



INFORME DE FINAL

Convenio de Desempeño 2019

Evaluación del stock desovante de anchoveta y
sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región
de Los Lagos, año 2019

Julio 2020



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2019

Evaluación del stock desovante de anchoveta y
sardina común entre la Región de Valparaíso y
la Región de Los Lagos, año 2019

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2020

REQUERENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretaría de Economía y EMT:
Esteban Carrasco Zambrano

ORGANISMO RESPONSABLE

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO-IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe División (I) Investigación Pesquera
Sergio Lillo Vega

Investigador Responsable
Catherine Grendi Celedón
Hernán Reyes Rivas

Departamento Oceanografía y Medio Ambiente
Jaime Letelier Pino

Citar este informe como: 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, Valparaíso.



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2020

AUTORES

Catherine Grendi Celedón
Luis Cubillos Santander
Leonardo Castro Cifuentes
Samuel Soto Mendoza
Gabriel Claramunt Quiñones
Jessica Bonicelli Proaño
Ursula Cifuentes Ojeda

SECCIÓN REPRODUCCIÓN Y BIOMASA DESOVANTE

Luis Cubillos Santander

Muestreo

Germán Vásquez Vallejos
Roberto Torres Valenzuela

Análisis

Gabriel Claramunt Quiñones
Gustavo Herrera Urzúa
Paola Moreno Gonzalez
María José Cuevas Cuevas
Daniela Yepsen Durán
Blanca Bustos Cid
Tania Ponce López

SECCION OCEANOGRAFIA-METEOROLOGIA

Eduardo Navarro Vallejos
Wolfgang Shneider

SECCIÓN ICTIOPLANCTON E HIDROGRAFÍA

Leonardo Castro Cifuentes

Muestreos ictioplancton e hidrografía:

Pamela Barrientos Cereceda
Eduardo Flores B.
Maria C. Gaete
Tania Ponce López
César Henríquez
Carol González Aspee
Valeria González C.
Rodrigo Matamala
Pablo Vilugrón
Valeria González C.
Alejandra Llanos Rivera

Hidrografía y diagramación de Sección ictioplancton

Samuel Soto Mendoza



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2020

Proponer Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona

Luis Cubillos Santander

Leonardo Castro Cifuentes

Catherine Grendi Celedón

Ursula Cifuentes Ojeda

Jessica Bonicelli Proaño

OBJETIVO INCREMENTAL

Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta usando modelamiento biofísico. FASE III: Proponer un modelo conceptual del ciclo de vida de la sardina común y anchoveta en base a la información histórica

Catherine Grendi Celedón (Etapa adultos)

Ursula Cifuentes Ojeda (Etapa huevos)

Jessica Bonicelli Proaño (Etapa larvas)



I. RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo general del estudio fue evaluar el stock desovante de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomera bentincki*) durante el período de máxima actividad reproductiva, en el área comprendida entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos, al mismo tiempo evaluar las condiciones oceanográficas imperantes durante este proceso. Para ello, se aplicó el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) en la zona centro sur de Chile (33°S – 41°30'S), que consistió en la realización de un crucero de huevos en tres estratos geográficos: a) Sector norte, sur de Valparaíso – norte de Constitución (33°S – 34°S), b) Sector centro, entre Constitución y Golfo de Arauco (34°30'S – 37°10'S) y c) Sector sur, entre el sur de Lebu – sur de punta Galera (37°30'S – 41°20'S). Además, en paralelo se realizó un crucero de pesca orientado a la extracción de hembras maduras en los sectores centro y sur, antes mencionados.

El crucero ictioplanctónico se realizó entre el 20 de agosto y el 28 de octubre 2019. El crucero de pesca de adultos se realizó entre el 20 agosto y 9 de octubre. Los lances de pesca cubrieron hasta 5 millas náuticas de la costa de las regiones del Biobío, Araucanía y de Los Ríos.

Se muestreó un total de 386 estaciones, de las cuales 383 correspondieron a muestreo vertical de huevos con red Pairovet. En 211 estaciones se obtuvieron perfiles hidrográficos con CTD, en 66 estaciones se tomaron muestras de mesozooplancton y fitoplancton y en 28 estaciones de éstas se obtuvieron muestras de agua de mar para la determinación de clorofila-a.

