroscopios Zeiss y Leica, siendo almacenados en frascos ámbar de 5 ml provistos de tapa y contratapa y una solución de formalina al 5%.

En la identificación de estados tempranos de huevos y larvas de ambas especies, se consideraron las siguientes referencias: Fischer (1958), Santander *et al.* (1984); Moser y Ahlstrom (1985) y Herrera *et al.* (1987).

4.1.2. Muestreo de fitoplancton y mesozooplancton

Con el propósito de determinar la oferta ambiental de alimento de anchoveta y sardina común en el área prospectada, se consideró el muestreo del fitoplancton y mesozooplancton.

La información disponible sobre la alimentación de anchoveta y sardina común revela un amplio espectro trófico similar para ambos recursos, con una dieta compuesta por ítems de fitoplancton y zooplancton (Balbontín *et al.*, 1997; Álamo *et al.*, 1997; Espinoza & Blaskovic, 2000; Rebolledo *et al.*, 2003; Espinoza & Bertrand, 2008; Medina & Herrera, 2011; Núñez *et al.*, 2014; 2018).

La determinación de la abundancia y la distribución espacial (especialmente meridional) del componente fitoplancton y mesozooplancton en este estudio, se asocia a la determinación de la oferta ambiental planctónica y su variabilidad meridional, como fuente de explicación hacia la abundancia y distribución del ictioplancton de las especies objetivo.

Con el propósito de destinar el mayor esfuerzo en la separación e identificación del ictioplancton en los estados tempranos de desarrollo de anchoveta y sardina común, el análisis del fitoplancton y zooplancton aún se encuentra en proceso de finalización y sus resultados se presentarán en el Informe Final.

Fitoplancton

Se realizó un total de 57 estaciones de fitoplancton, de las 81 planificadas, correspondiendo a un 70,4% de efectividad. Su reducción se debió principalmente a muy desfavorables condiciones climáticas, y a que algunas de las estaciones planctónicas se encontraban por fuera de los límites occidentales de la prospección. El muestreo del fitoplancton fue realizado mediante arrastres verticales con redes cónicas de 30 cm de diámetro de boca, provistas de mallas de 35 µ de abertura de poro, fueron arrastradas desde una profundidad de 100 m a la superficie (dependiendo de la profundidad de



ecosonda) y a una velocidad aproximada de $0,5 \text{ m s}^{-1}$ (Sournia, 1978; BMEPC, 1983). Las muestras fueron almacenadas en frascos plásticos con tapa y contratapa, y preservadas mediante una solución de formalina en agua de mar al 5% de concentración final.

Mesozooplancton

Se realizaron 68 estaciones para el mesozooplancton de las 81 planificadas, con un 84% de efectividad. Las estaciones no realizadas correspondieron a las localizadas en el sector sur, debido a condiciones climáticas muy desfavorables por varios días seguidos, con el consiguiente riesgo para la operación en la nave.

La evaluación del mesozooplancton fue realizada mediante arrastres verticales desde los 100 m de profundidad a la superficie (dependiendo de la profundidad de ecosonda), utilizando redes tipo WP-2 de 60 cm de diámetro de boca ($0,25 \text{ m}^2$ de área), equipadas con mallas de 300μ de abertura. La profundidad de muestreo fue corregida permanentemente mediante la medición del ángulo del cable con un clinómetro manual (Kramer *et al.*, 1972).

4.2. Determinación del área del crucero y área de desove de anchoveta y sardina común

En consistencia con evaluaciones previas, para delimitar el área de crucero y determinar el área de desove de anchoveta y sardina común, se siguió la metodología disponible en la librería geofun para spatstat (Bernal *et al.*, 2004; ICES, 2005) para el lenguaje de programación R (R Core Team, 2019). Mediante esta metodología fue posible conocer el área exacta representada por una estación de muestreo considerando que es importante que la producción de huevos sea medida en unidades de individuos por m^2 por día. El área de mar superficial representada por cada estación se necesita para obtener una estimación de la producción diaria en el área total del crucero.

La estimación del área representada por cada estación, dentro del área del crucero, considera la distancia desde esa estación a cualquiera de las estaciones que la rodean y a los límites del área del crucero. Esta metodología permite estimar el área de influencia de cada estación de muestreo y, en consecuencia, determinar polígonos constituidos por estaciones con áreas de influencia cercana. De esta forma la suma del área representada por cada polígono identificado es igual al área total del crucero. De la misma forma, se identificaron las estaciones con registro positivos de desove (>1 huevo $0,05 \text{ m}^2$) y siguiendo la misma aproximación se delimitó el área de desove de cada especie. Para determinar el área representada por las estaciones de muestreo geofun, se consideró la definición a priori de un radio de búsqueda fijo que permitió contornear el área de crucero y de desove, identificando subzonas con independencia espacial que pueden constituir polígonos de estimación independiente. De acuerdo a lo establecido en el taller metodológico MPDH en Chile (Angulo & Pérez, 2018) este radio de búsqueda para definir el área de desove, debe ser cercano a la distancia entre estaciones. Bajo esta consideración, se utilizó un radio de 5 km para evitar una sobreestimación de las áreas de crucero y, especialmente, las áreas de desove.



Así, la herramienta *geofun* permite modificar los datos espaciales para ser utilizados adecuadamente en la estimación espacial y provee de funciones para representar mapas de distribución y salidas gráficas de las áreas estimadas permitiendo realizar un diagnóstico *a posteriori*. Las principales características provistas por la librería *geofun* son: i) permite transformar coordenadas geográficas (usualmente latitud y longitud) a unidades de distancia (en km) mediante el comando deg2km, pudiendo tomar como referencia una referencia geográfica (e.g. línea de costa, isóbata); ii) encontrar los límites del área del crucero y detectar los puntos que están dentro de dichos límites; iii) estimar el área de los puntos de una grilla de muestreo regular o irregular dentro de los límites del crucero mediante Dirichlet Tessellation (librería deldir), iv) estimar el área representada por los puntos localizados en el borde del crucero, y; v) proveer funciones para graficar los resultados de las estimaciones espaciales.

4.3. Determinación de la edad desde incubaciones y datación de huevos

4.3.1. Método convencional: procedimiento automatizado de Lo

A partir de los datos de datación por estadios de desarrollo embrionario de huevos de ambas especies obtenidos en cada estación de muestreo y la temperatura superficial de cada lugar de colecta, se procedió a asignar la edad a los huevos utilizando el procedimiento automatizado de Lo (1985). Para ello, se utilizaron los modelos temperatura-estadio-dependiente descritos por Cubillos *et al.* (2007), los que permiten calcular la edad en función de la temperatura y el estadio de desarrollo.

En el caso de la sardina común, se utilizó el siguiente modelo de desarrollo a la edad:

$$Y_{D,T} = 15,98 \times \exp(-0,0631 \times T - 0,0198 \times D) \times D^{1,04}$$

Mientras que para el caso de la anchoveta:

$$Y_{D,T} = 18,1 \times \exp(-0,0789 \times T - 0,0542 \times D) \times D^{1,31}$$

En ambos modelos, $Y_{D,T}$ representa la edad promedio estimada de los huevos para cada estadio y temperatura; T es la temperatura, y D es el estadio de desarrollo. Para corregir la estimación de la edad al tiempo de la colecta de huevos considerando un tiempo cero que corresponde a la hora del desove, se utilizó la metodología de Lo (1985). La hora del desove se calculó mediante el análisis de la incidencia del Estadio I de los huevos de ambas especies (sin división celular). Se determinó que en la sardina común ocurre a las 23,1 h (DS = 1,788 h) y en la anchoveta a las 24,6 h (DS = 3,817 h).

La corrección consiste en ajustar la fracción del día desde la hora del desove hasta la colecta, considerando la siguiente expresión:

$$Y_{D,T,k} = Y_{D,T} + k - f$$



donde $Y_{D,T}$ es la edad estimada por el modelo, k es la hora de la colecta (lance), y f es la fracción remanente que surge de la suma de la hora estimada y la hora del desove menos 24 horas.

Las correcciones a efectuar según la hora de colecta se basan en las siguientes decisiones:

$$Y_{D,T,k} = \begin{cases} k < (f - g) & \Rightarrow Y_{D,T} - g \\ (f - g) < k < (f + g) & \Rightarrow Y_{D,T} + k - f \\ (f + g) < k & \Rightarrow Y_{D,T} + g \end{cases}$$

donde g es el doble de la desviación estándar de la edad dentro de cada estadio.

4.3.2. Método Multinomial

La producción de huevos en especies de peces que muestran una rápida tasa de desarrollo requiere de una estimación de la tasa de mortalidad de huevos utilizando información de todos los estadios de desarrollo de los huevos. El método tradicional agrupa la abundancia de huevos en cohortes considerando su edad, y posteriormente se ajusta una curva de mortalidad a los datos de abundancia de cohortes diarias dada la edad media ponderada (Picquelle & Stauffer, 1985). Sin embargo, sólo los estadios de desarrollo son variables verdaderamente observadas, y no la edad, y en la literatura se puede encontrar varios procedimientos para estadios de huevos (Lo, 1985; Bernal *et al.*, 2001). Bernal *et al.* (2001), desarrollaron un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad, y fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas del MPDH para el ambiente de programación y lenguaje R. El procedimiento utiliza la misma información que el método tradicional, i.e.

- Información del crucero: la abundancia de huevos por estadios de desarrollo, hora de colecta, y condiciones ambientales que afectan la tasa de desarrollo durante la embriogénesis (usualmente la temperatura).
- Información de experimentos de incubación: el desarrollo de los estadios morfológicos de los huevos durante la embriogénesis en función del tiempo y la temperatura.
- Información sobre la dinámica reproductiva de la especie: distribución de la actividad del desove en un ciclo diario.

La embriogénesis discretizada en estadios de desarrollo de los huevos es función de la temperatura (Pepin, 1991), y en menor grado por otros parámetros ambientales. Usualmente, la información sobre la tasa de desarrollo de los huevos en función del estadio de desarrollo y de la temperatura se obtiene a partir de experimentos de incubación. Como alternativa de procedimiento metodológico de asignación de edad se considera un proceso multinomial, en el cual la probabilidad de pertenecer a uno de los once estadios de desarrollo depende de la edad de los huevos (la que es conocida y se



considera establecida a partir de la hora del desove) y la temperatura. De esta manera, a partir de un experimento de incubación de huevos se puede plantear el siguiente modelo probabilístico multinomial:

$$p(s | a, T)$$

Que representa la probabilidad de permanecer en el estadio s dada la edad a y temperatura T . Cuando una especie muestra sincronía diaria en el desove, la información sobre la distribución de la actividad de desove durante el ciclo diario afectará el proceso de asignación de edad. Si el desove ocurre solamente en cierto momento del día, los huevos podrían tener una cierta edad considerando el tiempo transcurrido entre la hora del desove y la observación (hora de colecta). En un caso extremo, si el desove es perfectamente sincrónico (los huevos son desovados a una hora dada del día, e.g. medianoche) y el desarrollo dura hasta la eclosión en un día, los huevos observados pueden tener solamente una edad exacta dada por el tiempo transcurrido entre el desove (medianoche) y la hora de colecta. Si la duración del desarrollo del huevo dura más de un día, entonces una edad promedio aproximada y observada en el experimento de incubación puede ser utilizada para decidir en qué noche los huevos fueron desovados, y entonces utilizar el tiempo transcurrido entre el evento de desove y la época del crucero para atribuir una edad exacta. La sincronía del desove puede ser formalizada como una función densidad de probabilidad de edad dada la fecha del crucero, i.e. $f_t(a | \tau)$.

Al considerar lo argumentado, y considerando el Teorema de Bayes, se obtendrá la distribución de edades dada la información obtenida durante el crucero (estadios de huevos, temperatura, hora de colecta) que se expresa por:

$$\hat{p}(a | s, T, \tau) \propto f_t(a | \tau) p(s | a, T)$$

de esta manera se puede asignar una edad a cada estadio de desarrollo muestreando desde la distribución posterior $\hat{p}(a | s, T, \tau)$, o clasificar los huevos en cohortes diarias directamente utilizando la distribución posterior. El nuevo procedimiento de asignación de edad presenta varias ventajas respecto del método tradicional, tanto en relación a cómo se modela la información que proviene de los experimentos de incubación y en relación a cómo se asigna la edad en el método tradicional. En relación con el modelo de incubación:

El nuevo modelo es claramente descrito y justificado estadísticamente, lo cual marca una diferencia con el procedimiento automático desarrollado por Lo (1985), i.e.

- Este modelo es fácil de implementar, asigna aleatoriedad a las variables equivocadas (edad, la cual es realmente fija y decidida por el investigador)
- Está compuesto de dos modelos diferentes, uno de edad media y otro de duración de estadios. La estimación de la edad media no es bien documentada en las diferentes implementaciones



(Miranda *et al.*, 1990; Motos, 1994), y algunas veces es equivocadamente descrito o implementado. Los modelos asumidos para la duración de estadios también varían entre las diferentes implementaciones del método de Lo.

- El nuevo procedimiento tiene propiedades de cualquier método de verosimilitud, incluyendo insesgamiento y eficiencia, y facilita la comparación con otros métodos de verosimilitud.
- La incertidumbre de los datos provenientes del experimento de incubación se incorpora a través del modelo multinomial.

En relación con la asignación de la edad, las ventajas del nuevo procedimiento son:

- Permite incluir conocimiento relevante en términos de la sincronía del desove de una manera tan cercana a la realidad como compleja sea y los datos actuales lo permitan.
- Tiene la potencialidad de incluir conocimiento a priori a través de funciones densidad de probabilidad de otras variables que puedan afectar la tasa de desarrollo de los huevos, y así la edad de un huevo en un cierto estadio de desarrollo.

La distribución posterior de la edad contiene la incertidumbre de la información que proviene del experimento de incubación como de la asumida distribución para la sincronía del desove, y estos pueden ser incluidos en cualquier estimación subsiguiente que incluya edad (e.g. la tasa de mortalidad diaria). También, la distribución posterior puede utilizarse para agrupar los huevos en cohortes diarias (como en el método convencional).

4.4. Estimación de la Tasa de Mortalidad y Producción Diaria de Huevos

La producción diaria de huevos corresponde al número de huevos promedio desovados por día, por unidad de superficie, en el área de desove evaluada a través de un crucero de huevos (Picquelle & Stauffer, 1985). La producción diaria de huevos (P_0) y su varianza, puede ser estimada de acuerdo con el siguiente modelo de mortalidad:

$$P_t = P_0 \exp(-Zt)$$

Donde P_t es el número de huevos (huevos por unidad de área, $0,05 \text{ m}^2$) a la edad t o puesta diaria de huevos, t es la edad media en días, medida como el tiempo transcurrido desde la hora del desove. La producción diaria de huevos (P_0) es la producción diaria de huevo por una unidad de área, Z es la tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos. El modelo asume que todos los huevos son fertilizados y desovados a una hora fija, y que todos los huevos experimentan una tasa instantánea de mortalidad constante (Lo *et al.*, 1985).

Para definir criterios respecto a las abundancias de las edades extremas de huevos de sardina común y anchoveta, se siguieron los criterios definidos en el Proyecto FIP 2006-38 “Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos Aplicado en Pelágicos Pequeños” (Claramunt *et al.*, 2007), cuyas recomendaciones fueron incorporadas en la estimación de la producción diaria de huevos. Así, se



descartaron todos los datos con una edad inferior a 4 h después de la hora del desove para evitar sesgos relacionados con el reclutamiento incompleto de huevos al plancton. A su vez, se recomienda evitar las edades cercanas a la eclosión de las larvas ya que podrían producir sesgo en la estimación de la mortalidad que se pueden transferir a la estimación de la producción diaria de huevos. Esto se debe a que los huevos que eclosionan no es que mueran sino más bien pasan a ser larvas con saco vitelino. Por lo tanto, solamente una fracción de la edad máxima esperada para una cohorte de huevos debe estar representada en el modelo de mortalidad. Todas las edades mayores al 95% de la edad esperada de eclosión fueron excluidas para evitar probables sesgos causados por eclosión incompleta (Somarakis *et al.*, 2002; 2004).

Bajo dichas consideraciones, la estimación de P_0 puede realizarse para toda el área asumiendo un proceso global que depende de la sincronía y coordinación de los muestreos o bien por zona acorde a lo establecido previamente en el diseño de muestreo. La estimación de la producción diaria de huevos (P_0) y la mortalidad diaria de huevos (Z) fue realizada por medio de un modelo lineal generalizado siguiendo los lineamientos de las últimas versiones de esta evaluación (Cubillos *et al.*, 2017):

$$E[P_t] = g^{-1}[\log P_0 + Zt]$$

donde $E[P_t]$ es el valor esperado de la densidad de huevos de edad t y el g^{-1} es el inverso de la función de enlace.

En el procedimiento de ajuste, la función de enlace utiliza el logaritmo natural y la familia binomial negativa que resulta ser adecuada para el caso de la variación de la densidad de huevos con la edad (Bernal *et al.*, 2001; Ibaibarriaga *et al.*, 2008; Cubillos *et al.*, 2017). Los parámetros $\log(P_0)$ y Z , fueron estimados como el intercepto y la pendiente del modelo GLM. La varianza de la tasa de mortalidad de huevos se obtuvo directamente del error estándar de la pendiente del GLM y los límites de confianza son aquellos de los parámetros del GLM. La producción diaria de huevos se estimó utilizando el antilogaritmo del intercepto. Se utilizó la biblioteca MASS (Venables & Ripley, 2002), escrita para el lenguaje y software R (Ihaka & Gentleman, 1996; <http://www.r-project.org>).

Un avance significativo en la reducción del error estándar de los estimados ha sido el propuesto por Cubillos *et al.* (2015) quienes ponderan el GLM por un índice de agregación. De esta forma, y para continuar dichas mejoras metodológicas, se realizará el mismo criterio estadístico ponderando el ajuste del GLM familia binomial negativa y enlace log por el índice de Lloyd calculado para cada cohorte diaria de huevos de acuerdo siguiendo los lineamientos de Cubillos *et al.* (2015).



5. Objetivo 3: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común

La metodología establecida en este objetivo se basó, de acuerdo a lo establecido en el Proyecto FIP Nº 97-04 (Sepúlveda *et al.*, 2000).

En el desarrollo del crucero de pesca para la obtención de ejemplares adultos de anchoveta y sardina común en los sectores norte, centro y sur, participaron las embarcaciones L/M Northwestern y L/M Azariel (**Tabla 4**).

Se realizó un total de 79 lances de pesca, abarcando todo el rango meridional de los sectores geográficos norte, centro y sur del área total prospectada (**Tabla 4, Figura 2**). De estos lances, en el sector norte 5 fueron positivos para la sardina común y 9 para la anchoveta, en el sector centro 36 fueron positivos para la sardina común y 12 para la anchoveta, y en el sector sur 17 fueron positivos para la sardina común y 5 para la anchoveta.

Tabla 4. Información de los lances de pesca de adultos en los sectores norte, centro y sur, coordenadas geográficas, periodo de muestreo.

Sector	Coordenadas	Nº Lances	Rango fechas
Norte	33°41'S - 35°51'S	10	16 Oct - 03 Nov
Centro	36°22'S - 38°25'S	48	28 Sept - 22 Oct
Sur	38°38'S - 41°18'S	21	03 Oct - 21 Oct

A bordo de las embarcaciones involucradas en la pesca de adultos, los ejemplares recolectados fueron procesados según el siguiente protocolo:

- Análisis de frecuencia de tallas para cada lance de pesca en anchoveta y sardina común.
- Análisis macroscópico del sexo y estado de madurez sexual.
- Recolección de muestras (especímenes) de ambas especies para el análisis histológico, que consideró la recolección de ejemplares adultos de ambas especies, almacenados en una solución de formalina preparada en agua destilada y sales. Para preparar 5 L de solución tamponada de formaldehído al 5%, se utilizaron:
 - 500 ml de formalina 37%
 - 4500 ml de agua destilada
 - 20 gr de Fosfato diácido sódico ($\text{Na}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ + H_2O)
 - 30 gr Fosfato ácido disódico (Na_2HPO_4)

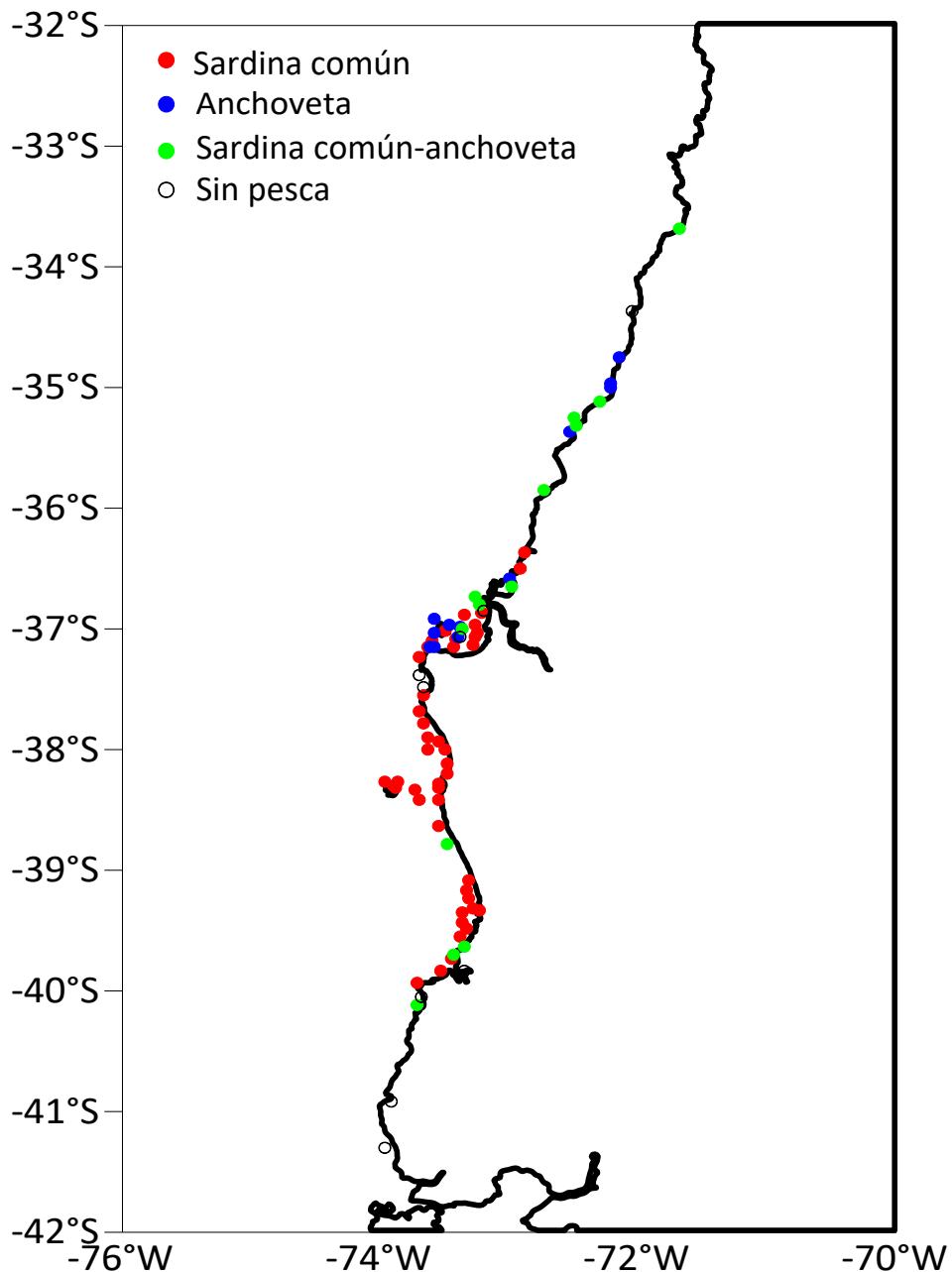


Figura 2. Distribución de lances de pesca de anchoveta y sardina común y lances sin pesca en estudio MPDH (28 septiembre al 03 noviembre, 2020).

En el Laboratorio de Análisis Biológico de Peces del Instituto de Investigación Pesquera, los especímenes recolectados para los análisis histológicos fueron sometidos a un muestreo biológico, con énfasis en la determinación de indicadores reproductivos como: Índice Gonadosomático (IGS), Estados de Madurez Sexual macroscópico (EMS), y Porcentaje de Hembras Activas (PHA). Asimismo,



los ejemplares fueron disectados para extraer las gónadas, almacenarlas de manera individual, en bolsas debidamente etiquetadas y fijadas en la solución de formalina antes señalada y enviadas al Laboratorio de Histología para el análisis microscópico. En esta actividad se llevó una bitácora especial para el análisis histológico de las gónadas de ejemplares hembras de ambas especies.

El número de gónadas de anchoveta y sardina común que fueron enviadas al Laboratorio de Histología correspondió a 337 gónadas de anchoveta y 762 gónadas de sardina común.

El procesamiento histológico de las gónadas de las hembras, preservadas en formalina, fue realizado en el laboratorio de histología de INPESCA y el peso de cada par de ovarios se registró en una balanza con una precisión de 0,001 g. Posteriormente, se hicieron cortes histológicos de 5 micrones de espesor los cuales fueron teñidos con hematoxilina y contrastados con eosina. La hematoxilina es el colorante más versátil y ampliamente usado en la técnica histológica. Se emplea para demostrar núcleo celular, se convierte en hemateína por oxidación. La hematoxilina-eosina colorante nuclear (aniónico) y colorante citoplasmático (catiónico).

La condición reproductiva de ambas especies se determinó a través del análisis de la distribución de los estados de madurez microscópicos de los ovarios, aplicando la escala microscópica específica basada en los criterios señalados por Sepúlveda *et al.* (2000) (**Tabla 5**). La clasificación de los estados de madurez sigue el criterio de una escala de nueve estadios, y tratándose de especies que son desovantes parciales, el estado más avanzado en la gónada determina la clasificación de madurez de cada individuo. En los ovarios se identificó la presencia o ausencia de las siguientes estructuras: ovocitos que no han comenzado la vitelogénesis; ovocitos que se encuentren en los primeros estados de la vitelogénesis; ovocitos en vitelogénesis avanzada; ovocitos maduros (vitelogénesis completa); ovocitos hidratados, y folículos post ovulatorios. Además, se determinó la presencia de atresia en cada ovario.

Tabla 5. Caracterización macroscópica para determinar la fase de madurez gonadal en hembras de anchovetas (Sepúlveda *et al.*, 2000)

Estado ovárico	Citología e Histomorfología ovárica
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogonales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos. Vesícula germinativa grande y central, con prominentes nucléolos esféricos y periféricos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Citoplasma escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos tardíos debutó la presencia de pequeñas vesículas periféricas previtelogénicas



Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, abarcando nomás de las 3/4 partes del citoplasma. Vesícula germinativa grande, central, con numerosos nucleolos periféricos. Se destaca la presencia de vesículas periféricas. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
Estadio IV: Vitelado	Ovocitos cargados de glóbulos de vitelo, desde la periferia a la región perinuclear. Vesícula germinativa mantiene su posición central permaneciendo los nucleolos en la periferia. La zona radiata bien desarrollada. Células foliculares rectangulares en sentido transversal con núcleo esférico, central y citoplasma ligeramente basófilo
Estadio V: Próximo a la hidratación	Ovocitos cuyo citoplasma presenta grandes glóbulos de vitelo (término de la depositación de vitelo). Vesícula germinativa excéntrica migrante hacia el polo animal. Células foliculares altas claramente distinguibles, con núcleo ovoide desplazado a la base y citoplasma claro de aspecto espumoso
Estadio VI: Hidratado	Ovocitos con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración, los cuales se han expandido incrementando considerablemente de tamaño por incorporación de fluidos. Los glóbulos de vitelo se fusionan formando placas de vitelo por ingreso de líquido al citoplasma. La granulosa y la zona radiata se adelgazan.
Estadio VII: En desove	Coexistencia de ovocitos hidratados y folículos post ovulatorios nuevos, entre ovocitos en depositación temprana de vitelo
Estadio VIII: Post desovante de tanda	Ovario con presencia de folículos post ovulatorios y ovocitos vitelogénicos; eventualmente ovocitos próximos a la hidratación
Estadio IX: Desovado	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia atresia folicular. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos post ovulatorios

5.1. Fecundidad parcial

En la determinación de la fecundidad parcial se aplicó el método gravimétrico descrito por Hunter *et al.* (1985), el cual se basa en el conteo de los ovocitos hidratados en una porción del ovario como estimador de la fecundidad parcial. Todos los ovarios clasificados como hidratados fueron sometidos a un examen histológico, descartando para estimar la fecundidad a aquellos con indicios de desove (presencia de FPO) y la presencia de atresia.

Para el recuento de los ovocitos hidratados, el líquido superficial fue absorbido con papel filtro y luego se obtuvo una submuestra de la mitad más grande del ovario, tomando tres segmentos del tejido: uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. En cada una de las submuestras de 0,18 a 0,20 g se contabilizaron los huevos bajo microscopio estereoscópico. El promedio del número de ovocitos hidratados de las submuestras (Hunter *et al.*, 1985) fue utilizado para estimar el número total de ovocitos hidratados del ovario mediante la siguiente expresión:



$$\bar{F}_i = \bar{n} W_i$$

Donde: F_i es la fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario), W_i es el peso húmedo del ovario (g), y \bar{n} es el número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.

5.2. Fecundidad parcial por hembra madura y fecundidad media poblacional

La fecundidad parcial se determinó utilizando las hembras colectadas en el área de muestreo. La relación entre la fecundidad parcial (número de ovocitos hidratados) versus la longitud total y el peso total, se obtuvo mediante técnicas de regresión.

La fecundidad media poblacional y su varianza se estimó siguiendo la metodología descrita por Hunter et al. (1985):

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{F}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Donde:

\bar{F} es la fecundidad media poblacional, m_i es el número de hembras en el lance i, \bar{F}_i es el promedio de la fecundidad parcial en el lance i.

Dado que para el promedio se utiliza la fecundidad parcial estimada a través del modelo de regresión, es decir, cada estimado tiene su propia varianza asociada, entonces la estimación la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variación adicional:

$$Var(\bar{F}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(\bar{F}_i - \bar{F})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + (w_i^* - \bar{W}_h^*) s_\beta^2 \right]}{\left(\sum_{i=1}^n (m_i / n) \right)^2 n}$$

Donde:

\bar{F} es el estimado de la fecundidad media poblacional, \bar{F}_i es el promedio de la fecundidad para el lance i, s_h^2 es la varianza de la regresión, n_h es el número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión, \bar{W}_i^* es el peso corporal promedio para el lance i, \bar{W}_h^* es el peso corporal



promedio de hembras utilizadas en la regresión, $s^2(\beta)$ es la varianza de la pendiente de la regresión, y n es el número de lances.

5.3. Caracterización de los folículos post ovulatorios de anchoveta y de sardina común

La caracterización de los folículos post ovulatorios (FPO) se realizó sobre la base del criterio utilizado por Hunter & Goldberg (1980), donde cada ovocito hidratado está rodeado por un folículo alargado y fino, una capa epitelial de células granulosas y una única capa externa de tejido conectivo de células con algunos capilares sanguíneos. Durante la ovulación los ovocitos completamente hidratados son liberados desde sus folículos. El folículo vacío o FPO no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, sin embargo, éste se deteriora rápidamente y es reabsorbido.

Para usar los FPO en la estimación de la frecuencia de desove es necesario dividir el proceso de deterioración y reabsorción del folículo en series de diferentes estadios histológicos, cada uno con una edad asignada. En la clasificación por edades de los FPO se utilizaron los criterios citológicos y morfohistológicos propuestos por Hunter y Goldberg (1980) para *Engraulis mordax* y por Macewicz & Hunter (1993) para *Trachurus symmetricus*, asumiendo que dichos criterios y cambios estructurales son similares a los que experimentan los FPO de anchoveta y sardina común ([¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#)).

Tabla 6. Clases de folículos post ovulatorios con sus respectivas características

Edad	Apariencia histológica del FPO
FPO nuevos de día 0 (< 24 h)	Folículos post ovulatorios nuevos que no muestran signos de degeneración. Estructura de forma irregular formada por una columna epitelial bien organizada con numerosas involuciones. Adyacente a las células foliculares se ubica la lámina de células tecales conectivas que pueden verse como una capa prominente. El lumen es amplio e irregular.
FPO de día 1 (24 h < FPO 48 h)	Folículos post ovulatorios en regresión, mostrando signos de degeneración. Son más pequeños que los folículos post ovulatorios nuevos, por contracción sobre sí mismo. Presencia de células foliculares con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico, cuyas paredes no son claramente distinguibles. La disposición lineal de las células se mantiene. La lámina tecal se destaca claramente. El lumen es estrecho e irregular.
FPO de día 2 (> 48 h)	Folículos post ovulatorios con marcada degeneración celular. De menor tamaño que el folículo post ovulatorio de día 1. Epitelio folicular desorganizado, que pierde la disposición lineal de sus células, las cuales se presentan en avanzado estado degenerativo, de forma irregular, con citoplasma vacuolado y núcleo picnótico. Lámina tecal desarrollada. El lumen está ocluido.



5.4. Modelo de estimación de la Biomasa Desovante basado en la producción diaria de huevos

Se aplicó lo establecido por Parker (1980) y Sepúlveda *et al.* (2000).

La biomasa desovante se expresa en términos de los siguientes parámetros:

- a) Frecuencia de desove
- b) Producción de huevos
- c) Fecundidad parcial
- d) Proporción de sexos
- e) Peso promedio de las hembras maduras

Para esto se supone la existencia de una relación directa entre la producción de huevos y la biomasa desovante. De este modo la producción de huevos se define de acuerdo a la siguiente ecuación,

$$P = (B \times R') \times F'$$

Donde:

B: es la biomasa total;

R': corresponde a la fracción de hembras (en el stock) que producen huevos en un período de tiempo.

F': es el número de huevos desovados cada vez (o por tanda de desove) por unidad de peso de hembra.

Si las hembras desovan más de una vez en el período de estimación de la producción, entonces:

$$R' > \text{a la proporción de sexos (en biomasa);}$$

Si las hembras en promedio desovan sólo una vez, entonces:

$$R' \leq \text{a la proporción de sexos (en biomasa)}$$

La ecuación de producción no es utilizable para desovantes múltiples de la forma presentada en la primera ecuación, por lo tanto, hay que ajustarla de acuerdo con la frecuencia de desove.

La proporción de hembras de la biomasa producida (R') se hace igual a:

$$R' = R \times f$$

f, puede ser estimada si se cumplen 3 condiciones:

1. Las hembras presentan una característica que indica cuando desovarán o han desovado.
2. El tiempo que dura esta característica es estimable.



3. La tasa (o frecuencia) de desove permanece constante a través del intervalo de muestreo en que f' es estimada.

Por lo tanto, podemos reformular la ecuación de producción de la siguiente forma:

$$P = B \times R \times f' \times F'$$

y despejando de acuerdo a B se tiene;

$$B = \frac{P}{R \times f' \times F'}$$

que según Stauffer y Picquelle (1980) puede ser formulada como:

$$B = P \times \frac{A \times (k \times W)}{(R \times F \times S)}$$

donde, B = biomasa desovante (toneladas);

P= producción diaria de huevos (huevos·0,05 m⁻²·d⁻¹);

W= peso promedio de hembras maduras (g);

R= razón de sexos, fracción de la población que son hembras maduras, en peso (g);

F= fecundidad parcial, número de huevos por hembra madura por vez;

S= fracción de hembras maduras desovantes por día;

A= área total investigada (en 0,05 m²);

k= factor de conversión de gramos a toneladas.

Stauffer y Picquelle (1980) determinaron que estimaciones más estables de la biomasa desovante se alcanzan si se reemplaza F', propuesta por Parker, por los parámetros F y W. Estos mismos autores, basados en el modelo delta de Seber (1973), demostraron que el sesgo aproximado y la varianza para el estimador de biomasa son función de las varianzas y covarianzas muestrales.

El sesgo (b) está dado por:

$$E[B] = \hat{B} + b$$

donde E[B] es el valor esperado de la biomasa y \hat{B} es el estimado de la ecuación de Biomasa desovante.

El sesgo puede estimarse aproximadamente de la siguiente forma:



$$b \cong \hat{B}(CV(R)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + COVS)$$

donde CV representa el coeficiente de variación del parámetro estimado y COVS, corresponde a la suma de términos que incorpora las respectivas covarianzas:

$$\begin{aligned} COVS = & \frac{COV(PW)}{PW} - \frac{COV(PR)}{PR} - \frac{COV(PF)}{PF} - \frac{COV(PS)}{PS} - \frac{COV(WR)}{WR} - \frac{COV(WF)}{WF} - \frac{COV(WS)}{WS} \\ & + \frac{COV(RF)}{RF} + \frac{COV(RS)}{RS} + \frac{COV(SF)}{SF} \end{aligned}$$

Si se ignora el sesgo, la varianza aproximada del estimado está dada por:

$$Var(B) \cong \hat{B}^2 \times (CV(P)^2 + CV(W)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + 2 \times COVS)$$

En términos generales, la covarianza de los parámetros se estima a partir de las estimaciones promedio para cada lance, según la expresión:

$$COVS = \sum_i \sum_{i < j} sign \frac{COV(X_i, X_j)}{X_i X_j}$$

Donde:

X representa estimaciones de los parámetros de adultos, los índices i y j representan diferentes parámetros de adultos; e.g. $X_i = F$ y $X_j = W$. El signo de cualquiera de los dos términos es positivo si ambos están en el numerador o denominador de la ecuación, en caso contrario es negativo.

5.4.1. Peso medio de las hembras maduras (W)

El peso de las hembras es estimado de un tamaño fijo de submuestra de hembras maduras (30 individuos por especie).

Y_{ij} es reemplazado por W_{ij} que corresponde al peso total de la j-ésima hembra madura muestreada desde el lance i. Este peso observado es ajustado hacia abajo en las hembras maduras, cuyos ovarios contienen huevos hidratados, debido a que su peso corporal está temporalmente sobrevalorado debido a la retención de agua. El peso ajustado (\hat{W}_{ij}) es estimado a partir de una regresión lineal entre el peso total y el peso sin góndadas (W_{ij}^*) que es ajustado solo de aquellas hembras que no tienen huevos hidratados:



$$\hat{W}_{ij} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} W_{ij}^*$$

La distribución de frecuencia observada del peso promedio de hembras por lance es usualmente simétrica, aunque puede ocurrir cierta insinuación de bimodalidad si hay una clase anual mayor a 1 año. Los pesos dentro de cada lance tienden a ser homogéneos, lo que sugiere que los cardúmenes de anchoveta y de sardina común son homogéneos en relación al peso.

5.4.2. Proporción sexual (R)

Se define por y_i al número de peces de la muestra de frecuencia de tallas y \bar{R}_i a la fracción en peso de hembras maduras. Se destaca que tanto los peces maduros como inmaduros son incluidos en la estimación debido a que es complejo distinguir entre machos maduros e inmaduros. Por lo tanto, se asume que la razón de sexos, en peso, es la misma para peces maduros e inmaduros. Para ahorrar esfuerzos de muestreo, \bar{R}_i es un valor estimado más que un valor medido directamente.

El peso promedio para cada sexo es entonces estimado para cada lance a partir de la submuestra. El peso total, de cada sexo en la submuestra, se estima multiplicando el número observado de machos y hembras en las muestras de frecuencia de la muestra aleatoria de 120 peces por el peso promedio de cada sexo en la submuestra:

$$\hat{W}_i^H = y_i^H \bar{W}_i^H$$

$$\hat{W}_i^M = y_i^M \bar{W}_i^M$$

Donde:

\hat{W}_i^k ($k = H, M$) es el peso total estimado del sexo k en el lance i ; y_i^k es el número de peces del sexo k de la muestra de frecuencia de tallas i ; y \bar{W}_i^k es el peso promedio del sexo k estimado a partir de la submuestra de 70 peces en el lance i . Luego se estima la suma del peso total de machos más hembras

$$\hat{y}_i = \hat{W}_i^F + \hat{W}_i^M$$

y \bar{R}_i se estima utilizando el peso total estimado de hembras dividido por \hat{y}_i

$$\bar{R}_i = \frac{\hat{W}_i^F}{\hat{y}_i}$$

La proporción total de hembras en peso fue estimada por:



$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{R}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Donde:

m_i es el número de hembras maduras en el lance i , y su varianza por:

$$V\bar{A}R(\bar{R}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{R}_i - \bar{R})^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n(n-1)}$$

Donde:

\bar{R} es la proporción en peso promedio de hembras maduras, \bar{R}_i es la proporción en peso de hembras maduras en el lance i , m_i es el número de hembras maduras del lance i , y n es el número total de lances.

5.4.3. Fracción de hembras desovantes (S)

La fracción diaria de hembras desovantes se determinó a partir de las ecuaciones de Santander *et al.* (1984). Cuando el muestreo de hembras hidratadas o de hembras con FPO de día 1, o de día 2 no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes en el lance i puede ser estimado por:

$$S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} o \frac{m_{1,i}}{m_i} o \frac{m_{2,i}}{m_i}$$

donde:

$$m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

y cada uno de los términos corresponden a:

m_{hi} = Número de hembras hidratadas en el lance i .

m_{1i} = Número de hembras de día 1 en el lance i .

m_{2i} = Número de hembras de día 2 en el lance i .



m_{ai} = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 h (incluidas las hembras con FPO con una edad menor de 9 h, FPO nuevos)

m_i = Número de hembras maduras en el lance i.

S_i = Fracción desovante en el lance i.

Debido a que los lances de pesca que se realizan con red de cerco pueden sesgar el número de hembras hidratadas (Alheit, 1985), es necesario realizar una corrección. El número de hembras hidratadas (m_{hi}), se asume puede ser representado por:

$$m_{hi} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2}$$

de tal forma que la fracción de hembras desovantes de día 1 es:

$$S_{1,i} = \frac{\frac{m_{1,i}}{m_{1,i} + m_{2,i}}}{\frac{2}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{1,i}}{m_{y,i}}$$

y la fracción desovante de hembras de día 2 es:

$$S_{2,i} = \frac{\frac{m_{2,i}}{m_{1,i} + m_{2,i}}}{\frac{2}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}} = \frac{m_{2,i}}{m_{y,i}}$$

Donde:

Si es la fracción corregida de hembras con FPO de día 1 o de día 2, en el lance i. El número de hembras que no ha desovado se estima por: $m_{a,i} = m_i - m_{0,i} - m_{1,i} - m_{2,i} - m_{hi}$ (se recuerda que $m_{a,i}$ incluye las hembras con FPO nuevos menores a 9 h, $m_{0,i}$), mientras que el número corregido de hembras maduras para el lance i viene dado por la siguiente expresión:

$$m_{y,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

Finalmente, la estimación de la fracción de hembras desovantes diarias para el lance i se realiza promediando las ecuaciones dadas, mediante la siguiente expresión:



$$\bar{S}_i = \frac{S_{1,i} + S_{2,i}}{2} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2 \sum \left[\frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i} \right]} = \frac{\sum (m_{1,i} + m_{2,i})}{2 \sum m_{y,i}}$$

La fracción de hembras desovantes promedio se estima según:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{S}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

con varianza igual a:

$$Var(\bar{S}) = \frac{I}{n(n - I)} \sum \left(\frac{m_{y,i}}{\bar{m}} \right)^2 (\bar{S}_i - \bar{S})^2$$

Donde:

\bar{S} es la fracción promedio de hembras desovantes por día en todos los lances, $m_{y,i}$ es el número corregido de hembras maduras en el lance i , \bar{m} es el número promedio corregido de hembras maduras, i.e.

$$\bar{m} = \sum \frac{m_{y,i}}{n}$$

6. Estudio acústico de pelágicos pequeños

A pesar de que la información acústica normalmente se utiliza para estimar abundancia y biomasa de recursos de importancia comercial, los datos acústicos entregan información que permite observar de manera continua y simultáneamente en toda la columna de agua la mayoría de los componentes de un ecosistema: predadores, presas, sustrato, es decir, desde el zooplancton hasta peces más grandes y la relación entre ellos y el ambiente (Reid *et al.*, 1998; ICES, 2007).

Esta característica permitiría obtener indicadores biológicos de escala regional y local. Por ejemplo, el Instituto del Mar del Perú utiliza el método acústico de manera complementaria al MPDH para obtener indicadores de distribución espacial y caracterización de cardúmenes de anchoveta (*Engraulis ringens*) durante los cruceros destinados a estimar la biomasa desovante de este recurso frente a sus costas (IMARPE, 2019). Otro ejemplo parecido se da en Europa, donde para estimar la



biomasa de anchoa (*Engraulis encrasicolus*) en el golfo de Vizcaya, se utiliza información de dos estudios simultáneos (Santos et al., 2011), un estudio tipo MPDH realizado por España y otro acústico realizado por Francia, ambos estudios entregan información sobre la población de anchoa y, cuyos índices de biomasa, junto con la información proporcionada por la flota, son utilizados como datos de entrada para un modelo de estimación de biomasa de dos etapas, cuyo objetivo es evaluar la población de anchoa en esa zona (Ibaibarriaga et al., 2008).

En consecuencia, de manera exploratoria y con el objetivo de obtener indicadores de distribución espacial, distribución batimétrica y establecer focos de densidad de adultos de anchoveta y sardina común durante su época de máxima actividad reproductiva, se recolectó información acústica en el sector geográfico Centro durante el crucero MPDH 2020, con el propósito de caracterizar las agregaciones de adultos de pequeños pelágicos y enjambres de anchoveta y sardina común:

- Determinar la distribución batimétrica de las agregaciones de pequeños pelágicos.
- Determinar la distribución espacial de las agregaciones de pequeños pelágicos y su asociación con variables oceanográficas.
- Determinar las zonas donde se encuentren las mayores concentraciones de pequeños pelágicos y zooplancton.
- Contrastar la distribución espacial de huevos obtenidos por el muestreo MPDH y la información de zooplancton y adultos de pequeños pelágicos obtenidos por el método acústico.
-

6.1. Equipamiento y área de estudio

Se instaló un equipo acústico científico en la lancha artesanal Eden I, para adquirir información durante el crucero de huevos del MPDH entre los días 28 de septiembre y 08 de octubre de 2020, cubriendo la zona centro del área de estudio, entre los 36°S y 38°25'S (**Figura 3**). El equipo acústico utilizado correspondió a un ecosonda científica marca Simrad modelo EK60, equipada con dos transductores de haz dividido, de 38 kHz y 120 kHz, el uso de la doble frecuencia permitió identificar y separar el plancton y los peces de mejor manera.

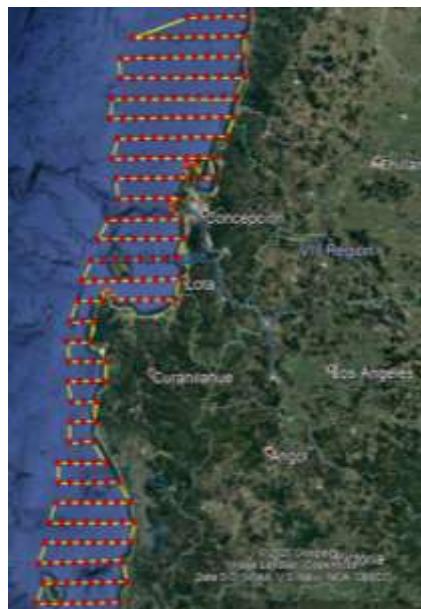


Figura 3. Track de navegación propuesto inicialmente (línea amarilla) y estaciones de muestreo (puntos rojos) en el sector centro.

6.2. Análisis de la información acústica

El procesamiento posterior de la información acústica, se realizó con el software de análisis de ecogramas Echoview (v.9.1). Los datos acústicos fueron filtrados para eliminar todas las fuentes de ruido presentes en los mismos, de forma eficiente y semi automatizada (usuario independiente), evitando alterar las mediciones acústicas y el sesgo que se introduce al eliminar fuentes de ruido manualmente. El concepto de ruido se debe entender como toda señal acústica, ya sea de origen biológico, mecánico, y/o interferencias eléctricas que no forman parte de nuestro interés o representan mediciones falsas, por ejemplo, ecos de doble fondo e interferencia del transductor.

La información acústica se integró en Unidades Básicas de Muestreo (UBMs) de 1 mn y se exportó a archivos con extensión csv (separados por com). El coeficiente de dispersión sonora por unidad de área (SA o NASC -Nautical Area Scattering Coefficient- por sus siglas en inglés), obtenido para cada celda exportada mediante el uso de diferentes paquetes del software de programación estadística “R” (<https://www.r-project.org/>).



6.3. Identificación acústica de zooplancton

El zooplancton como cualquier grupo de dispersión acústica, puede ser discriminado de otros organismos, como los peces, usando sus propiedades acústicas y su dependencia de la frecuencia teórica (Kloser *et al.*, 2002; Logerwell & Wilson, 2004; Mosteiro *et al.*, 2004; Simmonds & MacLennan, 2005).

Para identificar y separar el zooplancton de peces, se creó un algoritmo utilizando el módulo de operadores virtuales del programa de proceso posterior de información acústica echoview. El algoritmo se basa en la metodología utilizada por Ballón *et al.*, (2011) y el protocolo de análisis propuesto en CCAMLR (SG-ASAM, 2017) para separar y cuantificar kril antártico, ambos combinan las frecuencias de 38 y 120 kHz a través de adiciones y diferencias que permiten separar eufáusidos de otros dispersores acústicos.

6.4. Distribución espacial mediante geoestadística

La geoestadística se ha transformado en una herramienta valiosas en la investigación pesquera a nivel mundial, siendo utilizada para describir la distribución espacial de cualquier variable regionalizada, incluidos los organismos marinos (Rivoirard *et al.*, 2000), tiene gran relevancia tanto en la descripción de la distribución espacial de recursos pelágicos (Maravelias *et al.*, 1996), como en estimaciones de biomasa (Conan, 1985; Simard *et al.*, 1992; Pelletier & Parma, 1994; Maynou, 1998).

Este método de análisis supone que la variable medida localmente (densidad poblacional) es una variable aleatoria y, por lo tanto, se puede dar cuenta rigurosamente del error en la determinación de la variable localmente. La geoestadística se basa en la correlación espacial entre los datos en lugar de evitarla, como en el caso de un muestreo aleatorio, y permite obtener resultados insesgados prácticamente desde cualquier tipo de diseño muestreal (Conan, 1985; Petitgas, 1996). No obstante, se obtiene una mayor precisión al aplicar este tipo de análisis bajo estrategias de muestreo de tipo regular (Conan, 1985), como es el caso de este estudio.

Las estimaciones locales de densidad obtenidas durante el estudio serán consideradas como una representación muestral del proceso aleatorio subyacente, como la distribución de la abundancia de pequeños pelágicos (Gorny *et al.*, 2002).

La geoestadística se aplicó en dos etapas. En la primera etapa, el análisis estructural caracteriza los diferentes aspectos de la distribución espacial de la densidad de peces, en el que se escoge un modelo para interpretar los datos, esta parte es la base del método. En la segunda etapa se utiliza el modelo para obtener los estimados, mediante un algoritmo matemático llamado kriging, el cual hace un promedio ponderado de los valores muestreados.



Esta ponderación asignada a los valores se determina apropiadamente de acuerdo a la estructura espacial y a la configuración del muestreo. La interpolación del kriging sirve para reconstruir los procesos a localidades no muestreadas (Petitgas, 1996; Maynou, 1998).

Para analizar la autocorrelación entre los puntos de los datos, se calculó un variograma experimental $\hat{\gamma}(h)$, donde h representa la distancia entre puntos.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

N es el número de pares de puntos separados por una distancia h (Matheron, 1963; Conan 1985).

Así, el variograma mide el valor medio al cuadrado de las diferencias entre dos puntos separados por una distancia h , debido al 2 en el denominador y sus unidades también se llaman semivarianza (Petitgas, 1996).

Además, puede existir anisotropía, esto significa que no todas las direcciones espaciales son equivalentes en sus características. De esta manera, un variograma anisotrópico tiene diferentes características en diferentes direcciones (Petitgas, 1996).

En el presente estudio se ajustaron semi variogramas para caracterizar la estructura espacial de las densidades de pequeños pelágicos, esta opción no afecta la estimación del parámetro relevante del modelo y la hace mucho más eficiente.

Se realizó este cálculo en varias direcciones para investigar la existencia de ellas en la estructura del proceso, como en el caso de la anisotropía. Una vez calculados los semi variogramas experimentales, se evaluaron modelos que relacionan la estructura observada con el supuesto proceso generador. Los cuatro modelos considerados fueron:

1. Modelo Matérn (Matérn, 1987)

$$\gamma(h; \theta) = \left(\frac{1}{2^{\kappa-1} \Gamma(\kappa)} \right) \left(\frac{h}{r} \right)^{\kappa} K_{\kappa} \left(\frac{h}{r} \right) \quad h > 0, \quad r > 0, \quad \kappa > 0$$

donde κ es el parámetro de suavizamiento del modelo Matérn usado para transformar la estructura original de los datos muestrales a través de la transformación Box-Cox, en una distribución aproximadamente normal.



2. Modelo esférico (Cressie, 1993)

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_o + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{|h|}{r} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|}{r} \right)^3 \right], & 0 < |h| < r \\ C_o + C, & |h| \geq r \end{cases}$$

3. Modelo exponencial (Cressie, 1993)

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_o + C \left(1 - \exp \left(- \frac{|h|}{r} \right) \right), & h \neq 0 \end{cases}$$

4. Modelo Gaussiano (Cressie, 1993)

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ C_o + C \left(1 - \exp \left(- \frac{|h|^2}{r^2} \right) \right), & h \neq 0 \end{cases}$$

donde C_0 es el efecto nugget, que caracteriza la variabilidad de microescala, C es el valor asintótico o sill del variograma menos el nugget, y r es el rango del variograma, más allá del cual los datos ya no presentan correlación.

Los modelos se ajustaron al variograma experimental de acuerdo al procedimiento de mínimos cuadrados ponderados (Cressie, 1993), debido a que se le da mayor ponderación a los lags que tienen más puntos y los residuos producidos reciben más peso en cada lag en el ajuste total. Además, los lags cercanos a cero reciben mayor ponderación y esto es importante para obtener un buen ajuste del variograma, especialmente en el origen.

$$\sum_{i=1}^H N(h_i) \left(\frac{\hat{\gamma}(h_i)}{\gamma(h_i)} - 1 \right)^2$$

Previo a determinar la distribución espacial de pequeños pelágicos, se realizó una validación cruzada de los parámetros del variograma teórico ajustado y de los parámetros utilizados en la interpolación por kriging (*i.e.* parámetros del variograma teórico, radio de búsqueda, número máximo de pares a utilizar en la interpolación). El método de validación cruzada (Deutsch & Journel, 1998) consiste en eliminar uno a uno los puntos en que se realizó el muestreo y utilizar el resto de los datos para estimar el valor de la variable en ese punto, utilizando el modelo de variograma y parámetros de kriging



seleccionados (Englund & Sparks, 1991; Maravelias *et al.*, 1996). De esta forma, se define el error de predicción en cada localidad muestreada como la diferencia entre el valor medido y el estimado a partir del resto de los datos (Isaaks & Srivastava, 1989).

El cuadrado medio del error (CME) es un término estadístico que incorpora el sesgo (la media o valor esperado del error de predicción) y la dispersión de la distribución del error de predicción: $CME = \text{varianza} + \text{sesgo}^2$ (Isaaks & Srivastava, 1989). Así, el valor predicho debe ser cercano al valor medido y el CME debe ser mínimo (Maravelias *et al.*, 1996). El objetivo final de este procedimiento no paramétrico es obtener un criterio de decisión para seleccionar una combinación dada de parámetros del variograma teórico y del kriging.

Se utilizó el kriging como método de interpolación, considerando la distancia mínima promedio entre las observaciones muestrales como la distancia internodal de la grilla de interpolación. Los parámetros del variograma teórico y del kriging seleccionados después de la validación cruzada, fueron utilizados para calcular las ponderaciones óptimas a ser asignadas a cada punto de muestreo:

$$z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i)$$

Donde N es el número de muestras, λ_i es la ponderación atribuida a la muestra x_i , y:

$$\sum \lambda_i = 1$$

Los N ponderadores λ_i se calculan para asegurar que el estimador es insesgado y que la varianza de estimación sea mínima (Journel & Huijbregts, 1978; Petitgas, 1996).

Finalmente, el mapeo geoestadístico se realizó con diferentes paquetes del programa “R” (<https://www.r-project.org/>).



VII. RESULTADOS

1. Objetivo 1: Condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común

Los resultados oceanográficos se presentan como:

- a) Distribución horizontal de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (σ_t), concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}), y concentración de clorofila-a (mg m^{-3}), para los estratos: superficial a 5 m y de 25 m, 50 m, y 100 m de profundidad.
- b) Imágenes satelitales para la distribución espacial de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$), la concentración superficial de clorofila (mg m^{-3}), las corrientes geostróficas (cm s^{-2}), energía asociada a remolinos (EKE, $\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$), y el campo de viento satelital superficial (m s^{-1}).

Para la información satelital se ha considerado, por una parte, el análisis semanal (semanas 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020), y por otra, imágenes que representan un consolidado de estas variables satelitales para el período del crucero.

- c) Secciones oceanográficas (paralelas a la costa) de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (σ_t), concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}), concentración de clorofila-a (mg m^{-3}), para la caracterización de la variabilidad meridional y vertical del hábitat nerítico de la zona centro sur.
- d) Secciones oceanográficas (perpendiculares a la costa) de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (σ_t), concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}), concentración de clorofila-a (mg m^{-3}), para la caracterización de la variabilidad zonal y vertical del hábitat nerítico la zona centro sur (**Anexo 1**).
- e) Perfiles verticales individuales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (σ_t), concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}), y concentración de clorofila-a (mg m^{-3}), para la caracterización de la variabilidad vertical del hábitat nerítico de la zona centro sur, para cada uno de los sectores (norte, centro, sur) del área de estudio.
- f) Estructuras oceanográficas verticales que incluye: i) Estabilidad de la columna de agua (Brünt Väisälä, N), ii) Profundidad de la capa de mezcla (m), iii) Profundidad base de la termoclina (m), iv) Profundidad del mínimo de oxígeno (m), v) Espesor de la termoclina (m).
- g) Diagramas de TS.
- h) Información meteorológica con datos de crucero (intensidad y dirección del viento).



1.1. Condiciones meteorológicas

En el sector norte del área la intensidad del viento presentó un rango de variación entre 2,2 y 29,8 nudos, con un valor promedio de $17,6 \pm 6,1$ nudos ($n = 120$). Los promedios diarios de la intensidad del viento (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4*) mostraron en general una alta variabilidad diurna-nocturna, y promedios diarios en el rango de 14 a 20 nudos, con una leve tendencia a incrementar su intensidad hacia el final de la serie, alcanzando 20 nudos entre el 7 y 9 de octubre de 2020. Los datos de viento registrados durante el crucero en el sector norte mostraron un 55% de dominio de vientos provenientes de los cuadrantes E y SE (**Figura 5a**).

En el sector centro la intensidad del viento reveló un rango de variación entre 3,0 y 24,0 nudos con un valor promedio de $9,9 \pm 3,9$ nudos ($n = 140$) (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.4*). Los promedios diarios de la intensidad del viento mostraron menor variabilidad diurna-nocturna, y baja variación diaria en el rango de 5 a 15 nudos, y la mayoría de los casos estuvieron en torno a 10 nudos de intensidad. Los datos de viento durante el crucero en el sector centro mostraron el claro dominio de vientos provenientes del cuadrante Sur con una contribución porcentual del 95%, con 62,9% del cuadrante S y 32,1% del cuadrante SW (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.b*).

Finalmente, en el sector sur, la intensidad del viento exhibió un rango de entre 2 y 23 nudos, verificando un valor promedio de $12,0 \pm 6,3$ nudos ($n = 62$) (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*). A diferencia de la distribución temporal diaria de los sectores norte y centro, para el sector sur (al sur de $38^{\circ}30'S$) los promedios diarios de la intensidad del viento mostraron una distribución temporal con valores significativamente menores a 5 nudos los días 7 y 9 de octubre de 2020 y al final de la serie centrado en 6 nudos de intensidad (6 octubre), lo que se diferencia de los valores comparativamente mayores registrados entre el 11 y 13 octubre, con intensidades entre 13 y 21 nudos. Los datos de viento registrados durante el crucero en el sector sur mostraron el claro dominio de vientos provenientes de los cuadrantes S (61,1%) y SW (31,3%) (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.c*).

Para el caso de la caracterización del estado del mar, la información de la altura de olas registrada en cada estación de muestreo del sector norte de prospección, fluctuó entre los 0,2 y 5,9 m, con un valor promedio de $0,8 \pm 0,6$ m (**Figura 5d**). En este sector, la contribución porcentual de la dirección de las olas reveló el dominio de los cuadrantes E y SE (47,1%). Para el caso del sector centro, la altura de las olas fluctuó entre 1 y 4 m, con un valor promedio de $2,1 \pm 0,81$ metros ($n = 140$), verificando el dominio del cuadrante Sur con 95% (**Figura 5e**). En tanto, los datos de altura de olas registrados en el sector sur de la prospección fluctuaron entre los 0,5 y 2,5 m, exhibiendo un valor promedio de $1,2 \pm 0,64$ metros, así como el dominio porcentual de 74,2% para el cuadrante SW (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5f*).

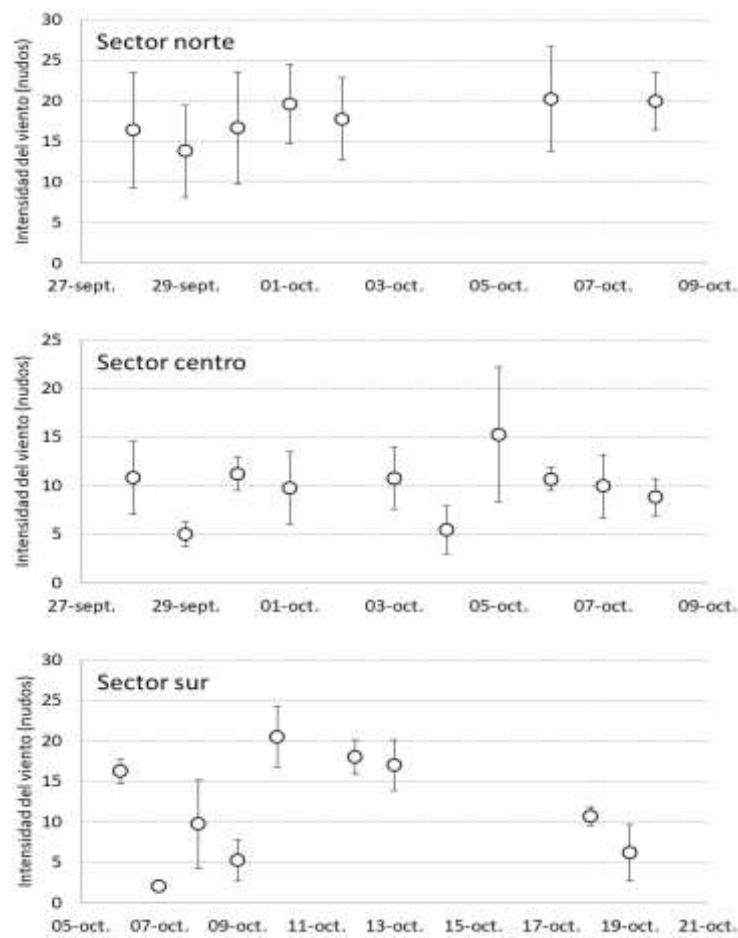


Figura 4. Variabilidad diaria de la intensidad del viento (nudos) para los sectores norte, centro y sur. Crucero MPDH, 2020.

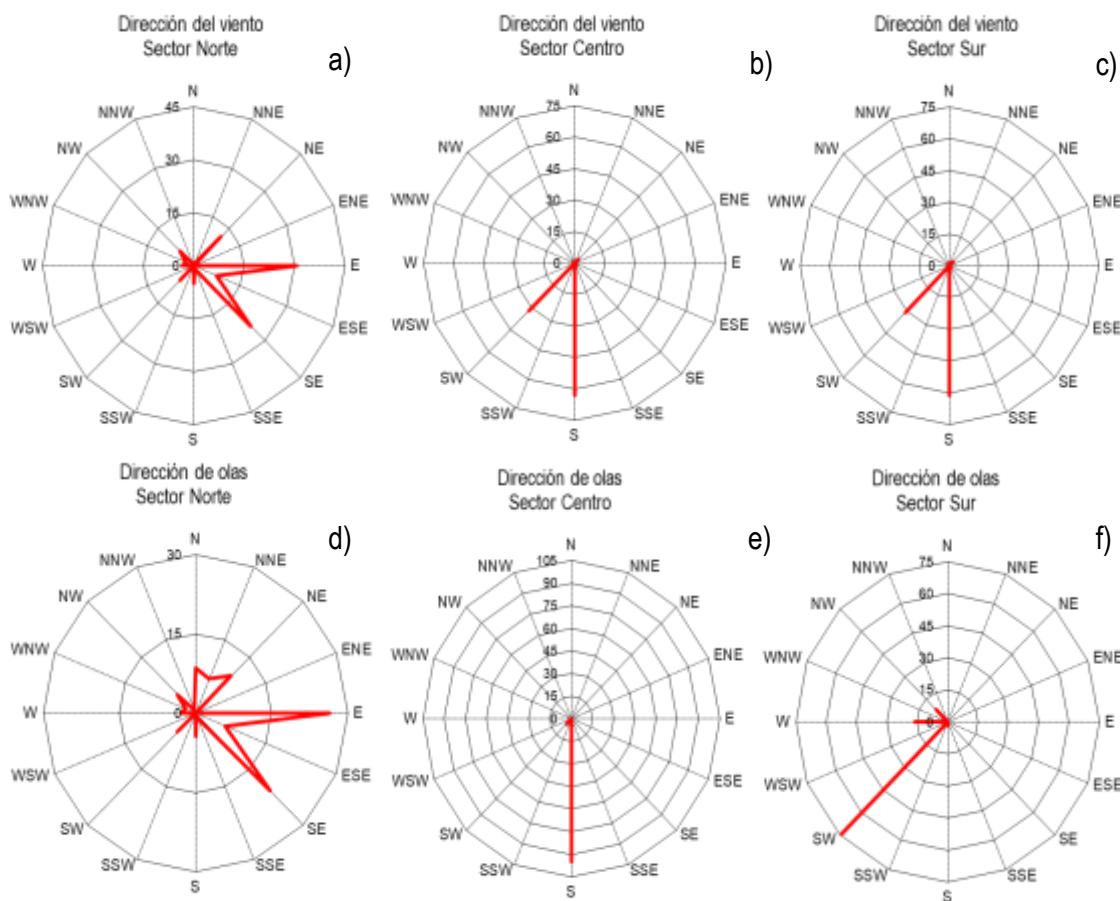


Figura 5. Variabilidad porcentual de la dirección del viento en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur. Crucero MPDH 2020. Variabilidad porcentual de la dirección de olas en los sectores: d) norte, e) centro y f) sur

1.2. Distribución horizontal de las variables oceanográficas

Se entrega la distribución horizontal de las variables oceanográficas medidas: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (σ_t), concentración de oxígeno disuelto (ml L^{-1}), y concentración de clorofila-a (mg m^{-3}). Los estratos de profundidad considerados en este análisis fueron: 5, 25, 50 y 100 m.

1.2.1. Estrato de 5 m de profundidad

En este estrato la temperatura tuvo un rango entre $9,1^{\circ}\text{C}$ y $12,9^{\circ}\text{C}$ (promedio = $11,5^{\circ} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, $n = 203$). La distribución de la temperatura superficial del mar reveló una banda costera de aguas frías, con un muy leve gradiente meridional ($\sim 1^{\circ}\text{C}$) y predominio de las isoterma de $11,5^{\circ}\text{C}$ y 11°C en gran parte de la región nerítica estudiada, y aguas levemente más cálidas ($\sim 12^{\circ}\text{C}$) al norte de 34°S . En



general no se presentaron gradientes zonales de importancia a lo largo de toda el área de prospección (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.a).

La variabilidad espacial de la salinidad superficial mostró el dominio de las isohalinas $>34,3$ al norte de $35^{\circ}30'S$, en tanto que el sector costero situado al sur de $36^{\circ}S-37^{\circ}S$ exhibió aguas con salinidades en superficie menores a 34, producto del aporte de aguas continentales del complejo de los ríos Itata y Biobío, que se intensificó en el extremo sur (al sur de $39^{\circ}S$) donde dominaron las isohalinas <33 asociadas al aporte del complejo Valdivia-Tornagaleones en la bahía de Corral (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.b). En este estrato, la salinidad tuvo un rango entre 30,8 y 34,6 (promedio = $33,7 \pm 0,6$, n = 203). En tanto, la distribución horizontal de la densidad del agua de mar mostró una situación similar a la salinidad, con el dominio de isopicnas $>26 \text{ kg m}^{-3}$ en gran parte del sector situado al norte de $36^{\circ}S$, así como aguas menos densas que $25,5 \text{ kg m}^{-3}$, asociadas al sector costero entre $37^{\circ}S$ y $40^{\circ}S$, producto de la descarga de aguas continentales de los ríos más importantes de este sector, especialmente del complejo Itata-Biobío, Toltén, Imperial y complejo Valdivia-Tornagaleones (**Figura 6c**). En este estrato, la densidad del agua de mar tuvo un rango entre los 23,27 y $26,59 \text{ kg m}^{-3}$ (promedio = $25,7 \pm 0,5 \text{ kg m}^{-3}$, n = 203).

La concentración de oxígeno disuelto en el estrato superficial reveló un estrato bien oxigenado, con el dominio de las isolíneas de $5-6 \text{ mL L}^{-1}$, y la ausencia de variabilidad zonal y meridional en gran parte del área prospectada. El sector norte careció de información de la concentración de oxígeno disuelto por fallas en el sensor del CTD/OF detectadas durante el crucero. En este estrato, la concentración de oxígeno disuelto tuvo un amplio rango de fluctuación entre 2,2 y 8 mL L^{-1} , con un valor promedio de $6,3 \pm 0,15 \text{ mL L}^{-1}$ (n = 95) (**Figura 6d**). Por último, la distribución superficial de la concentración de clorofila-a reveló la presencia de concentraciones entre 5 y 10 mg m^{-3} en gran parte de los sectores centro y sur del área prospectada. Fallas en el sensor de fluorescencia del CTD/OF que operó el sector norte, no permitió disponer de información confiable de fluorescencia para este sector. La concentración de clorofila-a mostró un rango de fluctuación entre 0,1 y $15,6 \text{ mg m}^{-3}$, con un valor promedio de $3,62 \pm 3,12 \text{ mg m}^{-3}$, n = 131) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.e).

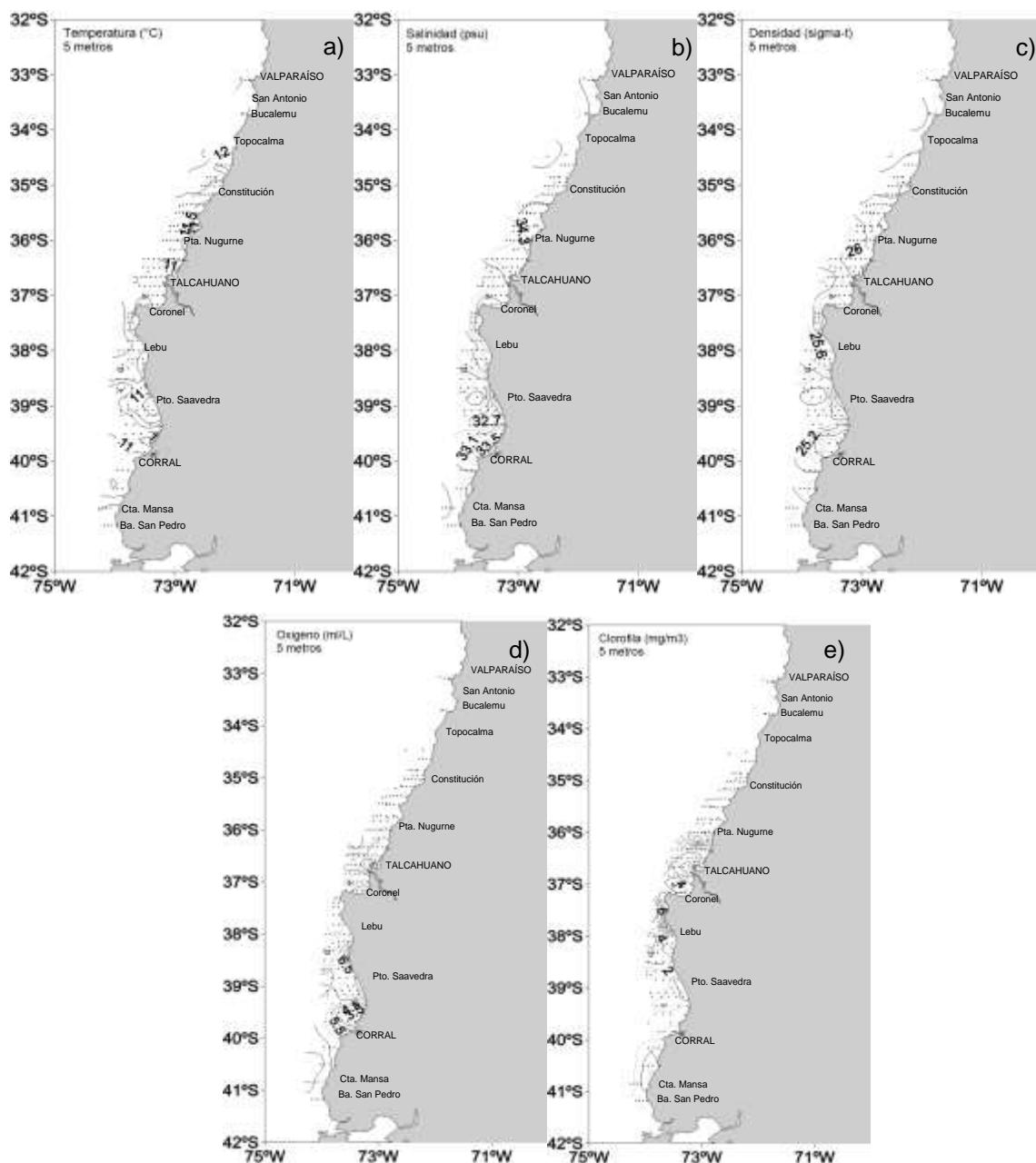


Figura 6. Distribución horizontal el estrato superficial de 5 m de: a) temperatura (°C), b) salinidad, c) densidad, σ_t (kg m^{-3}), d) concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}) y e) concentración de clorofila-a (mg m^{-3}). Crucero MPDH, 2020.



1.2.2. Estrato de 25 m de profundidad

En este estrato la temperatura tuvo un rango entre 9,1°C y 12,9°C (promedio = $11,1^{\circ} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, n = 189). La distribución de la temperatura reveló una situación muy similar al estrato superficial, caracterizada por una banda costera de aguas frías (<12°C) en gran parte del área prospectada, con un leve gradiente meridional de ~2°C, la ausencia de gradientes zonales de importancia con la presencia de aguas comparativamente más cálidas (>12°C) al norte de 34°30'S, el dominio de la isoterma de 11°C en gran parte del área estudiada (35°S-39°S), y la presencia de aguas costeras más frías que 10°C en el extremo austral (**Figura 7a**).

La variabilidad espacial de la salinidad mostró el dominio de las isohalinas de 34,4 al norte de 36°S, y menores valores entre 33,8 y 33,9 al sur de 38°S, evidenciando gradientes zonales de importancia (**Figura 7b**). En este estrato, la salinidad tuvo un rango entre 32,9 y 34,6 (promedio = $34 \pm 0,4$, n = 189). En tanto, la distribución horizontal de la densidad del agua de mar mostró una situación similar a la salinidad, con el dominio de la isopicna de 26,2 kg m⁻³ en gran parte del área estudiada (entre Constitución y Corral), verificando gradientes zonales (costa-océano) en gran parte del área de estudio (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.c). En este estrato, la densidad del agua de mar tuvo un rango entre 25,1 y 26,7 kg m⁻³ (promedio = $25,9 \pm 0,4$ kg m⁻³, n = 189).

Por su parte, la distribución horizontal del contenido de oxígeno disuelto en este estrato verificó también (al igual que en el estrato superficial) un ambiente bien oxigenado, con la presencia de leves gradientes zonales y ausencia de gradientes meridionales en los sectores centro y sur. En gran parte de esta región se observó el dominio de las isolíneas de 5 y 6 mL L⁻¹ (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7d). En este estrato, la concentración de oxígeno disuelto tuvo un rango de fluctuación entre 0,4 y 7,1 mL L⁻¹, con un valor promedio de $4,5 \pm 0,6$ mL L⁻¹, n = 90. Las concentraciones de clorofila-a fluctuaron entre 0,1 y 15,9 mg m⁻³, exhibiendo un valor promedio de $3,5 \pm 3,7$ mg m⁻³, n = 120) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7e). En este estrato, la distribución de la concentración de clorofila-a exhibió concentraciones <5 mg m⁻³, menores a las del estrato superficial para los sectores centro y sur.

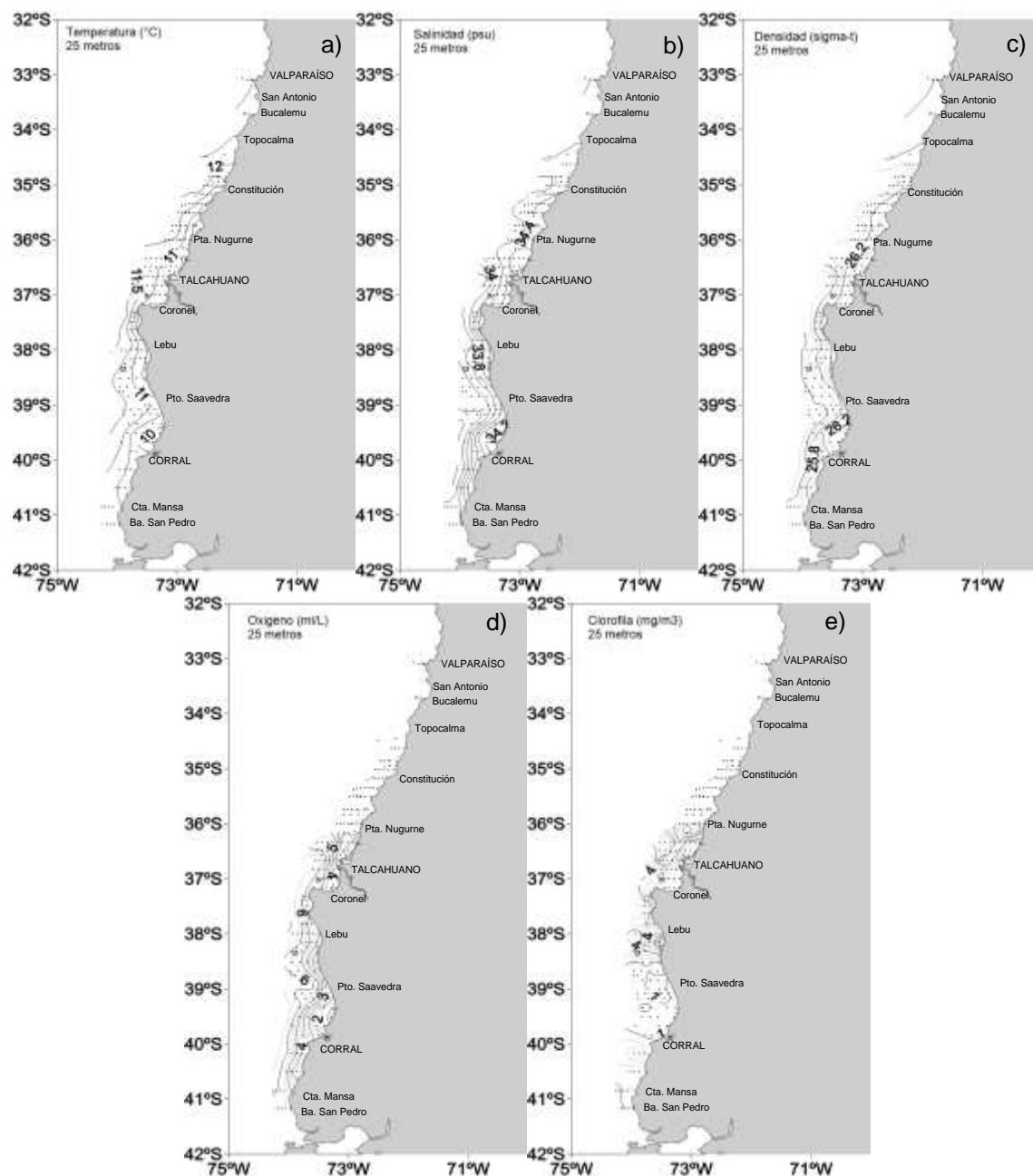


Figura 7. Distribución horizontal en el estrato de profundidad de 25 m de: a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad, c) densidad, σ_t (kg m^{-3}), d) concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}), y e) concentración de clorofila-a (mg m^{-3}). Crucero MPDH, 2020.



1.2.3. Estrato de 50 m de profundidad

La distribución de la temperatura del mar en este estrato mostró un patrón espacial similar al descrito para el estrato anterior, caracterizado por la presencia de un leve gradiente meridional $\sim 2^{\circ}\text{C}$ al considerar toda el área de estudio, con aguas levemente más frías en la franja costera de estudio, y el dominio de las isotermas de 10°C y 11°C en gran parte del área prospectada, escasa variación meridional, y leves gradientes zonales con aguas levemente más cálidas en las estaciones más occidentales de los transectos (**Figura 8a**). En este estrato, la temperatura tuvo un rango entre 9°C y $12,4^{\circ}\text{C}$ (promedio = $10,6 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, n = 155).

La salinidad mostró una situación distinta a la distribución superficial, caracterizada por una banda muy costera (<15 mn), con aguas comparativamente más salinas que 34,3 entre el límite septentrional y 40°S , revelando la existencia de gradientes zonales a lo largo de la zona prospectada (**Figura 8b**). En este estrato, la salinidad fluctuó entre 33,5 y 34,6 (promedio = $34,2 \pm 0,3$, n = 155). En tanto, la distribución horizontal de la densidad del agua de mar mostró un patrón espacial similar al exhibido por la salinidad, verificando un claro gradiente zonal al sur de 37°S , con aguas más densas ($26,5 \text{ kg m}^{-3}$) en la banda más costera (<15 mn), y aguas menos densas en las estaciones más oceánicas de los transectos ($26,1$ y $26,3 \text{ kg m}^{-3}$) (**Figura 8c**). En este estrato la densidad del agua varió entre $25,6$ y $26,7 \text{ kg m}^{-3}$ (promedio = $26,3 \pm 0,3 \text{ kg m}^{-3}$, n = 155). El incremento en la distribución de densidad respecto del estrato superficial, verifico que este estrato se establece inmediatamente por debajo de la capa de mezcla en gran parte del área de estudio.

La distribución horizontal del contenido de oxígeno disuelto en los sectores central y sur, reveló concentraciones más bajas en la banda costera, especialmente al sur de puerto Saavedra (<3 mL L $^{-1}$), y la presencia de un gradiente zonal (costa-océano) con aguas levemente más oxigenadas en las estaciones más oceánicas de los transectos (**Figura 8d**). En este estrato, la concentración de oxígeno disuelto fluctuó entre 0,5 y 5,8 mL L $^{-1}$, con un valor promedio de $3,2 \pm 1,6 \text{ mL L}^{-1}$, n = 68). La concentración de clorofila-a mostró un rango de fluctuación entre 0,1 y $11,9 \text{ mg m}^{-3}$ con un valor promedio de $2,9 \pm 3,4 \text{ mg m}^{-3}$, n = 95). Al igual que la distribución espacial de la concentración de oxígeno disuelto, la concentración de clorofila-a reveló menores valores a los descritos en los estratos superiores, especialmente al sur de $38^{\circ}30'\text{S}$ (**Figura 8e**).

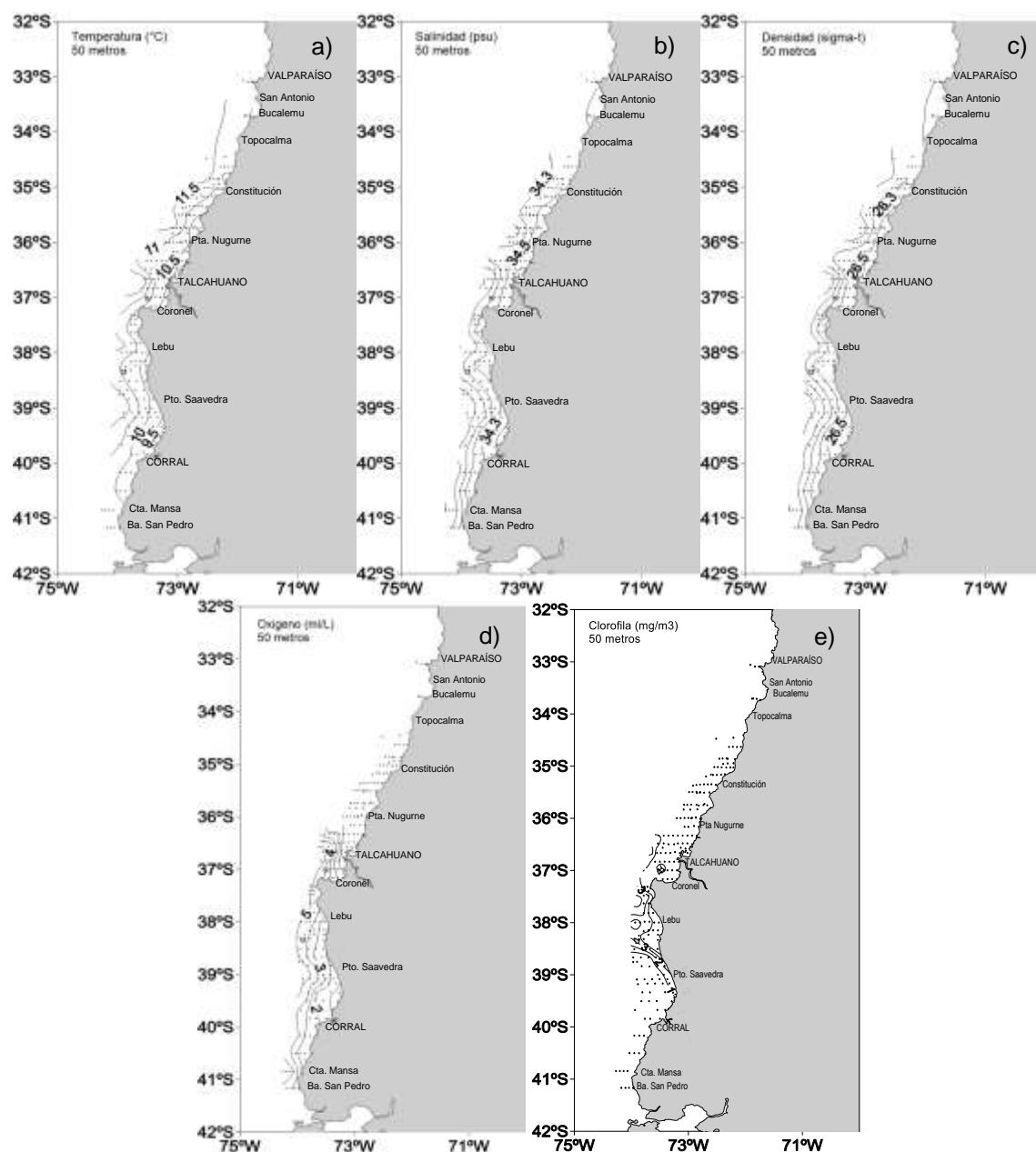


Figura 8. Distribución horizontal en el estrato de profundidad de 50 m de: a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad, c) densidad, σ_t (kg m^{-3}), d) concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}), y e) concentración de clorofila-a (mg m^{-3}). Crucero MPDH, 2020.



1.2.4. Estrato de 100 m de profundidad

La distribución de la temperatura del mar en este estrato mostró un escenario homogéneo a lo largo de toda el área de estudio, con temperaturas más bajas que los estratos superiores, caracterizadas por el dominio de las isotermas de 10°C y 10,5°C, sin evidenciar gradientes zonales ni meridionales de importancia (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9a*). En este estrato, la temperatura tuvo un rango entre 9,4°C y 11°C (promedio= 10,1°C ± 0,4°C, n = 59).

En la salinidad, se intensificó el gradiente zonal (costa-océano) ya descrito para el estrato de 50 m, con aguas más salinas que 34,5 hacia el sector costero (<15 mn). Por el contrario, se observaron salinidades más bajas hacia el sector oceánico (isohalinas de 34,2) (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9b*). En este estrato, la salinidad tuvo un rango entre 33,9 y 34,6 (promedio = 34,4 ± 0,2, n = 59). La distribución horizontal de la densidad del agua de mar mostró baja variabilidad espacial, con la ausencia de gradientes meridionales (norte-sur), la presencia de un leve gradiente zonal y el dominio de la isopicna de 26,5 kg m⁻³, siguiendo un patrón de distribución espacial similar a la salinidad (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9c*). En este estrato la densidad del agua de mar tuvo un rango de variación entre 26,1 y 26,7 kg m⁻³ (promedio= 26,5 ± 0,1 kg m⁻³, n = 59).

La distribución de la concentración de oxígeno disuelto mostró claras diferencias con los estratos más superficiales (5 y 25 m), exhibiendo gran parte del área prospectada con aguas pobres en oxígeno (<1,5 mL L⁻¹) (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9d*). En este estrato, la concentración de oxígeno disuelto tuvo un rango de variación entre 0,8 y 4 mL L⁻¹, con un valor promedio de 2,1 ± 0,8 mL L⁻¹, n = 40). La concentración de clorofila -a en este estrato mostró un rango de fluctuación entre 0,01 y 1,842 mg m⁻³, con un valor promedio de 0,3 ± 0,5 mg m⁻³ (n = 38). Al igual que la distribución espacial del oxígeno disuelto, la concentración de clorofila-a reveló menores concentraciones a los descritos en los estratos superiores, especialmente al sur de 38°30'S, con el dominio de concentraciones <0,5 mg m⁻³ (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9e*).

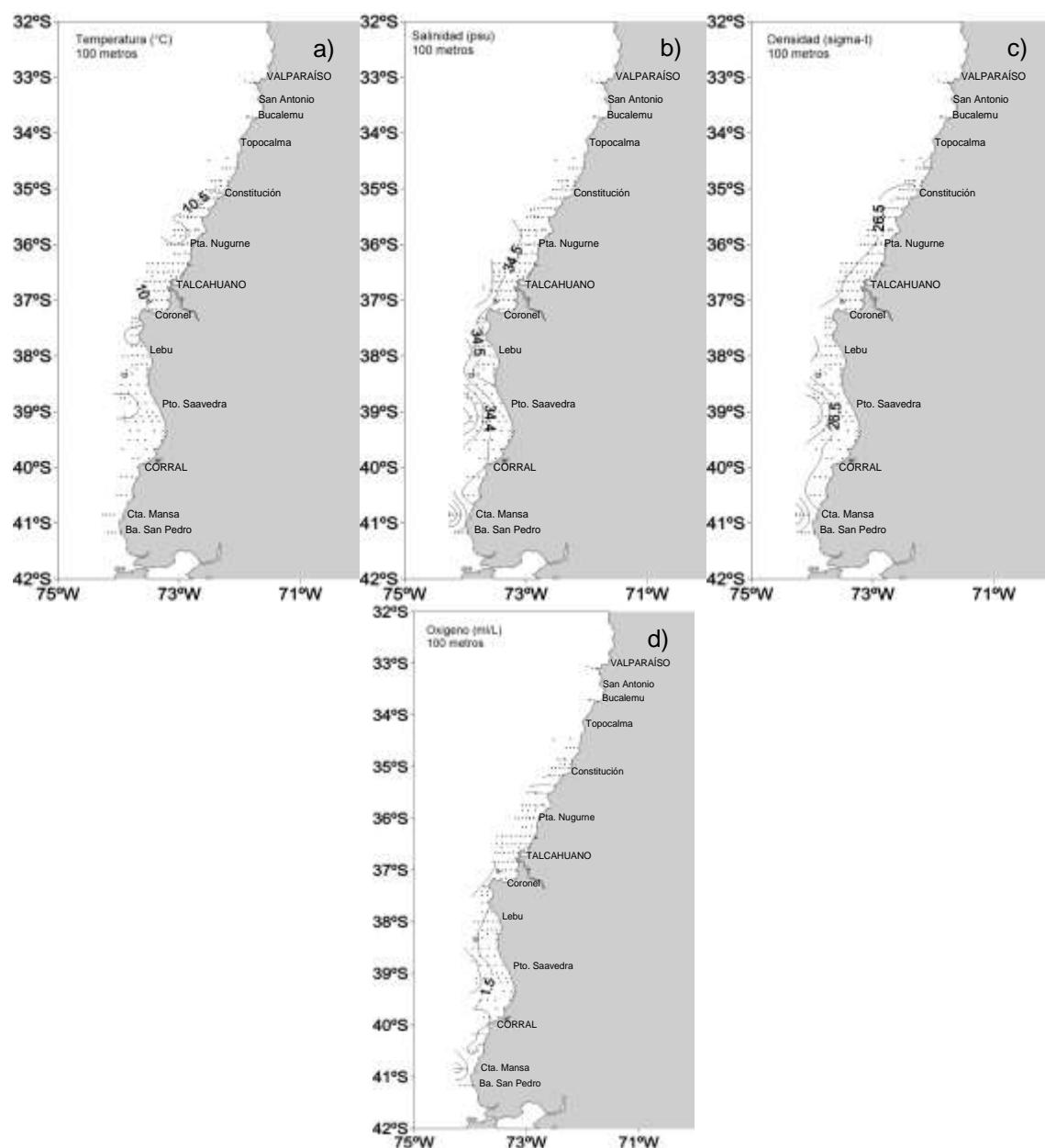


Figura 9. Distribución horizontal en el estrato de profundidad de 100 m de: a) temperatura (°C), b) salinidad, c) densidad, σ_t (kg m^{-3}), y d) concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}). Crucero MPDH, 2020.

1.3. Información satelital

1.3.1. Imágenes semanales

Temperatura superficial del mar (TSM)

La distribución espacial de la TSM exhibió las características típicas del período primaveral en el Centro sur de Chile: a) la presencia de una banda costera de aguas frías ($<12^{\circ}\text{C}$) que se intensificó en la segunda y tercera semana del período de estudio y que se extendió sobre pasando las 60 mn desde la costa; b) esta banda costera de aguas frías generó un gradiente zonal muy marcado entre 33°S y 38°S , el que desapareció en el límite sur del área de estudio, donde las aguas frías se extendieron hacia el océano interior; c) se observó un patrón oceánico que evidenció un gradiente meridional con temperaturas $>13^{\circ}\text{C}$ al norte de 34°S , y menores valores que 11°C al sur al sur de 39°S (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

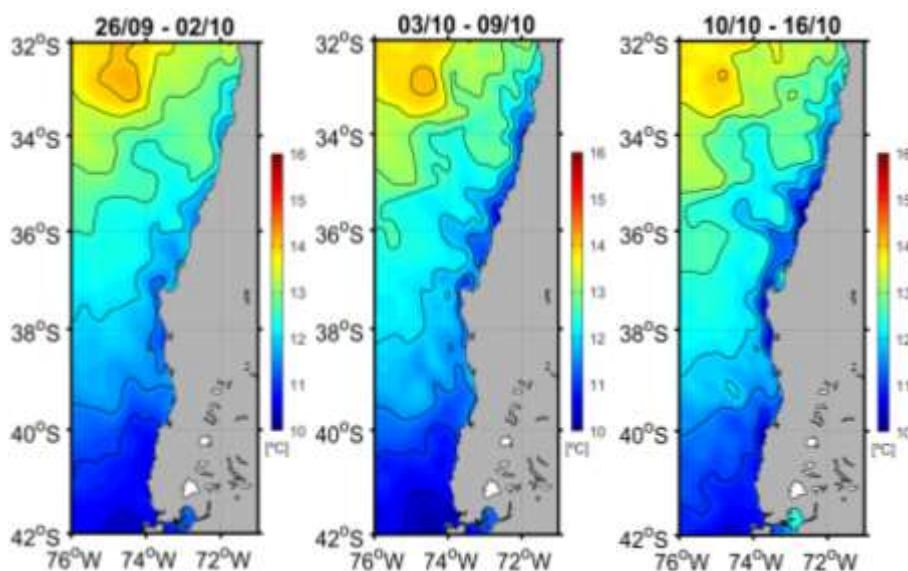


Figura 10. Distribución espacial de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) durante el crucero. Semanas 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.

Clorofila-a satelital (CLOA)

La clorofila-a se exhibió un patrón general similar al de la TSM, caracterizado por: a) la presencia de una banda muy costera (<30 mn) con concentraciones $>5 \text{ mg m}^{-3}$, a lo largo de prácticamente todo el rango meridional de estudio; b) esta banda costera de aguas más productivas evidenció un gradiente zonal muy marcado, especialmente al norte de 37°S durante las dos primeras semanas del estudio; c) la extensión de la producción biológica costera con concentraciones entre 1 y 2 mg m^{-3} , durante la tercera semana alcanzó los 76°S (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.1).

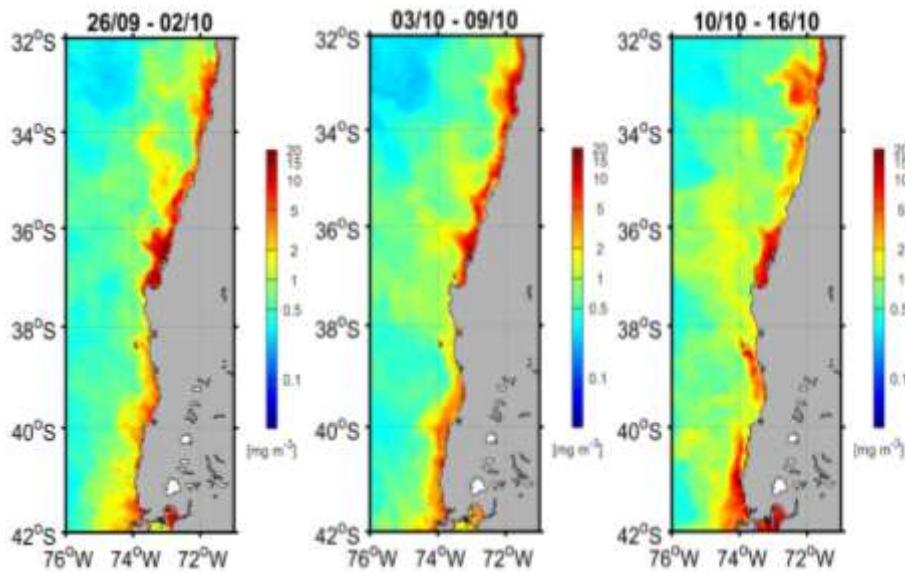


Figura 11. Distribución espacial de la clorofila (mg m^{-3}) durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.