De las 383 estaciones ictioplanctónicas, 106 estaciones presentaron huevos de anchoveta (27,6% del total de estaciones) y 88 estaciones presentaron huevos de sardina común (22,9% del total de estaciones). Comparado con el 2018, disminuyeron las estaciones positivas con huevos de anchoveta (2018 = 35%) y aumentaron las de sardina común (2018 = 14%). Al analizar la serie de tiempo 2002 - 2019 de porcentajes de estaciones con huevos de ambas especies, se observó que: i) las estaciones positivas de huevos de anchoveta, se han mantenido superiores a las de huevos de sardina común, ii) posterior al año 2007, se han presentado menores estaciones con huevos de anchoveta que en el periodo inicial 2002-2005, iii) sin embargo, desde el 2012 ha habido un leve aumento en las estaciones positivas de anchoveta y iv) respecto a los huevos de sardina común, también se observó un cambio a partir del año 2008, con mayor porcentaje de estaciones positivas que en el periodo inicial entre los años 2002 y 2005.

Los resultados mostraron un aumento en la proporción de estaciones positivas de ambas especies en el sector sur en comparación con el 2018. Además, disminuyó la proporción de estaciones positivas en anchoveta en el sector central y en sardina común en el norte.

La abundancia promedio de huevos en todas las estaciones positivas (norte, centro y sur) fue de 34,1 huevos 0,05 m⁻² de anchoveta y de 70,6 huevos 0,05 m⁻² de sardina común. Comparado con el año 2018, se mantuvo similar la abundancia de huevos de anchoveta (2018 = 34,8 huevos 0,05 m⁻²) y se



observó un incremento de huevos de sardina común ($2018 = 13,9$ huevos $0,05\text{ m}^{-2}$). La serie de tiempo entre los años 2002 y 2019, mostró que entre el 2007 y 2008 hubo un cambio en las abundancias relativas entre las especies: mayores abundancias de huevos de anchoveta en el periodo 2003 - 2007 y un promedio mayor de huevos de sardina común en el periodo 2008 - 2016, situación que se presentó nuevamente en el 2019.

Los huevos de anchoveta, en el sector norte fueron recolectados principalmente en estaciones costeras y en baja abundancia, asociados a las desembocaduras de los ríos Aconcagua y Maipo. En el sector central los huevos de anchoveta se presentaron a lo largo de toda la franja costera y con mayor frecuencia en las localidades que históricamente han presentado huevos, frente a punta Nugurne ($35^{\circ}30'S$), al sur de la desembocadura del río Itata ($36^{\circ}25'S$) y en el golfo de Arauco ($37^{\circ}10'S$). En el sector sur, la distribución de huevos de anchoveta fue costera y se distribuyó entre la isla Mocha y Corral ($38^{\circ}20'S$ - $39^{\circ}50'S$), con mayores valores entre isla Mocha y el río Imperial ($38^{\circ}20'S$ - $38^{\circ}45'S$). En el sector norte no se encontraron huevos de sardina común, en el sector central, se presentaron principalmente en el golfo de Arauco y en el sector sur se presentaron en la franja costera entre isla Mocha y Corral, con mayor abundancia entre el río Imperial y Corral ($38^{\circ}45'S$ - $39^{\circ}50'S$).

El número total de lances efectivos de pesca por sector de sardina común fue: 29 lances en el sector central y 30 lances en el sur. En la anchoveta, el número total de lances efectivos de pesca fue: 29 en el sector central y 4 en el sector sur. La estructura de tallas de la sardina común, se caracterizó con hembras más grandes que los machos y por tener una talla media similar entre los sectores centro y sur, mientras que lo contrario se observó en la anchoveta, donde los machos fueron más grandes que las hembras y la talla media de los ejemplares en el sector central fue más grande que en el sur.

La producción diaria de huevos de anchoveta en el sector sur fue de 1159,5 huevos/ $0\text{ m}^2/\text{día}$ y en el sector centro fue de 136,5 huevos/ $\text{m}^2/\text{día}$. En el sector centro la sardina común mostró una producción diaria de huevos de 565,1 huevos/ $\text{m}^2/\text{día}$ al igual que la anchoveta y en el sector sur fue de 509,1 huevos/ $\text{m}^2/\text{día}$. La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta fluctuó entre 0,42 por día en el sector centro a 1,02 por día en el sur, en la sardina común las mortalidades diarias fueron similares en ambos sectores (centro y sur).

Durante el desarrollo del crucero de huevos y adultos, el índice gonadosomático presentó valores $>5\%$ a mediados de junio en la sardina común y a partir de septiembre en la anchoveta, cuyos valores se extendieron hasta finales de noviembre. Esta diferencia se debió a que la sardina común presenta un máximo reproductivo más acotado que la anchoveta.