Corrientes geostróficas superficiales

El patrón de distribución espacial de la altura de nivel del mar y del campo de corrientes geostróficas, mostró una escasa variabilidad en la escala semanal, a excepción de la intensificación del flujo de corrientes hacia el norte en el sector costero central (terraza del Itata y golfo de Arauco). Se presentó mayor dinámica asociada al sector oceánico al norte de 38°S , caracterizado por la presencia de tres remolinos anticiclónicos entre 74°W y 76°W , que generaron un fuerte flujo neto hacia el norte. Esta dinámica espacial disminuyó al sur de 38°S - 39°S , en la segunda y tercera semana del estudio (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

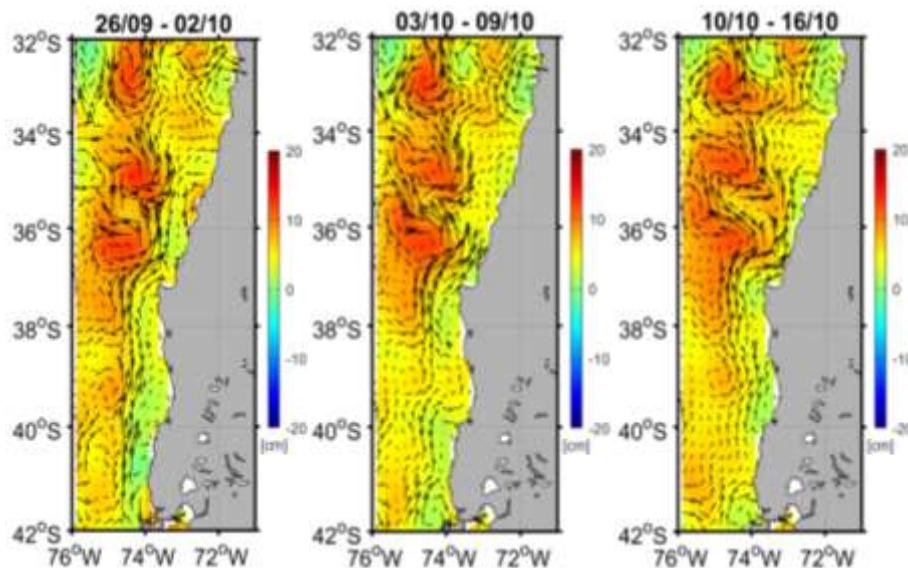


Figura 12. Distribución espacial de la altura de nivel del mar (cm) en conjunto con la disposición superficial de corrientes geostróficas (cm s^{-2}), durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.

Energía cinética asociada a remolinos (EKE)

El análisis semanal de las imágenes de corrientes geostróficas verificaron la presencia de numerosas estructuras de mesoscala (meandros y remolinos) en torno al sector costero, resaltando una zona con mayor dinámica, lo que es coherente con la mayor variabilidad de la EKE (en 75°W), evidenciando las mayores amplitudes ($>150 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$), en especial, en la banda costera entre 34°S y 38°S , asociadas con remolinos locales y meandros altamente energéticos (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Campo de viento satelital

El patrón de distribución espacial de viento mostró predominio de los cuadrantes sur, que favorecieron la activación del proceso de surgencia costera en toda el área de estudio. Este patrón espacial se intensificó ($6-8 \text{ m s}^{-1}$) en la tercera semana, tanto en el sector oceánico al norte de 37°S (10 m s^{-1}), como en la costa al sur de 38°S (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

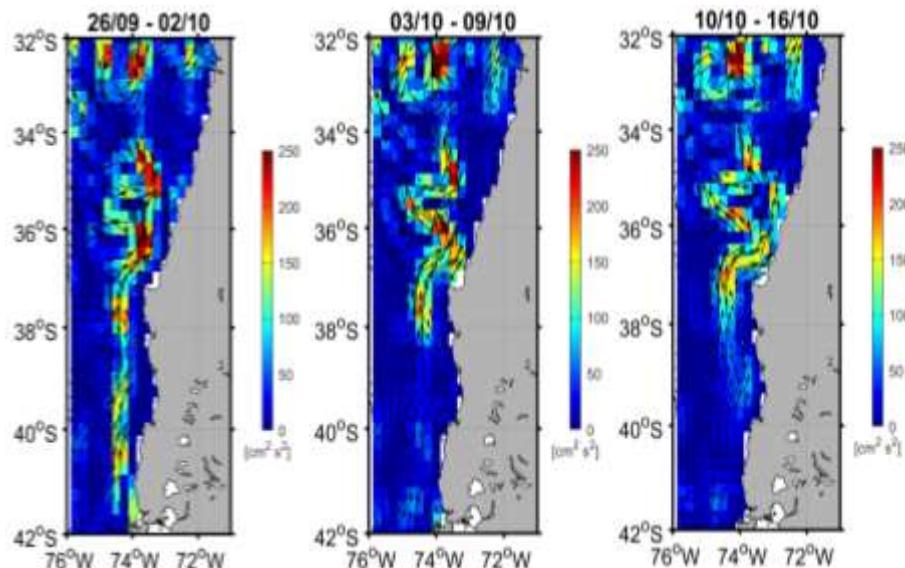


Figura 13. Distribución espacial de la energía cinética asociada a remolinos ($\text{cm}^2 \text{ s}^{-2}$), en conjunto con la disposición superficial de corrientes geostróficas (cm s^{-2}), durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.

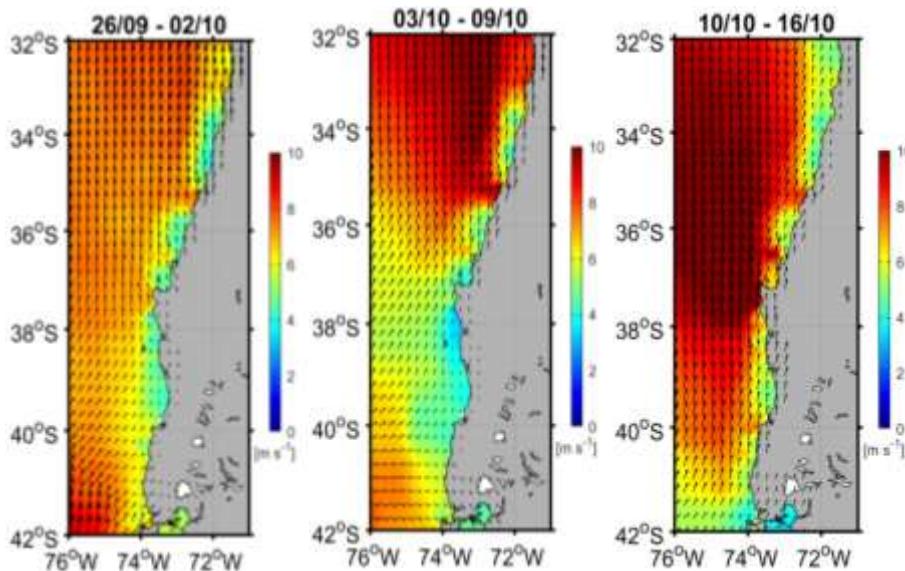


Figura 14. Distribución espacial del patrón superficial de viento satelital (m s^{-1}), durante el crucero. Semanas: 26/09-02/10/2020, 03-09/10/2020 y 10-16/10/2020. Crucero MPDH, 2020.



1.3.2. Información satelital promedio (26 septiembre-16 octubre 2020)

La distribución espacial de la TSM durante el período del crucero exhibió características típicas de la estación primaveral en el Centro sur de Chile, como la presencia de una banda costera de aguas frías (11°C y 12°C), que generó un gradiente zonal (costa-océano) al norte de 37°S , luego se debilitó y al sur de $38,5^{\circ}\text{S}$, y la temperatura disminuyó hacia mayores latitudes (**Figura 15**).

Se presentó una banda muy costera (<30 mn) con concentraciones de clorofila-a $>10 \text{ mg m}^{-3}$, a lo largo de prácticamente todo el rango meridional de estudio, en especial al norte de 37°S , que generó un gradiente zonal muy marcado. Asimismo, se observó una extensión de la producción biológica costera con concentraciones de $\sim 1 \text{ mg m}^{-3}$ hasta bordear los 76°W .

El patrón de distribución espacial de la altura de nivel del mar y del campo de corrientes geostróficas, mostró una intensificación del flujo de corrientes hacia el norte en el sector central, así como una mayor dinámica asociada a la región más oceánica, situada al norte de 38°S , con el dominio de tres remolinos anticiclónicos ubicados entre 74°W y 76°W , los que generaron un fuerte flujo neto hacia el norte. Al sur de 38°S la dinámica fue menor (**Figura 15**).

La mayor variabilidad de la EKE reveló las mayores amplitudes ($>150\text{-}200 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$) especialmente en la banda costera entre 34°S y 38°S , variabilidad asociada a la presencia de estructuras como remolinos locales y meandros, altamente energéticos y muy recurrentes en la región costera de la zona centro sur (**Figura 15**).

El campo de viento satelital mostró el dominio de viento sur, que favoreció la activación del proceso de surgencia costera en toda el área de estudio y que se intensificó al norte de 37°S (10 m s^{-1}) (**Figura 15**).

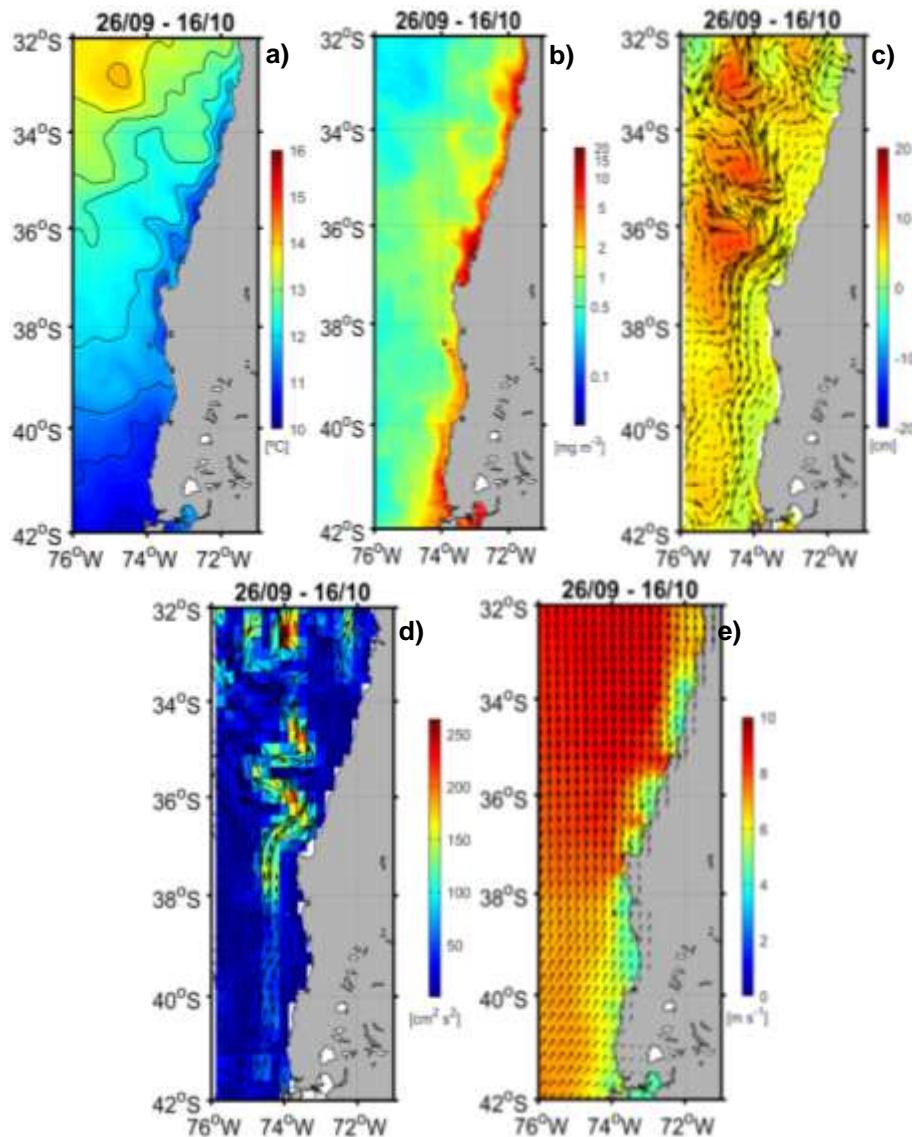


Figura 15. Distribución espacial promedio durante el crucero (26 septiembre – 16 octubre, 2020) de:
a) temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$), b) clorofila-a (mg m^{-3}), c) altura de nivel del mar (cm) en conjunto con la disposición espacial de corrientes geostróficas (cm s^{-2}), d) energía cinética asociada a remolinos (EKE), y e) campo de viento satelital (m s^{-1}). Crucero MPDH, 2020).



1.4. Secciones oceanográficas

1.4.1. Secciones paralelas a la costa

La temperatura en profundidad mostró escasa variabilidad meridional, con el dominio de la isoterma de 11°C, entre 20 y 50 m de profundidad, y temperaturas ~10°C en los a profundidades >60 m, especialmente a sur de 37°S (**Figura 16**). Asimismo, el estrato superficial (0-20) evidenció un gradiente meridional muy leve con temperaturas ~1°C, a excepción de la región situada entre 38°30'S y 40°S, que presentó la influencia de temperaturas comparativamente menores, asociadas a la descarga de aguas continentales de los principales ríos locales.

La salinidad presentó un estrato superficial caracterizado por un fuerte gradiente meridional, con valores ~34,4 asociados al sector norte en 34°S (**Figura 16**). Se presentaron aguas con salinidades <33,5 al sur de 38°S, producto de la descarga de aguas continentales provenientes de los principales ríos del sector. Bajo la profundidad de 60 a 80 m se apreció el dominio de salinidades >34,5 al norte de 37°S; en tanto que al sur de 38°S la salinidad exhibió menores valores en dicho estrato. Una distribución vertical similar presentó la densidad del agua de mar, con un gradiente meridional importante en los primeros 20 m de profundidad (**Figura 16**).

La concentración de oxígeno disuelto en los sectores centro y sur, evidenció un estrato superficial representado por la isolínea de 5 mL L⁻¹, que disminuyó con profundidades >80 m, donde se presentaron aguas con menor contenido de oxígeno (<2 mL L⁻¹) (**Figura 16**).

1.4.2. Secciones perpendiculares a la costa

Las figuras de las secciones perpendiculares de cada de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), concentración de oxígeno disuelto (mL L⁻¹) y clorofila-a (mg m⁻³), son presentadas en el **Anexo 1**.

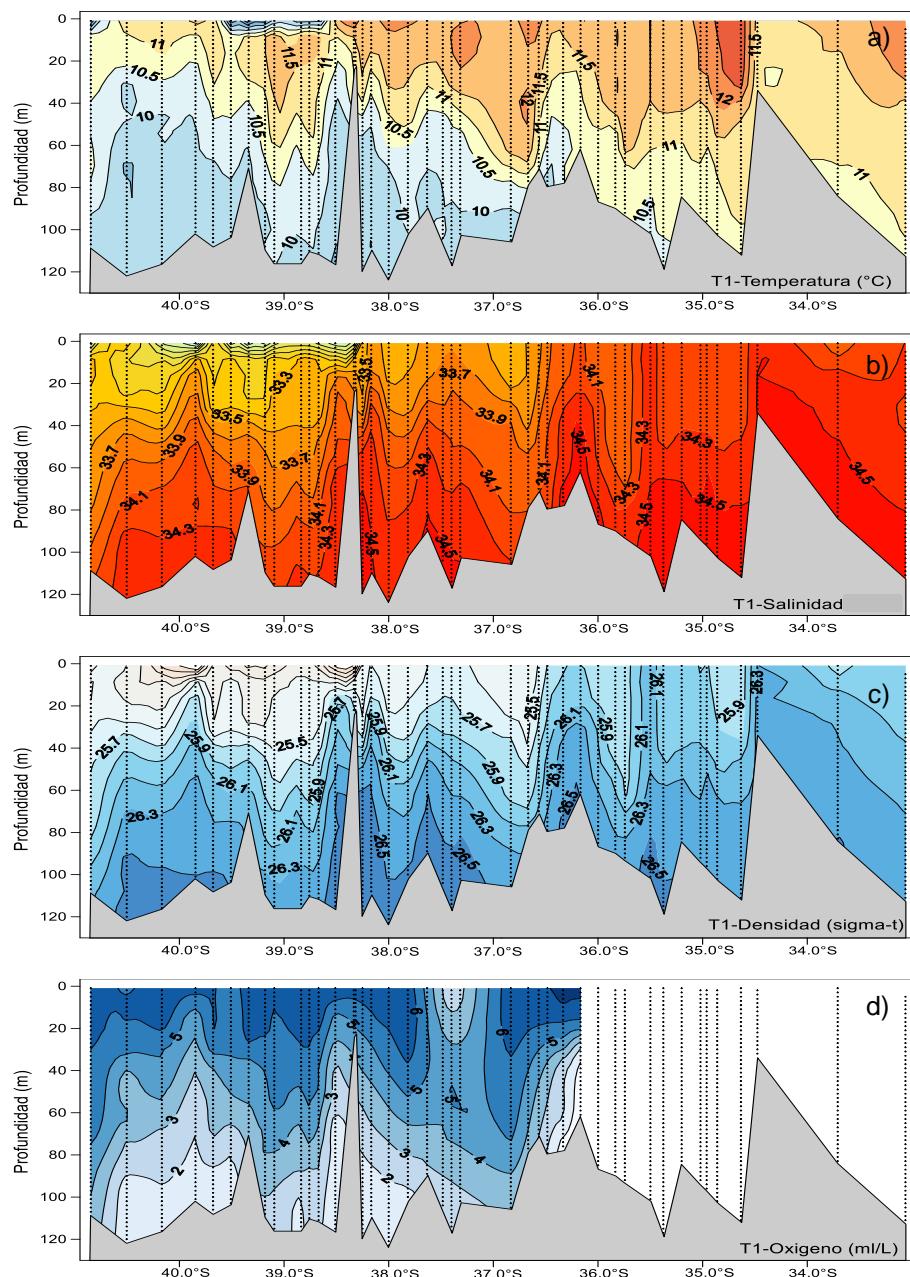


Figura 16. Secciones paralelas a la costa en profundidad de: a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad, y c) densidad, sigma-t (kg m^{-3}) y concentración de oxígeno disuelto (mL L^{-1}). Crucero MPDH, 2020.



1.5. Perfiles verticales

Sector norte

En el sector norte la distribución vertical de la temperatura presentó escasa variabilidad entre las estaciones de muestreo, con temperaturas entre 11°C y 12°C, y la ausencia de estratificación térmica en la mayoría de los perfiles de este sector. Los perfiles de salinidad también mostraron escasa variabilidad entre las estaciones oceanográficas del sector, además de la ausencia de estratificación sin haloclinas en la mayoría de los casos y valores de salinidad superficial <33. Una situación vertical similar se observó en los perfiles verticales de densidad (**Figura 17**).

Sector central

En este sector la distribución vertical de temperatura presentó una estratificación térmica levemente mayor a la observada en el sector norte, con la presencia de una capa de mezcla de 20-40 m en la mayoría de los perfiles de baja variabilidad entre las estaciones de muestreo, y termoclinas situadas a profundidades entre 20 y 60 m en la mayoría de los casos. En este sector se evidenció un mayor número de perfiles con salinidades superficiales <33,5, incluso algunos con salinidades <33, revelando la influencia de la descarga de los ríos locales, en especial las estaciones asociadas a la terraza del Itata y el golfo de Arauco. Al igual que en el sector norte, la distribución vertical de la densidad fue similar a la salinidad, con una capa de mezcla de 20 a 30 m de espesor y picnoclinas débiles a profundidades entre 20 y 50 m en algunas estaciones (**Figura 17**).

La concentración de oxígeno disuelto estuvo caracterizada por un estrato superficial bien oxigenado (5-7 mL L⁻¹), la presencia de oxiclinas bien desarrolladas situadas entre 20 y 50 m en gran parte de los perfiles de este sector, y la existencia de concentraciones mínimas de oxígeno disuelto (<1 mL L⁻¹) en los perfiles más costeros (**Figura 18**). Finalmente, en la mayoría de los perfiles se observaron bajas concentraciones de clorofila-a, sin gradientes verticales, y sólo una parte de los perfiles del sector presentó máximos superficiales y subsuperficiales.

Sector sur

En este sector los perfiles revelaron claras inversiones térmicas en superficie (0-5 m), consistentes con aguas de baja salinidad (<32) y densidad (<25 kg m⁻³), por efecto probablemente de la descarga de aguas continentales de los principales ríos de esta región (Toltén, Imperial y el complejo Valdivia-Tornagaleones) (**Figura 17**). Asimismo, se observó escasa estratificación térmica con la ausencia de termoclinas, y haloclinas/picnoclinas débiles situadas a profundidades entre 20 y 50 m de profundidad.

Los perfiles de oxígeno disuelto en este sector presentaron en los primeros 10 m concentraciones entre 5 y 7 mL L⁻¹ y la presencia de oxiclinas situadas entre 20 y 60 m en gran parte de los perfiles (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) Los perfiles también evidencian a profundidades >80 m aguas pobres en oxígeno disuelto (<2 mL L⁻¹) (**Figura 18**). Las concentraciones de clorofila-a fue baja en la mayoría de los perfiles, no se observaron gradientes verticales, y los máximos superficiales y subsuperficiales alcanzaron concentraciones menores a 3 mg m⁻³.

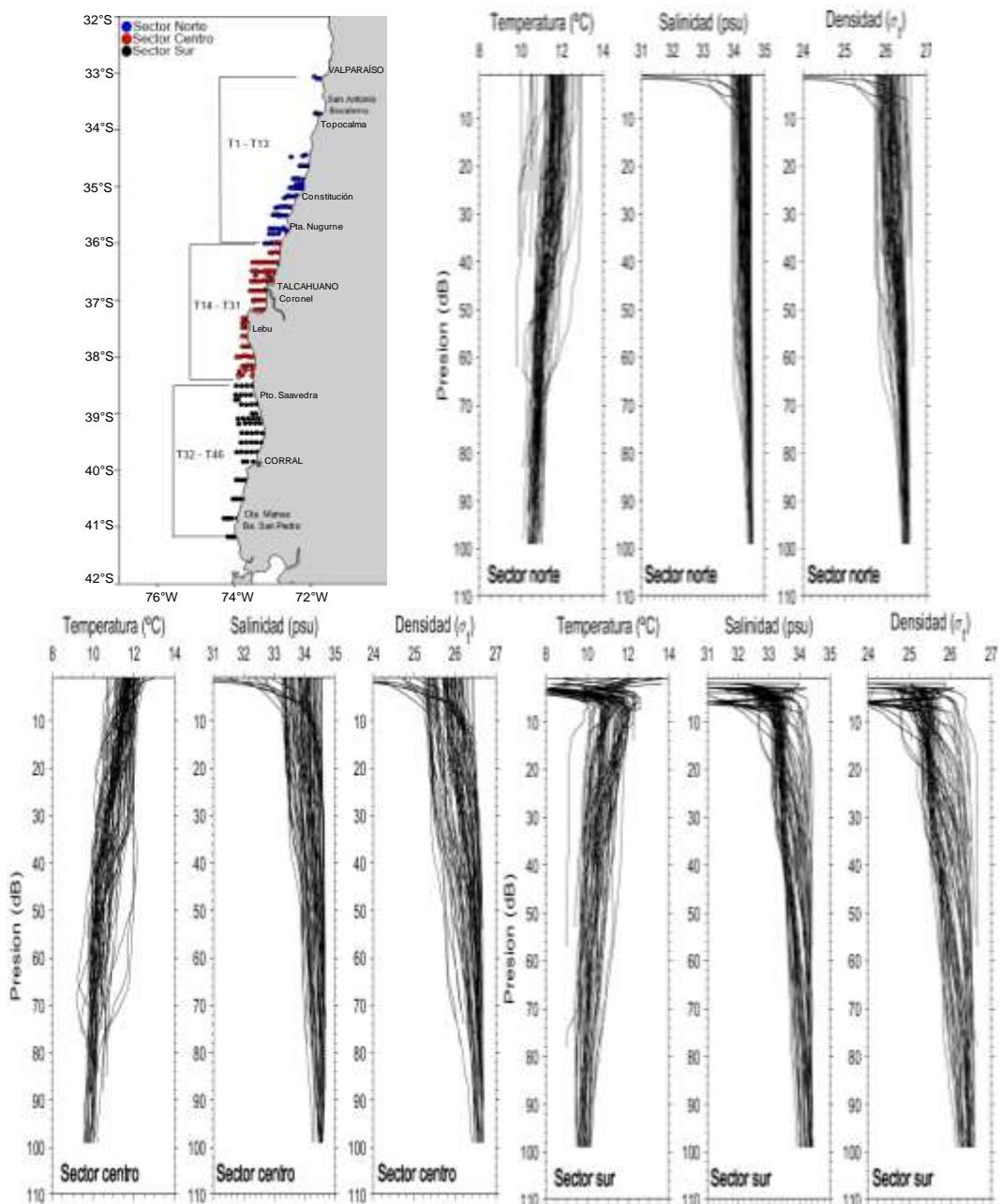


Figura 17. Perfiles verticales continuos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, y densidad (σ_t), en los sectores norte (panel superior derecho), centro (panel inferior izquierdo) y sur (panel inferior derecho). Crucero MPDH, 2020.

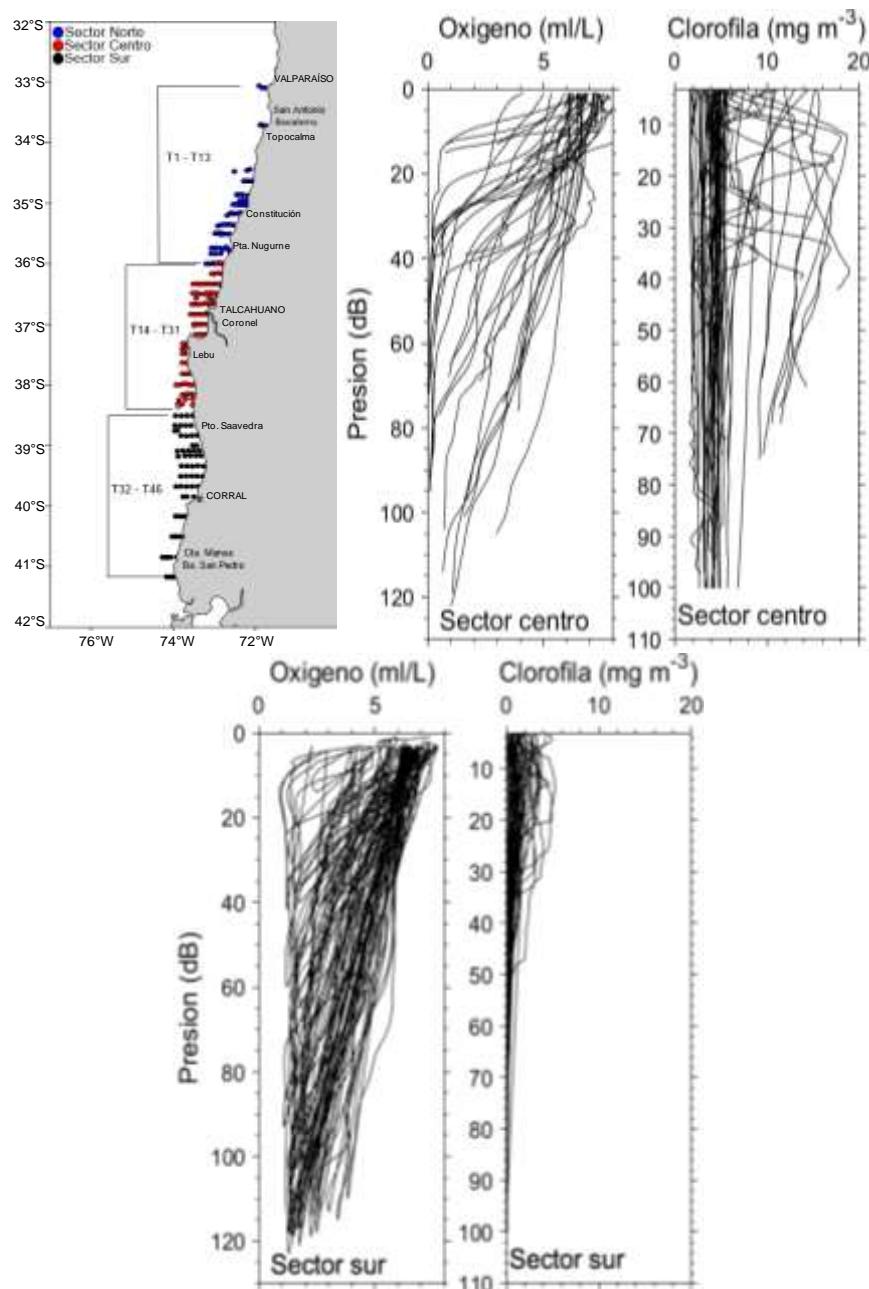


Figura 18. Perfiles verticales continuos de oxígeno disuelto (mL L^{-1}) y clorofila-a (mg m^{-3}) en los sectores centro (panel superior derecho) y sur (panel inferior). Crucero MPDH, 2020.



1.6. Estructuras en profundidad

Profundidad de la capa de mezcla (PCM)

En el sector centro y norte, la distribución horizontal de la PCM mostró un gradiente zonal positivo hacia el sector oceánico, evidenciando profundidades <20 m en el sector más costero (<20 mn), las que se profundizaron hacia las estaciones más occidentales de los transectos de este sector (**Figura 19a**). En tanto al sur de 37°S se observó el dominio de la profundidad de 20 m, sin la presencia de gradientes zonales.

La profundidad de la base de la termoclina (PBT)

La PBT exhibió un comportamiento similar al de la PCM, revelando profundidades más someras (~30 m) en una banda muy costera en los sectores centro y norte (al norte de 37°S), verificando un leve gradiente zonal debido a la presencia de mayores profundidades en el sector más oceánico de los transectos (**Figura 19b**). Por el contrario, al sur de 37°S-38°S se observó el dominio de menores PBT (~20 m), sin la presencia de variaciones zonales.

Profundidad de la capa de mínimo oxígeno (PMO)

Las variaciones zonales registradas en estas estructuras oceanográficas verticales también se verificaron en la PMO en los sectores centro y sur del área de estudio, en las que se verificaron profundidades < 50 m en una banda muy costera (<20 mn) entre 38°S y 40°S, estableciendo a su vez un claro gradiente zonal debido a la presencia de PMOs más profundas hacia el límite occidental de los transectos (>70 m) (**Figura 19c**).

El espesor de la termoclina (ET)

El ET presentó un leve gradiente meridional con mayores profundidades (10-20 m) al norte de 36°S. Entre 37°S-39°S se registraron menores ET (5-10 m) (**Figura 19d**).

Frecuencia de Brünt-Väisälä

La estabilidad de la columna de agua determinada a través de esta frecuencia mostró también una clara diferenciación meridional con valores comparativamente más altos (~40-50 N) al norte de 36°S, y el dominio de frecuencias de 10 N, sin gradientes zonales al sur de 38°S, isla Mocha (**Figura 19e**).

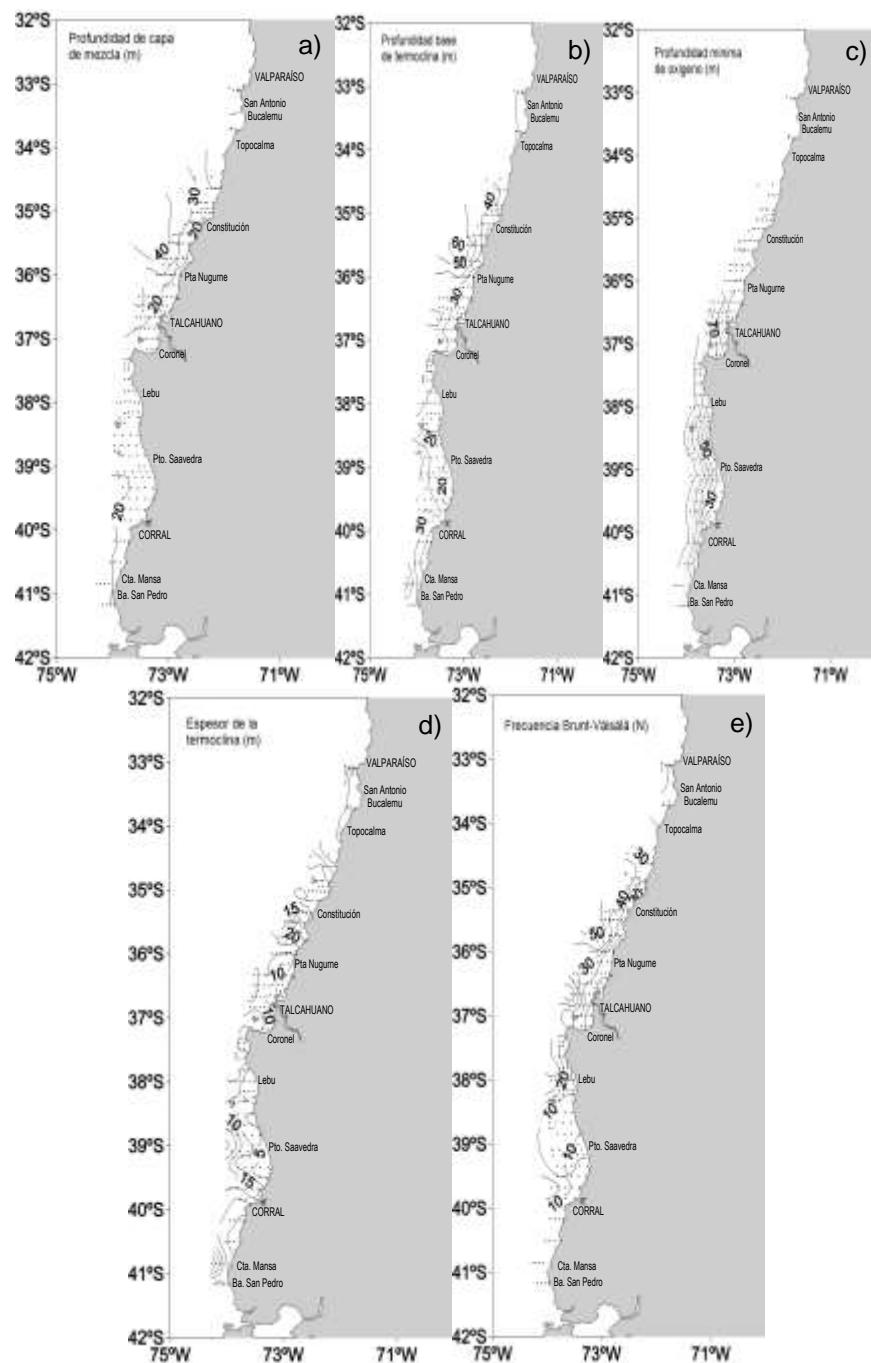


Figura 19. Distribución espacial de las profundidades (m) de: a) la capa de mezcla (PCM), b) de la base de la termoclina (PBT), c) del mínimo de oxígeno (PMO). d) El espesor de la termoclina (ET, m) y e) la frecuencia de Brünt-Väisälä (N). Crucero MPDH, 2020.



1.7. Diagramas TS

En virtud que el estudio se basa en un crucero eminentemente nerítico, esto es sobre una banda costera y somera (evaluando la columna de agua hasta ~100 m, en función de la distribución somera de los recursos objetivos sardina común y anchoveta), se detectó principalmente la presencia de dos masas de agua: Aguas Subantárticas (ASAA) y Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AECC).

En los tres sectores se observó el dominio subsuperficial (~40-50 m) de ASAA, las que se intensificaron de norte a sur, siendo modificadas superficialmente por la descarga de aguas continentales de los principales ríos de la región, y que se rescatan en las estaciones más costeras (0,5 mn) (**Figura 20**).

El AECC, en su flujo subsuperficial (>80 m) hacia el polo, también fue registrada en los tres sectores, pero con un dominio menor en las estaciones del sector sur, donde esta masa de agua se debilitó, a su vez estableció un rango más estrecho (~250-350 m) y se profundizó más allá del dominio vertical de los registros oceanográficos del estudio (**Figura 20**).

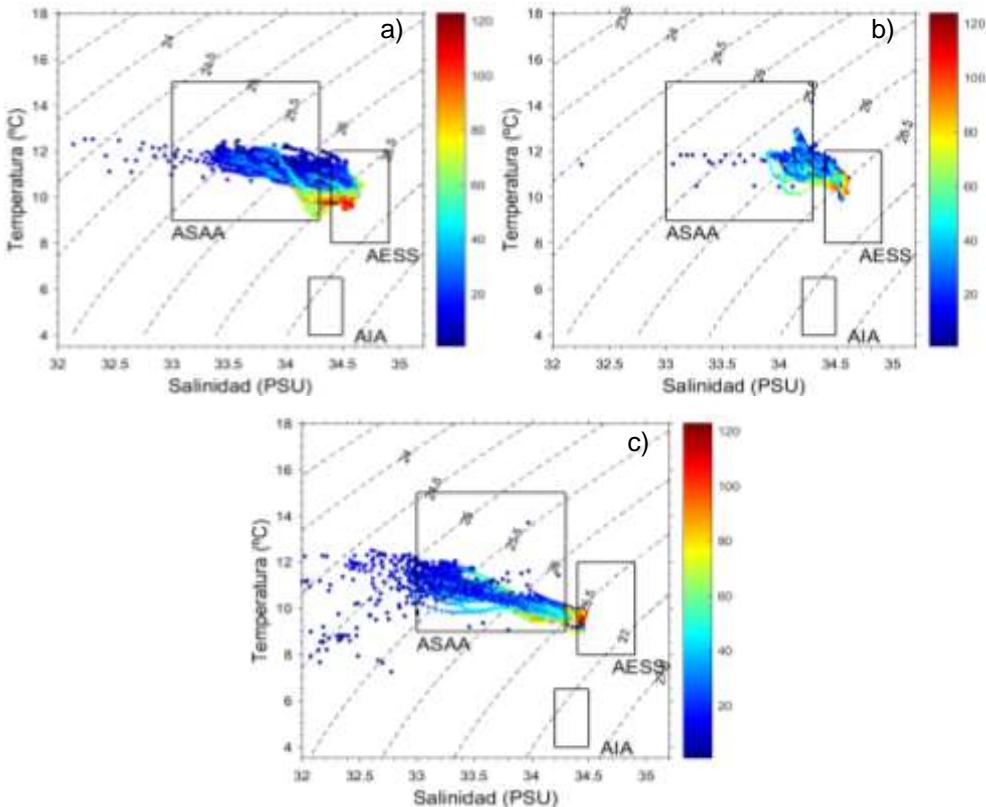


Figura 20. Diagramas TS: a) estaciones del sector norte, b) estaciones del sector centro, y c) estaciones del sector sur. Crucero MPDH, 2020.

1.8. Análisis histórico

Series de tiempo de anomalías

En las series de anomalías de la TSM (1991-2020), tanto en el sector norte (33°S - $37^{\circ}10'\text{S}$) como en el sector sur ($37^{\circ}10'\text{S}$ - 41°S), mostraron menos dos fases distintas, con el dominio de anomalías positivas (cálidas) entre los años 1991 y 1998. Posteriormente, se evidenció un largo período de anomalías negativas (fase fría) entre el 2003 y el final de la serie (noviembre 2020), a excepción de los años 2016 y 2017 en la serie norte (**Figura 21a**). A partir del año 2014 se intensificaron las anomalías negativas en el sector sur, alcanzando valores $\sim -2^{\circ}\text{C}$ (*Error! No se encuentra el origen de la referencia.b*).

Las series de tiempo de las concentraciones de clorofila-a satelital del período 1998-2020, en el sector norte (33°S - $37^{\circ}10'\text{S}$) presentaron un comportamiento variable con anomalías positivas y negativas, resaltando años con anomalías positivas (2001, 2003, 2011, 2015 y 2020) y años con anomalías

negativas (1998, 2017-2019) (**Figura 21c**). En el sector sur ($37^{\circ}10'S$ - $41^{\circ}S$) se evidenció un comportamiento temporal distinto, donde el primer tercio de la serie (1998-2004) presentó anomalías negativas, además se observó un largo período de anomalías positivas entre 2007 y el final de la serie (noviembre, 2020), con el máximo positivo de toda la serie, con $\sim 4 \text{ mg m}^{-3}$ (**Figura 21d**).

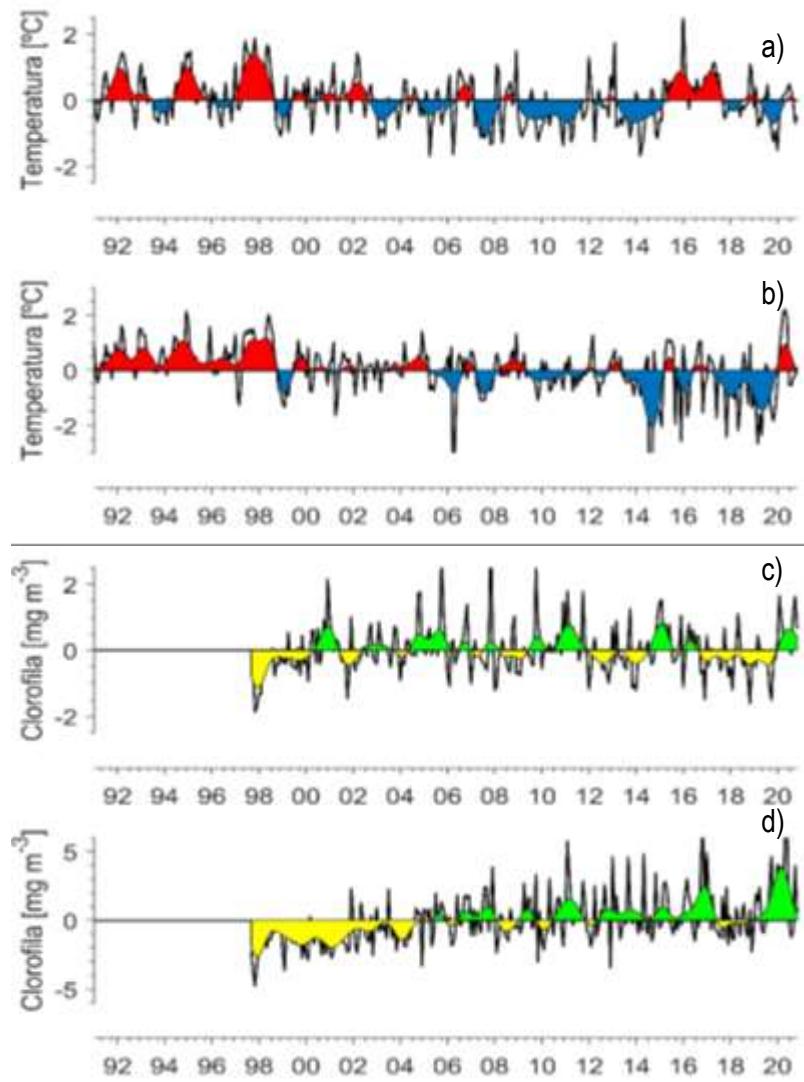


Figura 21. Series de tiempo de anomalías de TSM ($^{\circ}\text{C}$) para el período 1991-2020, en los sectores: a) Norte (33°S - $37^{\circ}10'\text{S}$), y b) Sur ($37^{\circ}10'\text{S}$ - 41°S). Series de tiempo de anomalías de concentraciones de clorofila-a para el período 1998-2020, en los sectores: c) Norte (33°S - $37^{\circ}10'\text{S}$), y d) Sur ($37^{\circ}10'\text{S}$ - 41°S).

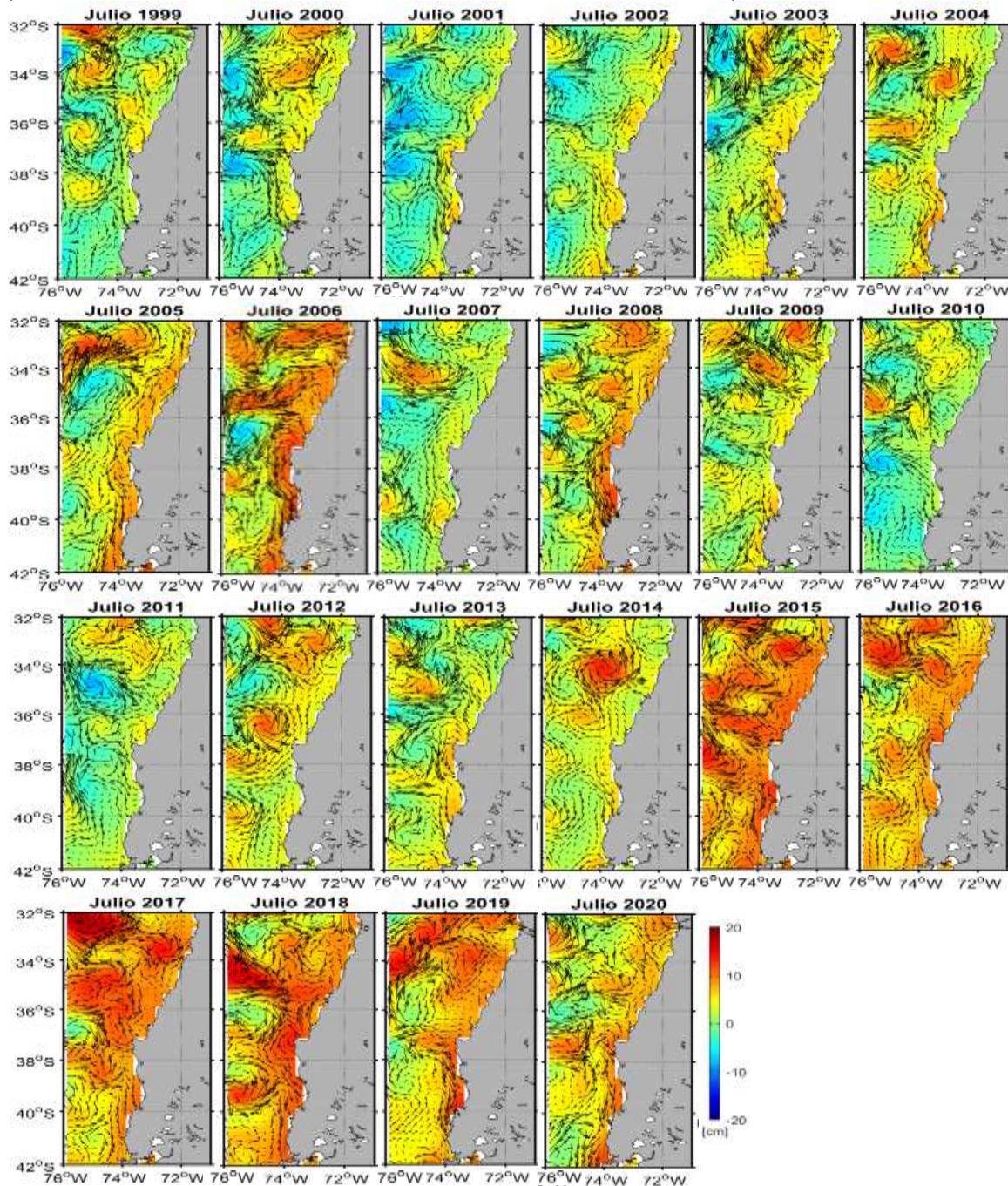


Análisis espacial histórico

La distribución horizontal histórica de TSM en los meses de julio de los años 1999 a 2020 destacó la presencia de un gradiente meridional significativo, así como diferencias zonales en el área de estudio, éstas últimas especialmente al norte de 35°S debido a la presencia de aguas más cálidas en el NW (sector oceánico) y el despliegue hacia el NE de las isoterma de 13°C a 15°C (**Figura 22**). Por su parte, el desplazamiento meridional de las isoterma, permitió detectar un ambiente comparativamente más cálido en el mes de julio de los años 2006, 2008, 2015, 2016, 2017 y 2020; y ambientes más fríos en los años 2007, 2010, 2011, 2013.

La distribución superficial de la clorofila-a satelital durante los meses de Julio en la serie 1999-2020, mostró una clara variación zonal en la distribución espacial de la variable, revelando máximos de clorofila-a de 5 a 10 mg m⁻³ situados en una estrecha banda costera que no superó los 74°30'W, la que se debilitó en los años 1999, 2001-2002, 2008, 2013 y 2017, y que se intensificó en el sector central costero (34°S-37°S), e incrementó su extensión hacia el oceánico durante los años 2000, 2003, 2005, 2010, 2011, 2014, 2015 y 2020. Más allá de la banda costera, se registraron concentraciones de 1 mg m⁻³ (**Figura 23**)

En un marco regional, el análisis de la información de corrientes geostróficas y su variación interanual para el mes de Julio se presenta en la





5, evidenciando como rasgo persistente: a) la presencia de remolinos ciclónicos y anticiclónicos en todo el dominio costero prospectado, y la mayor frecuencia de remolinos anticiclónicos en esta región a partir del año 2014, b) una gran dinámica compuesta por corrientes de meandros con velocidades $>20-25 \text{ cm s}^{-1}$, lo que se reporta también durante la ejecución del crucero 2020, c) un persistente flujo muy costero hacia el sur, a partir de $37^{\circ}\text{S}-38^{\circ}\text{S}$, que se intensifica en los años 2000, 2001, 2003, 2004, 2006, 2008, y entre 2016-2020, d) salvo contadas excepciones, se exhibió una mayor dinámica con remolinos y meandros altamente energéticos, en la región situada al norte de 36°S (**Figura 24**). Esta dinámica es consistente con la distribución espacial de la energía cinética asociada a remolinos de mesoscala y corrientes de meandro en esta región del Océano Pacífico Suroriental. Durante julio 2020, destacó el dominio de remolinos anticiclónicos en el área de estudio, al igual que lo observado en el período 2014-2020.

La distribución espacial de la intensidad del viento y del índice de turbulencia den julio entre el 1999 y 2020, mostró variaciones interanuales importantes, con años de muy baja intensidad de vientos ($<4 \text{ m s}^{-1}$) en el nivel regional (dominio del estudio): 2001, 2004, 2005, 2011, 2016 y 2018; en contraste con algunos años de intensidades comparativamente más altas ($>6 \text{ a } 7 \text{ m s}^{-1}$) en los sectores centro y norte de los años 2000, 2003, 2007, 2012 y 2017 (**Figura 25**). Lo anterior es consistente con la distribución espacial del índice de turbulencia que, a nivel del dominio espacial del estudio, presentó mayor frecuencia de turbulencias $<100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ especialmente en los años 2001, 2004, 2005, 2009-2011, 2016, 2018 y 2020 (**Figura 26**).

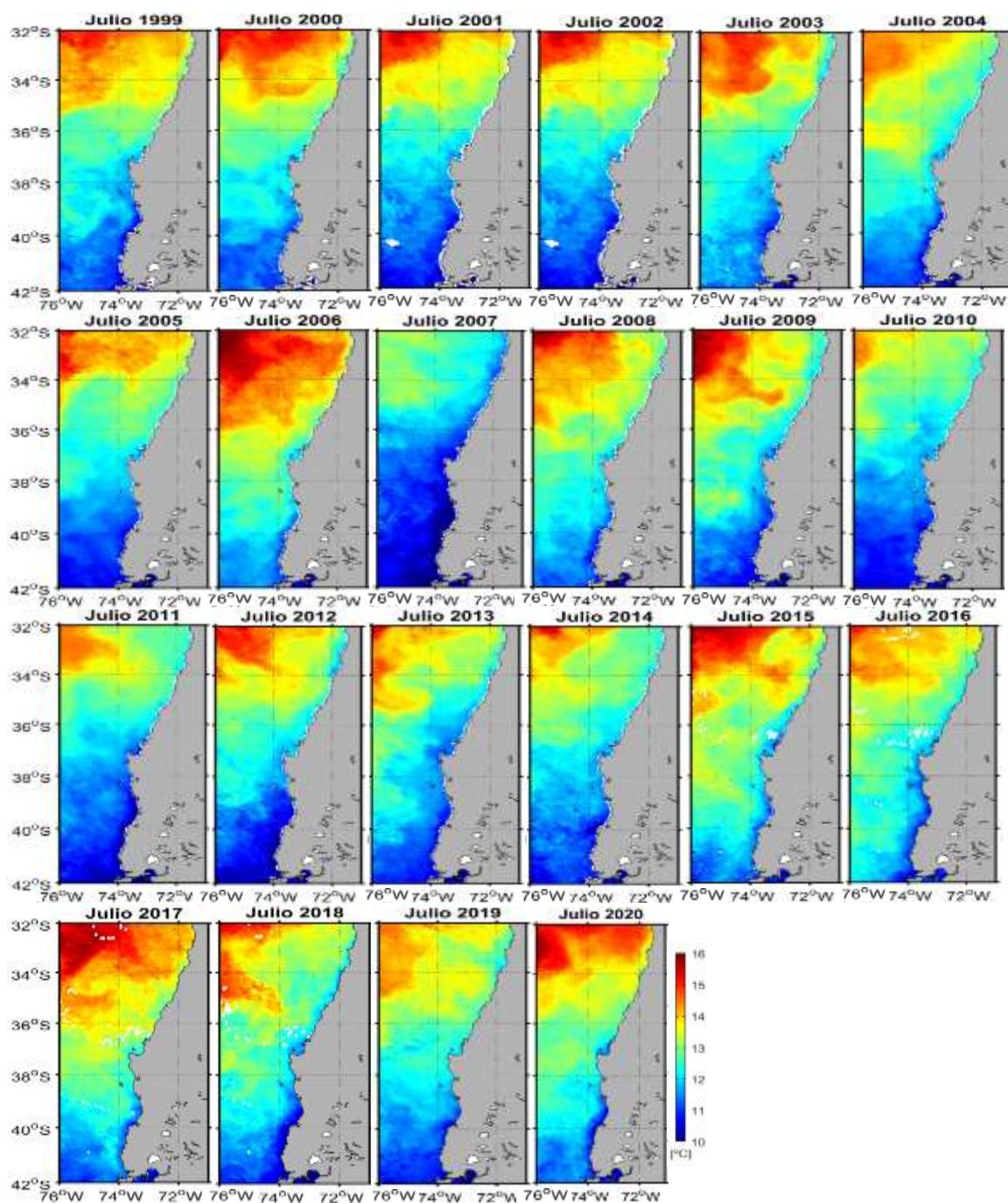


Figura 22. Distribución espacial de la TSM ($^{\circ}\text{C}$) en los meses de julio de la serie 1999-2020.

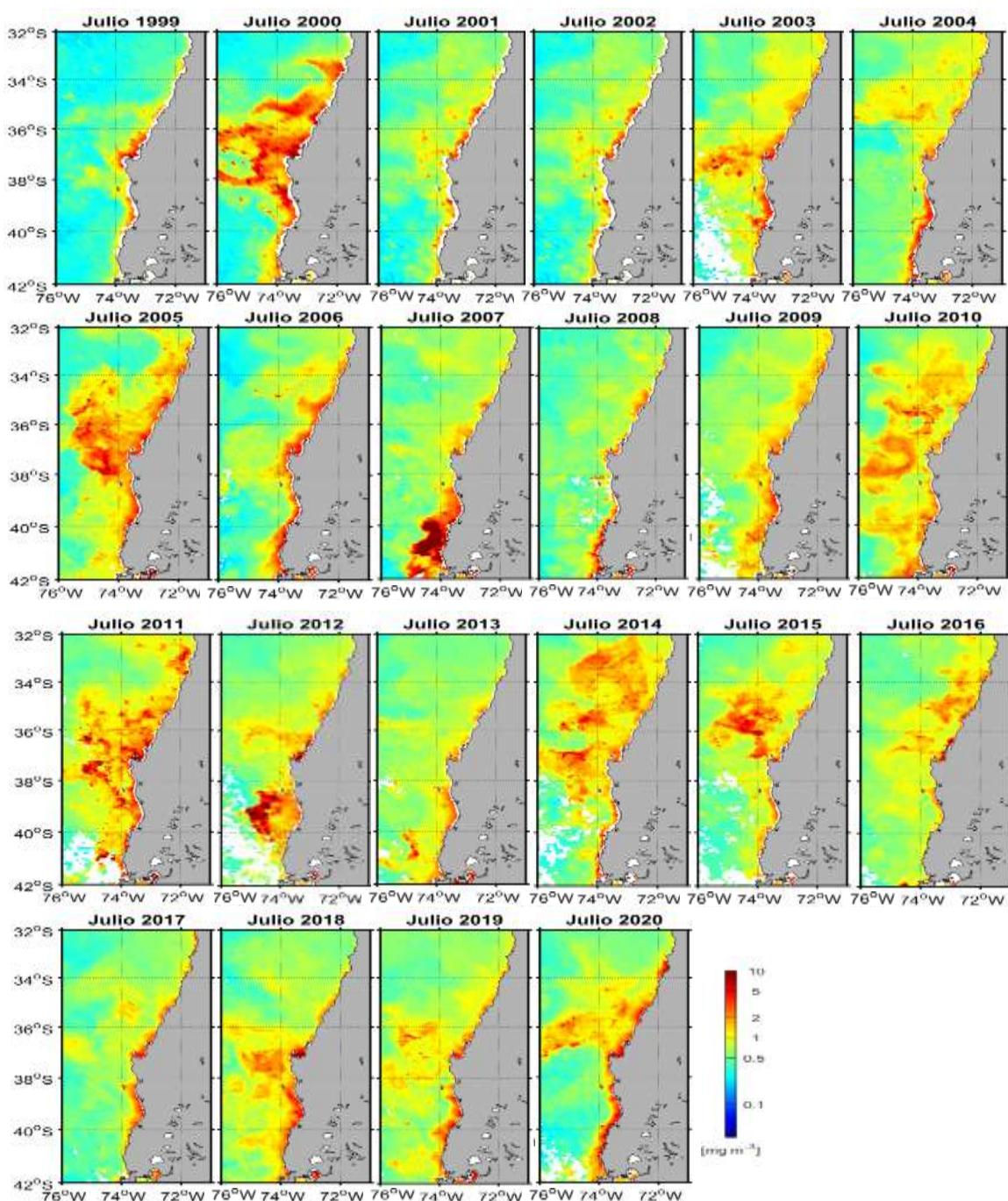


Figura 23. Distribución espacial de concentraciones de clorofila-a (mg m^{-3}) en los meses de julio de la serie 1999-2020.

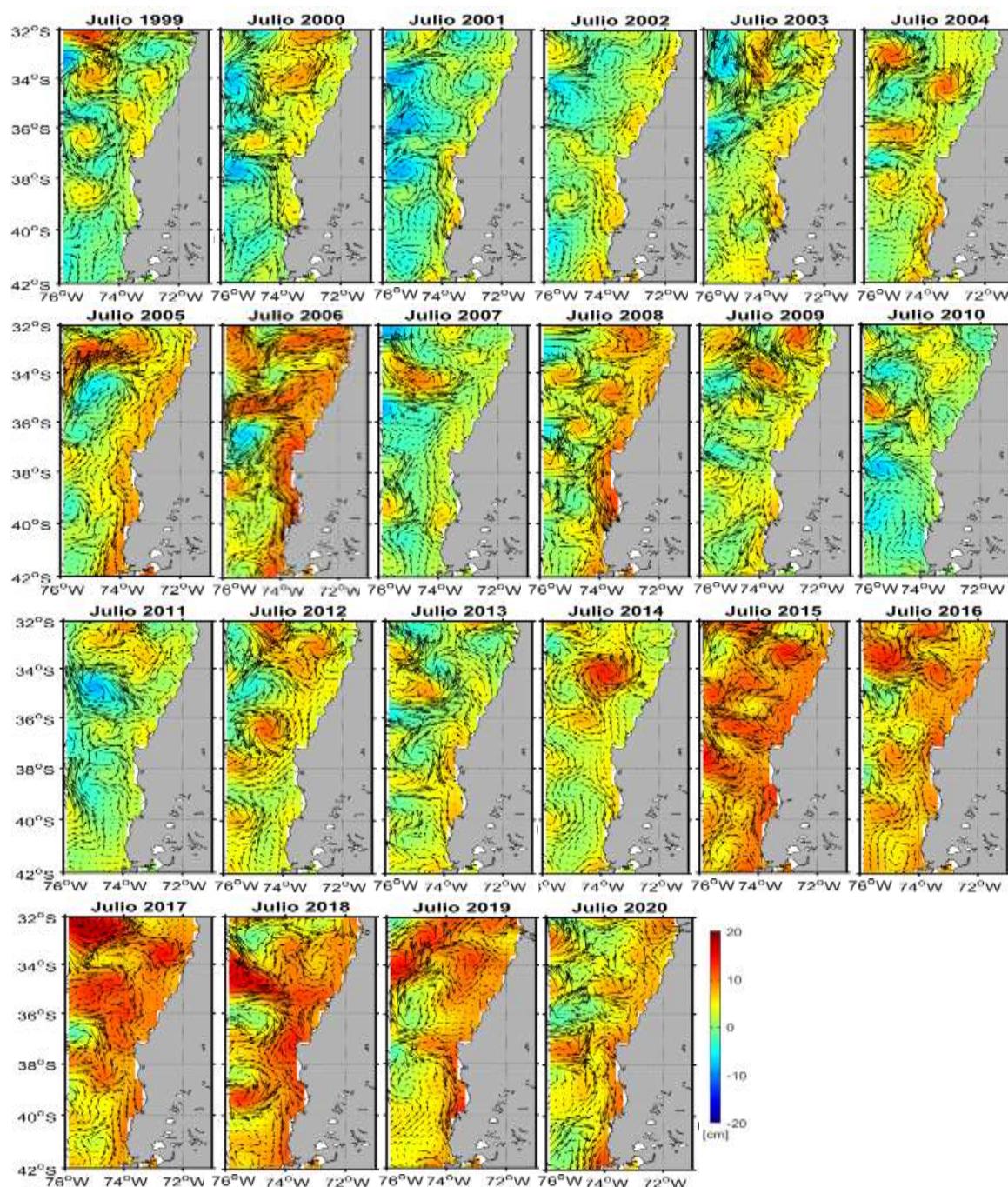


Figura 24. Distribución espacial de la anomalía de la altura del nivel medio del mar (cm) y corrientes geostróficas superficiales (cm s^{-1}) en los meses de julio de la serie 1999-2020.

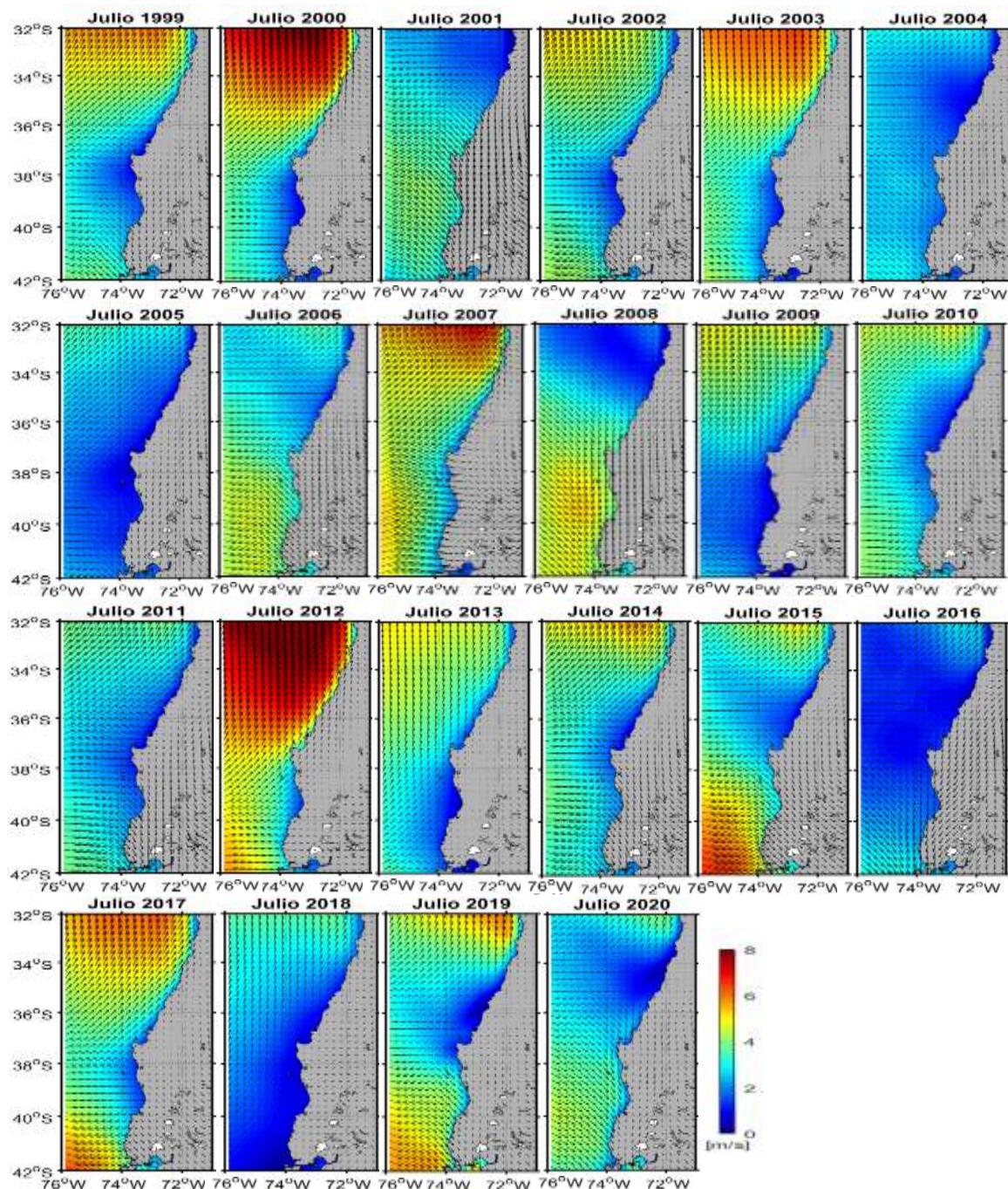


Figura 25. Distribución espacial de la intensidad ($m s^{-1}$) y dirección de viento satelital en los meses de julio de la serie 1999-2020.

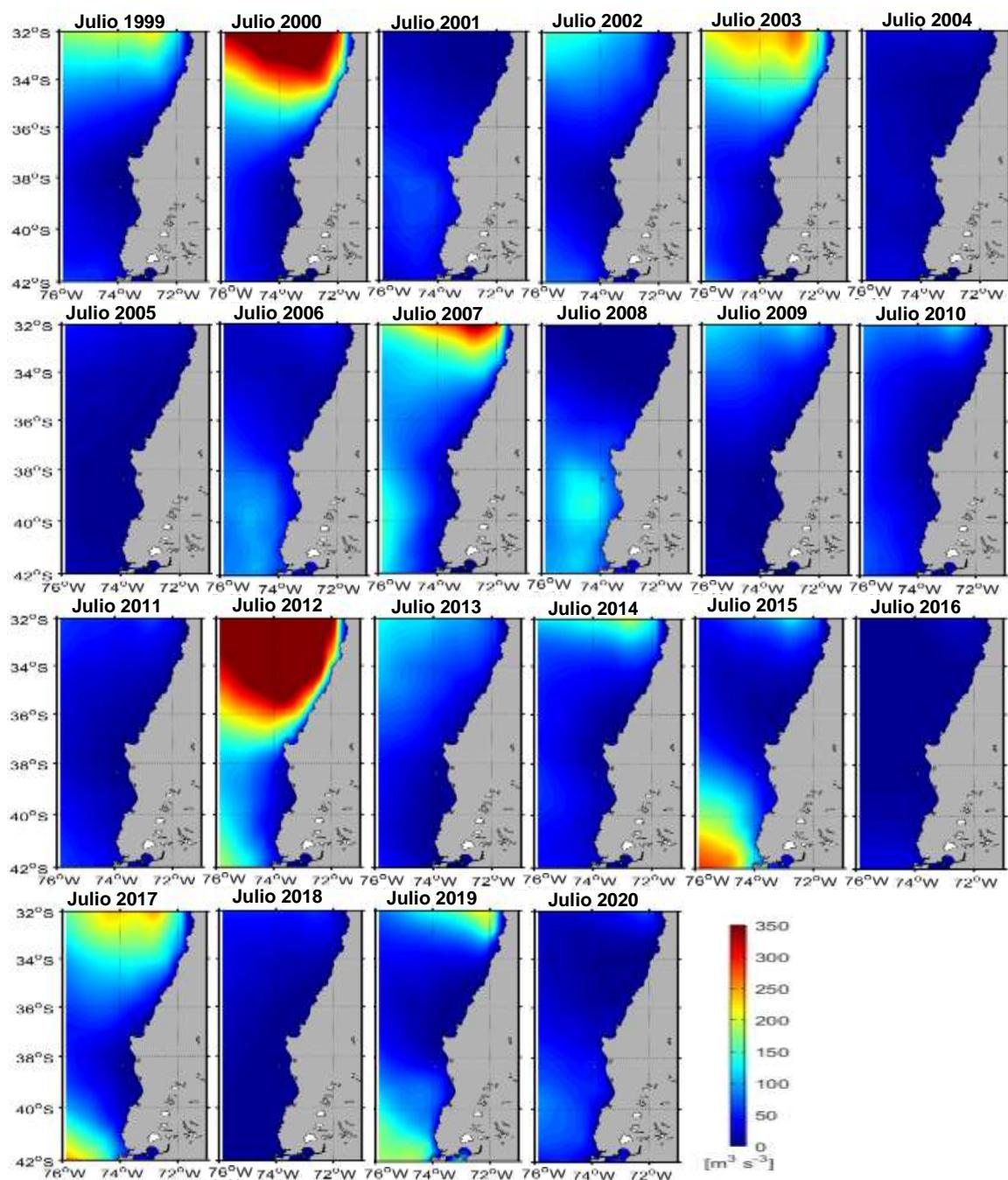


Figura 26. Distribución espacial del índice de turbulencia ($m^3 s^{-3}$) en los meses de julio de la serie 1999-2020.



2. Objetivo 2: Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos.

Se informa de la totalidad de los resultados asociados a este objetivo, tanto de la separación y conteo de huevos larvas de ambas especies, la estimación del área de desove, datación de huevos y la estimación de la producción diaria de huevos, considerando sólo una de las redes de la Pairovet. No obstante, lo anterior se cuenta con el conteo e identificación huevos y larvas, así como la datación de ambas redes. Se informará de comparaciones de ambas redes en el Informe Final.

Se destacó que el 65% de las estaciones planctónicas fueron estaciones diurnas (6 AM – 8 PM), y del total de estaciones realizadas, el 43% fue llevado a cabo en el sector sur, el 31% correspondió al sector centro y un 26% al sector norte.

2.1. Distribución espacial y densidad de huevos y larvas

La Tabla 7 resume el número de estaciones Pairovet analizadas para la ocurrencia de huevos de sardina común y anchoveta en toda el área de estudio. Un total de 111 estaciones fueron positivas para huevos de sardina común (24,5%) y 161 estaciones fueron positivas para los huevos de anchoveta (35,5%). Dentro de los huevos de otras especies, se detectaron especies costeras como róbalo, tritre, blanquillo, lenguado y merluza común, especies frecuentes en el ictioplancton de primavera.

Tabla 7. Estaciones analizadas y positivas a la ocurrencia de huevos de sardina, anchoveta y de presencia de otras especies. Densidades (ind/0,05m²) mínimas (Mín.), máximas (Máx.) y promedio (D.E.: Desviación Estándar)

	Huevos (ind/0,05m ²)		
	<i>S. bentincki</i>	<i>E. ringens</i>	Otras especies
Est. Totales	454	454	454
Est. (+)	111	161	235
% Est. (*)	24,5	35,5	52
Mín.	1	1	1
Máx.	2.210,5	1.629	200
Promedio	46,77	56,1	7,4
D.E.	225	174,3	18

La mayor parte de las estaciones positivas de huevos de sardina común se presentaron en los sectores centro y sur, donde las más altas densidades se obtuvieron desde las estaciones más próximas a la costa (**Figura 27**). Se destacaron 3 áreas de concentración principalmente: de Constitución a punta Nugurne, el área entre la desembocadura del río Itata hasta el golfo de Arauco y el área de la plataforma continental al sur de puerto Saavedra. En el caso de los huevos de anchoveta, se observó un patrón similar, pero con una mayor extensión y densidades en el sector, al norte de Constitución.

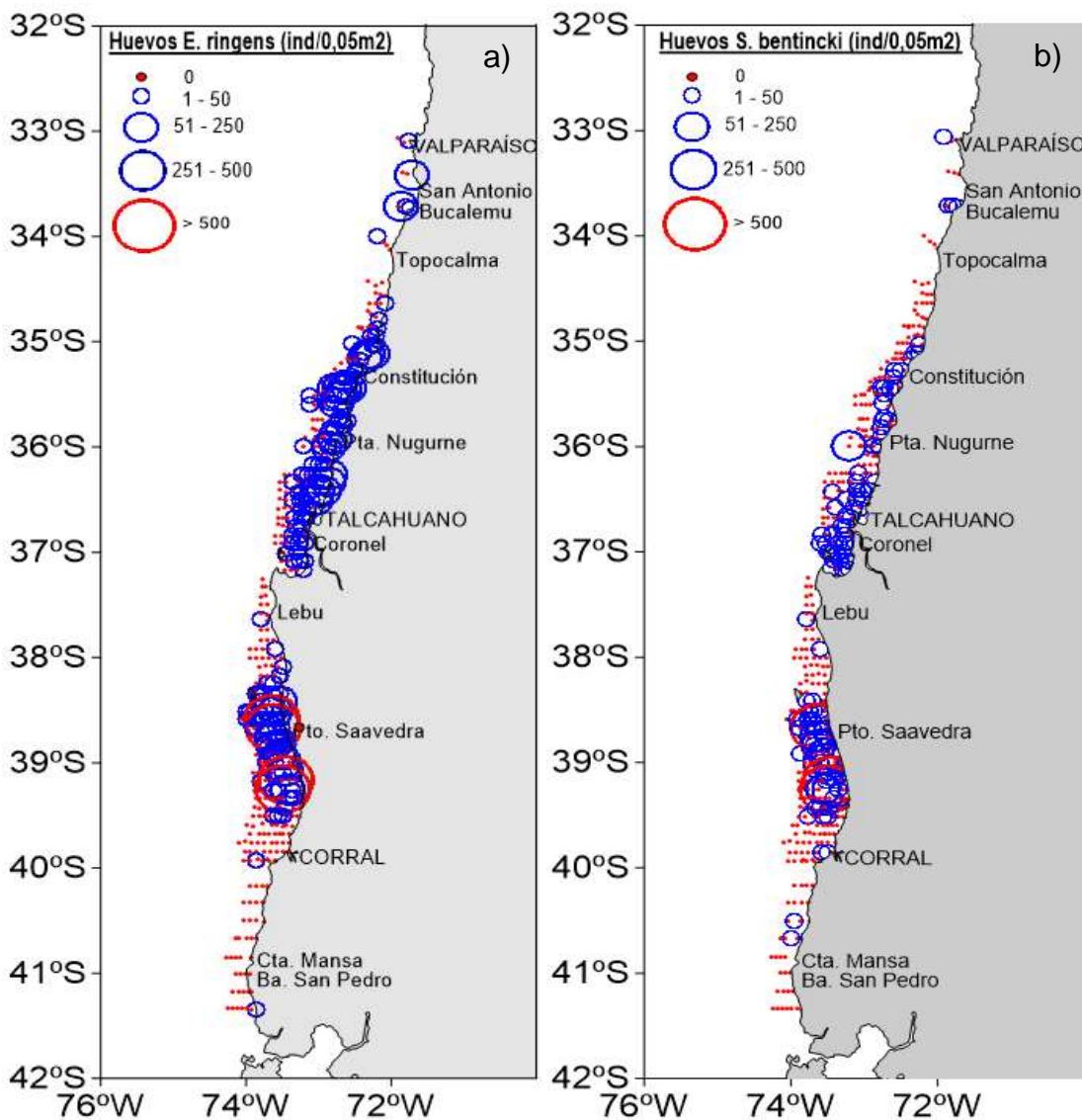


Figura 27. Distribución espacial y densidad de huevos (ind/0,05m²) de a) anchoveta y b) sardina común en toda el área del crucero MPDH, 2020.

La Tabla 8 resume el número de estaciones Pairovet analizadas para la ocurrencia de larvas de sardina común y anchoveta en toda el área de estudio. De un total de 454 estaciones, 123 estaciones fueron positivas (27,1%) para larvas de sardina común y 169 estaciones (37,2%) fueron positivas para las larvas de anchoveta. La densidad máxima observada de larvas de anchoveta correspondió a 89 ind/0,05m², número mayor al de sardina común con 68,6 ind/0,05m². Al igual que para los huevos recolectados, en las larvas se encontraron otras especies costeras como: róbalo, tritre, blanquillo, lenguado y merluza común, especies frecuentes en el ictioplancton de primavera.



Tabla 8. Estaciones analizadas y positivas a la ocurrencia de larvas de sardina, anchoveta y presencia de otras especies. Densidades (ind/0,05m²) mínimas (Mín.), máximas (Máx.) y promedio (D.E.: Desviación Estándar)

	Larvas (ind/0,05m ²)		
	<i>S. bentincki</i>	<i>E. ringens</i>	Otras especies
Est. Totales	454	454	454
Est. (+)	123	169	259
% Est. (*)	27,1	37,2	57
Mín.	1	1	1
Máx.	68,6	88,7	30,6
Promedio	4,8	5,4	3,7
D.E.	8,8	10,2	4,4

A diferencia de lo observado en los huevos de ambas especies, su distribución se extendió de forma más homogénea hacia el oeste de cada transecta, sin tener una tendencia marcada hacia la costa (**Figura 28**). Se destacó también la mayor extensión hacia el norte de las larvas de anchoveta. Las mismas tres áreas de concentración principalmente observadas en los huevos, se registraron para las larvas de sardina común: de Constitución a punta Nugurne, el área entre la desembocadura del río Itata hasta el golfo de Arauco y el área de la plataforma continental al sur de puerto Saavedra. En el caso de las larvas de anchoveta, se observó un patrón similar, pero con una mayor extensión y densidades al norte de Constitución (sector norte), siendo positivas a esta especie todas las estaciones analizadas en este sector.

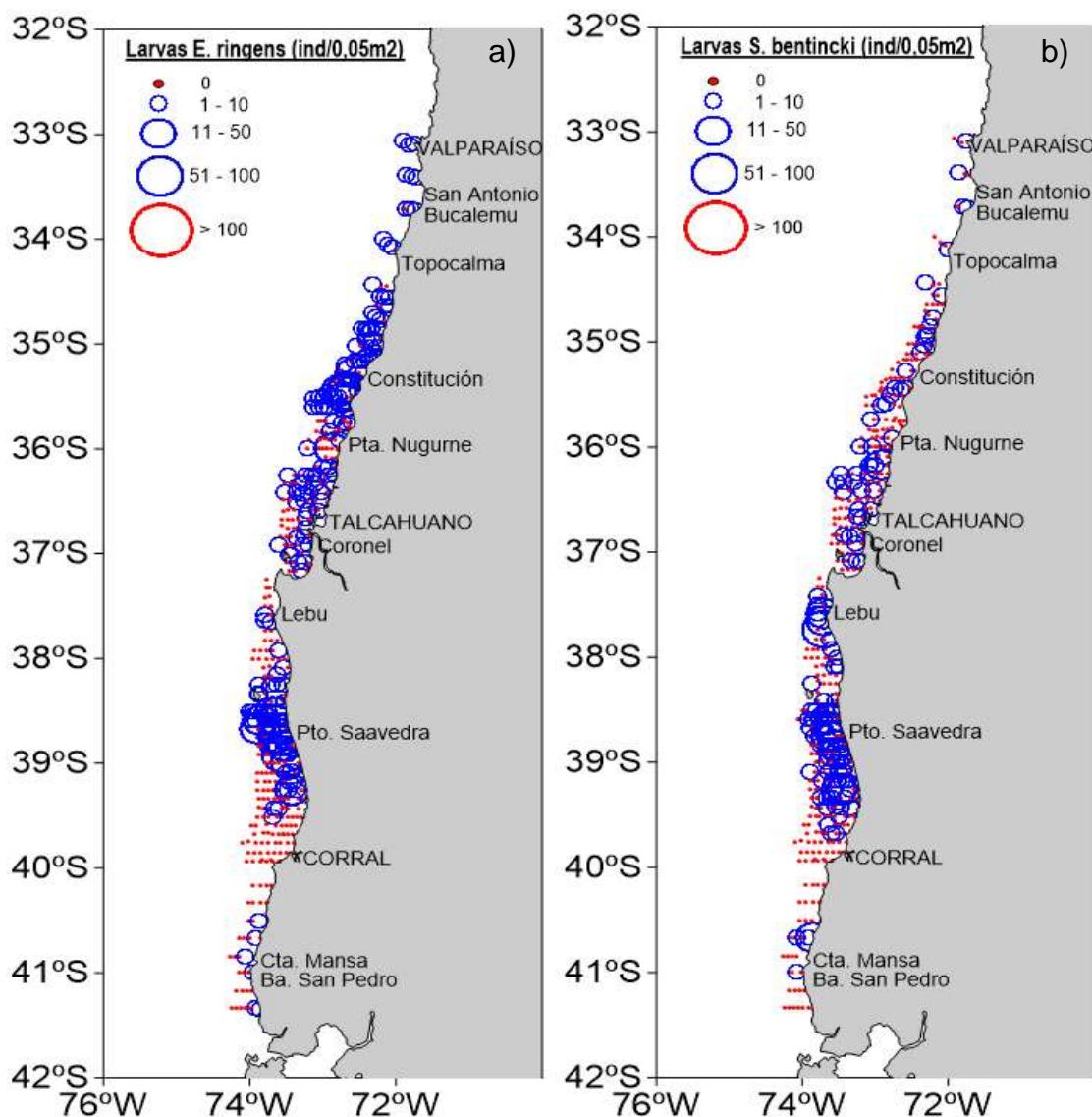


Figura 28. Distribución espacial y densidad de larvas (ind/0,05m²) de: a) anchoveta, y b) sardina común en toda el área del crucero MPDH, 2020.

2.2. Determinación del área de crucero y área de desove por sector

La figura 29 muestra la distribución de estaciones positivas para ambas especies, evidenció la correlación espacial entre las áreas de desove y caracterizó dos regiones principales: entre $34^{\circ}30'S$ y $37^{\circ}10'S$ y entre $38^{\circ}10'S$ y $40^{\circ}S$. La primera región se situó en la banda más costera para ambas especies.

En el caso de anchoveta el número de estaciones positivas fue 161 lo que correspondió al 35,5% del total de estaciones realizadas en el crucero ($n = 454$). De las estaciones positivas, un 55,3% se registró en el sector centro norte y un 40,4% en el sector centro sur. En los sectores norte y correspondiente al sur de Corral, considerados como referenciales en este estudio, se registró un 3,7% y 0,6% de las estaciones positivas respectivamente.

En el caso de sardina común, el número de estaciones positivas ascendió a 111, equivalente al 24,5% del total de estaciones realizadas ($n = 454$). De estas estaciones positivas, el 49,6% se registraron en el sector centro norte y un 45,1% en el sector centro sur. En los sectores norte y el ubicado al sur de Corral, se registró un 3,6% y 1,8% de estaciones positivas respectivamente.

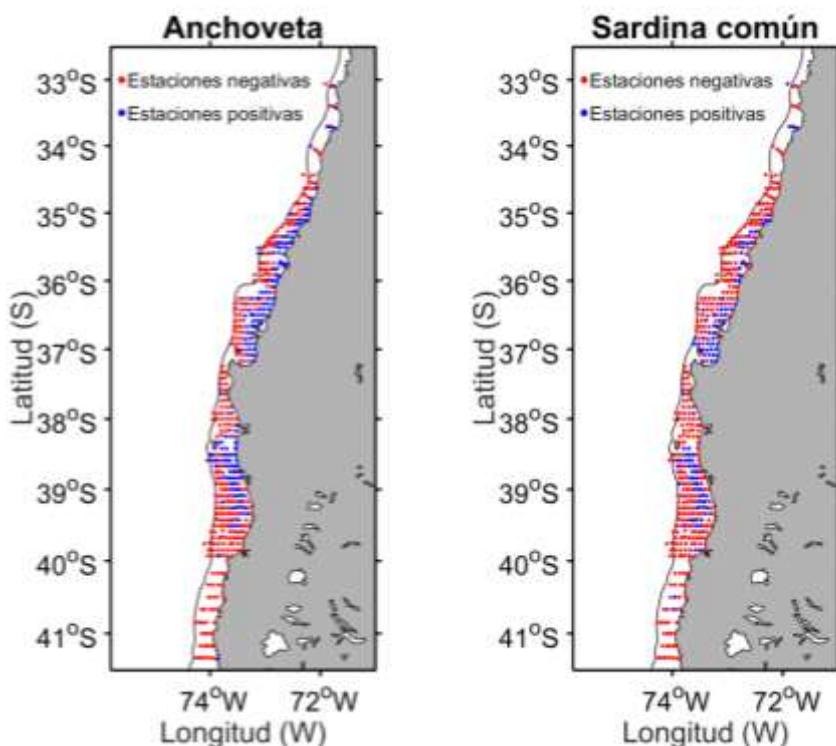


Figura 29. Distribución espacial de las estaciones de muestreo realizadas durante el crucero de evaluación ictioplanctónica, MPDH, 2020. Se identifican en color azul las estaciones positivas para el desove de anchoveta y sardina común y en rojo las estaciones negativas.

Las mayores densidades de huevos de anchoveta, se observaron en el sector centro sur (95,5 huevos $0,05\text{m}^2$), seguido por el sector norte (32,5 huevos $0,05\text{m}^2$), el sector centro norte (29,6 huevos $0,05\text{m}^2$) y el sector sur (0,8 huevos $0,05\text{m}^2$) (**Figura 30a**). En el caso de sardina común, las diferencias entre sectores fueron más acentuadas con mayores densidades registradas en el sector centro sur (93,9 huevos $0,05\text{m}^2$), seguido por el sector centro norte (8,8 huevos $0,05\text{m}^2$), el sector norte (2,2 huevos $0,05\text{m}^2$) y por el sector sur (1,6 huevos $0,05\text{m}^2$) (**Figura 30b**).

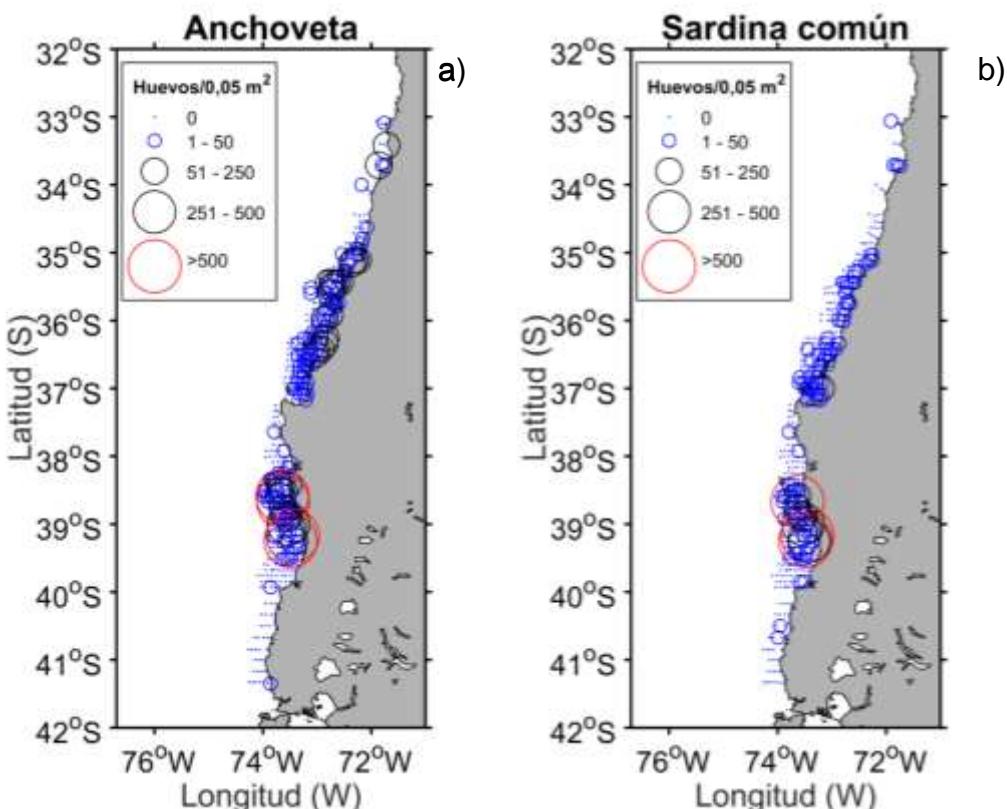


Figura 30. Distribución espacial de la densidad de huevos en $0,05\text{ m}^2$ de: a) anchoveta y b) sardina común registrados en el crucero de evaluación ictioplanctónica, MPDH, 2020.

A partir de las estaciones totales y positivas registradas por el crucero de evaluación ictioplanctónica se estimó el área cubierta por el crucero, así como el área de desove de sardina común y anchoveta para los distintos estratos geográficos considerados en el diseño de muestreo original. La Tabla 9 resume las estimaciones espaciales realizadas en conjunto con los principales estadísticos que se desprenden del crucero de evaluación ictioplanctónica. El área total de evaluación del crucero correspondió a 32.668 km^2 donde se realizaron 454 estaciones de muestreo planctónico. La estimación de las áreas del desove se realizó sin considerar el área norte del estudio a efectos de poder realizar comparaciones con evaluaciones previas de este estudio, debido a que el sector norte ha sido considerado exploratorio. Sin embargo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.0** se observó una contribución parcial al desove de anchoveta en este sector, razón por la cual esta se podría considerar adicionarlo al sector central. Proporcionalmente el sector norte



correspondió a un 5% del área total, el sector centro un 41%, y el sector sur a un 42% y el sector exploratorio sur a un 1,2%.

El área total del desove de anchoveta se estimó en 14.405 km² (44,1% del área evaluada) que se dividió proporcionalmente en 6% sector norte, 54% sector centro, 39% sector sur y 1% sector exploratorio sur. El área del desove de la sardina común se estimó en 10.296 km² (31,5% del área evaluada) que se fraccionó en 4% sector norte, 58% sector centro, 37% sector sur y 1% sector exploratorio sur.

Tabla 9. Determinación del área de crucero y área de desove de anchoveta y sardina común por estrato geográfico: centro y sur. Estadísticos relativos al número de estaciones positivas para huevos de ambas especies y estimados de producción diaria de huevos (P_0) y mortalidad diaria (Z).

	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Área de estudio (A) [km ²]	14.527	18.140	14.527	18.140
Área de desove (A1) [km ²]	8.394	6.011	5.539	4.757
Número de estaciones	196	244	196	244
Número de estaciones positivas	65	90	58	50

2.3. Producción diaria de huevos (P_0) y mortalidad (Z)

Los estimados de producción diaria de huevos (P_0) y la tasa de mortalidad (Z) provienen de la implementación de un procedimiento de estimación basado en modelos lineales generalizados (GLM) y en los procedimientos de determinación de la edad, y sus resultados se presentan en la Tabla 10. Si bien todos los esquemas de estimación de P_0 y Z son significativos y generan resultados similares, se destacó el efecto favorable que tiene en la reducción de varianza al utilizar el área de desove ponderada por el índice de agregación de Lloyd. La implementación basada en el modelo multinomial de asignación de edades, corresponde a una estimación menos precisa de P_0 , produciendo mayores niveles de incerteza estadística (mayores errores estándares en el proceso de ajuste). En ambas especies, los mayores valores de producción de huevos se obtuvieron en el sector sur, sin embargo, se presentaron considerables diferencias en la tasa de mortalidad diaria, siendo esta mayor en la sardina común.



Tabla 10. Estimados del logaritmo de la producción diaria (P_0) y mortalidad diaria (Z) de huevos de: a) Anchoveta y b) Sardina común en los sectores centro y sur, mediante el modelo de edad de Lo mediante modelo lineal generalizado (Lo tradicional) y enlace log con ponderación con el índice de agregación de Lloyd (se incorpora el error estándar de cada estimado, valor z y valor de significancia).

a) Anchoveta

Modelo Edad: Lo	Sector	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z)
GLM 1: Binomial negativa	Centro	Log (P_0)	5,852	0,274	21,385	0,000
		Z	-0,023	0,004	-5,373	0,000
	Sur	Log (P_0)	7,079	0,410	17,251	0,000
		Z	-0,029	0,007	-4,232	0,000
GLM 2: Binomial negativa ponderada con Índice de agregación	Centro	Log (P_0)	5,806	0,085	68,680	0,000
		Z	-0,022	0,001	-17,241	0,000
	Sur	Log (P_0)	7,025	0,090	77,619	0,000
		Z	-0,028	0,002	-14,152	0,000

b) Sardina común

Modelo Edad: Lo	Sector	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z)
GLM 1: Binomial negativa	Centro	Log (P_0)	4,655	0,396	11,762	0,000
		Z	-0,018	0,007	-2,719	0,000
	Sur	Log (P_0)	7,388	0,581	12,707	0,000
		Z	-0,044	0,012	-3,801	0,000
GLM 2: Binomial negativa ponderada con Índice de agregación	Centro	Log (P_0)	4,627	0,111	41,722	0,000
		Z	-0,016	0,002	-8,274	0,000
	Sur	Log (P_0)	7,326	0,129	56,690	0,000
		Z	-0,041	0,003	-12,063	0,000

A partir de los estimados de los coeficientes basados en el GLM 2 de la **Tabla 10**, para ambas especies y sectores centro y sur, se resumen los estimados utilizados definitivamente en la estimación de la biomasa desovante por sector (Tabla 11). La tasa de mortalidad diaria (Z) para la anchoveta fue de $0,56 \text{ d}^{-1}$ en el sector centro y de $0,71 \text{ d}^{-1}$ en el sector sur; en el caso de la sardina común se determinaron tasas de mortalidad diaria de $0,44 \text{ d}^{-1}$ (sector centro) y $1,05 \text{ d}^{-1}$ (sector sur). En ambas especies destacaron los mayores niveles de mortalidad diaria de huevos en el sector sur, siendo esta área la que, si bien es de menor extensión que el sector centro, se reportan los mayores estimados de producción diaria de huevos (anchoveta: 1.123,85 huevos/m²/día y sardina común: 1.519,74 huevos/m²/día) y se destacó la sardina común con los mayores niveles de producción en una menor área de desove.



Tabla 11. Estimados del área de desove, producción diaria de huevos (P_0), mediante modelo lineal generalizado (Lo tradicional) y enlace log con ponderación con el índice de agregación de Lloyd y mortalidad diaria (Z) por especie y sector (centro y sur). Los números entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación de los estimados.

	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Área de estudio (a) [km ²]	14.527	18.140	14.527	18.140
Área de desove (A1) [km ²]	8.394	6.011	5.539	4.757
Número de estaciones	196	244	196	244
Número de estaciones positivas	65	90	58	50
P_0 (huevos/0,05 m ² /día)	17,39 (0,274)	59.36 (0,410)	5,26 (0,395)	80,84 (0,581)
Z (día ⁻¹)	-0,56 (0,186)	-0,71 (0,236)	-0,44 (0,368)	-1,05 (0,263)
P_0 (huevos/m ² /día)	332,40 (0,247)	1.123,85 (0,410)	102,22 (0,395)	1.519,74 (0,581)
P (10^{11} huevos/día)	29,19 (0,122)	71,36 (0,125)	5,83 (0,096)	76,91 (0,168)



3. Objetivo 3: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común

3.1. Crucero de adultos

3.1.1. Lances de pesca

En el desarrollo del crucero de pesca para la obtención de ejemplares adultos de sardina común y anchoveta, participaron las embarcaciones L/M Northwestern (sector norte) y L/M Azariel (sectores centro y sur) (ver **Tabla 1**).

La mayor parte de los especímenes de adultos fueron obtenidos desde los sectores geográficos central y sur del área del estudio, mayoritariamente con la operación de la nave Azariel I. La **Figura 2** presenta la distribución geográfica de los lances de pesca de anchoveta y sardina común en la región prospectada. Entre el 28 septiembre y el 22 octubre de 2020, se realizó un total de 79 lances de pesca destinados a la obtención de muestras de adultos de anchoveta y sardina común.

3.1.2. Composición por tallas

Distribución de tamaños

Se presentaron ejemplares de anchoveta con longitudes promedio entre 12,8 y 13,4 cm LT en todos los sectores estudiados, así como la menor proporción de individuos recolectados en el sector sur (**Tabla 12**). No obstante, lo anterior, los porcentajes de la talla mínima de referencia (<8,5 cm LT) fueron relativamente altos, especialmente en el sector centro del área prospectada, lo que da cuenta de la existencia de dos modas en las distribuciones de tamaños de anchoveta en los sectores norte, centro y sur. La Longitud Total (LT) promedio de sardina común en el sector norte fue 10,6 cm LT, menor a las reportadas en los sectores centro y sur (13,8 y 14 cm LT), sectores que evidenciaron porcentajes <9,2% de ejemplares <8,5 cm LT (Tabla 13).

Tabla 12. Indicadores del muestreo de frecuencia de tamaños de anchoveta durante el crucero de adultos en los sectores norte, centro y sur, año 2020.

Indicadores	Norte	Centro	Sur
LT prom (cm)	13,4	12,8	13
% en muestreo	76	23	4
rango tallas (cm)	7,5-19	9-17,5	10-17,5
Modas	13	11,5	13
% hasta 8,5 cm	24,6	44,2	21,7
N° individuos	1.350	1.300	207



Tabla 13. Indicadores del muestreo de frecuencia de tamaños de sardina común durante el crucero de adultos en los sectores norte, centro y sur, año 2020.

Indicadores	Norte	Centro	Sur
LT prom (cm)	10,6	13,8	14
% en muestreo	12	77	96
rango tallas (cm)	5-14,5	6-17,5	9-17
Modas	12	8,5-15	14,5
% hasta 8,5 cm	35,5	9,2	0
Nº individuos	270	4.280	2.155

En ambas especies, se observó un dominio de ejemplares adultos y la presencia de ejemplares juveniles especialmente de sardina común en el sector central, con una moda secundaria centrada en 8 a 8,5 cm LT (**!Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

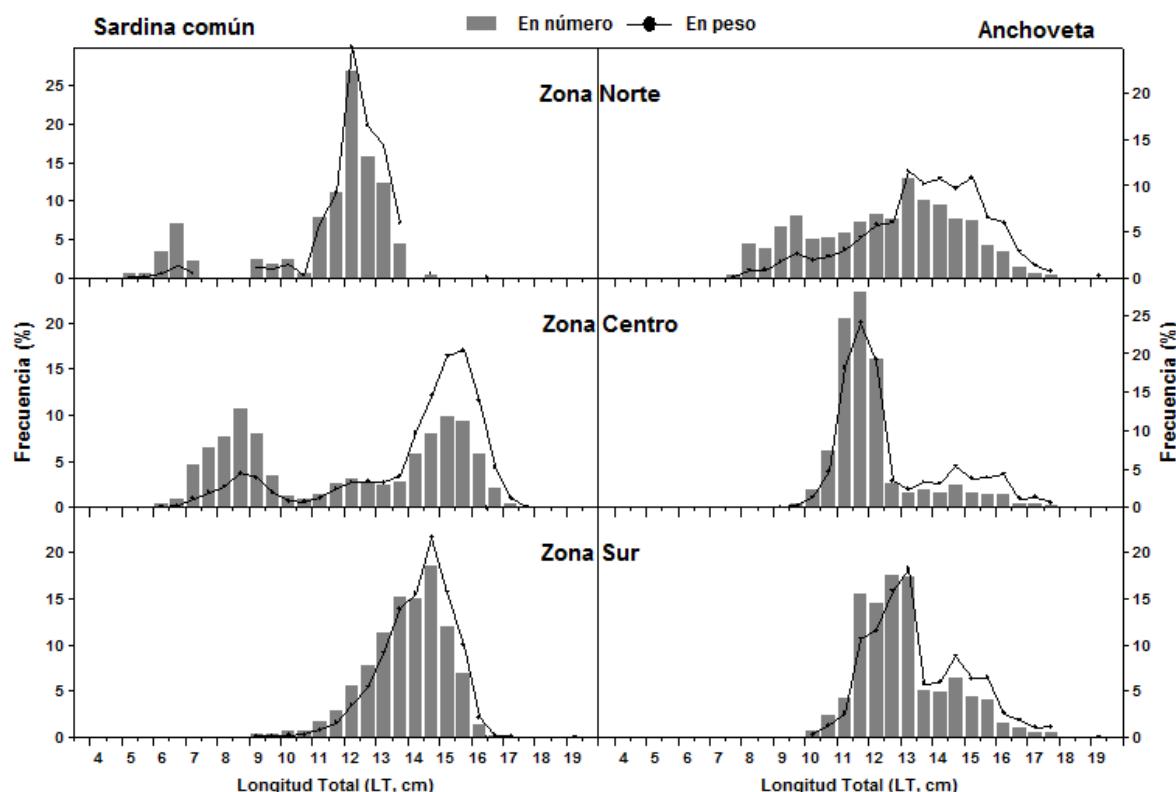


Figura 31. Distribución de frecuencia de tamaños en sardina común (izquierda) y anchoveta (derecha), en los diferentes sectores o zonas, durante el crucero de adultos MPDH, 2020.