En la anchoveta se analizaron 1.257 hembras correspondientes a 34 lances. El análisis histológico de los ovarios indicó que el 98,5% de ellas se encontraban activas, evidenciando que el crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove. De las hembras, 18 se catalogaron como virginales, por tanto, no se utilizaron en los cálculos. La fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta se estimó en 0,205 con un coeficiente de variación de 8,1%. La fecundidad parcial promedio por lance,



utilizando el ajuste de largo plazo resultó en 10.000 ovocitos (CV = 5,8%). El peso promedio estimado de hembras maduras en el área investigada fue de 26,8 g, con 28,9 g en el sector centro y 12,3 g en el sur (CV = 5,8%).

En la sardina común, se analizaron 1.589 hembras correspondientes a 40 lances (20 en sector centro y 20 el sur). El análisis histológico de los ovarios indicó que el 98,6% de las hembras se encontraban activas en el área total. En el sector centro el 100% de las hembras se encontraron activas y en el sector sur el 97%. La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste correspondiente al año 2019 fue de 11.081 ovocitos para el área total (10.404 en el sector sur y 11.758 en el sector centro). La estimación de peso promedio de hembras maduras en el área total fue de 24,76 g, con 26,47 g en el sector centro y 23,04 g en el sur.

La estimación indicó una biomasa desovante total de anchoveta de 136.588 toneladas (8.785 ton en el sector centro y 127.804 ton en el sur) y de sardina común en 103.333 toneladas (44.752 ton en el sector centro y 58.581 ton en el sur).

Las condiciones oceanográficas en la zona centro sur de Chile, derivadas de las imágenes satelitales, mostraron un patrón de variación de la temperatura superficial del mar con la latitud, que disminuyó meridionalmente. Además, el campo de viento mostró variabilidad espacio-temporal en la dirección y magnitud del viento, con los más intensos y favorables a la surgencia durante septiembre. La biomasa fitoplanctónica mostró las mayores concentraciones de clorofila-a se en la banda costera.

Los análisis GAMs indicaron diferencias por especie en los rangos de preferencias de temperatura, salinidad y densidad (σ_t), los que fueron más bajos en la sardina común (<11,8°C; 32,7 - 34,1; 24,9 - 25,8 kg/m³) y posiblemente más costeros que en la anchoveta (11,3°C - 12,3°C; 33,1 - 34,6; 25,4 - 26,5 kg/m³). Los GAMs también indicaron que bajas abundancias de sifonóforos (<23 ind/m²), de quetognatos (<12 ind/m²) y de medusas (43 ind/m²) se relacionaron positivamente con huevos de ambas especies. Las secciones verticales de clorofila-a en cada sector, mostraron que las zonas de mayores abundancias de huevos en ambas especies, se presentaron en las estaciones con mayores concentraciones de clorofila-a, independiente de la distancia de la costa.

Los centroides de distribución durante el periodo 2002 - 2018, mostraron que: i) en la sardina común tendieron a ubicarse en mayores latitudes que los de anchoveta, ii) en ambas especies presentaron patrones semejantes, dentro de cada sector (centro y sur), iii) esos desplazamientos latitudinales no coincidieron entre sectores, iv) los desplazamientos dentro de cada sector no coincidieron con el desplazamiento de los centroides obtenidos utilizando la totalidad de los datos. La estimación total de la población en los tres sectores, mostró que ambas especies presentaron un desplazamiento de sus centros de distribución hacia el sur desde el año 2003 al 2007, luego un desplazamiento hacia menores latitudes (~37°S) desde el año 2007 al 2016 en la anchoveta y en el 2018 en la sardina común, en el 2019 los centroides de ambas especies se ubicaron entre 38°S-38,5°S. Los valores promedios de las variables hidrográficas a 10 m de profundidad, en la latitud en que se encontraron los centroides de cada especie, mostraron que la temperatura y salinidad a las que se encontraron los huevos de sardina



común fueron más bajas que en las que se encontraron los huevos de anchoveta, al igual que lo obtenido en el análisis GAM.

Se presentó una correlación positiva entre la serie histórica de caudales, precipitaciones y abundancias de huevos de anchoveta, asociada a los ríos del sector central (Itata y Biobío), siendo la mayor correlación con el río Itata ($>0,4$). La abundancia de huevos de sardina común exhibió una correlación significativa con los valores de caudales y precipitaciones asociados a los ríos Biobío y Valdivia, con este último río la correlación mayor ($>0,34$).