3.1.3. Proporción de especies

Los sectores norte, centro y sur mostraron diferencias en la proporción de especies, debido al dominio de anchoveta (76%) en el sector norte, en cambio altos porcentajes de sardina común en el sector central (77%), que se intensificaron en el sector sur, con un dominio de 96% (**Figura 32**).

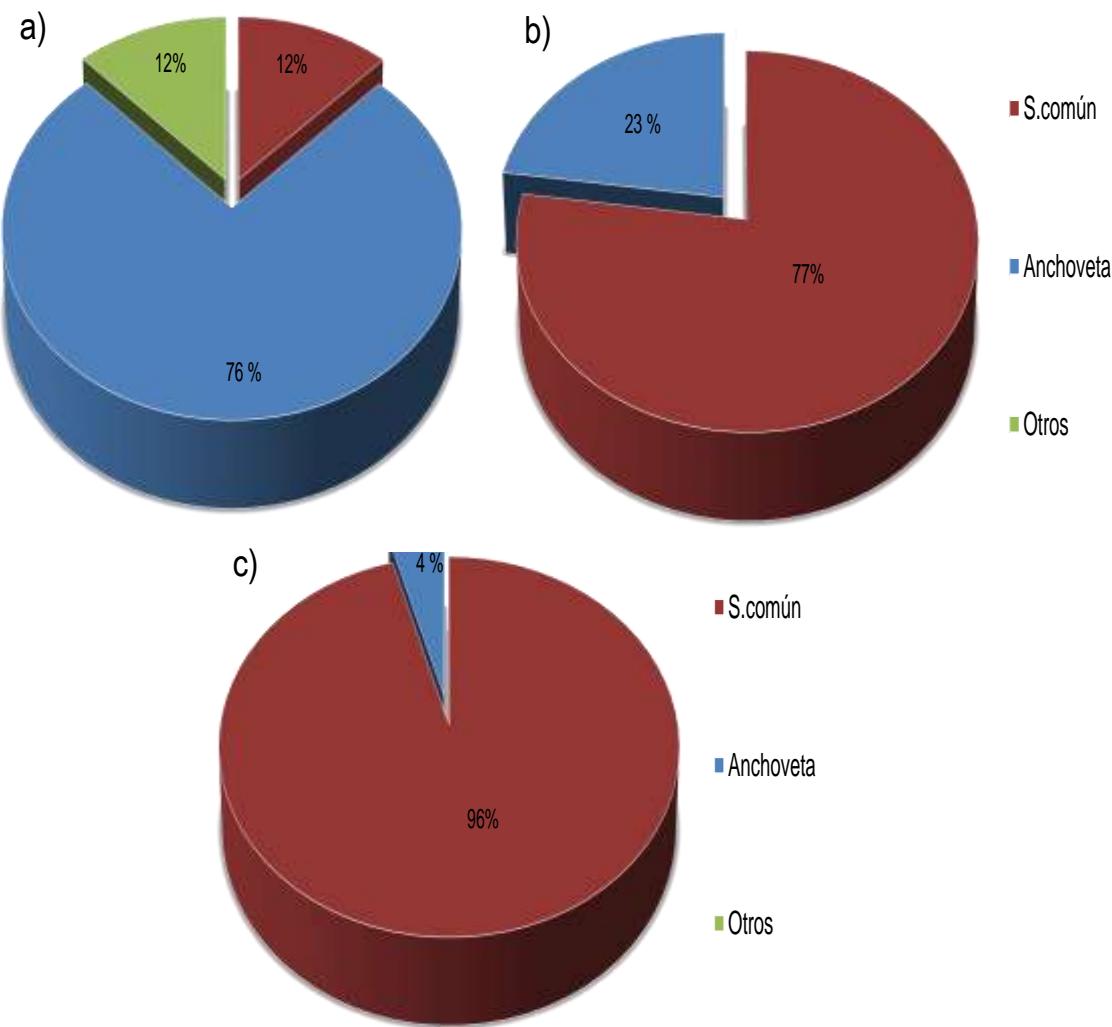


Figura 32. Proporción de las especies de anchoveta y sardina común en los lances de pesca realizados durante el Crucero de pesca de adultos (MPDH, 2020), en los sectores: a) Norte, b) Centro, y c) Sur.

3.2. Indicadores reproductivos

Los resultados de los diferentes indicadores reproductivos utilizados en el estudio: índice gonadosomático (IGS), estados de madurez sexual macroscópicos (EMS), y la proporción de hembras



activas (PHA). La anchoveta, mostró un rango más alto de IGS promedio, entre 5,8% y 9,1%, así como el dominio del EMS-3 especialmente en los sectores norte y sur, con EMS-3 >83% (**Tabla 14**). En tanto, los diferentes indicadores reproductivos de la sardina común en cada sector, mostraron un rango promedio de IGS entre 4,5% y 6,2% y valores >73% del estado de madurez EMS-3 (**Tabla 15**).

Tabla 14. Indicadores reproductivos de anchoveta durante el crucero de adultos en las zonas norte, centro y sur, crucero MPDH, 2020.

Datos	Norte	Centro	Sur
IGS mínimo (%)	0,9	0,5	18
IGS máximo (%)	20,2	27,9	12,3
IGS promedio (%)	9,1	4,7	5,8
D.E. (IGS)	5,0	5,7	2,3
EMS 2 (%)	12	48	17
EMS 3 (%)	88	50	83
EMS 4 (%)		2,2	
EMS 5 (%)			
Nº Hembras	90	139	63

Tabla 15. Indicadores reproductivos de sardina común durante el crucero de adultos en los sectores norte, centro y sur, crucero MPDH, 2020.

Datos	Norte	Centro	Sur
IGS mínimo (%)	0,5	0,9	0,5
IGS máximo (%)	8	17,6	12,4
IGS promedio (%)	4,5	6,2	4,5
D.E. (IGS)	2,4	2,7	2,4
EMS 2 (%)	4	9	27
EMS 3 (%)	96	89	73
EMS 4 (%)		0,4	
EMS 5 (%)		1	
Nº Hembras	22	497	249



3.2.1. Índice gonadosomático (IGS)

IGS Sardina común

La evolución temporal del IGS en sardina común exhibió en general valores promedio diarios comparativamente más altos (5% a 7%) en el sector central, y promedio diarios menores para los ejemplares colectados en el sector sur (<5%) ([Error! No se encuentra el origen de la referencia.3](#)).

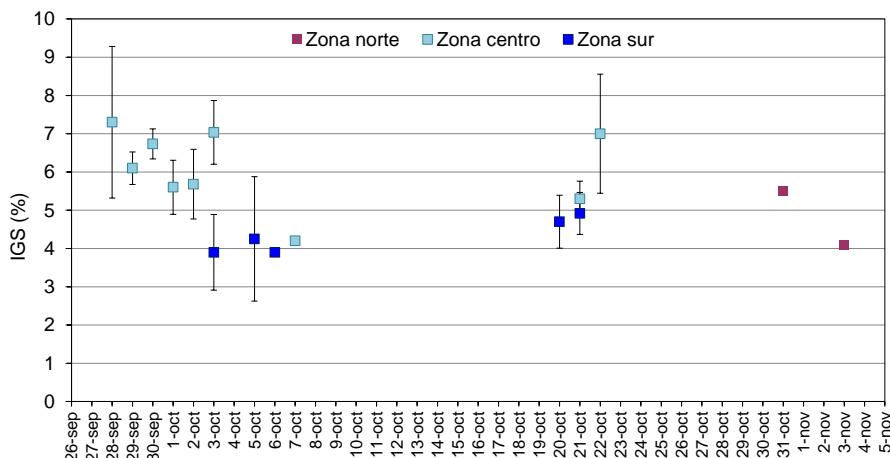


Figura 33. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en sardina común en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.

Desde la perspectiva regional meridional, y al analizar los datos de IGS por rangos de talla, la zona central reveló los valores más altos, sin mostrar diferencias entre los rangos de tallas de 9,5 a 11,5 cm LT y los de tallas >12 cm LT; a diferencia del sector sur, donde los ejemplares fueron comparativamente más chicos de 9,5 a 11,5 cm LT, mostraron un valor promedio menor al de los ejemplares más grandes (**Figura 34**).

Se destacó en la Región del Biobío la presencia de valores de IGS de sardina común, con valores moderados a altos >6% hacia el término de la serie del 2020, similar a lo observado en el 2019, pero superior al promedio histórico 2010-2018 (IGS de 4,5%) (**Figura 35**). Para las regiones de La Araucanía y Los Ríos, se registraron IGS de sardina común, con valores más bajos, pero consistentes con lo reportado en el 2019. Hacia el final de la serie del 2020 (semanas 43 y 44) los valores de IGS fueron mayores a los de la serie promedio histórica 2010-2018.

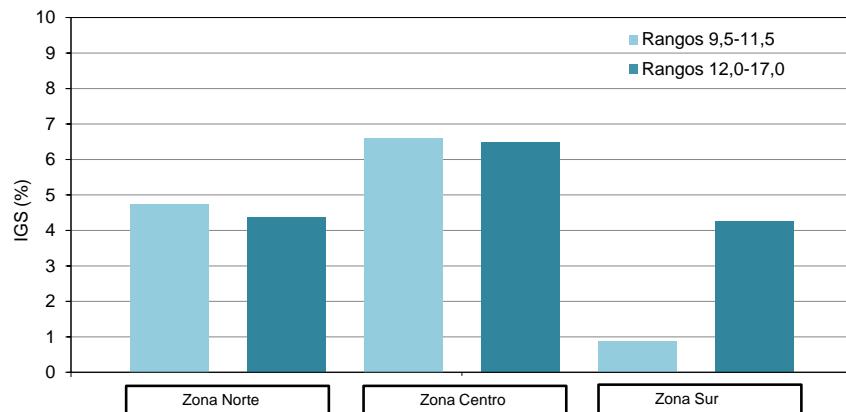


Figura 34. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en sardina común por rangos de tallas en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.

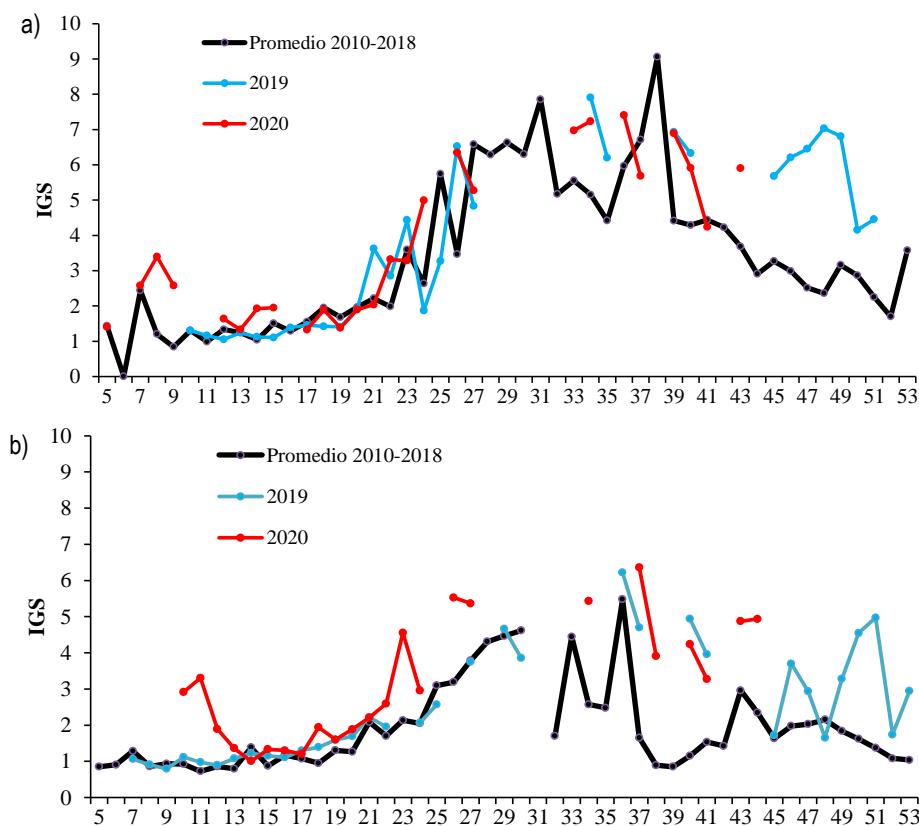


Figura 35. Evolución semanal del IGS de sardina común en a) Región del Biobío, y b) Regiones de La Araucanía y de Los Ríos, promedio entre los años 2010-2018, junto con los años 2019 y 2020, hasta la semana 44 (05 al 07 de octubre, 2020).



IGS Anchoveta

El IGS de anchoveta no mostró una tendencia clara a lo largo del período de crucero, con amplios rangos de IGS, especialmente con promedios diarios en el sector central y estrecho rango en el sector sur (**Figura 36**).

Desde la perspectiva regional meridional, y al analizar los datos de IGS por rangos de talla, todos los porcentajes de IGS fueron mayores para los especímenes de rango de talla mayores (12,5 a 18 cm LT), especialmente para los recolectados en los sectores norte y centro (**Figura 37**).

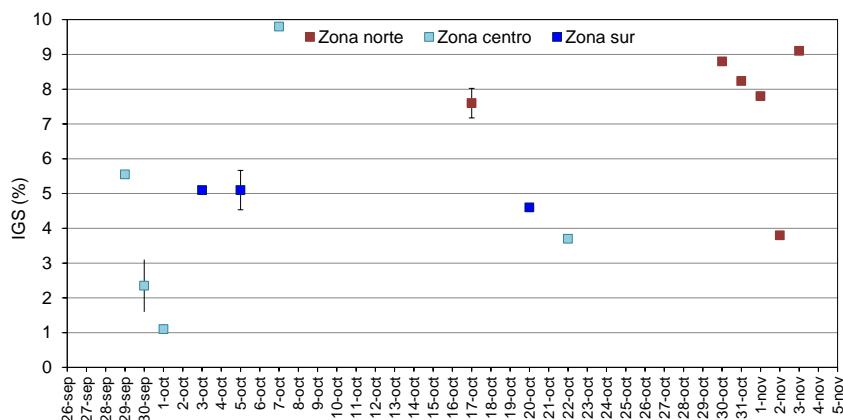


Figura 36. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en anchoveta en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.

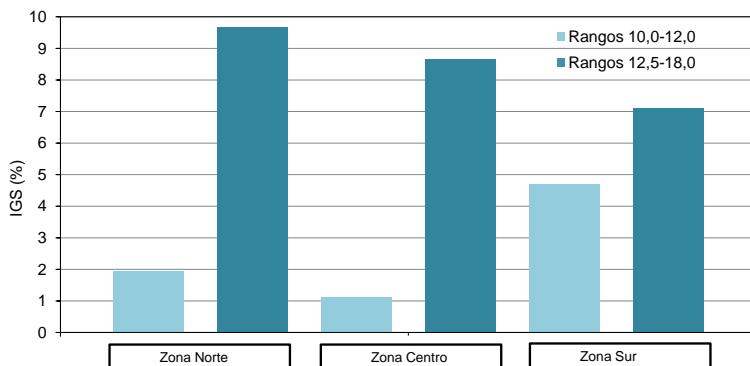


Figura 37. Distribución del Índice gonadosomático (IGS) en anchoveta por rangos de tallas en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.

En la Región del Biobío la presencia de valores de IGS de anchoveta, con valores moderados a altos (>7%) hacia el término de la serie del 2020, con valores levemente inferiores a lo observado en el 2019, y en torno al promedio histórico 2010-2018 (IGS de 7%) (**Figura 38a**). En las regiones de La

Araucanía y Los Ríos, se registraron IGS de anchoveta más altos, pero consistentes con lo reportado en el 2019. Hacia el final de la serie del 2020 (semanas 50) los valores de IGS fueron mayores a los de la serie promedio histórica 2010-2018 y también se observaron valores superiores a los del año 2019 (**Figura 38b**).

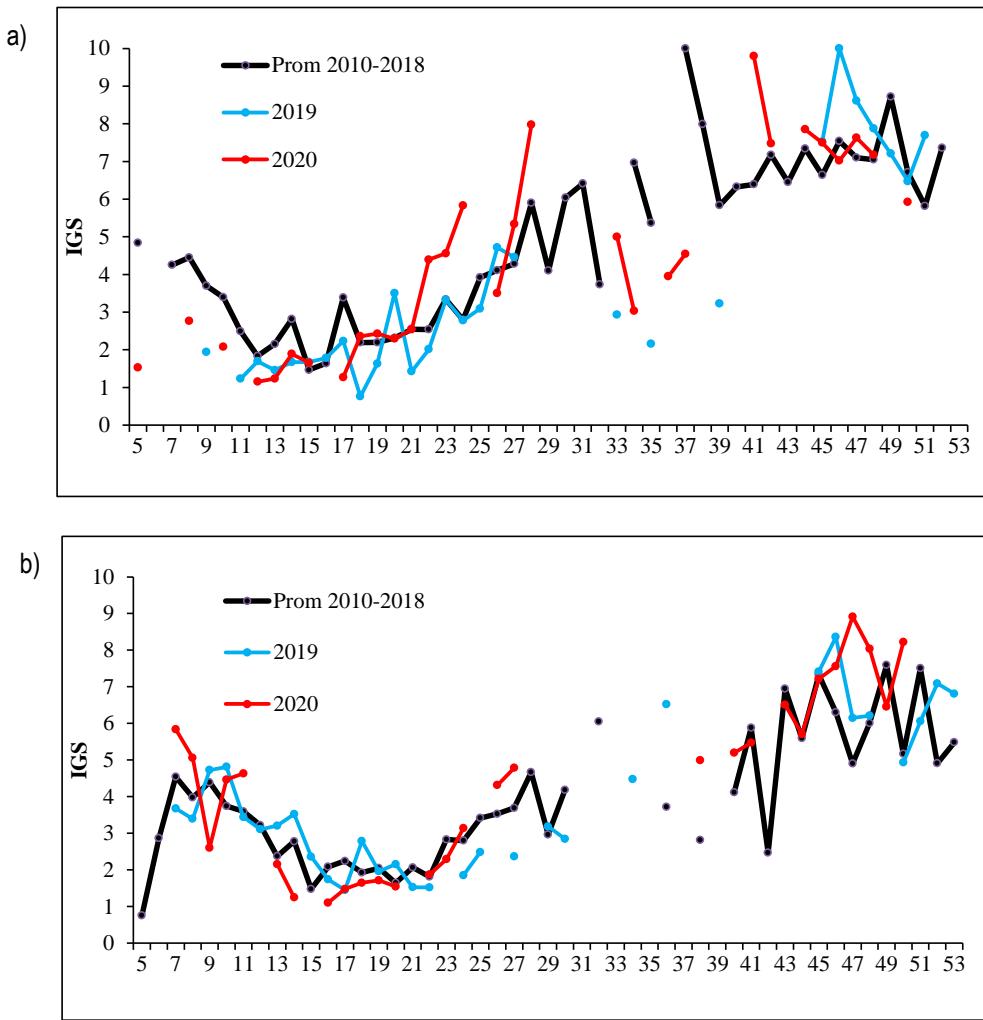


Figura 38. Evolución semanal del IGS de anchoveta en a) Región del Biobío, y b) Regiones de La Araucanía y de Los Ríos, promedio entre los años 2010-2018, junto con los años 2019 y 2020 hasta la semana 50.

Estados de madurez sexual (EMS)

Las variaciones meridionales (sectores norte, centro, sur) de los estados de madurez sexual, en la sardina común, mostraron el dominio casi absoluto de los EMS 3 en los sectores norte y centro (>85%)



y en el sur ~70%, verificando la ausencia de EMS 4 en los ejemplares monitoreados en el crucero (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

En la anchoveta los resultados arrojaron un patrón distinto, con el dominio de EMS 3 (>80%) en los especímenes obtenidos en los sectores norte y sur, y una contribución ~50% en el sector central, con y evidencias <5% de EMS 4 (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

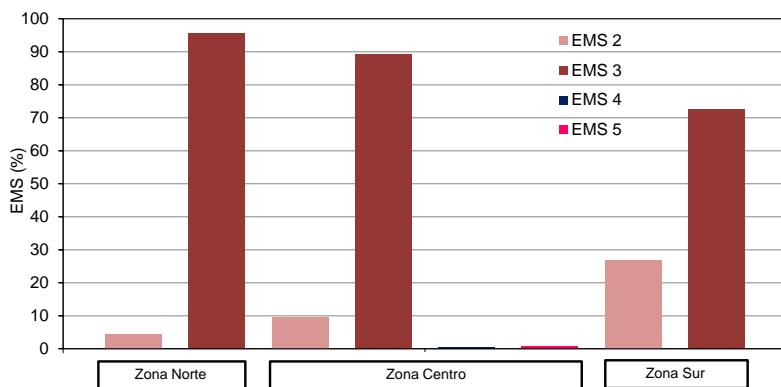


Figura 39. Distribución del Estado de Madurez Sexual (EMS) en sardina común en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.

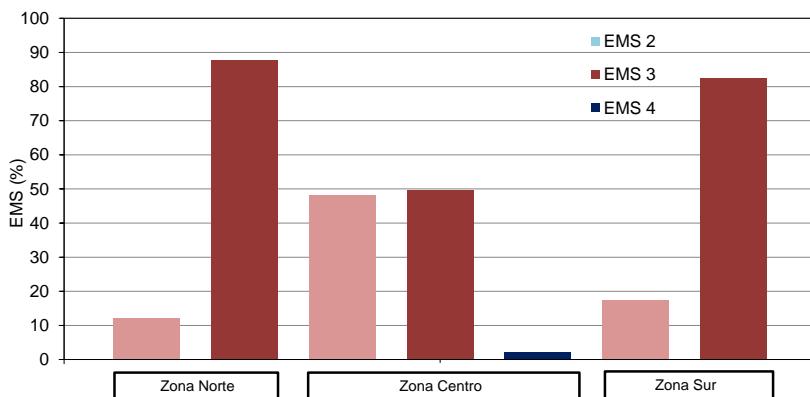


Figura 40. Distribución del Estado de Madurez Sexual (EMS) en anchoveta en los diferentes sectores durante el crucero de adultos, MPDH, 2020.

3.3. Análisis histológicos y parámetros reproductivos

El número total de muestras analizadas fue de 1.035 ejemplares, los que correspondieron a 759 ejemplares de sardina común (73,3%) y 276 de anchoveta (26,7%). Estos ejemplares provinieron de un submuestreo de la captura de embarcaciones que operaron entre el 28 de septiembre al 03 de noviembre de 2020 (Tabla 16).



Tabla 16. Número de ejemplares hembras de sardina común y anchovetas analizadas histológicamente por sector de captura, fecha de captura y número de lances para examen macroscópico para muestreo biológico. (N: Norte, CN: Centro norte y CS: Centro sur)

Sector de captura	Fecha	Nº Lances	Nº Sardinas	Nº Lances	Nº Anchovetas
N-CN	28-09-2020	2	45	2	13
CN	29-09-2020	2	34	2	27
CN	30-09-2020	6	108	3	30
CN-CS	01-10-2020	3	33	2	31
CS	02-10-2020	9	125		
CS	03-10-2020	8	90	1	9
CS	05-10-2020	2	30	2	16
CS	06-10-2020	1	13		
CN	07-10-2020	1	6	1	2
CN	17-10-2020			2	32
CS	20-10-2020	3	55	1	11
CS	21-10-2020	9	160	2	6
CN	22-10-2020	2	37	1	15
CN	30-10-2020			1	15
CN	31-10-2020	2	7	3	40
CN	01-11-2020			1	4
CN	02-11-2020	1	1	1	11
N-CN	03-11-2020	1	15	1	14
Total		52	759	26	276

La distribución de tallas en longitud total (LT) de las hembras de sardina común analizadas fue unimodal, con rango entre 9,5 y 17 cm, con mayor frecuencia de talla entre 15 y 16 cm LT. En tanto, las hembras de anchoveta presentaron un rango de talla entre 10 y 17,5 cm de LT, con dos grupos de mayor frecuencia uno de 11 cm y otro de 14 cm de LT (**Figura 41**).

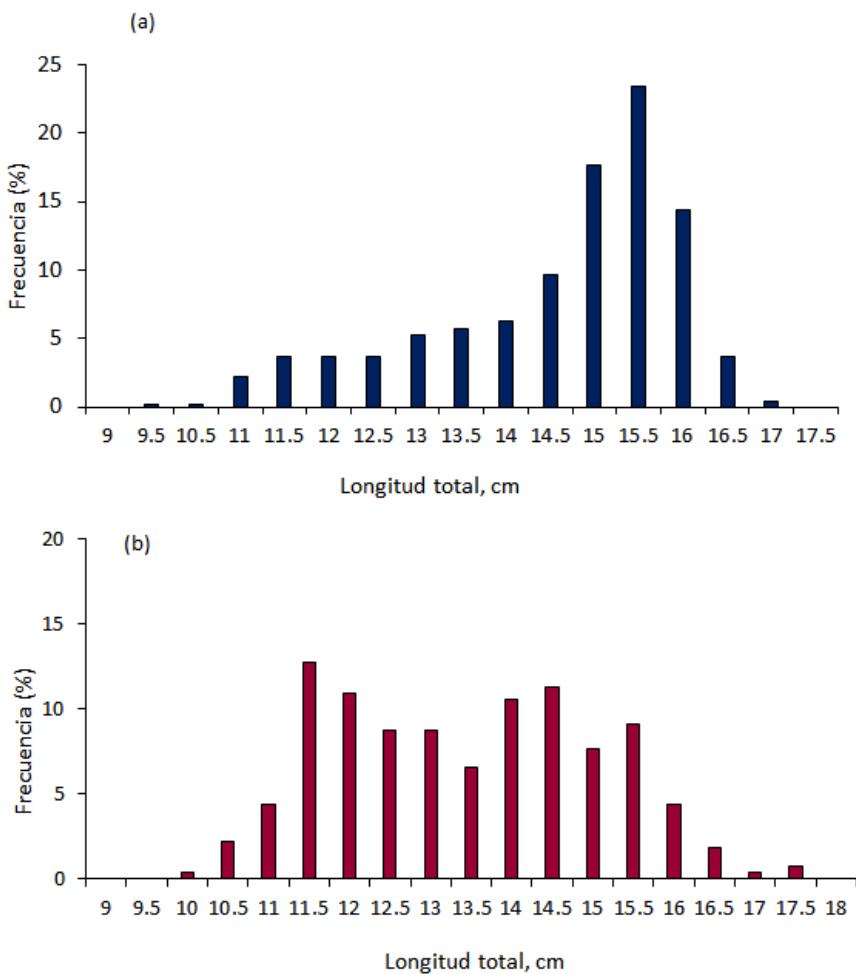


Figura 41. Histograma de frecuencias de longitud horquilla (LH) de: a) sardina común, y b) anchoveta para hembras provenientes del crucero MPDH, 2020.

3.3.1. Estados de madurez macroscópicos

La proporción de los diferentes estados de madurez sexual macroscópica en hembras de sardina común presentó cuatro estados de madurez, con el estado maduro (E3) el de mayor frecuencia con un 84%. También se determinaron hembras de sardina común en los estados virgen madurando y en



recuperación (E2) con una frecuencia del 15%, en estado hidratado (E4) con una frecuencia de 0,3% y en regeneración (E5) con un 0,7% (**Figura 42a**).

Se observaron tres estados de madurez macroscópicos en las hembras de anchoveta, el estado de madurez maduro (E3) con una frecuencia de 69%, los estados virgen madurando y en recuperación (E2) con una frecuencia del 30% e hidratado (E4) con una frecuencia del 1% (**Figura 42b**). En anchoveta el estado en regeneración (E5) no fue registrado y tampoco se observaron hembras en estado inmaduro (E1) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.2b).

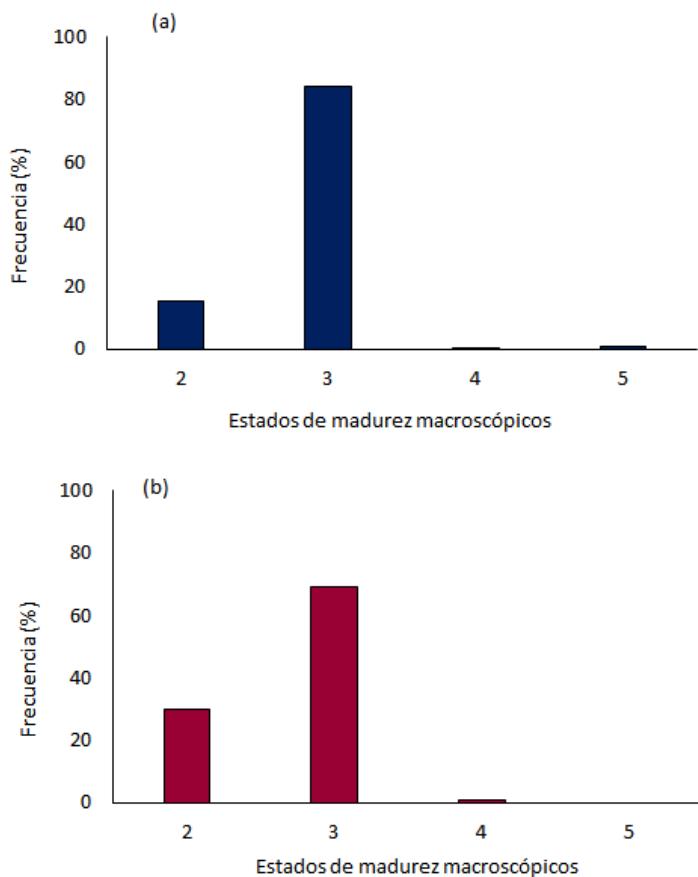


Figura 42. Frecuencia porcentual de los estados de madurez sexual macroscópicos de: a) sardina común, y b) anchoveta para el total de la muestra. MPDH, 2020.

El análisis de los estados de madurez macroscópicos, por día de captura mostró que el estado de madurez maduro (E3) para la sardina común fue el de mayor representatividad, en frecuencias >50% (rango: 50%-100%) durante todo el periodo de muestreo. También los estados virgen madurando y en

recuperación (E2) se observó con frecuencias >4% (rango: 4%-35%) y mostró una tendencia a aumentar durante los primeros días de octubre (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En las anchovetas la tendencia fue similar para el estado de madurez maduro (E3), con frecuencias >33% (rango: 33%-100%) durante todo el periodo de captura, y en cambio los estados virgen madurando y en recuperación (E2) mostraron una frecuencia mayor solo en dos días de la captura, aun cuando se observó en casi todo el periodo de muestreo con frecuencia >11% (rango: 11% a 94%) (**Figura 43b**).

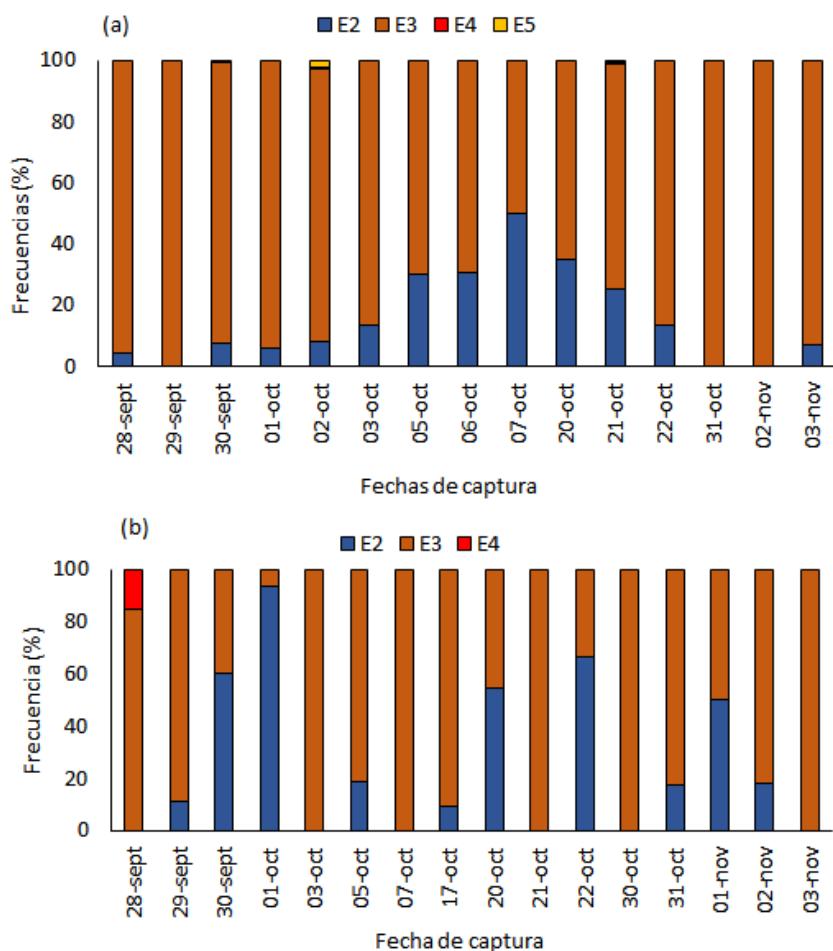


Figura 43. Frecuencia porcentual de estados de madurez sexual macroscópicos por día de captura durante: a) sardina común y b) anchoveta. MPDH, 2020.

3.3.2. Índice Gonadosomático relacionado con la talla y el estado de madurez

El índice gonadosomático IGS de las hembras de sardina común fluctuó entre 0,9% y 7,9% y en un rango de talla de 9,5 a 17 cm LT (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). En tanto, las hembras de anchoveta presentaron valores promedios de IGS, entre 0,7% y 12,3% y con el valor máximo de IGS a los 16 cm LT (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**4b**).

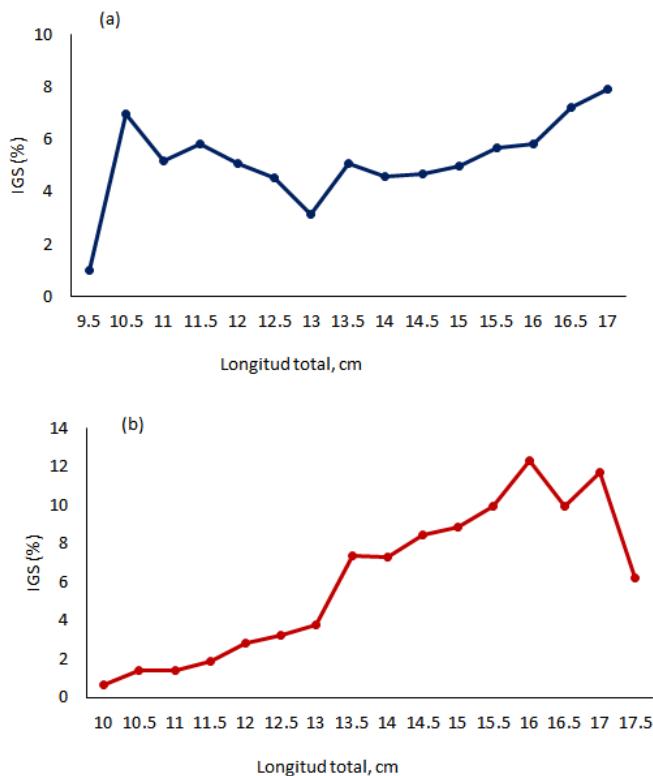


Figura 44. Variación del IGS promedio con la longitud total correspondiente a: a) sardina común y b) anchoveta en el área prospectada. MPDH, 2020.

La relación del IGS con los estados de madurez sexual macroscópicos en hembras de sardina se observa que los estados de madurez identificados muestran una tendencia al aumento, los estados de virgen madurando y en regeneración (E2) presentaron un IGS = 2,2%, el estado de madurez maduro (E3) presentó un valor de IGS = 5,8%, el estado de madurez hidratado (E4) un IGS = 15,8 %, y el estado en regeneración (E5) mostró un IGS de 2,1% muy similar al IGS de hembras en estado E2 (**Figura 45a**). En hembras de anchoveta se observaron tres estados de madurez macroscópicos con valores de IGS que aumentó desde un estado virgen madurando y en recuperación (E2, IGS= 1,4%) y del estado maduro (E3, IGS= 7,6%) al estado hidratado (E4, IGS = 19,9%), y no se determinaron hembras del estado en regeneración (E5) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**45b**).

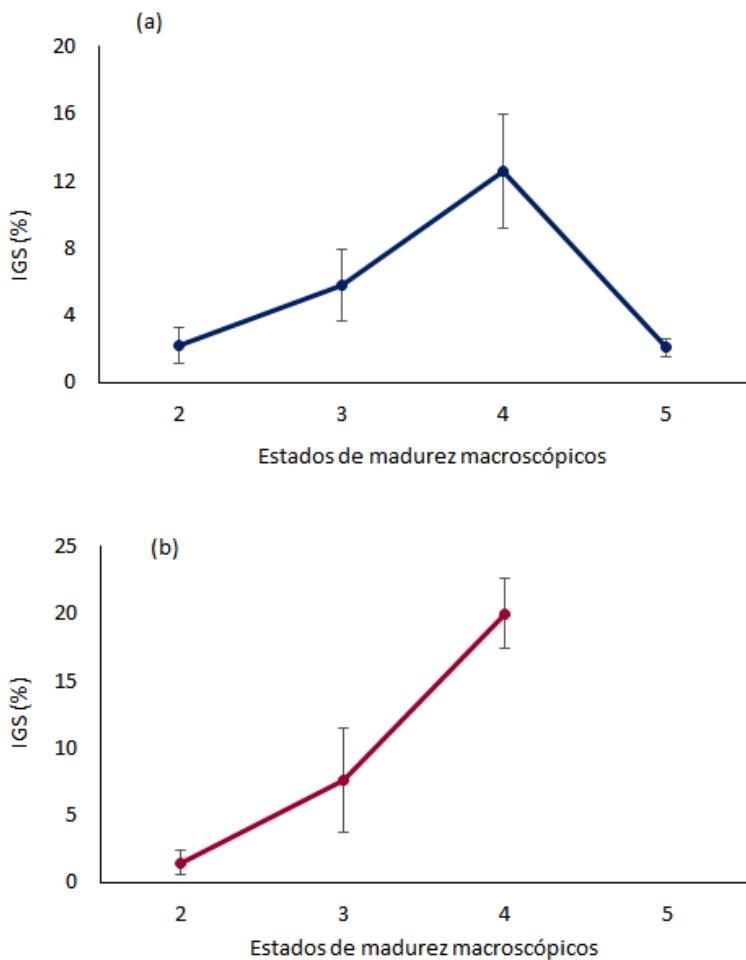


Figura 45. Valores de IGS promedios en relación con los estados de madurez sexual macroscópicos en ovarios de: a) sardina común y b) anchoveta en el área prospectada. MPDH 2020.

La relación del IGS con el área y mes de captura de sardina común, mostró que en el sector norte los ejemplares presentaron menores IGS en comparación con el sector centro norte (Tabla 17). En el sector centro norte, el IGS alcanzo su valor máximo en septiembre ($IGS = 6,4\%$) y mostró una tendencia a disminuir en octubre, con un mínimo en noviembre, que correspondió a un solo ejemplar de sardina común y sería coincidente para el mismo mes, en el sector norte (Tabla 17). En el sector centro sur se tiene referencia del IGS promedio para el mes de octubre, que estuvo dentro de los valores de los otros sectores (Tabla 17). En anchovetas se identificaron dos sectores de captura, centro norte y centro sur (Tabla 17). En el sector centro norte, el valor de IGS de anchovetas tendió a aumentar, ya que el mayor valor observado se alcanzó durante el mes de noviembre (IGS de 7,2%) (Tabla 17).



Tabla 17. Valores de IGS promedios en ejemplares hembras de sardina en relación con zona de captura para examen macroscópico para muestreo biológico. (\pm Desviación estándar; número de ejemplares)

Mes	Sardina común			Anchoveta	
	Norte	Centro norte	Centro sur	Centro norte	Centro sur
	4,97	6,36		5,48	
Septiembre	(\pm 1,32; 177)	(\pm 2,39; 10)		(\pm 5,26; 70)	
		6,09	4,79	5,97	5,03
Octubre		(\pm 2,37; 50)	(\pm 2,27; 506)	(\pm 4,57; 135)	(\pm 2,07; 42)
		3,91		7,19	
Noviembre	(\pm 1,82; 15)	3,55		(\pm 4,36; 29)	

3.4. Análisis histológico de la condición reproductiva de sardina común y anchoveta

Se examinaron 1.000 preparaciones histológicas (723 de sardina común, y 277 de anchoveta), para caracterizar mediante los estados de madurez sexual microscópicos la condición reproductiva de ambas especies.

3.5. Estados de madurez microscópicos

La proporción de los diferentes estados de madurez microscópicos (E), según la escala de madurez microscópica, mostró la presencia de hembras en todos los estados de madurez, en ambas especies. El estado en desove (E7) no se cuantificó para ambas especies y sólo en un ejemplar de sardina común se observó una hembra en estado virginal (E1) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

En relación con los días de captura de sardina común se observó una mayor frecuencia de estados ováricos post desovante de tanda (E8) y desovado (E9), durante todo el periodo de tiempo que abarcó el muestreo (**Figura 46**). El estado post desovante de tanda (E8) varió su frecuencia entre 3,7% y 100%, y mostró una tendencia a disminuir desde septiembre a la primera semana de octubre (rango de 63% a 13%), luego a finales de octubre aumentó ligeramente (E8 = 47%) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**6a**). En forma paralela el estado desovado (E9) incrementó su frecuencia (rango de 7% a 54%), indicando que ocurrió un desove importante en las semanas previas al inicio de



los muestreos. Los estados ováricos vitelado (E4) y en maduración (E5) se observaron durante todo el periodo de análisis, con excepción de dos días en octubre (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**46a**). El estado vitelado (E4) presentó frecuencias entre 2% y 36% y el estado en maduración presentó frecuencias entre 12% y 50% indicando que las hembras estuvieron en proceso de maduración ovárica. Los ovarios en estado hidratado (E6) se observaron en septiembre y a finales de octubre lo que podría explicar el aumento en las frecuencias de ejemplares desovados, aun cuando no se registraron hembras de sardina común del estado en desove (E7) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**a**). Los estados: virginal (E1), inmaduro reincidente (E2) y parcialmente vitelado (E3) se observaron en frecuencias <7% y sólo durante algunos días de captura (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**46a**)

El análisis por día de captura de anchoveta mostró una tendencia que indicó que los ejemplares estuvieron en proceso activo de maduración gonádica (estados E4, E5 y E6), así como en recuperación debido al aumento de la captura de ejemplares de anchoveta en estado inmaduro reincidente (E2) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**46b**). Se observó una tendencia al aumento de las frecuencias de los estados post desovante de tanda (E8) y desovado (9) posterior al registro de hembras en estado hidratado (E6). Hembras hidratadas de anchoveta se observaron con una frecuencia de 62% en septiembre, 50% en octubre y con un 45% en noviembre (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**46b**). Lo anterior evidenció en la anchoveta, un extenso periodo de maduración gonádica. El aumento de hembras en estado desovado (E9) en noviembre (rango de 7% a 50%) dio cuenta que el periodo de reproducción estuvo próximo a finalizar, aun cuando se observaron hembras hidratadas (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**46b**).

Al analizar los estados de madurez microscópicos por sector de captura, se observó que para ambas especies en el sector centro norte se capturaron hembras en estado hidratado (E6), aun cuando fueron más frecuentes en las hembras de anchoveta (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**46b**). En las sardinas comunes capturadas en el sector centro sur, durante octubre se presentó un aumento en las frecuencias de un 18% a 55% de hembras en estado desovado (E9), a diferencia de lo observado en las hembras del sector centro norte (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**a**). En las hembras de anchovetas capturadas en los sectores centro norte y centro sur mostraron los mismos estados de desarrollo ovárico, variando sólo las frecuencias (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**46b**).

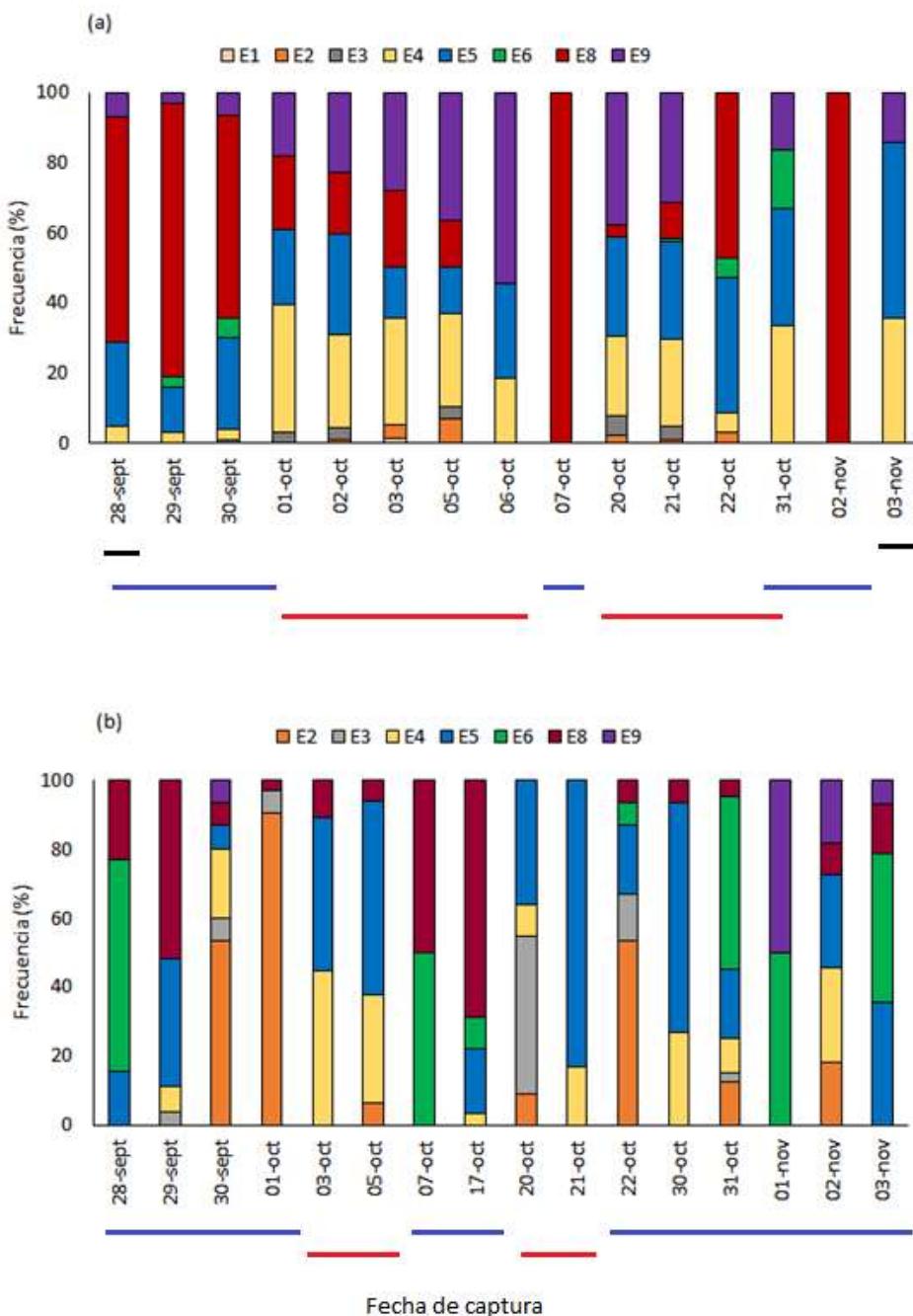


Figura 46. Proporción de los estados de madurez sexual microscópicos por sector de captura y día de muestreos obtenidos en el crucero de: a) sardina común y b) anchoveta. En línea negra: sector Norte, línea azul: sector centro norte y línea roja: sector centro sur.

En relación con los folículos postovulatorios (FPO), asociados a hembras de sardina y anchovetas en estado post desovante de tanda (E8) y desovado (E9), se observó un predominio de folículos postovulatorios de edad 2 durante todo el periodo de muestreo ([¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.47](#)).