El indicador de posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico sur reveló una componente estacional con un debilitamiento en verano y localización de su centro en la zona centro sur de Chile (36°S - 37°S) favoreciendo los procesos de surgencia, en invierno se fortalece y su centro migra hacia la zona centro norte (35°S), favoreciendo la penetración desde el oeste de los frentes de viento norte y los procesos de hundimiento en la costa. Entre el 2016 y 2019, se registraron anomalías negativas en la componente meridional, indicando que el APS se ha desplazado hacia el sur, lo que podría favorecer una intensificación de la surgencia costera y una disminución de las precipitaciones. Se registraron algunas respuestas a los eventos interanuales ENOS, donde las anomalías del APS aumentaron con condiciones frías La Niña y disminuyeron con condiciones cálidas El Niño. A partir del año 2000 se observó un cambio de fases en las anomalías acumuladas evidenciando un fortalecimiento paulatino en el tiempo del APS.

La fase del ciclo anual en todas las estaciones, mostró diferencias a lo esperado en el ciclo anual promedio, con los mayores cambios (atraso/adelanto) en la zona norte de Chile y algunos indicios en la zona centro sur (Talcahuano, Valparaíso y San Antonio).

Los parámetros del ciclo de vida de anchoveta y sardina, recopilados de la literatura, mostraron características bastante similares entre ellas en las tres etapas de desarrollo, huevo, larva y adulto. Esto además se reflejó entre poblaciones o unidades de stock como en el caso de la anchoveta, por lo que proponer un ciclo de vida general resultó ser adecuado.

EXECUTIVE SUMMARY

The main objective of the study was to assess the spawning biomass of anchovy (*Engraulis ringens*) and common sardine (*Strangomerina bentincki*) during the maximum reproductive activity in the area located between the Valparaíso and Los Lagos regions, as well the oceanographic conditions associated with the spawning process. The Daily Egg Production Method (DEPM) was applied in the central-southern area off Chile (33°S - $41^{\circ}30'\text{S}$), which consisted of executing an egg survey in three geographic strata: a) North sector, from south of Valparaíso to north of Constitución (33°S - 34°S), b) Central sector, between Constitución and Gulf of Arauco ($34^{\circ}30'\text{S}$ - $37^{\circ}10'\text{S}$), and c) South sector,



between south of Lebu to the south of Punta Galera ($37^{\circ}30'S$ - $41^{\circ}20'S$). Besides, a fishing survey was carried out to catch mature specimens in the central and southern sectors previously described.

In the central sector, the ichthyoplankton survey was carried out from August 20th to October 28th, 2019. The fishing survey for adult fish started on August 20th to October 9th, 2019. The fishing tows were obtained within the first 5 nautical miles from shore off the Biobío, Araucanía and Los Ríos regions.

A total of 386 stations were sampled, in which 383 were sampled with Pairovet. At 211 stations we obtained hydrographic stations deploying a CTD/OF, in addition, mesozooplankton and phytoplankton samples were obtained from 66 stations, among which 28 stations included water samples for chlorophyll-a determinations.

Out of the 383 ichthyoplanktonic stations, anchovy eggs were found in 106 stations (27% out of the total plankton stations) and 88 stations contained common sardine eggs (22.9% out of the total plankton stations). The proportion of stations with anchovy eggs in 2019 declined compared with the previous year (2018: 35%) but increased for common sardine (2018: 14%). In the 2002-2019 time series: i) the percentages of stations with anchovy eggs were higher than for common sardine; ii) after 2007, there were less stations with anchovy egg than in the first time period 2002-2005; iii) stations with anchovy eggs increased from 2012 to 2019; and iv) the percentage of stations with common sardine eggs also increased since 2008, as compared with the time period 2002-2005.

The results showed an increase in the proportion of positive stations in both species in the southern sector compared with 2018. The proportion of positive stations for anchovy in the central sector and for common sardine in the north decreased from 2018 to 2019.

The average of egg abundance in all positive stations (north, central and south) was 34.1 anchovy eggs per 0.05 m^2 and 70.6 common sardine eggs per 0.05 m^2 . As compared with 2018, the anchovy egg abundance was similar (2018: 34.8 eggs per 0.05 m^2) and the common sardine egg abundance showed an increment (2018: 13.9 egg per 0.05 m^2). In the time series of egg abundances (2002-2019), there was a shift between anchovy and common sardine egg abundances in 2007-2008: from a higher abundance of anchovy eggs in 2003-2007 to a higher average abundance of common sardine in the period 2008-2016. This shift continued in 2019 same as before (2008-2016).