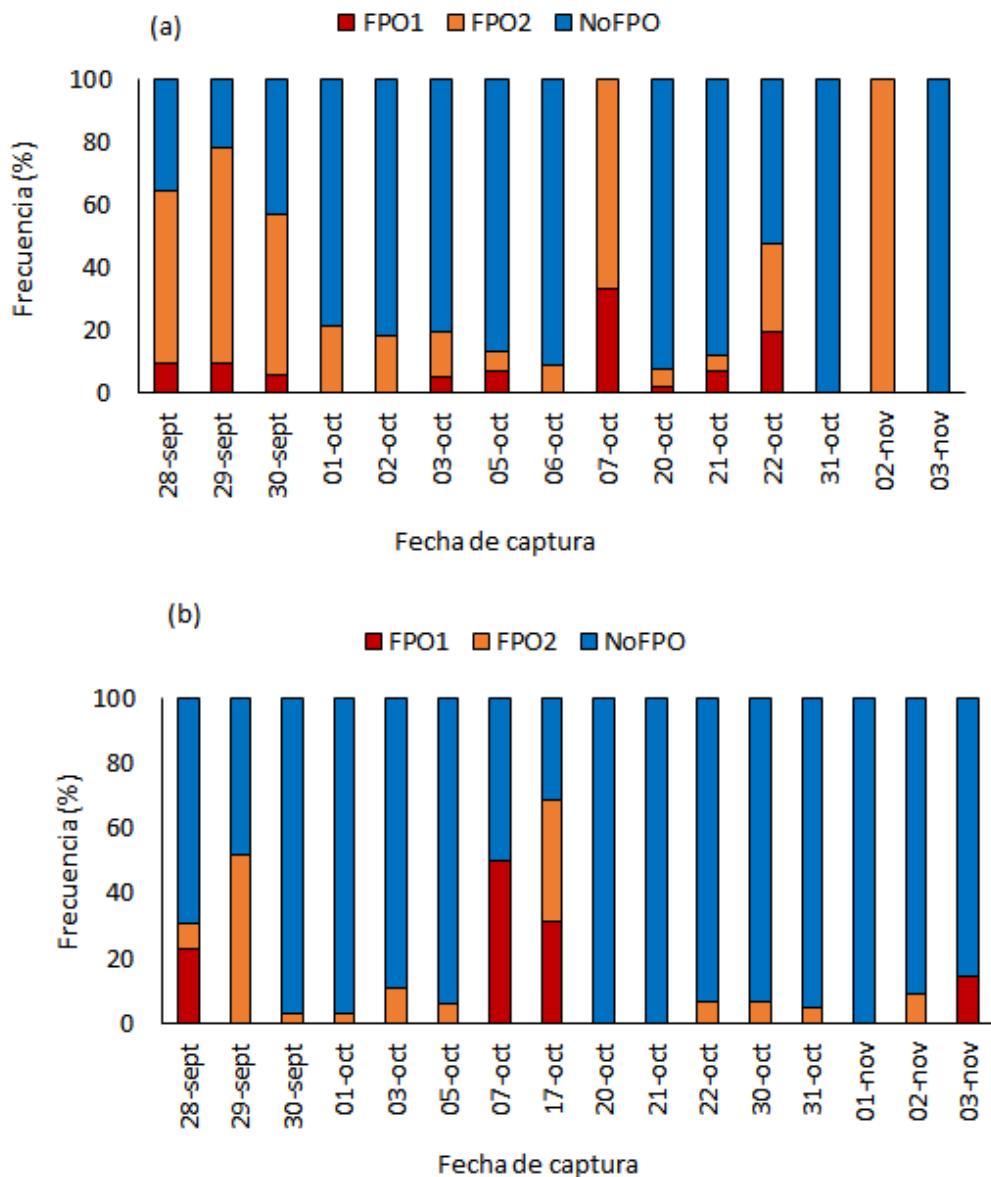


Figura 47. Proporción de folículos post ovulatorios (FPO) en: a) sardina común, y b) anchoveta según día de captura.

También se observó una mayor prevalencia de atresia en sardina común que en anchovetas, reflejo principalmente de la mayor frecuencia de hembras en estado desovado (E9) ([Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#)⁸).

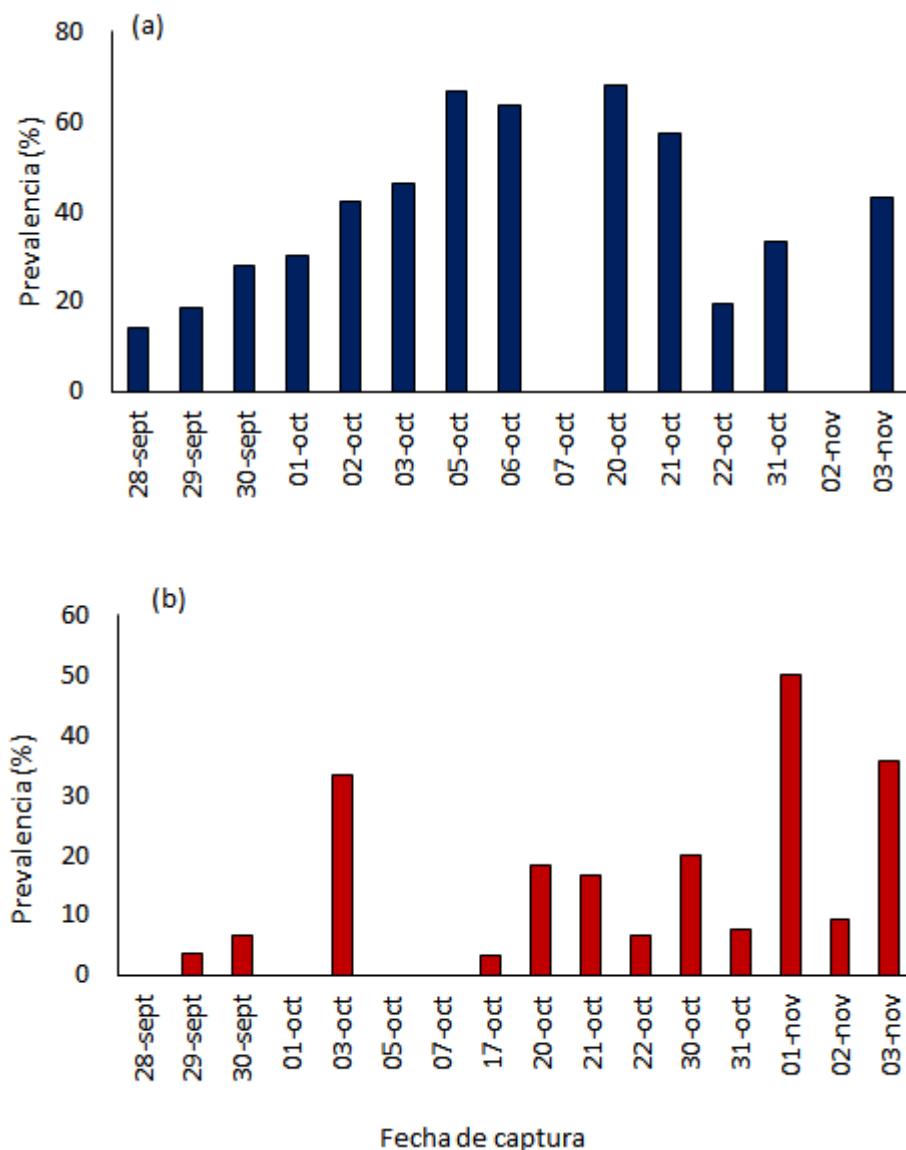


Figura 48. Proporción de las atresias por día de captura para: a) sardina común, y b) anchoveta

3.6 Distribución de folículos post ovulatorios y fracción diaria de hembras desovantes

El grupo de ejemplares maduros que desovará parcialmente dentro de las próximas 24 horas, consiste de los estadios de núcleo migrante (EMM5), hidratado (EMM6) y en desove (EMM7). Se recuerda que el estadio EMM7 no fue registrado en los muestreos realizados durante toda la campaña de pesca de



adultos, pero si se encontró presencia de los estados EMM5 y EMM6 en los 2 sectores principales de desove según se reporta para la sardina común (Tabla 18) y para la anchoveta (Tabla 19).

Tabla 18. Frecuencia de estados de madurez microscópicos y de FPO según edad, para la estimación de frecuencia de desove por lance en sardina (EMM1 = estado de madurez microscópico; FPO 0, 1, 2 = folículos post ovulatorios de día 0, 1, 2; F. DES 1, 2, 1+2 = fracción desovante FPO 1, 2, 1+2).

Fecha	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	FPO0	FPO1	FPO2
28-sept				2	10			27	3	4	23	
29-sept				1	4	1		25	1	3	22	
30-sept		1	3	28	6			62	7	6	55	
01-oct		1	12	7				7	6		7	
02-oct	1	4	30	33				20	26		21	
03-oct	1	3	25	12				18	23	4	12	
05-oct	2	1	8	4				4	11	2	2	
06-oct			2	3					6		1	
07-oct				0				6	0	2	4	
20-oct	1	3	12	15				2	20	1	3	
21-oct	1	6	39	43	1			16	49	11	7	
22-oct	1		2	14	2			17	0	7	10	
31-oct			2	2	1				1			
02-nov				0				1	0		1	
03-nov			5	7					2			



Tabla 19. Frecuencia de estados de madurez microscópicos y de FPO según edad, para la estimación de frecuencia de desove por lance en anchoveta (EMMI = estado de madurez microscópico; FPO 0, 1, 2 = folículos post ovulatorios de día 0, 1, 2; F. DES 1, 2, 1+2 = fracción desovante FPO 1, 2, 1+2).

Fecha	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	FPO0	FPO1	FPO2
28-sept					2	8		3		3	1	
29-sept			1	2	10			14			14	
30-sept	16	2	6	2				2	2		1	
01-oct	28	2		0				1			1	
03-oct			4	4				1			1	
05-oct	1		5	9				1			1	
07-oct					0	1		1			1	
17-oct				1	6	3		22		10	12	
20-oct	1	5	1	4								
21-oct			1	5								
22-oct	8	2		3	1			1			1	
30-oct			4	10				1			1	
31-oct	5	1	4	8	20			2			2	
01-nov				0	2			2				
02-nov	2		3	3				1	2		1	
03-nov				5	6			2	1		2	

**Tabla 20.** Estimados de la fracción diaria de hembras desovantes para sardina común por sector (centro y sur) y para el área total.

Sector	FPOs	Estimado	Varianza	CV
Centro	FPO 1	0,090	0,00006	0,086
	FPO 2	0,471	0,00365	0,128
	FPO 1+2	0,281	0,00142	0,134
Sur	FPO 1	0,038	0,00016	0,333
	FPO 2	0,111	0,00075	0,247
	FPO 1+2	0,074	0,00082	0,387
Área Total	FPO 1	0,055	0,00078	0,508
	FPO 2	0,233	0,00155	0,169
	FPO 1+2	0,144	0,00086	0,204

Tabla 21. Estimados de la fracción diaria de hembras desovantes para anchoveta por sector (centro y sur) y para el área total.

Sector	FPOs	Estimado	Varianza	CV
Centro	FPO 1	0,068	0,00078	0,410
	FPO 2	0,154	0,00098	0,203
	FPO 1+2	0,107	0,00012	0,102
Sur	FPO 1	-	-	-
	FPO 2	0,048	0,00022	0,309
	FPO 1+2	0,024	0,00013	0,475
Área Total	FPO 1	0,058	0,00035	0,323
	FPO 2	0,130	0,00096	0,238
	FPO 1+2	0,094	0,00029	0,181

3.7. Fecundidad parcial en el periodo de desove

Se analizó un total de 8 ejemplares de sardina común y 28 anchovetas en condición ovárica hidratada (E6) para las estimaciones de fecundidad. La estimación de la fecundidad parcial promedio de las hembras hidratadas de sardina común se estimó en 13.421 ovocitos y fluctuó entre 9.324 y 20.922 ovocitos (**Tabla 22**). En tanto, la estimación de la fecundidad parcial promedio de las hembras hidratadas de anchoveta se estimó en 14.495 ovocitos y fluctuó entre 6.223 y 22.130 ovocitos. En ambas especies se obtuvieron relaciones significativas entre la fecundidad parcial y la longitud total, el peso total y el peso eviscerado (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Tabla 22. Estimaciones de Fecundidad media poblacional por sector (centro y sur) y para el área total de sardina común y de anchoveta (MPDH, 2020).

Espezie	Sector	Estimado	Varianza	CV
Sardina común	Centro	13.421	452.678	0,050
	Sur	-	-	-
	Total	13.421	452.678	0,050
Anchoveta	Centro	14.495	386.045	0,040
	Sur	-	-	-
	Total	14.495	385.045	0,040

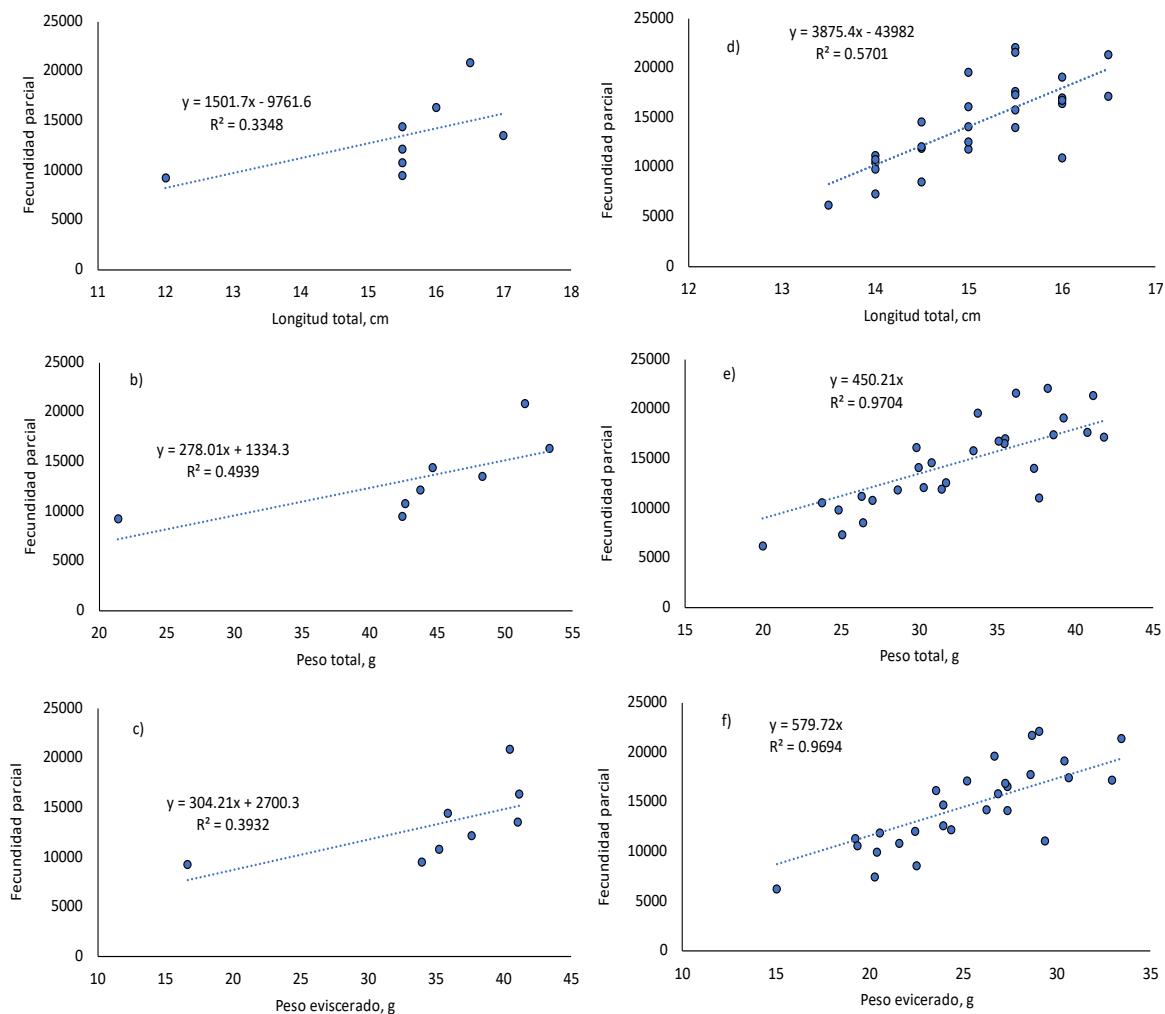


Figura 49. Relaciones entre la fecundidad parcial y la longitud total, peso total y peso eviscerado para la sardina común (a, c y e) y anchoveta (b,d,f).



3.8. Peso promedio y proporción de hembras

Debido a que las hembras hidratadas habitualmente están sujetas a una alta retención de agua en sus ovarios, lo que incide de forma importante en el peso total del cuerpo de hembras en este estado, es que se utilizaron los pesos eviscerados en la estimación del peso medio y la corrección asociada al efecto del fijador. La Tabla 23 resume los parámetros peso medio provenientes de las hembras analizadas en laboratorio y preparados para su análisis reproductivo, así como la proporción de hembras de la fracción madura desde cada lance de pesca efectuado.

Tabla 23. Estimaciones de peso promedio (g) y proporción de hembras maduras por sector (centro y sur) así como área total para sardina común y para anchoveta. MPDH, 2020.

Especie	Parámetro	Sector	Estimado	Varianza	CV
Sardina común	Peso promedio (W)	Centro	28,09	1,143	0,038
		Sur	27,39	1,020	0,037
		Total	27,61	1,104	0,038
Anchoveta	Peso promedio (W)	Centro	15,26	0,810	0,059
		Sur	13,49	0,782	0,066
		Total	14,76	0,799	0,061
Sardina común	Proporción de hembras (R)	Centro	0,504	0,0014	0,074
		Sur	0,456	0,0062	0,173
		Total	0,469	0,0046	0,145
Anchoveta	Proporción de hembras (R)	Centro	0,386	0,0054	0,190
		Sur	0,458	0,0072	0,185
		Total	0,392	0,0059	0,196

La proporción de hembras fue determinada desde la submuestra aleatoria de alrededor de 200 ejemplares de cada especie obtenidos en cada lance de pesca.

3.9. Biomasa desovante

En la Tabla 24 se resumen los valores obtenidos para los parámetros relevantes en la estimación de la biomasa desovante de ambas especies. Con la finalidad de hacer comparable los estimados de biomasa desovante con cruceros anteriores, se mantuvo la estimación en los sectores centro y sur, en ambas especies. Cabe señalar que en el crucero 2020 se observó un foco adicional en el extremo norte del área estudiada que representa una fracción adicional a la fracción desovante para ambas especies.

La biomasa total de anchoveta y sardina común en toda el área de desove es considerada como la suma de las biomassas obtenidas por los estratos geográficos centro y sur. La biomasa desovante total de anchoveta correspondió a 643.089 ton y la biomasa desovante total de sardina común correspondió a 445.601 ton.



Los resultados actuales fueron de los más altos registrados desde el 2002, revirtiendo lo observado posterior a los máximos históricos de la serie (2002-2020), durante el 2010 en la sardina común con 580.000 ton y en el 2005 para la anchoveta con 721.000 ton, periodo en que ambos recursos estuvieron entre 17.000 y 208.000 ton en el caso de la anchoveta y entre 84 y 211.000 ton en sardina común (**Figura 50**).

Tabla 24. Parámetros del Método de Producción de Huevos y estimación de la biomasa de los stocks desovantes de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur (crucero MPDH, 2020). Entre paréntesis se presenta el coeficiente de variación de los estimados

Parámetros	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Fracción desovante S	0,107 (0,410)	0,024 (0,309)	0,281 (0,086)	0,074 (0,333)
Fecundidad media F	14.495 (0,040)	-	13.421 (0,050)	-
Peso promedio W (g)	15,26 (0,059)	13,49 (0,066)	28,09 (0,038)	27,39 (0,037)
Proporción de hembras R	0,386 (0,190)	0,458 (0,185)	0,504 (0,074)	0,456 (0,173)
Área de estudio (A) [km ²]	14.527	18.140	14.527	18.140
Área de desove (A1) [km ²]	8.394	6.011	5.539	4.757
P ₀ (huevos/0,05 m ² /día)	17,39 (0,274)	59,36 (0,410)	5,26 (0,395)	80,84 (0,581)
Z (día ⁻¹)	-0,56 (0,186)	-0,71 (0,236)	-0,44 (0,368)	-1,05 (0,263)
P ₀ (huevos/m ² /día)	332,40 (0,247)	1.123,85 (0,410)	102,22 (0,395)	1.519,74 (0,581)
Biomasa desovante por sectores B (ton)	71.121 (0,240)	571.968 (0,275)	8.368 (0,234)	437.233 (0,326)
Biomasa desovante total B (ton)	643.089 (0,261)		445.601 (0,280)	

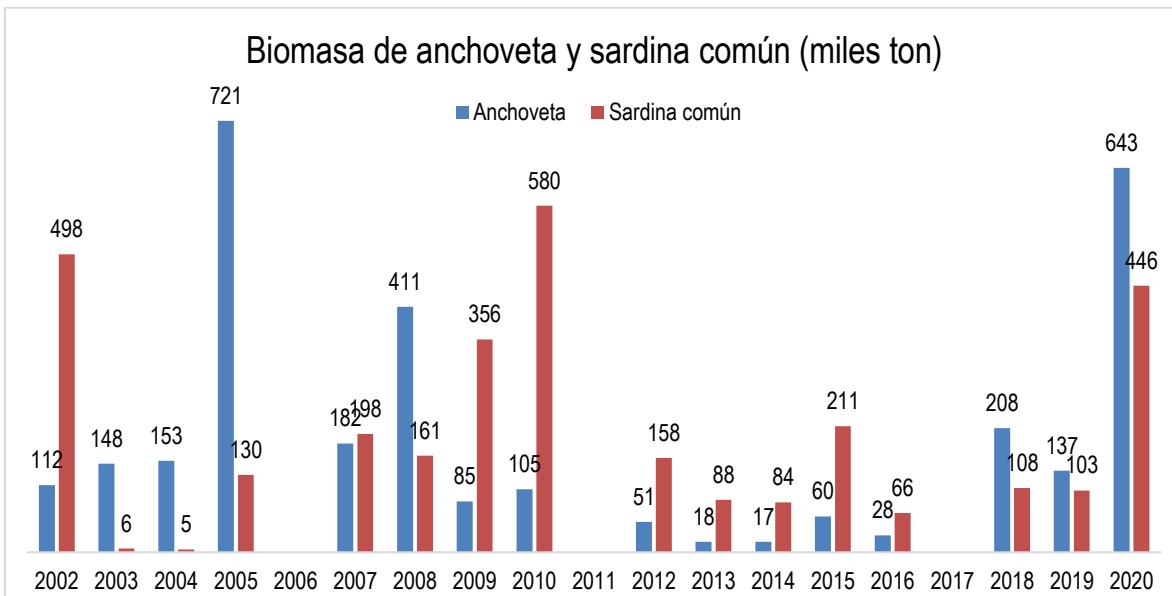


Figura 50. Biomasa desovante total (miles de toneladas) de anchoveta y sardina común, proveniente de los cruceros MPDH 2002-2020.

4. Estudio acústico de pelágicos pequeños

4.1. Caracterización acústica de agregaciones de pequeños pelágicos

Se observó una notoria migración vertical en la distribución de las agregaciones de pequeños pelágicos durante las 24 horas (**Figura 51**), en la cual, durante las horas de oscuridad (entre las 20:00 y las 07:00 h) los peces se ubicaron preferentemente cerca de la superficie, dentro de los primeros 20 m de profundidad, migraron hacia aguas más profundas durante el día y se mantuvieron en un rango de profundidades entre 15 y 60 m.

En la **Figura 52** se presenta un gráfico que compara la profundidad media de las agregaciones de estos pequeños pelágicos entre finales del mes de septiembre y principios del mes de octubre. Durante el mes de septiembre las agregaciones de pequeños pelágicos se distribuyeron cerca de la superficie, preferentemente dentro de los primeros 20 m de profundidad, mientras que en octubre los peces se ubicaron a una profundidad mayor dentro de la columna de agua, concentrando la mayor cantidad de detecciones entre 15 y 45 m, con una media situada en los 30 m de profundidad.

Al contrastar la profundidad media de las agregaciones de estos pequeños pelágicos respecto a la distribución latitudinal donde se detectaron (**Figura 53**), se puede apreciar un patrón creciente en cuanto a la profundidad máxima de las agregaciones a medida que aumenta la latitud.

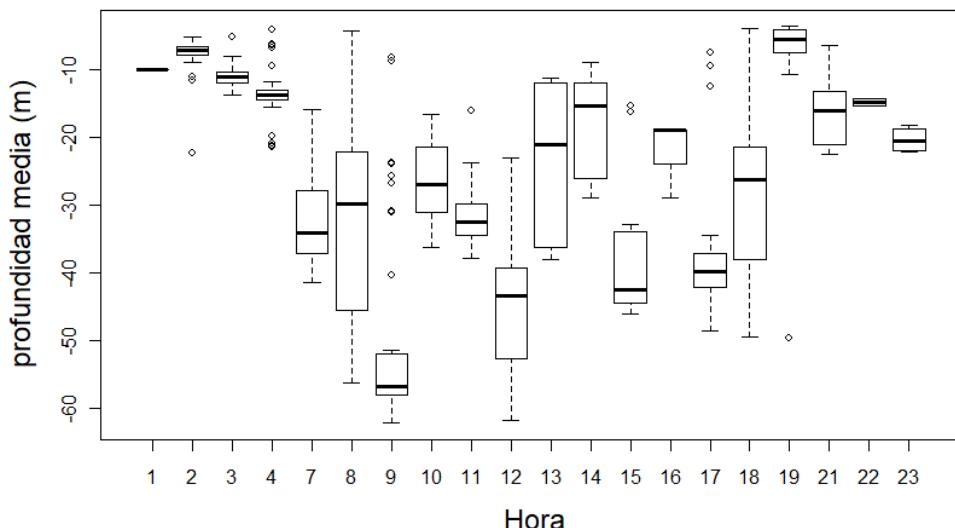


Figura 51. Distribución batimétrica (profundidad media en metros), por hora de las agregaciones de anchoveta y sardina común

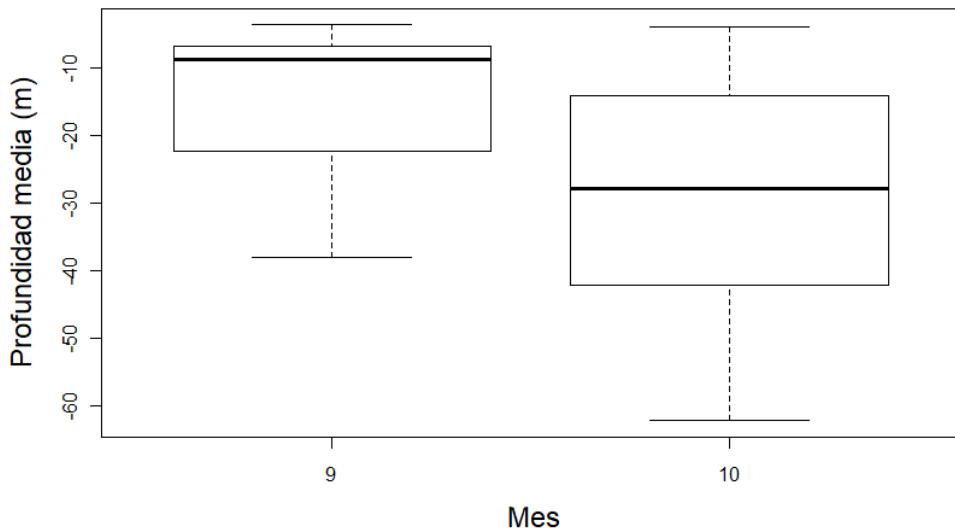


Figura 52. Distribución batimétrica (profundidad media en metros), de las agregaciones de anchoveta y sardina común en los meses de septiembre (9) y octubre (10).

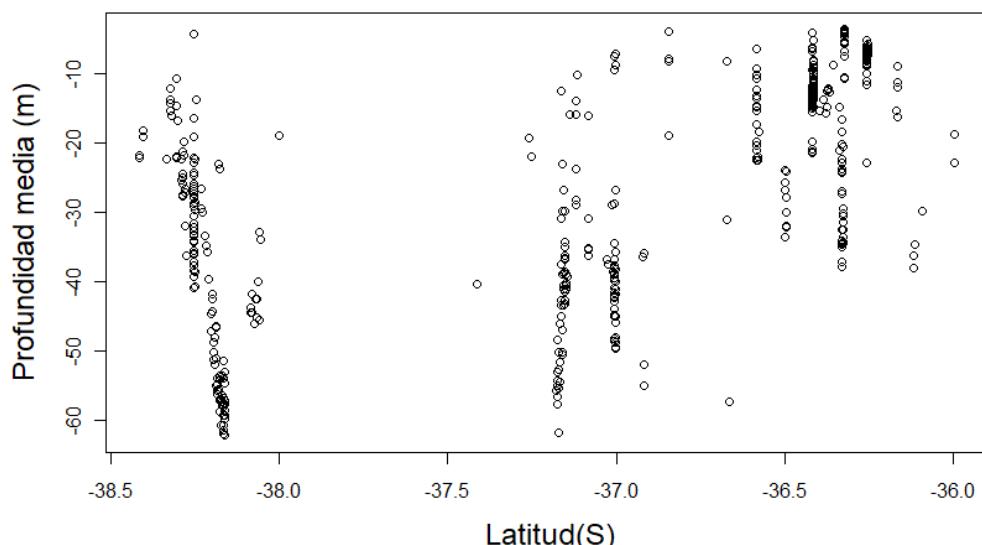


Figura 53. Distribución batimétrica (profundidad media en metros), por latitud de las agregaciones de anchoveta y sardina común.

Las mayores concentraciones de estos pequeños pelágicos y de zooplancton, durante el periodo de estudio se detectaron principalmente en la zona comprendida entre los 36,10°S y 37,20°S, cuyo principal foco de densidad se encontró en la zona del golfo de Arauco con valores de NASC cercanos a los 20.000 m²/mn². Además, se observaron focos de menor densidad ubicados al norte de Tomé, frente a Talcahuano, al oeste de Arauco (punta Lavapié) y al norte de la isla Mocha, con valores de NASC <10.000 m²/mn² (**Figura 54**).

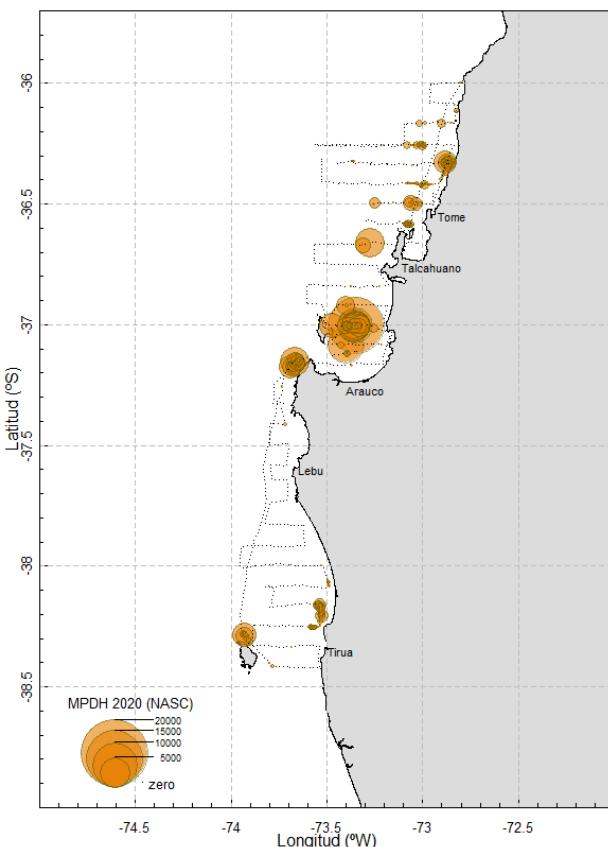


Figura 54. Distribución espacial de las agregaciones de los pequeños pelágicos de anchoveta y sardina común y su densidad acústica. La línea punteada representa el track de navegación de la embarcación.

Se observó que la sardina se distribuyó ampliamente en el área de estudio, principalmente en los sectores extremos, desde 36,5°S al norte y desde 38°S al sur (**Figura 55**). En el sector comprendido entre 36,6°S y 37,5°S se observó una mezcla de las dos especies, principalmente en la zona del golfo de Arauco, entre la isla Santa María y el continente. Respecto a la densidad acústica, se observó mayor presencia de sardina común, con valores cercanos 10.000 m²/mn², mientras que para la anchoveta se observaron densidades <8.000 m²/mn².

Los resultados asociados a la distribución espacial de las agregaciones de estos pequeños pelágicos y su asociación con variables oceanográficas, se encuentran aún en procesamiento, por lo que sus resultados se presentarán en el Informe Final.

Relación directa entre la distribución espacial de sardina común y anchoveta respecto a la distribución espacial de los enjambres de zooplancton no se observó (**Figura 55**), esto quiere decir que las zonas donde se encontraron las mayores densidades de zooplancton no concuerdan con los lugares donde se ubicaron las mayores densidades de anchoveta y sardina común.

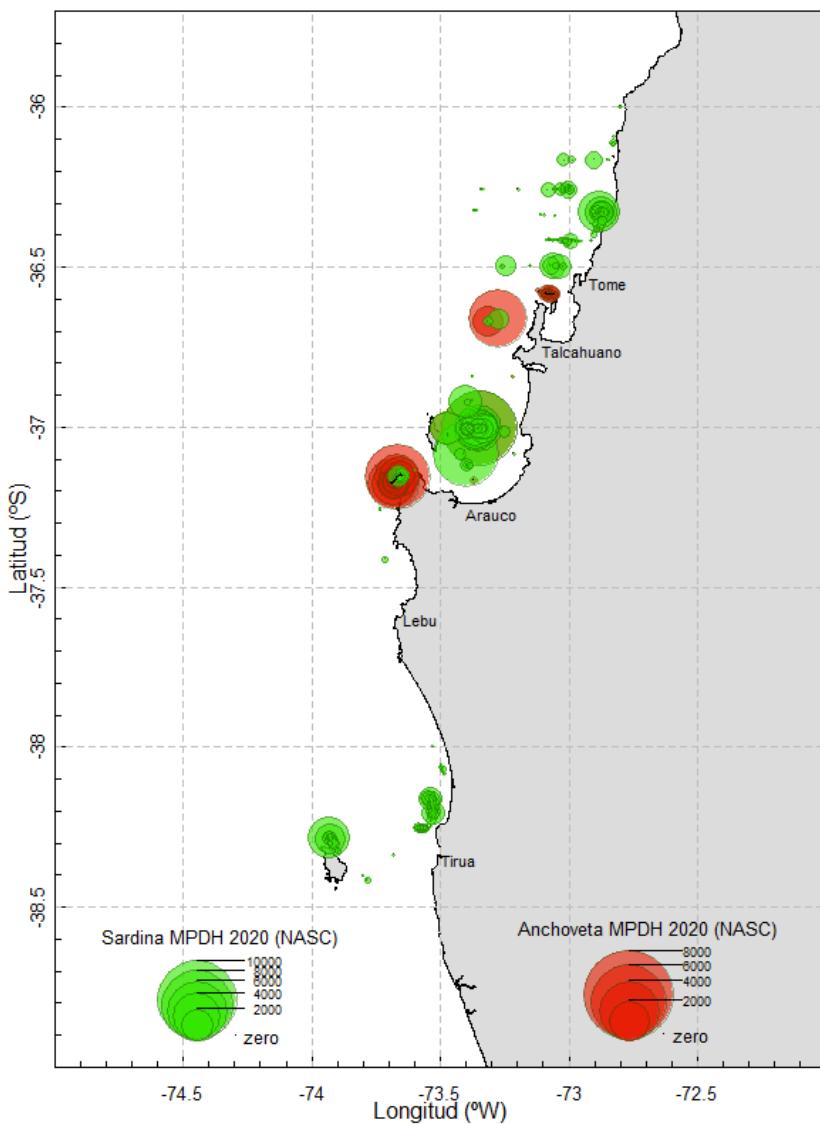


Figura 55. Distribución espacial de las agregaciones de anchoveta (círculos rojos) y sardina común (círculos verdes) y su densidad acústica (m^2/mn^2).

Las mayores densidades de zooplancton se encontraron en la costa, principalmente en el sector norte, entre 36°S y 36,2°S, con densidades cercanas a 1.500 m^2/mn^2 , además se observó un segundo foco entre 37,1°S y 37,9°S con densidades entre 500 y 1.000 m^2/mn^2 (Figura 56).

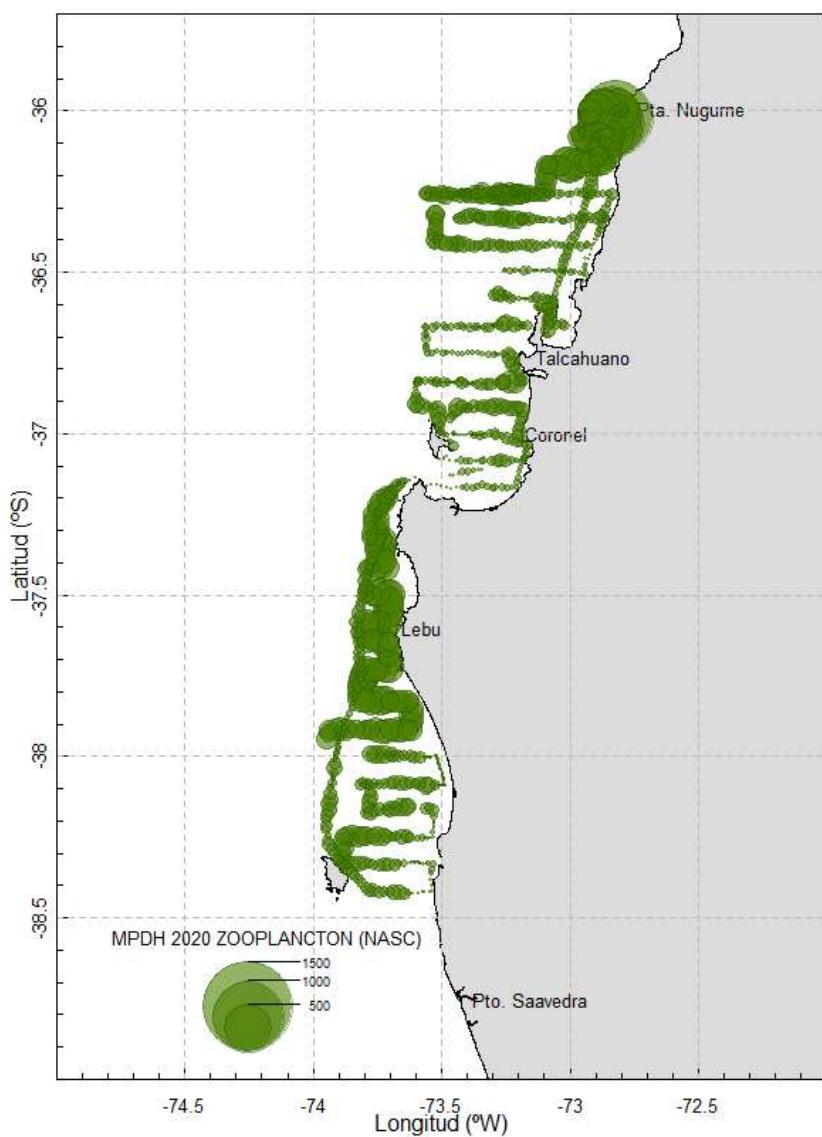


Figura 56. Distribución espacial de enjambres de zooplancton y su densidad acústica (m^2/mn^2).



VIII. DISCUSIONES

El crucero de evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común se efectuó principalmente dentro de los meses de septiembre y octubre de 2020, cuando se concentró la mayor parte de las actividades de colecta de huevos de ambas especies, así como la colecta de adultos en el sector medio dentro de las semanas 40 y 42, esto es entre el 28 de septiembre y el 16 de octubre de 2020. Conjuntamente con la colecta de huevos, se tomó registro de las variables oceanográficas, biológicas y acústica de las agregaciones de ambas especies.

La fecha de inicio de los cruceros de huevos y adultos fue más tarde que en años anteriores de este estudio, no obstante, el crucero se desarrolló concentrando sus actividades en un período de tiempo dentro de la temporalidad histórica de ejecución de este estudio, y se destacó que acorde al monitoreo reproductivo, representado especialmente por los valores de IGS promedio $>4,5\%$ y a la alta proporción de estados de madurez macroscópicos 3+ ($>80\%$), el estudio se desarrolló dentro del período de máxima actividad reproductiva. La única actividad que se prolongó más allá del término del crucero ictioplanctónico, hasta el 3 de noviembre de 2020, fue la pesca de adultos en el sector norte, debido a condiciones climáticas adversas impidieron la operación de la nave con base en el puerto de San Antonio.

Como lo destacó la información satelital y los registros meteorológicos obtenidos, el área de estudio estuvo sujeta a un fuerte predominio anticiclónico, con una marcada influencia de los vientos del Sur-Suroeste. Estas condiciones fueron la principal limitante operacional que hizo que las naves tuvieran que interrumpir parcialmente su operación ante lo cual por razones de seguridad se debió desestimar la realización de algunas estaciones oceanográficas previamente programadas.

A partir de las imágenes de clorofila, se observó la presencia de una banda muy costera con concentraciones que alcanzaron los 10 mg m^{-3} , además se verificó una extensión de la producción biológica costera hacia el sector oceánico de concentraciones de clorofila-a 1 mg m^{-3} hasta 76°W , constituyendo parte de la Zona de Transición Costera (Hormazábal *et al.*, 2004).

Si bien el patrón de vientos e intensificación de las surgencias a lo largo de toda el área de estudio, representan una condición típica del período primaveral para el área costera de la zona centro sur de Chile, la NOAA (2020) declaró una condición regional La Niña en agosto 2020, que localmente favoreció que el frente subtropical estuviera más alejado de las áreas costeras y predominaran las temperaturas superficiales frías a lo largo de la costa. La surgencia costera estacional, fortificada por la condición regional del Pacífico ecuatorial de La Niña en desarrollo, habrían sido favorables para ambos recursos, observado en la distribución espacial de estaciones positivas de huevos de anchoveta y sardina común que se detectaron en el sector norte, el cual históricamente se ha considerado de carácter exploratorio por el bajo número de estaciones con huevos (Grendi *et al.*, 2020).

Los boletines Bioceanográficos de IFOP N°1 y N°2 (2020) señalaron en septiembre 2020 que la distribución y cobertura de las anomalías de temperatura en la zona centro sur de Chile mostraron una



condición neutra, sin embargo, más fría que el mes anterior, con valores de ATSM promedio costeras (primeras 20 mn) que decayeron respecto al mes anterior, llegando a alcanzar valores cercanos a cero (-0,04°C). Mientras que en octubre 2020 la distribución y cobertura de las anomalías de temperatura mostraron una condición fría a lo largo de la costa, con anomalías negativas que se intensificaron (-0,6°C).

De las 454 estaciones ictioplanctónicas muestreadas con red Calvet, 161 fueron estaciones positivas para huevos de anchoveta (35,5%) y 111 estaciones fueron positivas para huevos de sardina común (24,5%). La mayor parte de las mayores densidades estuvieron asociadas a zonas de desove recurrentes, y a estaciones costeras cercanas a la primera milla náutica, ya que se presentaron pocas estaciones positivas hacia las zonas de mayores profundidades, aquellas más alejadas de la costa. En relación al número de estaciones de huevo muestreadas, el área total de evaluación del crucero MPDH 2020 correspondió a 32.668 km², superando el área evaluada en cruceros anteriores 2010-2019, entre 23.744 y 28.261 km² (Cubillos *et al.*, 2011, 2013, 2015, 2017; Bonicelli *et al.*, 2019; Grendi *et al.*, 2020)

En el caso de las larvas de ambas especies, destacó la amplia cobertura espacial desde la región de Valparaíso hasta la región de Los Lagos. En este caso se observó una alta positividad en el sector norte, lo que puede ser consistente con las condiciones de desplazamiento de las masas de agua y transporte larval de sur a norte, especialmente si el predominio de viento sur fue favorecido por las condiciones regionales La Niña durante la primavera 2020.

La estructura de tallas de la sardina común mostró la presencia de juveniles (<8,5 cm LT) tanto en el sector norte como en el sector centro. En el sector norte, se observaron los individuos más pequeños (entre 5 y 7 cm LT) y la moda de la fracción adulta estuvo en torno a 12 cm LT, talla cercana al 50% de madurez sexual en esta especie. Mientras que en los sectores centro y sur, se observaron tallas mayores con modas de 15 y 14,5 cm LT, respectivamente. Importante destacar la presencia de la moda en torno a 8,5 cm LT en el sector centro, ya que correspondería a individuos del año que inician su primera madurez y contribuirían al stock desovante de la sardina común. En el caso de la anchoveta, se destacó un mayor aporte de peces de inicio de la madurez sexual (8 a 10 cm LT) en el sector norte complementado con un amplio rango de tallas de fracciones adultas superiores a 10 cm y hasta de 19 cm LT.

La mayor participación de la sardina común en los muestreos de adultos se verificó en los sectores centro y sur, con una baja representación en las muestras del sector norte. En el caso de la anchoveta, de forma inversa, mostró una mayor proporción y representación en las muestras del sector norte, reduciéndose su proporción hacia el sur. Este patrón sería representativo de la distribución espacial que se espera para ambos recursos en la macrozona centro sur.

La información acústica obtenida durante el crucero, permitió la caracterización de las agregaciones reproductivas de ambas especies, donde se destacó que en horas de día las agregaciones se encontraron predominantemente entre 20 y 60 m de profundidad entre las 07 h hasta las 18 h (día) para luego ascender hacia profundidades más someras entre 5 m y ~20 m de profundidad entre las



19 h y las 06h (noche), condición característica del inicio de la actividad reproductiva y comportamiento de agregaciones desovantes de ambos recursos. Espacialmente, los principales focos de abundancia de ambos recursos se observaron frente al puerto de San Vicente y Tumbes, golfo de Arauco y punta Lavapié. Luego, la zona entre punta Lavapié hasta el sur de Lebu, mostró bajas densidades o ausencia de agregaciones de ambas especies. Este patrón de distribución es característico para ambas especies respecto de lo observado en estudios previos, particularmente la baja abundancia detectada entre punta Lavapié y Lebu, ya que se considera que esta zona es habitualmente menos productiva y de rápido desplazamiento para estas especies.

De acuerdo con los estados de madurez macroscópicos las hembras de ambas especies presentaron una mayor frecuencia del estado ovárico maduro. El proyecto FIP 2012-09 (Cubillos *et al.*, 2013) consideró que los estados microscópicos en maduración (E5), hidratado (E6) y en desove (E7) pertenecen al grupo de desove que desovara dentro de las próximas 24 h. Por tanto, durante el crucero MPDH 2020 se evidenció que ambas especies estuvieron en una condición reproductiva activa.

La sardina común se caracteriza por presentar una actividad reproductiva de julio a octubre, con un máximo entre agosto y septiembre (Cubillos *et al.*, 2001; Claramunt *et al.*, 2014). De acuerdo con los resultados obtenidos, la sardina común mostró durante el año 2020 un periodo más extenso de actividad reproductiva, que abarcó de octubre a noviembre debido a la presencia de hembras hidratadas y a un aumento en los porcentajes de hembras en maduración, lo que estaría reflejando la variabilidad interanual en la estación de desove para esta especie. Lo anterior se reforzó con la alta incidencia de hembras con estado post desovante de tanda (E8), que presentaron folículos post ovulatorios de edad 2, dando cuenta que pronto pudieron ingresar a un nuevo desove.

Lo anterior también se evidenció en la anchoveta, ya que en el sector centro norte y durante la primera semana de noviembre se cuantificó la presencia de hembras con ovarios hidratados, lo que indicó que estaban en un proceso de desove y lo que se refuerza por haber observado hembras con estados post desovante en tanda con una mayor frecuencia de folículos post ovulatorios de edad 1. Esto concuerda con lo señalado por Hernández-Santoro *et al.* (2013) y Leal *et al.* (2009) quienes han indicado que la anchoveta tendría un extenso periodo de actividad reproductiva, a partir de julio y que se extendería hasta diciembre. En la anchoveta, se ha indicado que adaptaría sus tácticas reproductivas para producir huevos de tamaño y en cantidades que favorezcan la supervivencia de sus descendientes a las condiciones ambientales en las que se desarrollan (Leal *et al.*, 2009; Cubillos *et al.*, 2007), por lo que la variación observada en la extensión del periodo de desove puede que sea una respuesta de las hembras, y que operaría de igual manera para huevos y larvas.

Los valores promedio de fecundidad parcial en ambos recursos estuvieron dentro de los valores máximos estimados en la zona centro sur. En la sardina común correspondió al máximo de la serie 2002-2020, después de un máximo secundario de 11.581 registrado en el 2014 (Cubillos *et al.*, 2015). En tanto, la fecundidad parcial promedio en la anchoveta estuvo dentro de los valores máximos históricos, entre 12.853 (2010) y 15.692 (2016) (Cubillos *et al.*, 2011; 2017).



La fecundidad parcial puede cambiar de acuerdo con la composición de la edad y/o condición nutricional del pez desovante del stock (Kurita *et al.*, 2003). Hembras de mayor edad y tamaño tenderían a producir mayor número de huevos que hembras más jóvenes y de menor tamaño (Cubillos *et al.*, 2011). En ambas especies se ha indicado que la fecundidad incrementa significativamente con la longitud y el peso de las hembras (Cubillos *et al.*, 2007, Leal *et al.*, 2009, Cubillos *et al.*, 2011, Cubillos *et al.*, 2013), como lo observado durante el crucero en la sardina común con un valor máximo en peso total de 27,6 g, en la serie 2002-2020.

Las condiciones ambientales habrían sido favorables para el desove en ambas especies, dado el elevado número de biomasa total, dentro de los máximos históricos. Comparativamente con el 2019, la biomasa total de sardina común aumentó en casi cinco veces su estimación (137.000 ton v/s 643.000 ton), mientras que lo mismo se observó en la anchoveta, la cual aumentó más de 4 veces su estimación (103.000 ton v/s 446.000 ton) (Grendi *et al.*, 2020).

IX. CONCLUSIONES

El crucero se desarrolló en un período de tiempo ajustado a la temporalidad histórica de ejecución de este estudio, y dentro del período de mayor actividad reproductiva, para ambas especies. En la sardina común el proceso de máxima actividad se habría iniciado semanas antes del inicio de colecta de adultos.

El crucero se desarrolló bajo una condición regional La Niña, que localmente favoreció un fuerte predominio anticiclónico y presentó un patrón de vientos a lo largo de toda el área de estudio típica del período primaveral.

La condición oceanográfica local reflejó el inicio de la condición regional, dado que de septiembre a octubre se intensificó el decamiento de la temperatura en la costa, pasando de condiciones normales en septiembre a frías en octubre.

A nivel subsuperficial (60 a 80 m), predominó la presencia de AEES en su flujo hacia el polo, que se debilitó hacia el extremo sur del área de estudio. En estratos más profundos se evidenció una distribución térmica homogénea sin gradientes zonales ni meridionales de importancia.

El sector nerítico de gran parte de la zona presentó una banda costera con aguas más frías, y un gradiente zonal al norte de 37°S, que se debilitó al sur de 38°S-39°S.



Al norte de 35°30'S predominaron las mayores salinidades superficiales que disminuyeron al sur de 36°S-37°S a un mínimo salino, producto del aporte de aguas continentales de los numerosos ríos locales.

La clorofila-a en esta banda costera presentó altas concentraciones y el campo de corrientes geostróficas intensificó su flujo hacia el norte, ubicándose tres remolinos de mesoscala de giro anticiclónicos entre 74°W-76°W.

El Agua Subantártica se ubicó entre 40-50 m de profundidad, la que se intensificó hacia el sur y el Agua Ecuatorial Subsuperficial en su flujo subsuperficial (>80 m) hacia el polo con menor dominio menor hacia el sur

El área total de evaluación del crucero MPDH 2020 correspondió a 32.668 km².

La mayor densidad de huevos de ambas especies estuvo asociada a zonas de desove recurrentes y a estaciones costeras cercanas a la primera milla náutica.

El porcentaje de estaciones positivas para los huevos de sardina común fue de 24,5% y para la anchoveta de 35,5%, con densidades medias de 46,8 huevos/0,05 m² y 56,1 huevos/0,05 m², respectivamente. De las estaciones positivas, el 49,6% se registró en el sector centro y un 45,1% en el sector sur.

Las larvas de ambas especies mostraron una amplia cobertura espacial desde la región de Valparaíso hasta la región de Los Lagos, con una alta positividad en el sector norte.

El área total del desove de la anchoveta se estimó en 14.405 km² (44,12% del área evaluada) y el de la sardina común de 10.296 km² (31,5% del área evaluada).

En ambas especies, la mayor producción de huevos se obtuvo en el sector sur (anchoveta: 1123,9 huevos/m²/día y sardina común: 1519,7 huevos/m²/día), con diferencias en la tasa de mortalidad diaria, la que fue mayor para la sardina común.

Hubo presencia de juveniles de sardina común (<8,5 cm LT) tanto en el sector norte como en el sector centro, con individuos más pequeños en el norte (entre 5 y 7 cm LT). La moda de la fracción adulta estuvo en torno a 12 cm LT en la zona norte y de 15 y 14,5 cm LT en los sectores centro y sur, respectivamente. En el sector centro, se presentó la moda ~8,5 cm LT. La anchoveta del sector norte tuvo el mayor aporte de peces de inicio de madurez sexual (8 a 10 cm LT), complementado con un amplio rango de tallas de fracciones adultas superiores a 10 cm LT.

En los sectores centro y sur se obtuvieron más adultos de sardina común que en el sector norte. En la anchoveta se obtuvo un mayor número de adultos en el sector norte, los que se redujeron hacia el sur.



La fecundidad parcial promedio de sardina común se estimó en 13.421 ovocitos, mientras que la de anchoveta fue 14.495 ovocitos. Los pesos medios de hembras de sardina común fueron de 27,61 g y para la anchoveta fueron de 14,76 g.

La proporción de hembras fue de 0,469 para la sardina común y de 0,392 para la anchoveta.

La fracción desovante de sardina fue de 0,281 (Centro) y 0,074 (Sur) y en el caso de la anchoveta fue de 0,107 (Centro) y 0,024 (Sur).

En la sardina común fue de 8.368 ton (Centro) y de 437.233 ton (Sur), con un valor total de 445.601 ton (CV: 0,280). En la anchoveta, la biomasa desovante total fue de 643.089 ton (CV: 0,261) y una biomasa por sector de 71.121 ton en el centro y de 571.968 ton en el sur. La biomasa desovante estimada en ambos recursos superó los valores estimados entre 2012 y 2019.

Los principales focos de mayor densidad acústica (abundancia) en ambos recursos se observó frente al puerto de San Vicente y Tumbes, golfo de Arauco y punta Lavapié. En tanto, la zona entre punta Lavapié hasta el sur de Lebu, mostró bajas densidades o ausencia de agregaciones de ambas especies.



X. REFERENCIAS

- Álamo, A., P. Espinoza, P. Zubiarte y E.I. Navarro. 1997. Comportamiento alimentario de la anchoveta peruana, *Engraulis ringens*, durante el invierno de 1996, crucero Bic Humboldt 9609-09. Inf. Instituto mar Perú N° 123:38-46.
- Alheit, J., Alarcón, V.H. y Macewics, B.J. 1984. Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. CALCOFI Reports, 25: 43 - 52.
- Alheit, J. 1985. Egg production method for spawning biomass estimates of anchovies and sardines. ICES CM 1985/H: 41.
- Angulo, J. y G. Pérez. 2018. Anexo 1. Taller metodológico: El método de producción de huevos en Chile. Resultados de la implementación de los criterios acordados a la zona norte (XV, I y II Regiones) y zona centro norte (III y IV Regiones). En: Angulo, J., Pizarro, M., Alarcón, D., Grendi, C. et al. (Ed.). Monitoreo de las condiciones Bioceanográficas y evaluación del stock desovante de anchoveta entre la XV y II Regiones, año 2017 (pp. 264-285). Instituto de Fomento Pesquero, Chile.
- Arcos, D., Cubillos y L., Núñez, S. 2004. Efectos de El Niño 1997-1998 sobre las principales pesquerías pelágicas de la zona centro-sur de Chile. In: EL Niño-La Niña 1997-2000, sus efectos en Chile. S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant y E. Yañez (Eds.). Comité Oceanográfico Nacional (CONA), Valparaíso, Chile.
- Atlas, R., R. N. Hoffman, J. Ardizzone, S. M. Leidner, J. C. Jusem, D. K. Smith & D. Gombos, 2011: A cross-calibrated, multiplatform ocean surface wind velocity product for meteorological and oceanographic applications. Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, 157-174. doi: 10.1175/2010BAMS2946.1
- Balbontín, F., A. Llanos y V. Valenzuela. 1997. Sobreposición trófica e incidencia alimentaria en larvas de peces de Chile central. Revista Chilena de Historia Natural. 70: 381-390.
- Ballón, M, Bertrand A., Lebourges-Dhaussy A., Gutierrez M., Ayón P., Grados D. & Gerlotto, F. 2011. Is there enough zooplankton to feed forage fish population off Peru? An acoustic (positive) answer. Prog. Oceanogr., 91: 360-381.
- Beers, J.R. 1978. About microzooplankton. In: Phytoplankton manual (A. Sournia, Ed.). UNESCO. pp: 288-296.
- Bernal, M., Borchers, D.L., Valdez, L., Lanzós, A.L. & Buckland, S.T. 2001. A new ageing method for eggs of fish species with daily spawning synchronicity. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58: 2330 - 2340.



- Bernal, M., Stratoudakis, Y., Ibaibarriaga, L., Dopolo, M. 2004. Using R to obtain estimates of fish Daily Egg Production (v 0.0.3). Working Document for the ICES SGSBSA, Pasajes (Spain), 11-13 november 2004, 39 pp.
- BMPEC. 1983. Baltic Marine Environment Protection Commision. Guidelines for the Baltic monitoring programme for the second stage. Baltic Sea Environmetn Procceding - Helsinki, 12: 280 p.
- Bonicelli, J., Angulo, J., Saavedra, J.C., Cubillos, L.A., Castro, L., Soto, S., & Claramunt, G., 2019. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2018. Convenio de Desempeño 2018, Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 161 pp.
- Boletín Bioceanográfico N°1, 2020. Condiciones bioceanográficas y evaluación del stock desovante de anchoveta entre las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, año 2020. Convenio de Desempeño 2020, Instituto de Fomento Pesquero
- Boletín Bioceanográfico N°2, 2020. Condiciones bioceanográficas y evaluación del stock desovante de anchoveta entre las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, año 2020. Convenio de Desempeño 2020, Instituto de Fomento Pesquero
- Castillo, J. & M.A. Barbieri. 2001. Alternate dominance in sardine and anchovy biomass in the Chilean central area: competition or ecosystem dependence? Report of a GLOBEC-SPACC/IDYLE/ENVIFISH. Workshop on spatial approach to the dynamics of coastal pelagic resources and the environment in upwelling areas (6-8 September, 2001; Cape Town, South Africa). Pages: 39-41 (Extended Abstract).
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Catasti, V. 2001. Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2000. Informe Final FIP– IT/2000-09, 151 p.
- Castillo, J. A. Saavedra, C. Hernández, V. Catasti, F. Leiva, J. Letelier, H. Reyes, M. Pizarro, B. Leiva, F. Cerna, A. López, L. Herrera, G. Claramunt, A. Mujica y E. Uribe. 2009. Evaluación hidroacústica reclutamiento anchoveta entre la XV y IV Regiones, año 2009. Informe Final. FIP 2008-02. 285 pp + Figuras, Tablas y Anexos.
- Castillo, J., A. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, F. Espíndola, C. Lang, V. Catasti, M. San Martín, B. Leiva, F. Cerna, A. López, S. Nuñez y L. Valenzuela. 2010. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre V y X Regiones. Año 2010. Informe Final. FIP 2009-04. 308 pp
- Castillo-Jordán, C., Cubillos & L.A., Paramo, J. 2007. The spawning spatial structure of two co-occurring small pelagic fish off central southern Chile in 2005. Aquatic Living Resources 20: 77-84.



- Castillo-Jordán, C, Cubillos & LA, Navarro. 2010. Inter-cohort growth rate changes of common sardine (*Strangomera bentincki*) and their relationship with environmental conditions off central southern Chile. *Fisheries Research*, 105: 228-236.
- Castro, L., Quiñones, R., Arancibia, H., Figueroa, D., Roa, R., Sobarzo, M. y M. Retamal. 1997. Áreas de desove de anchoveta y sardina común, en la zona central, Informe final, Fondo de Investigación Pesquera, Proyecto 96-11. Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Claramunt, G., R. Roa y L. Cubillos. 2003. Estimating daily spawning fraction using the gonadosomatic index: application to three stocks of small pelagic fish from Chile. In: Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm-and cold-water fish and squids. O.S. Kjesbu, J.R. Hunter & P.R. Witthames (Eds.) IMR series *Fisk og Havet* 12: 43-50.
- Claramunt, G., R. Serra, L. R. Castro y L. Cubillos. 2007. Is the spawning frequency dependent on female size? Empirical evidence in *Sardinops sagax* and *Engraulis ringens* off northern Chile. *Fish Res* 85: 248-257.
- Claramunt G., L.A. Cubillos, L. Castro, C. Hernández & 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.
- Conan, G.Y. 1985. Assessment of shellfish stocks by geostatistical techniques. ICES CM 1985/K:30, 24 pp.
- Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons. New York. 900 p.
- Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, situación actual y perspectivas. Doc. Téc., Inst. Invest. Pesq. (IIP), Talcahuano, Vol. 2, Nº 2.
- Cubillos, 1999. Estrategia reproductiva, crecimiento y reclutamiento de *Starngomera bentincki* (Norman, 1936) en el sistema de surgencia de la zona centro-sur de Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Oceanografía. Universidad de Concepción, 180 p.
- Cubillos, L., M. Canales, D. Bucarey, A. Rojas & R. Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en la zona centro-sur de Chile en el período 1993-1997. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 27: 73-86.
- Cubillos, L., D. Arcos, D. Bucarey & M. Canales. 2001. Seasonal growth of *Strangomera bentincki* (Clupeidae) and *Engraulis ringens* (Engraulidae) off Talcahuano (37°S-73°W), Chile: a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? *Aquatic Living Resources*, 14:115-124.



- Cubillos, L., Núñez, S., Ruiz, P., Véjar, F., Oliva, J., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Muñoz, Y., Díaz, E., Oyarzún, C., Valero, C., Daza, E., Leal, E., Castro, L., Veas, R., Rebollo, H., Pino, C., Ruiz, P., Sepúlveda, A. y Alarcón, C. 2003. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Región, año 2002. Informe Final FIP 2002-14, 127 p.
- Cubillos, L.A., Ruiz, P., Claramunt, G., Gacitúa, S., Núñez, S., Castro, L., Riquelme, K., Alarcón, C., Oyarzún, C. y Sepúlveda, A. 2007. Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomerina bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. *Fisheries Research* 86 (2007): 228-240.
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E., Alarcón, C., Zúñiga, M., Castillo-Jordán, C., Pedraza, M. y Rebollo, H. 2010. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2009. Informe Final Proyecto FIP 2009-08. Agosto de 2010.
- Cubillos, L.A., L. Castro & G. Claramunt. 2011. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010. Informe Final Proyecto FIP 2010-02. Diciembre de 2011.
- Cubillos L.A., L. Castro, G. Claramunt y E. Navarro. 2013. Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2012. FIP 2012-09.
- Cubillos, L., Castro, L., Claramunt, G., & Navarro, E. 2015a. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones. Año 2013. Informe Final FIP 2013-07, 126 pp.
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G. y Navarro, E. 2015b. Evaluación de la biomasa desovante y descripción de las condiciones oceanográficas 2014. En: Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014. Convenio de desempeño 2014, Instituto de Fomento Pesquero, 190 p.
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G. y Soto, S. 2017. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2016. Convenio Desempeño 2016, Instituto de Fomento Pesquero.
- Deutsch, C.V. & A.G. Journel. 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. 2nd Ed. Oxford University Press, New York. 369 p.
- Emery & Thompson, 2001. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*: 2nd Edition. Elsevier Science, 654 pp. ISBN 9780080886794
- Englund, E. & A. Sparks. 1991. *GEO-EAS (geostatistical environmental assessment software) user's guide*. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada, EE.UU.
- Espinoza, P.Y. & V. Blaskovic. 2000. Cambios en la dieta de la anchoveta *Engraulis ringens* y su influencia en la dinámica de alimentación. *Bol. Inst. Mar Peru* 19(1-2): 21-27.



- Espinoza, P. & A. Bertrand. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Progress in Oceanography*. 79: 215-227
- Fischer, W. Fischer, W. 1958. Huevos, crías y primeras pre larvas de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns. *Rev. Biol. Mar.*, 8(1-3): 111-124.
- Foote, K.G. & H.P. Knudsen. 1994. Physical measurement with modern echo integrators. *J. Acoust. Soc. Japan.*, 15: 393-395.
- Glover, D. M. & P. G. Brewer, 1988: Estimates of wintertime mixed layer nutrient concentrations in the North Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 35, 1525-46.
- Gómez, F. 2008. Variabilidad ambiental y pequeños pelágicos de la zona norte y centro-sur de Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Pesquerías. Universidad de Concepción, 113 pp
- Gorny, M., R. Alarcón, E. Estay, S. Oyarzún, R. León & A. Carmona. 2002. Investigación biológico-pesquera del recurso huepo (*Ensis macha*) en la XII Región. Informe Final. Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes – Gobierno Regional de Magallanes, Punta Arenas, Chile. 201 pp
- Grendi, C., L. Cubillos, L. Castro, S. Soto, G. Claramunt et al., 2020. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2019. Convenio de Desempeño 2019, Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 307 pp.
- Harris, R.P., P.H. Wiebe, J. Lenz, H.R. Skjodal & M. Huntley. 2000. Zooplankton methodology manual. Academic Press. 684 p.
- Hernández-Santoro, C., Pérez-Mora, G., Díaz-Ramos, E. & Böhm-Stoffel, G. 2013. Análisis de indicadores macro y microscópicos para establecer el periodo de máxima intensidad de desove de la anchoveta *Engraulis ringens* en la zona norte de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 48, Nº3: 451 - 457.
- Herrera, G., E. Tarifeño & M. Orellana. 1987. Descripción de huevos y primeras fases larvales de la sardina común (*Strangomera bentincki*) y del machuelo (*Ethmidium maculatum*). *Biol. Pesq.*, 16: 107-113
- Hormazábal, S., G. Shaffer & O. Leth. 2004. The coastal transition zone of Chile. *Journal of Geophysical Research*, 109: C01021, doi:10.1029/2003JCC001956.
- Hunter, J. & S. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*, 77(3): 641-652.
- Hunter, J. R., N. C. H. Lo & R. J. H. Leong. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: R. Lasker (ed.), *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish*:



- application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 67 - 77.
- Hunter, J. & N.C.H. Lo. 1993. Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. Bulletin of Marine Science 53: 723-727.
- Hunter, J. & N.C.H. Lo. 1997. The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. Ozeanografika 2: 41-69.
- Ibaibarriaga, L., C. Fernández, A. Uriarte & B.A. Roel 2008. A two-stage biomass dynamic model for Bay of Biscay anchovy: a Bayesian approach. – ICES Journal of Marine Science, 65: 191–205.
- ICES. 2005. Report of the Study Group on the Estimation of Spawning Stock Biomass of Sardine and Anchovy (SGSBSA). ICES Living Resources Committee ICES CM 2005/G:02; Copenhagen, Denmark; 84 pp.
- ICES. 2007. Collection of acoustic data from fishing vessels. ICES Cooperative Research Report, No. 287. 83 pp.
- Ihaka, R. & R. Gentleman. 1996. R a Language for Data Analysis and Graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics, 5, 299-314.
- IMARPE. 2019. Estimación de la biomasa desovante de la anchoveta (*Engraulis ringens*) por el Método de Producción de Huevos (MPH), en el área comprendida entre Cabo Blanco (04°25'S) y Los Palos (18°30'S). Informe Ejecutivo. 34 pp.
- Isaaks, E.H. & R.M. Srivastava. 1989. Applied Geostatistic. Oxford University Press, New York. 560 p.
- Journel, A.G. & C.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, New York. 600 p.
- Kloser, R.J., T. Ryan, P. Sakov, A. Williams & J.A. Koslow. 2002. Species identification in deep water using multiple acoustic frequencies. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59, 1065–1077.
- Kramer, K. M., J. Hlain, E.G. Stevens, J.R. Threlkell & J. Zweiffel. 1972. Collecting and processing data on fish eggs larvae in the California Current region. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ., 370: 38 p.
- Kurita, Y., S. Meier & O.S. Kjesbu. 2003. Oocyte growth and fecundity regulation by atresia of Atlantic herring (*Clupea harengus*) in relation to body condition throughout the maturation cycle. J Sea Res 49: 203 - 219.
- Lasker, R. 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36.



- Leal, E.M., L.R. Castro & G. Claramunt. 2009. Variability in oocyte size and batch fecundity in anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) from two spawning areas off the Chilean coast. *Scientia Marina* 73(1): 59-66, Barcelona (Spain) doi: 10.3989/scimar.2009.73n1059.
- Lo, N.C.H., J.R. Hunter & R. Carter. 2001. Use of a continuous egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California. *Fish. Bull.* 99: 554-571.
- Logerwell, E.A. & C. Wilson. 2004. Species discrimination of fish using frequency-dependent acoustic backscatter. *ICES Journal of Marine Science* 61, 1004– 1013.
- Lorbacher, K., D. Dommegat, P.P. Niiler & A. Köhl. 2006. Ocean mixed layer depth: a subsurface proxy of ocean-atmosphere variability, *J. Geophys. Res.*, 111, C07010, doi:10.1029/2003JC002157.
- Macewicz, B. y Hunter, R. 1993. Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. *CalCOFI Rep.*, 34: 112 - 121.
- Macewicz, B., J. Castro-Gonzalez, C. Cotero-Altamirano & J. Hunter, 1996. Adult reproductive parameters of Pacific Sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. *CalCOFI Rep.*, 37: 140-151.
- MacLennan, D. N., Fernandes, P. G., and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. – *ICES Journal of Marine Science*, 59: 365–369.
- Maravelias, C., D. G. Reid, E. J. Simmonds & J. Haralabous. 1996. Spatial analysis and mapping of acoustic survey data in the presence of high local variability: geostatistical application to North Sea herring (*Clupea harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 1497 – 1505.
- Matérn, B. 1987. Spatial Variation, 2nd edn. Lecture Notes in Statistics. 151 pp.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. *Economic Geology*. 58: 1246 – 1266.
- Mayou, F. 1998. The application of geostatistics in mapping and assessment of demersal resources. *Nephrops norvegicus* (L.) in the northwestern Mediterranean: a case study. *Sci. Mar.*, 62 (Suppl. 1): 117-133.
- Medina, M. & L. Herrera. 2011. Componentes tróficos planctónicos de la dieta de *Engraulis ringens*. En: Castillo et al. (Eds.). Informe Final Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2010.
- Miranda, A., Cal, R.M. y Iglesias, J. 1990. Effect of temperature on the development of eggs and larvae of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum) in captivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 140: 69 - 77.



- Moser, G. & E. Ahlstrom. 1985. Staging anchovy eggs. In: R. Lasker (ed.). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*, NOAA Tech. Rep. NMFS 36, pp. 37-41.
- Mosteiro, A., P.G. Fernandes, F. Armstrong & S.P.R. Greenstreet. 2004. A Dual Frequency Algorithm for the Identification of Sandeel School Echotrades. ICES Document CM 2004/R: 12, 13pp.
- Motos, L. 1994. Estimación de la biomasa desovante de la población de anchoa del golfo de Vizcaya, *Engraulis encrasicolus*, a partir de su producción de huevos. Bases metodológicas y aplicación. Tesis de doctorado, Leioa, España.
- NOAA. 2020. National Oceanic and Atmospheric Administration from U.S.A. El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Discusión diagnóstica, 12 de noviembre, 2020. Recuperado de https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc_Sp.pdf
- NODC. 1991. National Oceanographic Data Center. National Oceanographic Data Center Users' Guide. Second Edition. Key to Oceanographic Records Documentation 14, 315 pp
- Núñez, S., J. Silva, L. Valenzuela & S. Vásquez. 2014. Contenido estomacal y comportamiento alimentario de sardina común y anchoveta en la región centro-sur de Chile. En: Informe Final Proyecto FIP 2013-05. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de sardina común y anchoveta entre las V y X Regiones, Año 2014. Instituto de Fomento Pesquero.
- Núñez, S., J. Silva, R. Luna & S. Vásquez. 2018. Caracterización del comportamiento trófico de sardina común y anchoveta. Pre-Informe Final. Determinación del espectro y el comportamiento trófico de sardina común y anchoveta entre la V y X Regiones. Instituto de Fomento Pesquero.
- Omori, M. & T. Ikeda. 1984. Methods in Marine Zooplankton Ecology. xiii, 332 pp. John Wiley
- Oliva, J. W., W. Carvajal & A. Tresierra. 1982. Reproducción e histología de góndadas de peces. Universidad Nacional de Trujillo, Depto. de Cs. Biol., Sección de Recursos Acuáticos, Trujillo, Perú. 93 pp.
- Parada, C., Yannicelli, B., Hormazábal, S., Vásquez, S., Poróbic, J., Ernst, B., Gatica, C., Arteaga, M., Montecinos, A., Núñez, S. y Gretchina, A. 2013. Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. Lat. Am. J. Aquat., Res. 41(1): 1-28.
- Páramo, J. & R. Roa. 2003. Acoustic-geostatistical assessment and habitat-abundance relations of small pelagic fish from the Colombian Caribbean. Fisheries. Research, 60: 309-319.
- Parsons, T.R., Y. Maita & C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. 172 pp. Pergamon Press.



- Pelletier, D. & A.M. Parma. 1994. Spatial distribution of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*): An application of geostatistics to longline survey data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 1506-1518.
- Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data. En: Megrey, B.A & E. Moskness (Eds.). Computers in fisheries research. Chapman & Hall, London, p 113 – 142.
- Picquelle, S.J. y Stauffer, G. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assessment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 7-15.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>)
- Rebolledo, H. L. Cubillos & L. Bustos. 2003. Alimentación de sardina común y anchoveta. En: Informe Final Proyecto FIP 2002-13 Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur. Año 2002. 105 p + Anexo de Figuras.
- Reid, D. G., Fernandes, P. G., Bethke, E., Couperus, A., Goetze, E., Hakansson, N., Pedersen, J., et al. 1998. On visual scrutiny of echograms for acoustic stock estimation. ICES. CM 1998/B: 1.
- Rivoirard, J., J. Simmonds., K.G. Foote., P. Fernandes & N. Bez. 2000. Geostatistics for Estimating Fish Abundance. Blackwell Science. First edition. London. 206 p.
- Roa-Ureta, R. & E. Niklitschek. 2008. Biomass estimation from surveys withlikelihood-based geostatistics. – ICES Journal of Marine Science, 64.
- Santos, M. A. Uriarte & L. Ibaibarriaga. 2011. Spawning Stock Biomass estimates of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) in 2010 applying the Daily Egg Production Method. 18(5): 76-91.
- Santander, H., J. Alheit & P.E. Smith. 1984. Estimación de la biomasa de la población desovante de anchoveta peruana *Engraulis ringens* en 1981 por aplicación del “método de producción de huevos”. Bol. Inst. Mar Perú-Callao 8(6): 209-250 (English abstract).
- Schneider, W., Fuenzalida, R., Garcés-Vargas, J., Bravo, L. & Lange, C. 2006. Extensión vertical y horizontal de la zona de mínima oxígeno en el Pacífico Sur Oriental. Gayana (Concepc.), 70 (1): 79-82. ISSN 0717-6538.
- Sea Bird, 2011. SBE 19plus V2 SEACAT Profiler users manual. Sea-Bird Electronics, Inc, Washington 98005 USA.
- Seber, G.A.F. 1973. The estimation of animal abundance and related parameters. Griffin, London, 506 p.



- Sepúlveda, A. 1990. Variabilidad temporal del ictioplancton en un área de surgencia costera de Chile Central. Procesos ambientales y biológicos asociados. Tesis Magister en Ciencias, Oceanografía. Universidad de Concepción, Chile, 81 p.
- Sepúlveda, A. Cubillos, L., Núñez, S., Canales, T., Bucarey, D., Rojas, A., Oliva, J., Barria, P., Díaz, E., Baros, V. y Miranda, H. 2000. Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V a IX Regiones. Informe Final FIP 97-04. Informes Técnicos FIP-IT/97-04, 199 p.
- SG-ASAM, 2017. Informe de la Reunión del Subgrupo sobre Prospecciones Acústicas y Métodos de Análisis (Qingdao, República Popular China, 15 a 19 de mayo de 2017). Anexo 4. 36 pp.
- Silva, N., Rojas, N. y Fedele, A. 2009. Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. Deep-Sea Research II, 56, 1004 - 1020.
- Simard, Y., P. Legendre, G. Lavoie & D. Marcotte. 1992. Mapping, estimating biomass, and optimizing sampling programs for spatially autocorrelated data: Case study of the Northern shrimp (*Pandalus borealis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 32-45.
- SIMRAD. 2000. Instruction manual. SIMRAD EK-60 Scientific Echo Sounder. 180 p.
- Simmonds, E.J., N.J. Williamson, F. Gerlotto & A. Aglen. 1992. Acoustic survey design and analysis procedure: A comprehensive review of current practice. En: ICES Cooperative Research Report: Rapport des Recherches Collectives. No. 187: 112 p.
- Simmonds, J. & D. MacLennan. 2005. Fisheries Acoustics. Theory and practices, second ed. Chapman & Hall, Berlin, 325pp.
- Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., Machias, A. y Tsimenides, N. 2002. Applying the daily egg production method (DEPM) to small stock in highly heterogeneous seas. Fisheries Research, 55: 193 - 204.
- Somarakis, S., Palomera, I., García, A., Quintanilla, L., Koutsikopoulos, C., Uriarte, A. & L. Motos. 2004. Daily egg production of anchovy in European waters. ICES Journal of Marine Science, 61:944-958.
- Sournia, A. (Ed.). 1978. Phytoplankton manual. UNESCO. 337 p.
- Stauffer, G.D. & S.J. Picquelle. 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Southw. Fish. Cent. Admin. Rep. LJ - 80-09, 41 p.
- Troupin, C., Machín, F., Ouberdoos, M., Sirjacobs, D., Barth, A., Beckers, J.M., 2010b. High-resolution climatology of the north-east atlantic using data-interpolating variational analysis (Diva). J. Geophys. Res. 115, C08005. <http://dx.doi.org/10.1029/2009JC005512>



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Venables, W.N. & B.D. Ripley. 2002. Modern Applied Statistics with S. Springer-Verlag New York, 498 p.

Yáñez, E., Barbieri, M.A. y Montecinos, A. 1990. Relaciones entre las variaciones del medio ambiente y las fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona de Talcahuano, Chile. En: Perspectivas de la actividad pesquera en Chile. M.A. Barbieri (Ed.) Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso: 49-62.



ANEXO I: SECCIONES OCEANOGRÁFICAS PERPENDICULARES A LA COSTA

Las transectas perpendiculares a la costa se presentan en el **Anexo 2**. Las distribuciones zonales (secciones oceanográficas) de cada una de las variables consideradas en el estudio, fueron agrupadas para cada uno de los tres sectores meridionales en que se dividió operacionalmente el crucero.

Sector norte

Las transectas del sector norte estuvieron caracterizadas por la presencia de: a) baja variabilidad zonal y el dominio superficial (0-20 m) de las isotermas de 11,5° y 12°C, b) escasa estratificación térmica vertical, con ausencia de termoclinas identificables en la mayor parte de los transectos, y c) aguas comparativamente más frías (10°-10,5°C) en el sector más costero y en los estratos más profundos (>60 m) (**Figura A-1**). Por su parte, la distribución zonal de salinidad y densidad evidenció una situación distinta: a) un gradiente en general positivo al océano en el estrato superficial (0-20 m) con salinidades comparativamente menores en las transectas 6, 8, 12 y 13 producto de la descarga de aguas continentales de los ríos locales en este sector (**Figura A-2**), y b) una leve y extensa estratificación salina en la mayoría de los casos, denotando la presencia de aguas comparativamente más salinas a partir de 50-60 m de profundidad (isohalinas 34,4 y 34,5). Lo anterior es consistente con la distribución de la densidad (**Figura A-3**) con una leve picnoclina entre 40-60 m en algunas secciones, y un gradiente zonal superficial generado por la presencia de lentes someros de aguas menos densas producto de la descarga de ríos locales, o por el ascenso de aguas más densas hacia la región costera.

Sector centro

Las transectas realizadas en el sector central del área de estudio (36°S-38°20'S) revelaron para las secciones de temperatura una situación similar a lo observado en el sector norte, con la presencia de escasa estratificación térmica, una termoclinia débil y extensa situada entre ~30-60 m de profundidad, y el ascenso de la isoterma de 11°C en una buena parte de las transectas realizadas en este sector (**Figura A-4**). Las secciones de salinidad presentaron distribuciones verticales con la longitud caracterizadas por: a) la presencia de gradientes zonales en el estrato superficial (0-20 m) producto de la presencia de aguas más salinas en la zona costera debido al ascenso de las isohalinas de 34,2-34,5 (transectas 14, 15, 17), b) la presencia somera de lentes de aguas menos salinas producto de la descarga de aguas continentales de ríos locales (transectas 16, 19, 20y 21), c) transectas con el dominio superficial de aguas menos salinas (<33,8, transectas 22, 23, 24, 25) y menores a 33,5 (transectas 27, 28, 29, 30). Las secciones de densidad evidenciaron un comportamiento similar a la salinidad en la distribución zonal (**Figura A-5**).

La concentración de oxígeno disuelto en el sector central verificó la presencia de: a) un estrato superficial (0-20 m) bien oxigenado, caracterizado por el dominio de las isolíneas de 5-6 mL L⁻¹ en la mayoría de las transectas, b) la existencia de un gradiente zonal (costa-océano) subsuperficial debido al ascenso hacia la región costera de aguas menos oxigenadas (3-4 mL L⁻¹), c) la presencia de aguas



pobres en contenido de oxígeno ($<1 \text{ mL L}^{-1}$) en gran parte de las transectas (**Figura A-6**, y d) la identificación en parte de las transectas de oxiclinas extensas situadas verticalmente entre 30 y 60 m en la mayoría de los casos. Por último, las secciones de clorofila evidenciaron una distribución vertical muy variable, con núcleos superficiales y subsuperficiales de concentraciones comparativamente más altas (4 mg m^{-3}), y concentraciones menores hacia profundidades $>50 \text{ m}$ (**Figura A-7**).

Sector sur

Las transectas realizadas en el sector sur del área de estudio ($38^{\circ}30'S-41^{\circ}40'S$) revelaron para las secciones de temperatura la presencia de escasa estratificación térmica en gran parte de ellas, sin la presencia de termoclinas identificables, así como la ausencia de diferencias zonales en el estrato superficial (0-20 m), que estuvo bien caracterizado por la distribución de la isotermas de 11° y $11,5^{\circ}\text{C}$, y la isoterma de $10,5^{\circ}\text{C}$ hacia las transectas del extremo sur (**Figura A-8**). La distribución zonal de la salinidad y la densidad mostraron aguas menos salinas y menos densas en el estrato superficial (0-20 m) en gran parte de las secciones, así como una leve y extensa estratificación salina en la mayoría de los casos, pero denotando la ausencia de las isohalinas de 34,4 y 34,5 (**Figura A-9**). Lo anterior es similar con la distribución de la densidad de agua de mar (**Figura A-10**).

La concentración de oxígeno disuelto en el sector sur verificó: a) un estrato superficial (0-20 m) bien oxigenado, caracterizado por las isolíneas de $5-6 \text{ mL L}^{-1}$ en la mayoría de las transectas, b) la existencia de un gradiente zonal (costa-océano) subsuperficial debido al ascenso hacia la región costera de aguas menos oxigenadas ($3-4 \text{ mL L}^{-1}$), c) la presencia de oxiclinas especialmente en la mitad oriental de los transectos situadas en general entre los 20 y 50 m de profundidad, las que se profundizaron hacia las estaciones más oceánicas, y d) la presencia de aguas pobres en contenido de oxígeno ($<2 \text{ mL L}^{-1}$) muy costeras, pero sin mostrar condiciones de mínimas de oxígeno (1 mL L^{-1}), (**Figura A-11**). Por último, las secciones de clorofila evidenciaron una distribución vertical muy variable, con la presencia núcleos superficiales y subsuperficiales de concentraciones comparativamente más altas ($\sim 3-4 \text{ mg m}^{-3}$), y concentraciones $<0,5 \text{ mg m}^{-3}$ en profundidades $> 50-60 \text{ m}$ (**Figura A-11**).

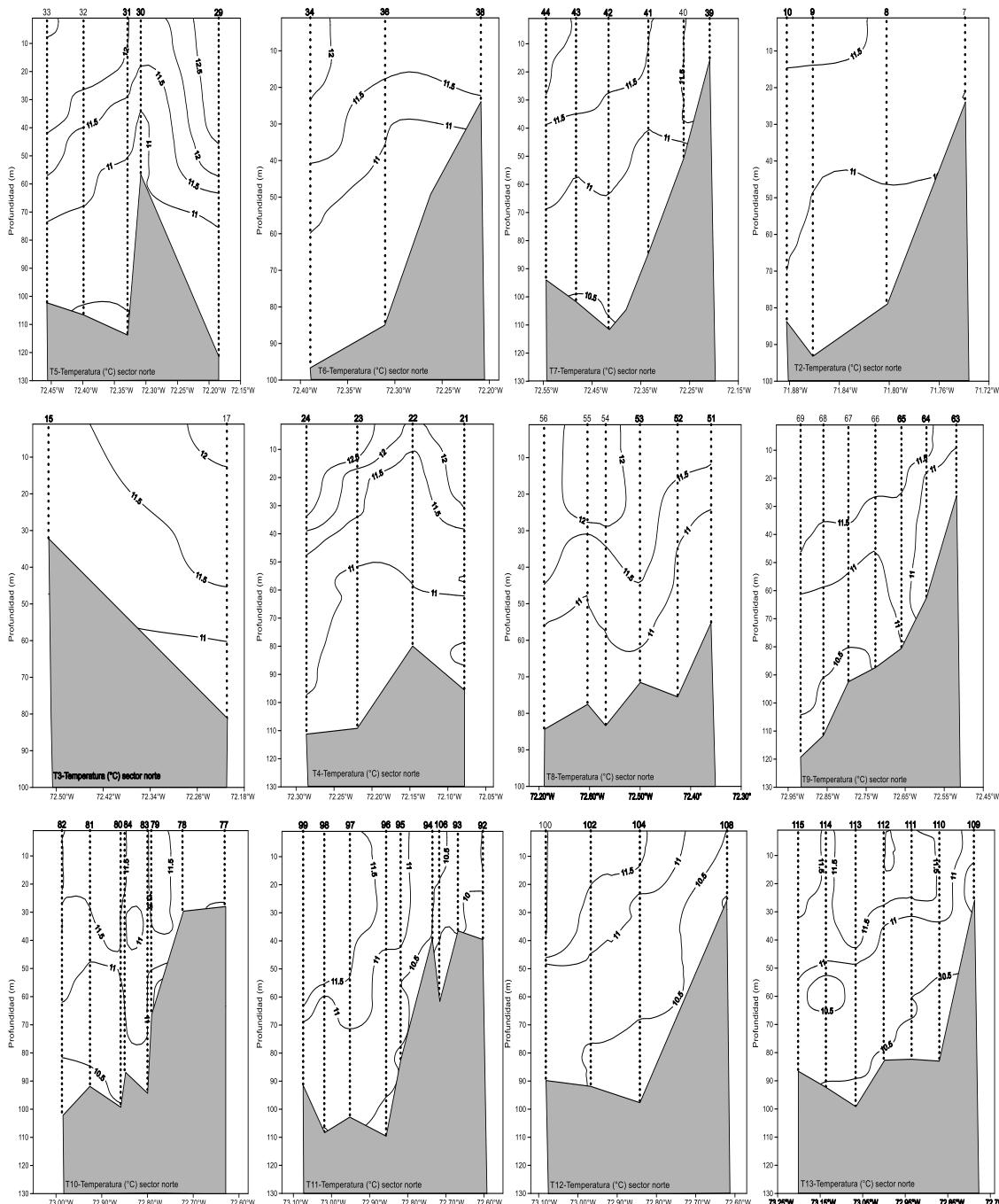


Figura A-1. Secciones verticales de temperatura (°C) para las transectas del sector norte. Crucero MPDH, 2020.

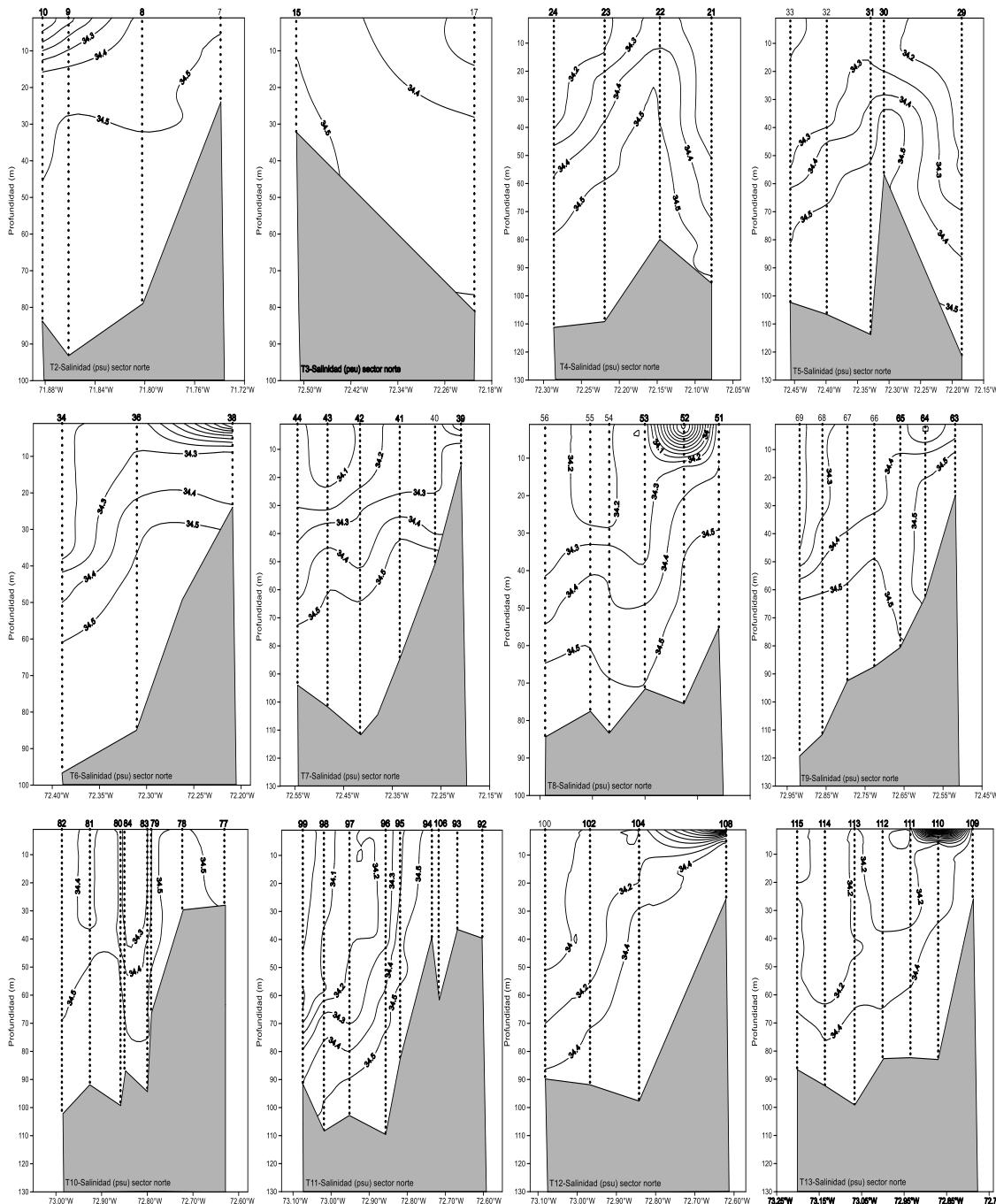


Figura A-2. Secciones verticales de salinidad para las transectas del sector norte. Crucero MPDH, 2020.

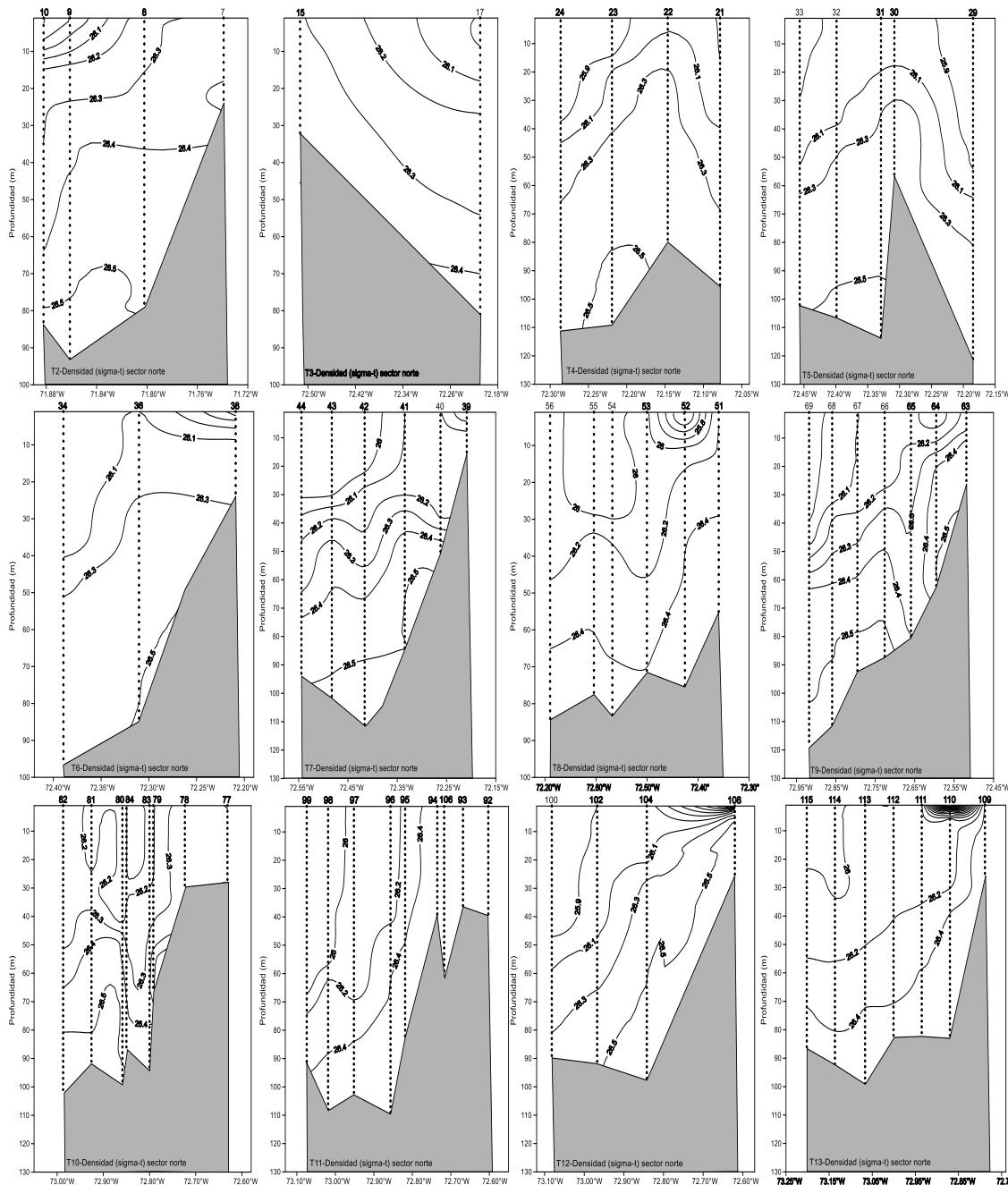


Figura A-3. Secciones verticales de densidad (σ_t) para las transectas del sector norte. Crucero MPDH, 2020.

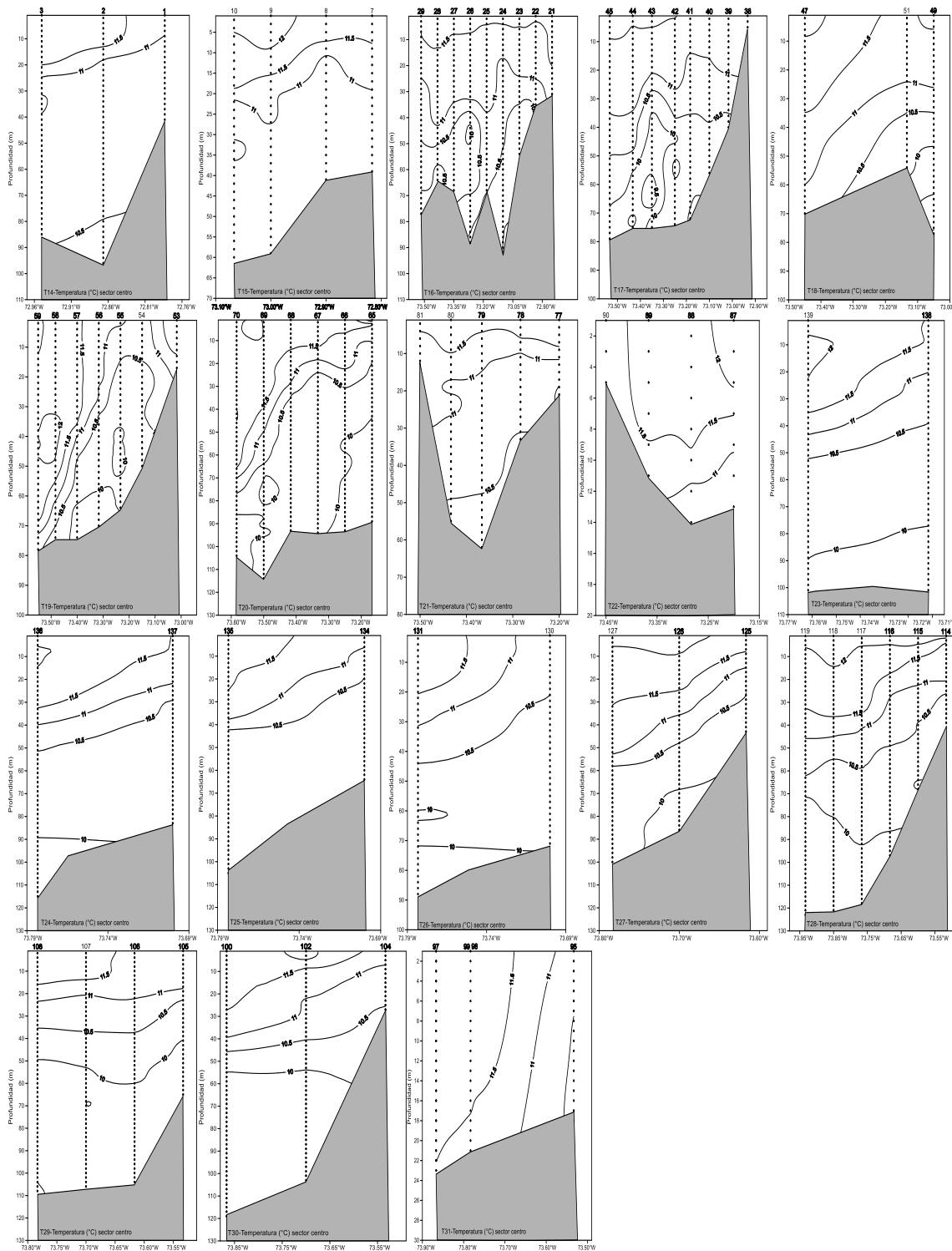


Figura A-4. Secciones verticales de temperatura (°C) para las transectas del sector centro. Crucero MPDH, 2020.