In the north sector, anchovy eggs were found in coastal stations and the abundance was low and the eggs were located close to the Aconcagua and Maipo river mouths. In the central sector, anchovy eggs were located along all the coastal and with higher frequency in those localities that historically showed eggs: Punta Nugurne ($35^{\circ}30'S$), south of the Itata river mouth ($36^{\circ}25'S$) and the gulf of Arauco ($37^{\circ}10'S$). In the south sector, the distribution of the anchovy eggs was coastal, between Mocha island and Corral bay ($38^{\circ}20'S$ - $39^{\circ}50'S$), with higher abundance between Mocha island and Imperial river ($38^{\circ}20'S$ - $38^{\circ}45'S$). In the north sector, any sardine eggs were found. In the central sector, the distribution of sardine eggs was located mainly in the gulf of Arauco. In the south sector, the common



sardine egg distribution was coastal between Mocha island and Corral bay, also with higher abundance between Mocha island and Imperial river ($38^{\circ}45'S$ - $39^{\circ}50'S$).

The number of effective fishing tows for common sardine were 29 in the central sector and 30 in the south sector. In the case of anchovy, 29 fishing tows were obtained in the central sector and 4 in the south sector. The length composition of the common sardine catches was characterized by females larger than males and with similar average length between the central and south sectors, while the opposite situation was observed in the anchovy, with males larger than females and an average length larger in the central sector than in the south.

The daily anchovy egg production was 1159.5 egg/m²/day in the south sector and 136.5 egg/m²/day in the central sector. The daily sardine egg production was high, with 565.1 egg/m²/day in the central sector and 509.1 egg/m²/day in the south. The daily anchovy egg mortality varied between 0.42 and 1.02 per day in the central and south sectors, respectively. The daily sardine egg mortality was similar between sectors.

During the egg and fishing surveys, the gonadosomatic index exhibited values >5% from mid-June in common sardine and since early September in anchovy, extending the latter until end November. These differences because the common sardine has a reproductive peak more constrained than anchovy, and the histological results showed that both species were fully active during the sampled period.

A total of 1257 anchovy females from 34 fishing tows were analyzed. The ovary histological analyses showed 98.5% of active females, evidencing that the survey was carried out during the peak reproductive season. Out of all females, 18 were classified as virginal and were discarded for the analysis. The daily anchovy spawning fraction was 0.205 and the coefficient of variation (CV) was 8.1%. The mean batch fecundity was 10000 oocytes (CV = 5.8%). The mean weight of mature females was 26.8 g (CV = 5.8%), which was different between sectors (28.9 g in the central sector and 12.3 g in the south sector).

The females of common sardine analyzed were 1589 specimens from 40 fishing tows (20 in the central sector and 20 in the south sector). The ovary histology showed that 98.6% were active females in the total area studied (100% in the central sector and 97% in the south sector). The mean batch fecundity was 11081 oocytes (11758 oocytes in the central sector and 10404 oocytes in the south sector). The average weight of mature females was 24.76 g (26.47 g in the central sector and 23.04 g in the south sector).

The spawning biomass estimates showed differences between sectors, particularly for anchovy, associated with differences in the daily egg production. The total anchovy spawning biomass was 136588 tons (8785 tons in the central sector and 127804 tons in the south sector). The total common sardine estimated biomass was 103333 tons (44752 tons in the central sector and 58581 tons in the south sector).



The oceanographic conditions, from satellite images, showed the sea surface temperature pattern of variation according to latitude, with values decreasing from north to south. The wind field showed spatial-temporal variability in direction and intensity, recording intense winds favoring coastal upwelling during September. The phytoplankton biomass showed the higher chlorophyll-a concentrations along the coast.

The generalized additive models (GAM) showed differences by species with preference ranges of temperature, salinity, and density (*sigma-t*) which were lower in common sardine (<11.8°C, salinity 32.7-34.1 and 24.9-25.8 kg/m³) and possibly more coastal than anchovy (11.3°C -12.3°C, salinity 33.1-34.6 and 25.4-26.5 kg/m³). Low abundance of siphonophores (<23 ind./m²), chaetognaths (<12 ind./m²), and medusae (43 ind./m²) were associated positively with high egg abundances in both species. The vertical sections of chlorophyll-a in each sector showed that higher egg abundance of both species occurred in plankton stations with higher chlorophyll-a concentrations, independent of its distance from the coast.