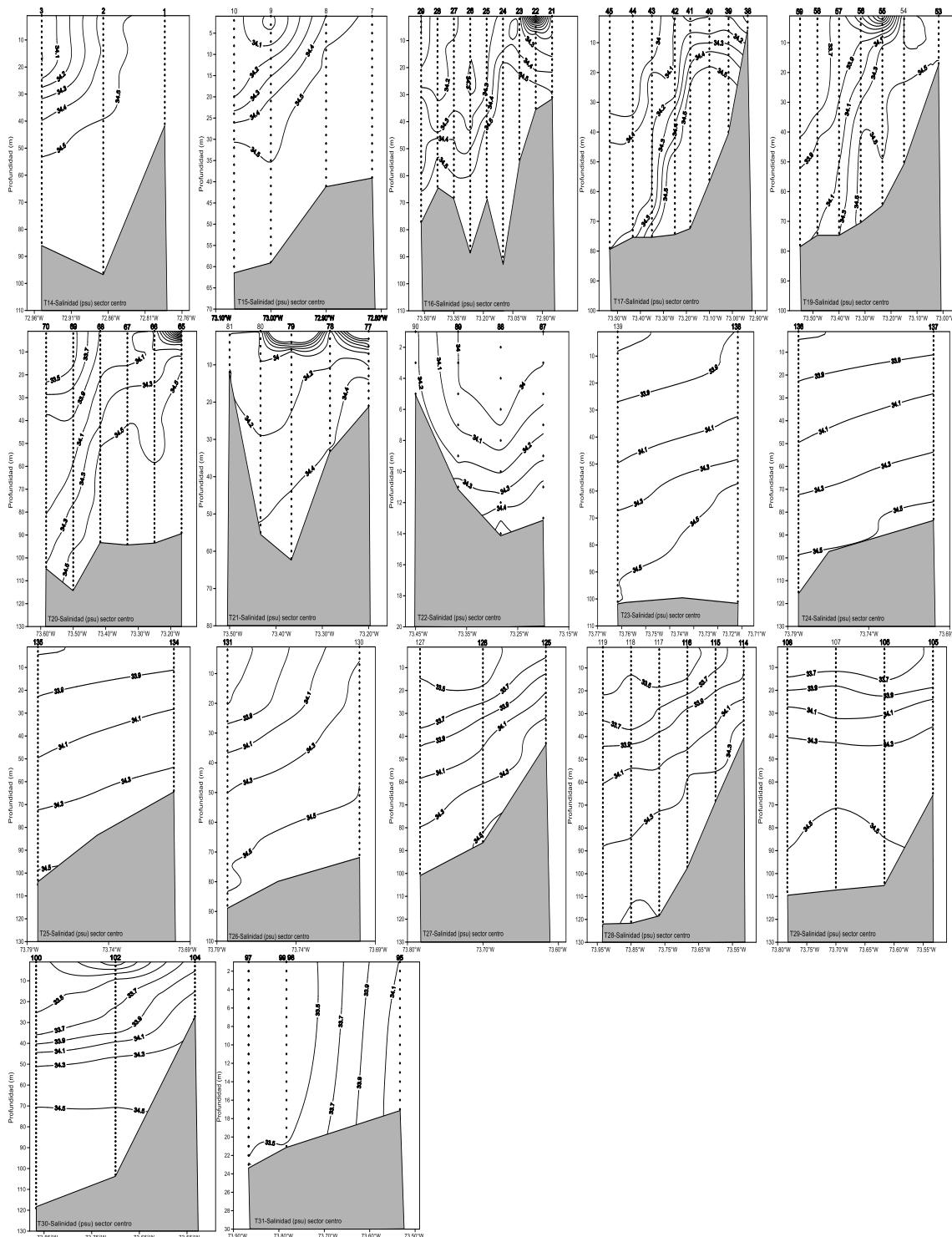


Figura A-5. Secciones verticales de salinidad para las transectas del sector centro. Crucero MPDH, 2020.

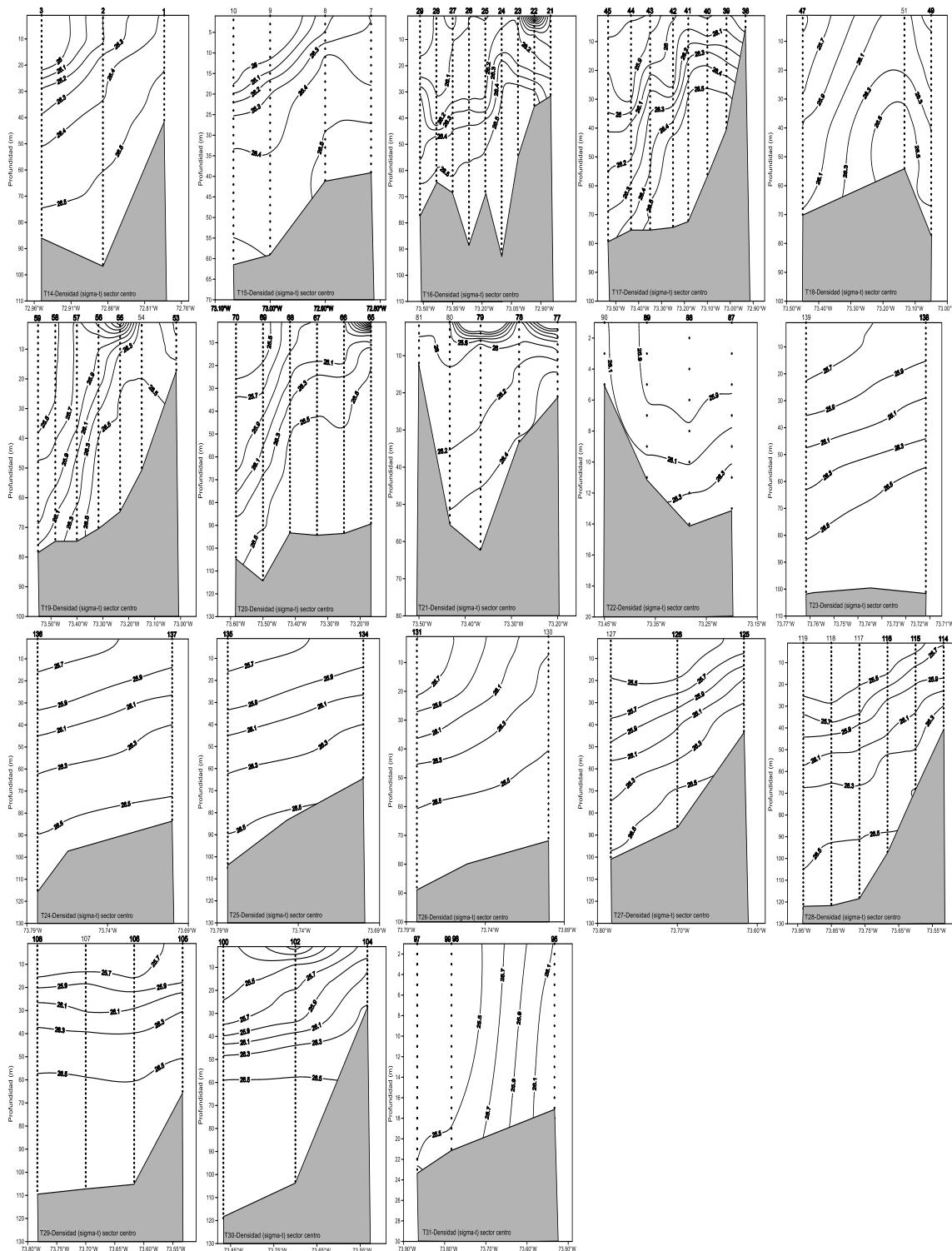


Figura A-6. Secciones verticales de densidad (σ_t) para las transectas del sector centro. Crucero MPDH, 2020.

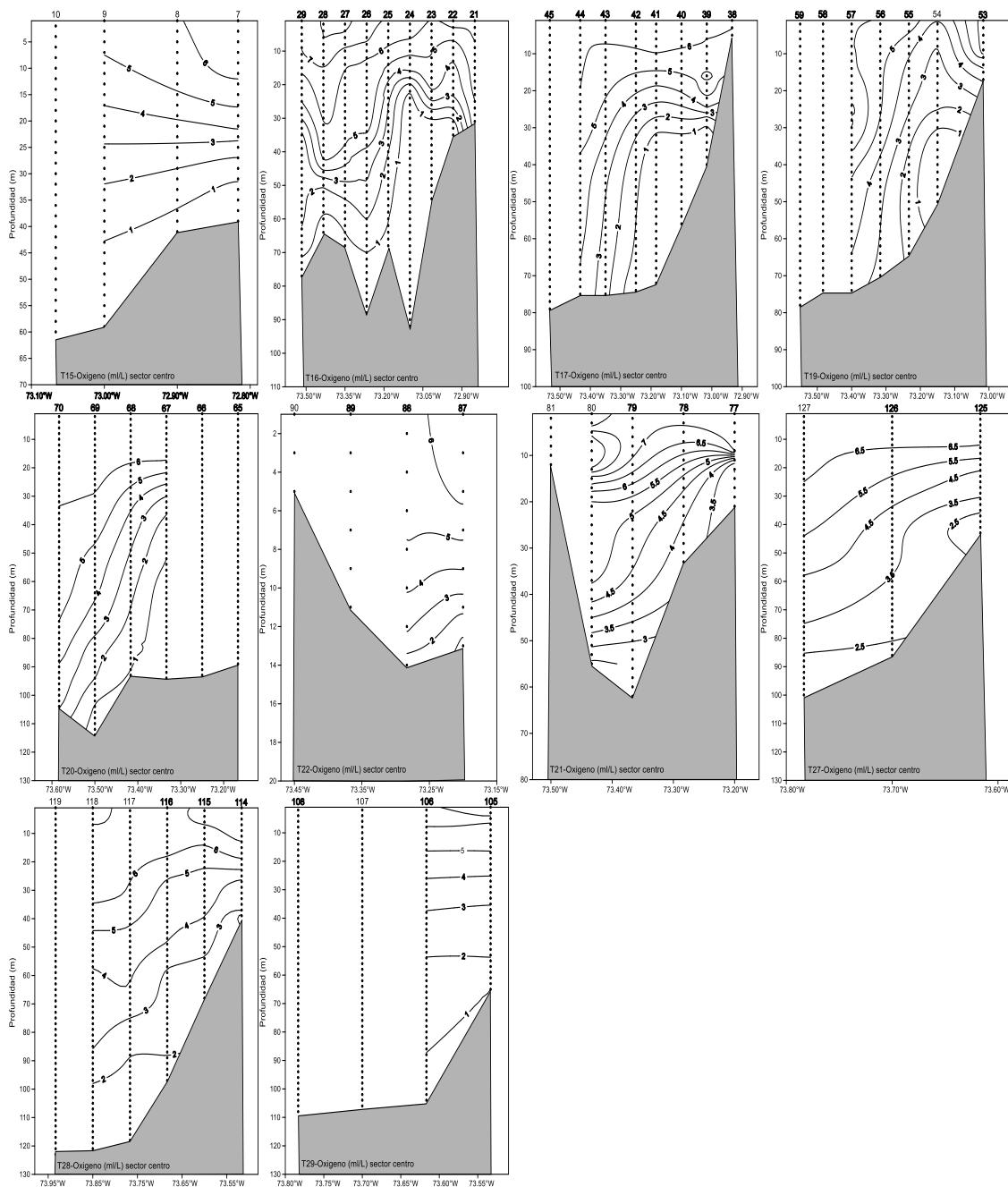


Figura A-7. Secciones verticales de oxígeno disuelto (mL L^{-1}) para las transectas del sector centro. Crucero MPDH, 2020.

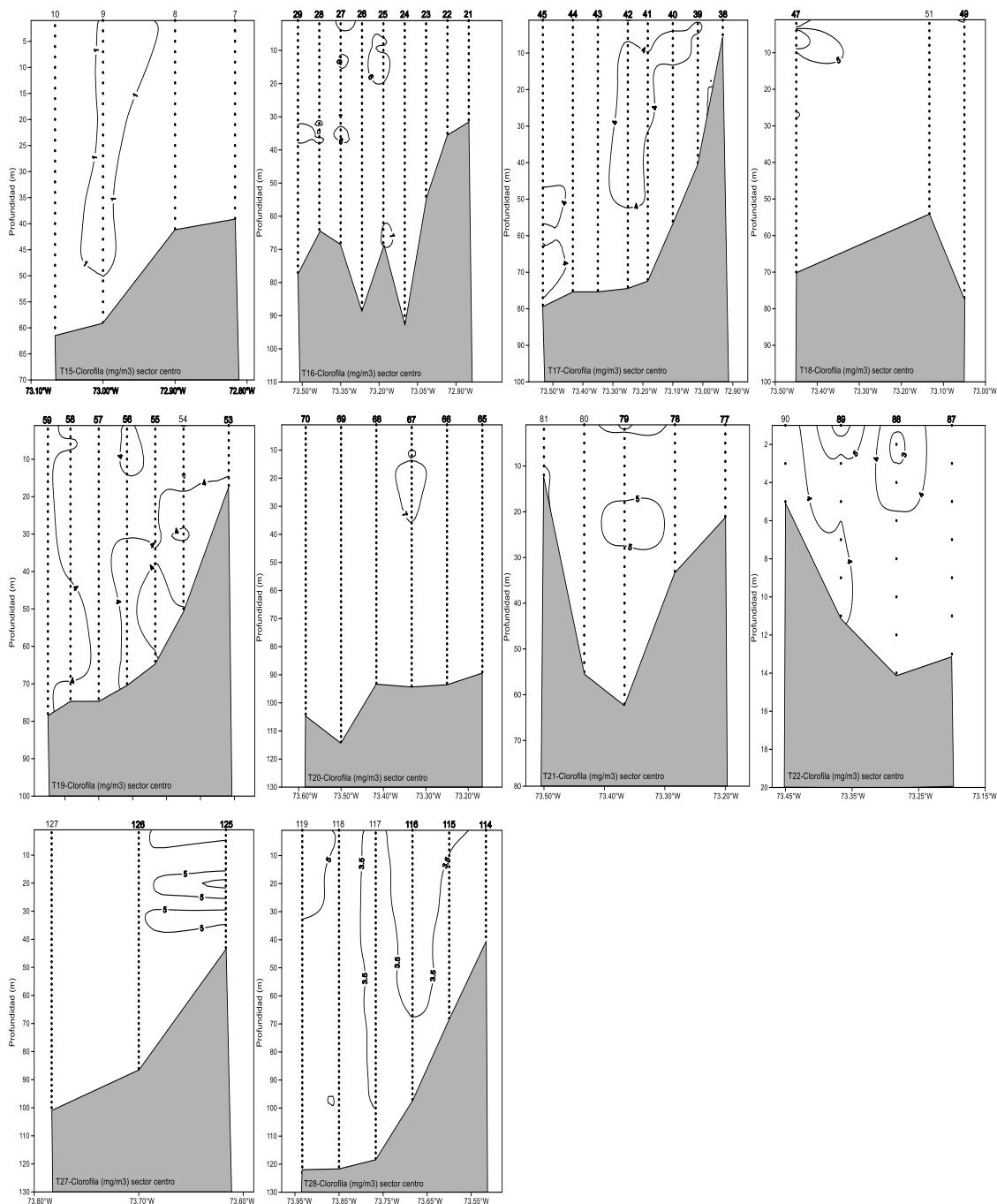


Figura A-8. Secciones verticales de clorofila-a (mg m^{-3}) para las transectas del sector centro. Crucero MPDH, 2020.

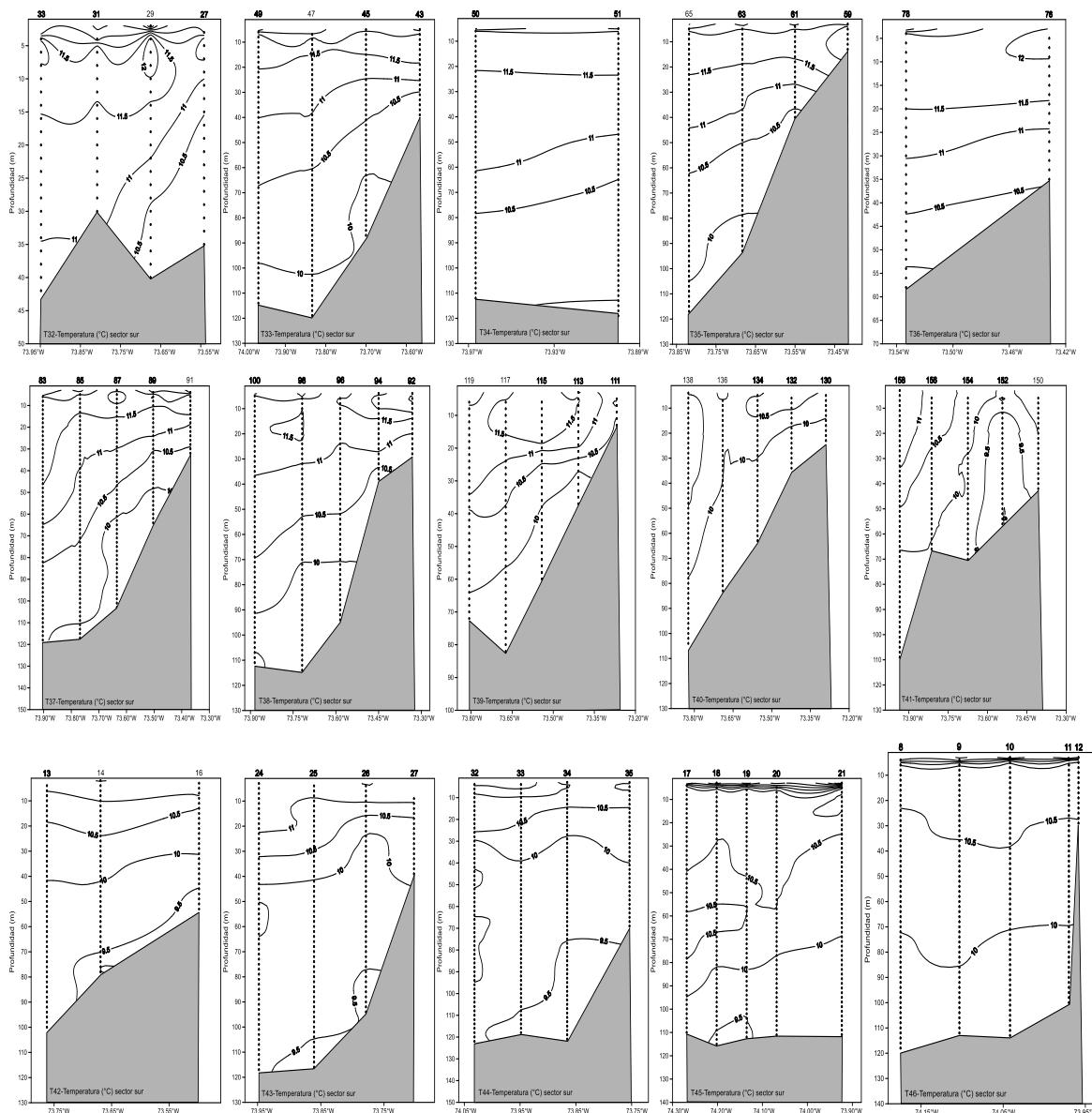


Figura A-9. Secciones verticales de temperatura (°C) para las transectas del sector sur. Crucero MPDH, 2020.

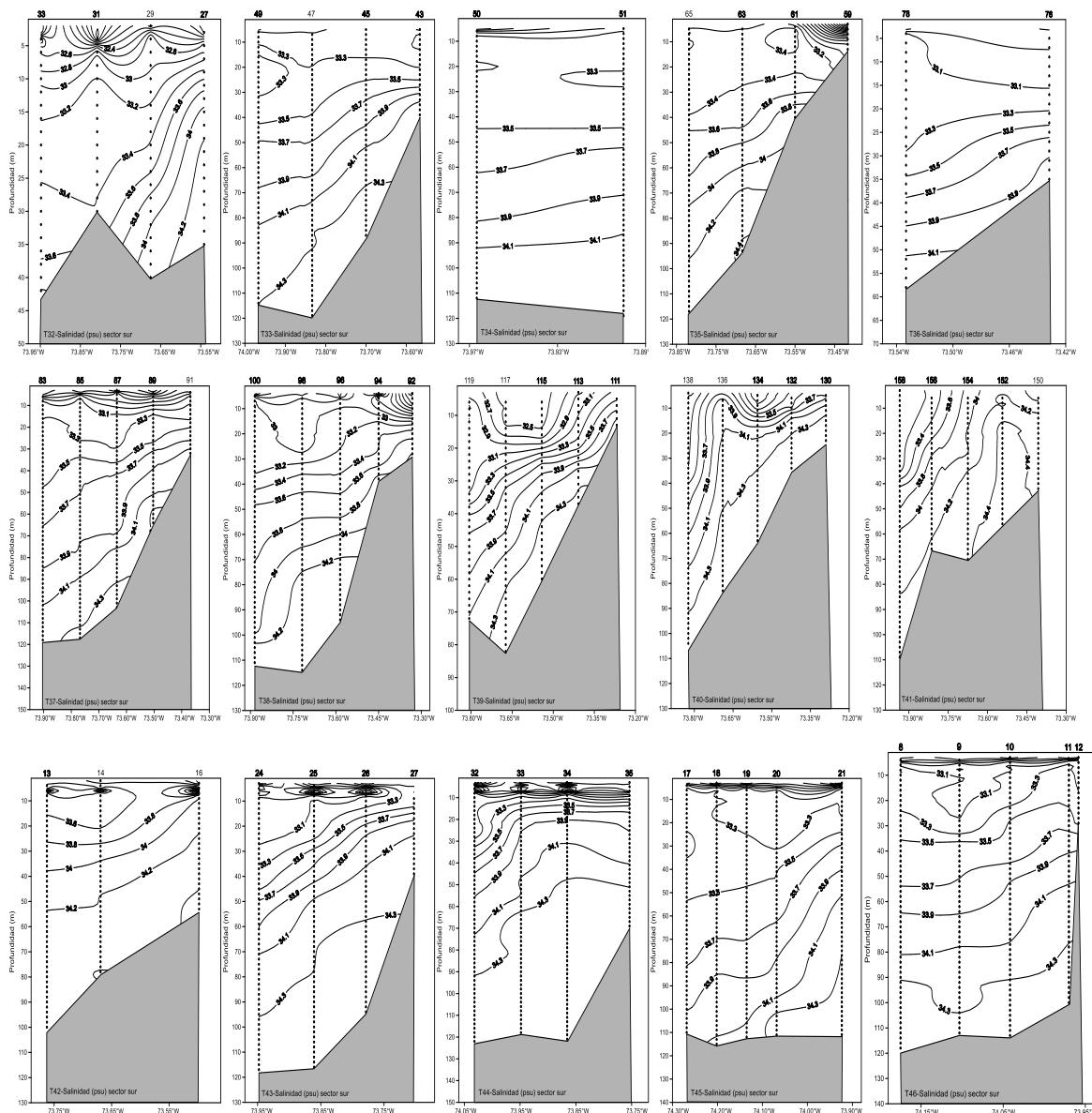


Figura A-10. Secciones verticales de salinidad para las transectas del sector sur. Crucero MPDH, 2020.

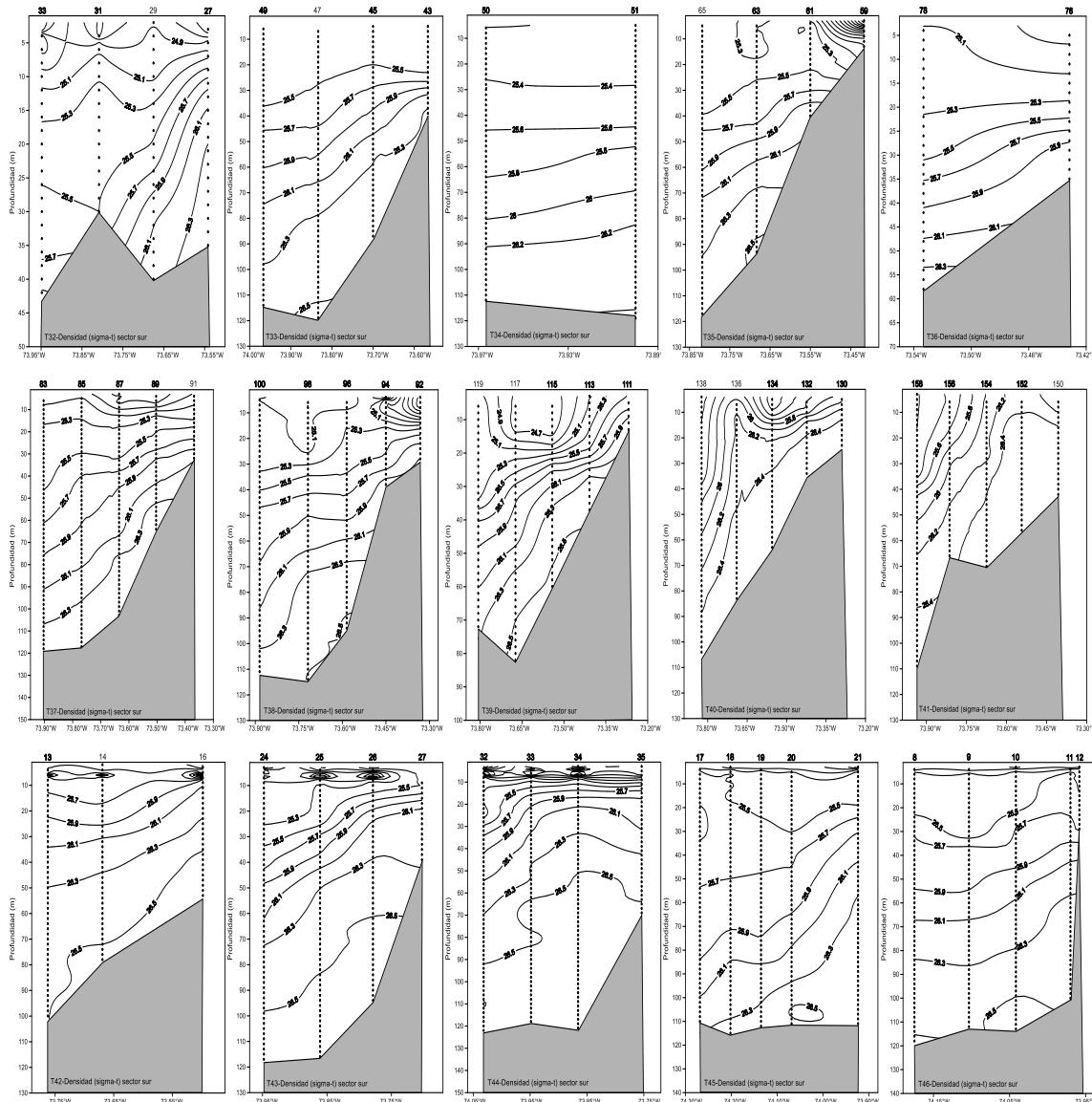


Figura A-11. Secciones verticales de densidad (σ_t) para las transectas del sector sur. Crucero MPDH, 2020.

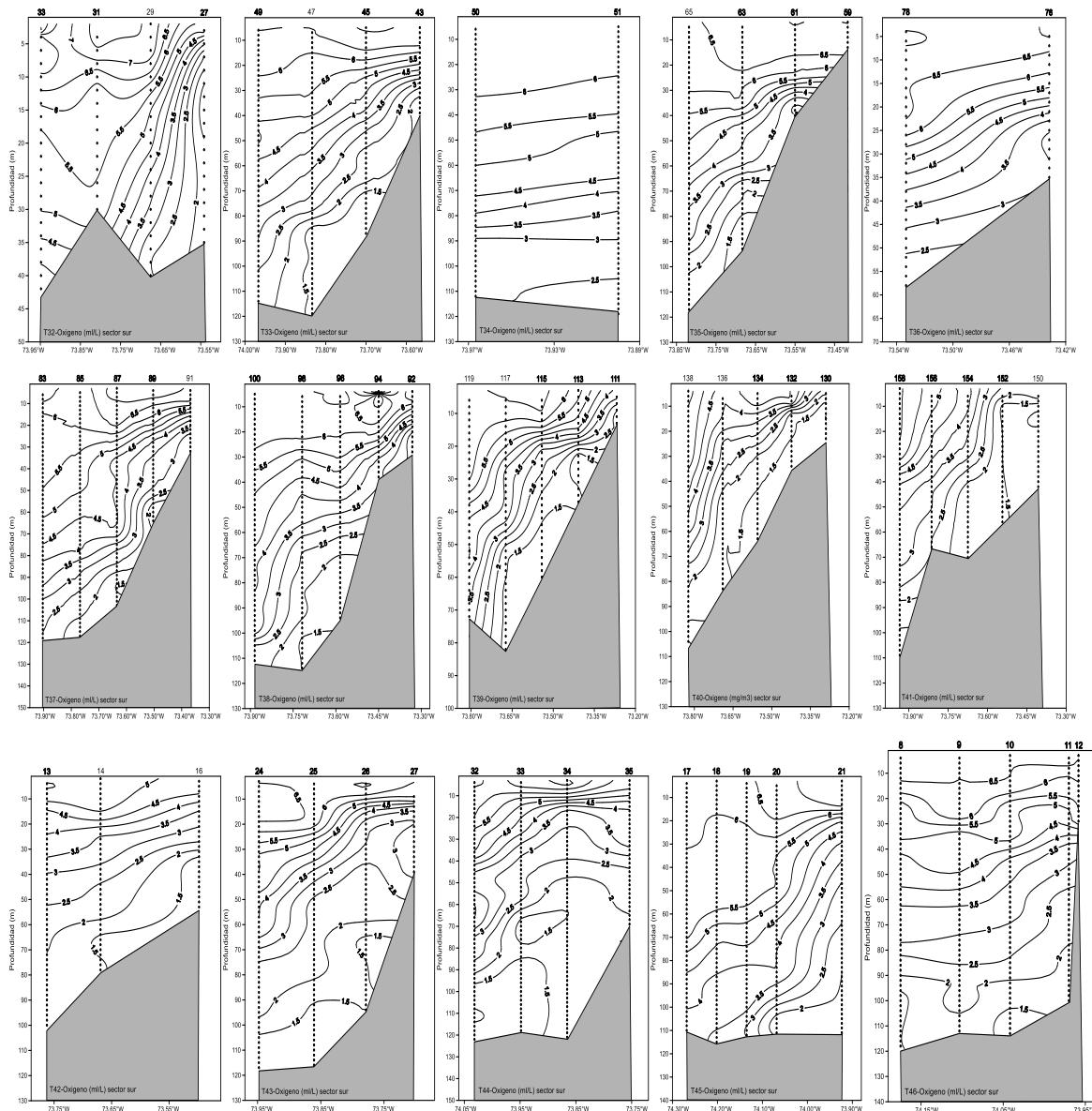


Figura A-12. Secciones verticales de oxígeno disuelto (mL L^{-1}) para las transectas del sector sur.
Crucero MPDH, 2020.

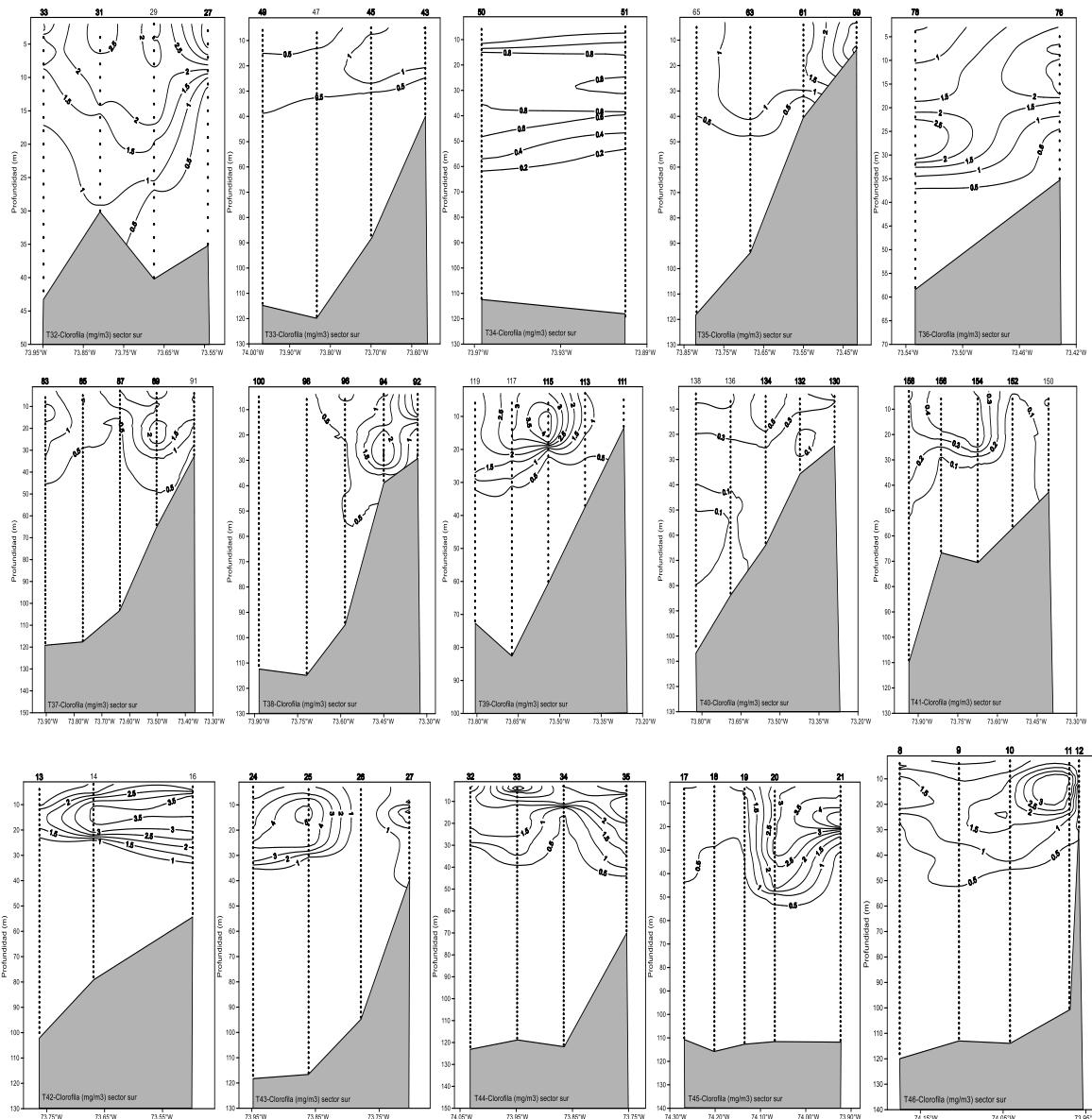


Figura A-13. Secciones verticales de clorofila-a (mg m^{-3}) para las transectas del sector sur. Crucero MPDH, 2020.



Anexo II: Personal Participante por Actividad

A continuación, se define la composición del equipo de trabajo y sus principales funciones.

PERSONAL	PROFESIÓN	INSTITUCIÓN	FUNCIÓN
Aquiles Sepúlveda O.	Biólogo Marino M.Sc. Oceanografía Dr. Rec. Nat. Pesquerías	Instituto Investigación Pesquera	de Jefe de proyecto. Coordinación general. Participación en reuniones de trabajo y coordinación. Procesamiento y análisis de datos. Estimación de biomasa desovante de sardina común y anchoveta. Elaboración de informe.
Sebastián Vásquez P.	Biólogo Marino. M.Sc. Pesquerías	Instituto Investigación Pesquera	de Procesamiento y análisis de información satelital (oceanografía). Estimación de área de desove de sardina común y anchoveta. Análisis de indicadores de abundancia de huevos y larvas de ambas especies objetivo. Elaboración de informes.
Marcos Arteaga V.	Biólogo Marino. Dr. Pesquerías (c)	Instituto Investigación Pesquera	de Procesamiento y análisis de información de los resultados del informe (biomasa desovante) y su contrastación con los resultados de evaluación de stock de las especies objetivos del estudio.
Sergio Núñez E.	Biólogo Marino. M.Sc. Oceanografía	Instituto Investigación Pesquera	de Preparación de materiales y equipos para crucero de ictioplancton, fito y zooplancton. Procesamiento y análisis de información oceanográfica. Análisis de distribución espacial del ictioplancton de huevos y larvas de ambas especies objetivo. Participación en reuniones de trabajo y coordinación. Elaboración de informes.
Jocelyn Silva A.	Biólogo Marino. M.Sc. Zoología (c)	Instituto Investigación Pesquera	de Preparación de materiales y equipos para crucero de ictioplancton, fito y zooplancton. Procesamiento de muestras ictioplácticas (separación y conteo) y de zooplancton. Análisis de información ictiopláctica. Datación de edad de huevos de ambas especies objetivos. Participación en reuniones de trabajo. Elaboración de informes.
Rubén Luna A.	Biólogo Marino.	Instituto Investigación Pesquera	de Preparación de materiales y equipos para crucero oceanográfico. Procesamiento y análisis de información oceanográfica. Análisis de distribución espacial del ictioplancton de huevos y larvas de ambas especies objetivo. Participación en reuniones de trabajo. Elaboración de informes.
Carlos González A.	Tecnólogo Marino. Licenciado Educación	Instituto Investigación Pesquera	de Procesamiento y análisis de muestras y datos asociados a la pesca de adultos en los tres sectores del área de estudio. Coordinación de bitácoras y envío de muestras.
Silvia Vargas R.	Biólogo Marino.	Instituto Investigación Pesquera	de Preparación de materiales y equipos para crucero de pesca de adultos. Procesamiento y análisis de muestras y datos asociados a la pesca de adultos en los tres sectores del área de estudio. Participación en reuniones de trabajo. Elaboración de informe.
Nicolás Alegría L.	Biólogo Marino.	Instituto Investigación Pesquera	de Participación en crucero. Registro, procesamiento y análisis de información acústica de sardina común y anchoveta, para el sector centro del área prospectada. Participación en



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

				reuniones de trabajo. Elaboración de informe. Embarque en L/M Edén I. Coordinación de bitácoras y muestras.
Roberto San Martín V.	Biólogo Marino. M.Sc. Conservación	Instituto Investigación Pesquera	de	Procesamiento y análisis de muestras y datos asociados a la pesca de adultos en los tres sectores del área de estudio. Coordinación de bitácoras y envío de muestras.
Cristián Salas D.	Dr. En Física	Instituto Investigación Pesquera	de	Procesamiento y análisis de información oceanográfica. Elaboración de informe.
Marcia Neira S.	Biólogo Marino	Instituto Investigación Pesquera	de	Trabajo en laboratorio. Análisis de muestreos biológicos completo para ambas especies objetivos. Participación en reuniones de trabajo.
Lilian Cisterna A.	Biólogo Marino	Instituto Investigación Pesquera	de	Trabajo en laboratorio. Análisis de muestreos biológicos completo para ambas especies objetivos.
Evelyn Sanhueza A.	Biólogo Marino	Instituto Investigación Pesquera	de	Trabajo en laboratorio. Procesamiento y Análisis de muestras ictioplanctónicas (huevos y larvas) para ambas especies objetivos.
Claudia Bruno H.	Biólogo Marino	Instituto Investigación Pesquera	de	Trabajo en laboratorio. Análisis de muestreos biológicos completo para ambas especies objetivos.
Jorge Olea M.	Biólogo Marino	Consultor independiente		Trabajo en laboratorio. Procesamiento y Análisis de muestras ictioplanctónicas (huevos y larvas) para ambas especies objetivos.
Paola González K.	Dr. Biología (c)	UCSC		Recepción, procesamiento y análisis histológico de muestras de gonadas de sardina común y anchoveta. Análisis de fecundidad. Participación en reuniones de trabajo. Elaboración de informe.
Lizette Donoso G.	Técnico	UCSC		Recepción, procesamiento y análisis histológico de muestras de gonadas de sardina común y anchoveta.
Arnaldo Zúñiga V.	Técnico	Instituto Investigación Pesquera	de	Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, fito- y zooplancton en estaciones del sector norte del área prospectada. Embarque en L/M Pedro L. Coordinación de bitácoras y muestras.
Mirna Castillo	Biólogo Marino	Contratado		Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, y CTD en estaciones del sector norte del área prospectada. Embarque en L/M Pedro L.
Carlos Vera	Técnico	Contratado		Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, fito- y zooplancton en estaciones del sector norte del área prospectada. Embarque en L/M Pedro L.
Ignacio García	Geofísico	Contratado		Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, y CTD en estaciones del sector centro del área prospectada. Embarque en L/M Edén I.
Héctor Medina T.	Técnico	Instituto Investigación Pesquera	de	Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, fito- y zooplancton en estaciones del sector norte del área prospectada. Embarque en L/M Edén I.
Hans Rojas	Biólogo Marino	Contratado		Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, fito- y zooplancton en estaciones del sector norte del área prospectada. Embarque en L/M Edén I.
Carlos Pincheira Q.	Biólogo Marino	Instituto Investigación Pesquera	de	Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, y CTD en estaciones del sector centro del área prospectada. Embarque en L/M Alberto M. Coordinación de bitácoras y muestras.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Pedro Carrasco C.	Técnico	Instituto Investigación Pesquera	de	Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, fito- y zooplancton en estaciones del sector norte del área prospectada. Embarque en L/M Alberto M.
Edison Orellana D.	Técnico	Instituto Investigación Pesquera	de	Participación en crucero. Despliegue de redes Pairovet, fito- y zooplancton en estaciones del sector norte del área prospectada. Embarque en L/M Alberto M.
Mitchel Quilodrán O.	Técnico	Instituto Investigación Pesquera	de	Participación en crucero de pesca de adultos de sardina común y anchoveta. Llenado de bitácoras de pesca. Muestreo de frecuencia de tallas y biológicos a bordo. Embarque en L/M Northwestern para la zona norte de la prospección.
Roberto Torres D.	Técnico	Instituto Investigación Pesquera	de	Participación en crucero de pesca de adultos de sardina común y anchoveta. Llenado de bitácoras de pesca. Muestreo de frecuencia de tallas y biológicos a bordo. Embarque en L/M Azariel para la zona centro y sur de la prospección para el despliegue de CTD y redes planctónicas en sector austral del área prospectada.
Juan Carlos Vargas	Técnico	Contratado		Participación en crucero de pesca de adultos de sardina común y anchoveta. Llenado de bitácoras de pesca. Muestreo de frecuencia de tallas y biológicos a bordo. Embarque en L/M Azariel para la zona centro y sur de la prospección para el despliegue de CTD y redes planctónicas en sector austral del área prospectada.
Julio Cerna	Técnico-Chofer	Instituto Investigación Pesquera	de	Traslado de materiales y equipos desde Inpesca a embarcaciones participantes. Traslado de científicos y técnicos desde residencias hasta centro médico para tomar PCR. Traslado de científicos y técnicos desde sus residencias a las naves participantes previo al zarpe.
Álvaro Villaseñor	Técnico-Chofer	Instituto Investigación Pesquera	de	Traslado de materiales, equipos y personal desde Talcahuano a San Antonio para embarque en crucero de pesca de adultos.



Anexo III: Taller metodológico y de Coordinación de actividades

El 10 de Agosto de 2020 se realizó por internet el taller metodológico y de coordinación de actividades del proyecto “Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común, entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2020”. Se adjunta su programa y listado de asistentes.

Programa:

9:00 - 9:15	Bienvenida a los asistentes y presentación del proyecto. Catherine Grendi – Hernán Reyes (IFOP)
9:15 - 10:10	Objetivo 1: Determinar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común. Objetivo 2: Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos. INPESCA
10:10 - 10:20	Break de 10 minutos
10:20 - 11:15	Objetivo 3: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común. Objetivo 4: Actualizar indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona INPESCA
11:15 - 12:30	Discusión general y coordinación de actividades

Asistentes:

Carla Falcón – MINECON
Camila Sagua - Subpesca
Nicole Mermoud - Subpesca
Aquiles Sepúlveda - INPESCA
Sergio Núñez - INPESCA
Nicolás Alegría - INPESCA
Catherine Grendi - IFOP
Hernán Reyes – IFOP
Eduardo Díaz – IFOP
Juan Carlos Saavedra - IFOP

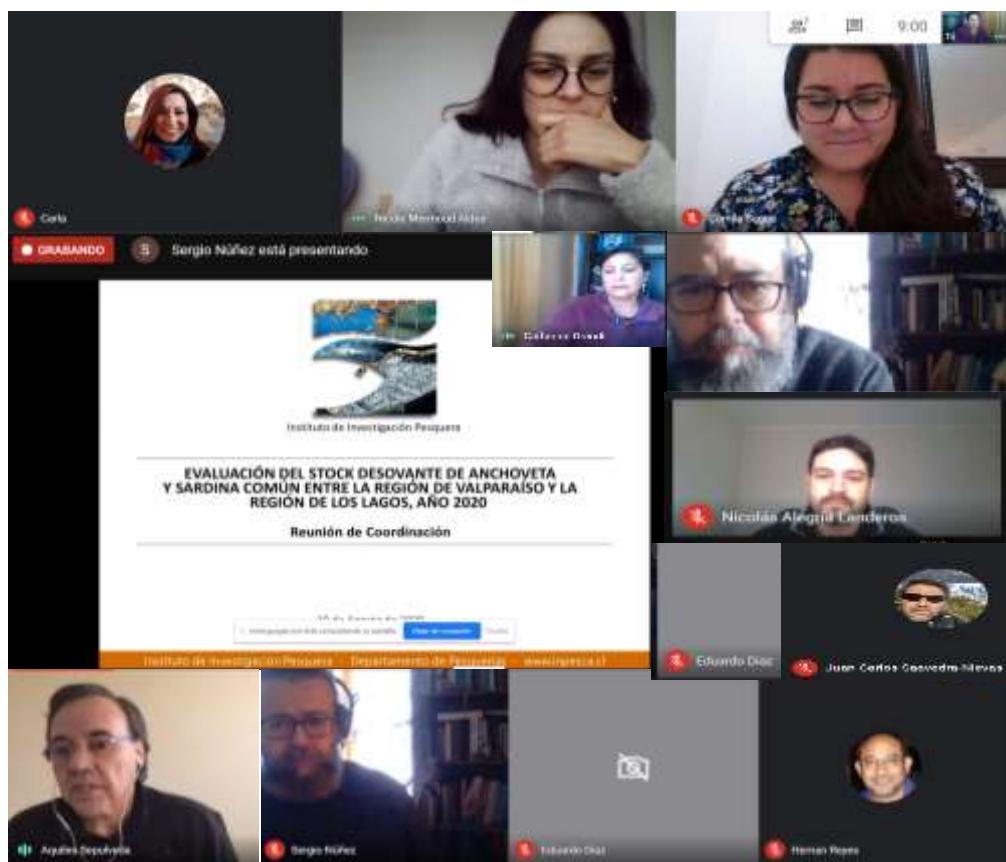


Figura A3-1. Asistentes al taller metodológico de coordinación de actividades en MPDH 2020



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

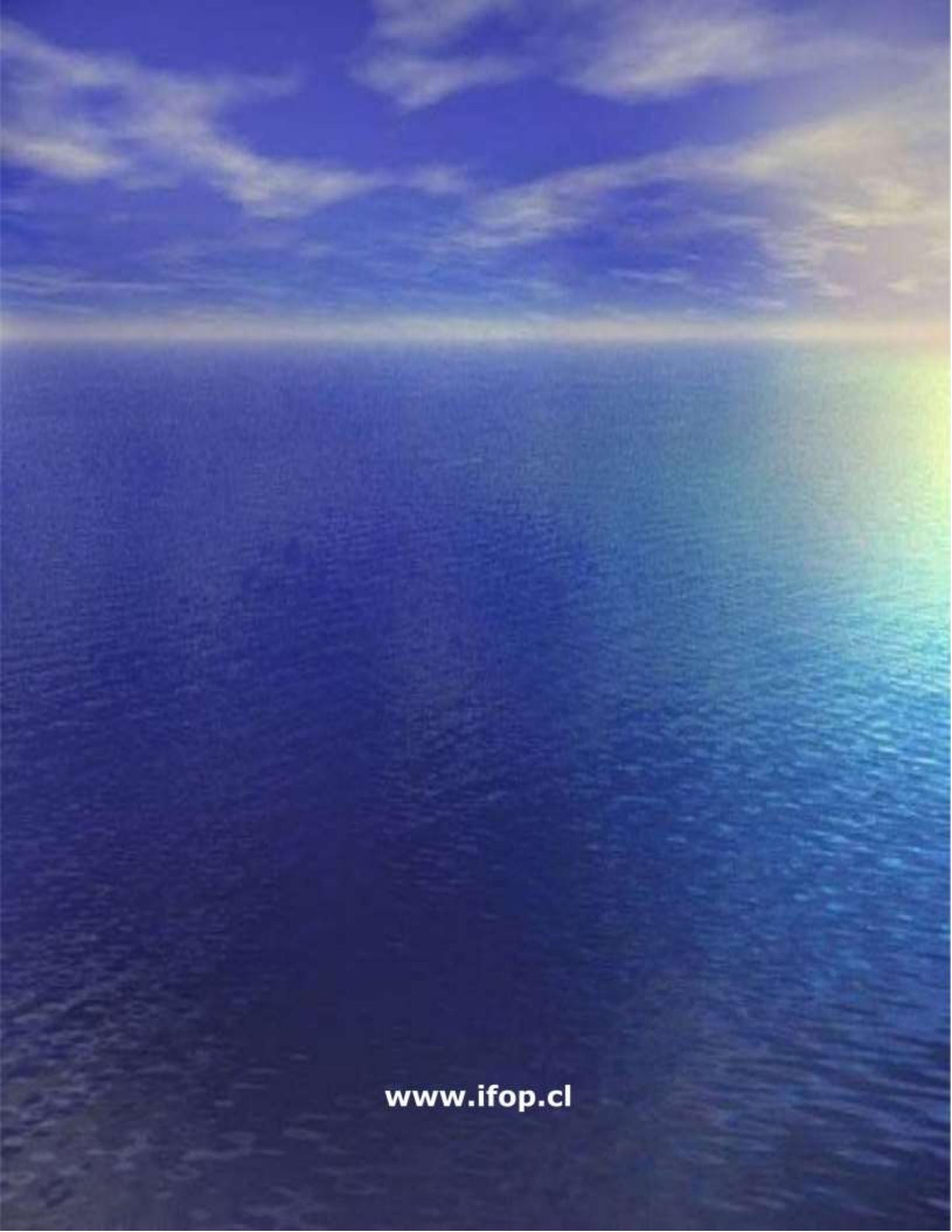
Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl

A wide-angle photograph of a calm ocean under a blue sky filled with wispy white clouds. A vibrant rainbow arches across the upper right corner of the frame, its colors transitioning from red at the top to purple at the bottom. The ocean's surface is a deep, dark blue, with subtle ripples and reflections.

www.ifop.cl