The center of egg distributions (centroids) during the period 2002-2018, showed that: i) common sardine egg centroids tended to locate at a higher latitude than anchovy, ii) latitudinal movements of the centroids in time were similar for both anchovy and common sardine, within each geographic sector (central and south), iii) the latitudinal displacements were not synchronous in all sectors, iv) the displacements of centroids in each sector did not coincide with the displacements of the centroid of all eggs over the entire study area (total populations). The displacement of the centroids of all eggs over the entire area showed that the eggs of both anchovy and common sardine moved to the south from 2003 to 2007 then to the north (~37°S) from 2007 to 2016 for anchovy or to 2018 in common sardine. Finally, in 2019, the centroids of both species migrated back to the south and were located between 38°S-38.5°S. The mean values of the hydrographic variables measured a 10 m deep, at the latitude of each centroid, showed that sardine eggs were located at ranges of temperature and salinity lower than anchovy eggs as the GAMs already showed.

There was a positive correlation among river flow, precipitation, and anchovy egg abundance around the river mouths Itata and Biobío in the central sector. The highest correlations in anchovy were between egg abundance and the Itata river (>0.4). The egg abundance of common sardine exhibited significant correlations with river flows and precipitations around rivers Biobío and Valdivia, the last showing the highest correlations (>0.34).

The position and intensity of the indicator of the South Pacific High revealed a seasonal component with a weakening in summer and location of its center in the south central zone of Chile (36°S-37.5°S) favoring upwelling processes. In winter it strengthens and its center migrates towards the north central zone (35°S), favoring the propagation of the north wind in the south center zone and downwelling processes on the coast. Between 2016 and 2019, negative anomalies were registered in the southern component, indicating that the SPH has moved southward, which could favor an intensification of coastal upwelling. Some responses to interannual ENSO events were observed, where the SPH



anomalies increased with cold conditions La Niña and decreased with warm conditions El Niño. From the year 2000, a change of phases was observed in the accumulated anomalies, evidencing a gradual strengthening of the SPH.

The phase of the annual cycle in all the coastal stations showed differences with what was expected in the average annual cycle, with the greatest changes (delay / advance) in the northern zone of Chile and some of them in the central-southern zone (Talcahuano, Valparaíso and San Antonio).

The parameters of the anchovy and sardine life cycle, collected from the literature, showed quite similar characteristics among them in the three stages of development, egg, larva and adult. This was also reflected between populations or stock units as in the case of anchovy, so proposing a general life cycle seems to be adequate.



II. ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN EJECUTIVO	I
EXECUTIVE SUMMARY	IV
II. ÍNDICE GENERAL	IX
III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	XIV
FIGURAS	XIV
TABLAS	XIX
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 PERÍODO DE ESTUDIO	4
2.1. Grilla regular de estaciones de huevos	4
2.2.- Recolección de muestras de huevos, mesozoopláncton, fitopláncton, biomasa fitoplánctonica (clorofila-a) y muestreo hidrográfico	5
Huevos de anchoveta y sardina común	5
Mesozoopláncton y fitopláncton	5
Biomasa fitoplánctonica	5
Muestreo oceanográfico (in situ)	6
2.3- Desarrollo del crucero y tipo de muestreo por estación	7
3. OBJETIVO 1 DETERMINAR LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS, METEOROLÓGICAS Y PLANCTÓNICAS ASOCIADAS AL CRUCERO	9
3.1. Información satelital	9
3.2. Distribución de los huevos y larvas en ambas especies y las condiciones oceanográficas, durante el crucero 2019	10
Secciones horizontales de variables hidrográficas	10
Diagramas T-S y masas de agua	10
Distribución horizontal del ictioopláncton, mesozoopláncton y fitopláncton	11
Secciones verticales de las variables bioceanográficas	11
3.3. Relación entre la distribución de huevos, mesozoopláncton y fitopláncton con las condiciones oceanográficas durante el crucero	12
a) Distribución horizontal de huevos y larvas, mesozoopláncton y fitopláncton sobre variables oceanográficas	12
b) Abundancias de huevos y larvas sobre diagramas T-S	12
c) Modelos aditivos generalizados (GAMs)	12
d) Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas	13
e) Distribución horizontal de huevos y larvas sobre grupos de potenciales presas y predadores (zoopláncton)	13
f) Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos de anchoveta y sardina común con la presencia de potenciales presas y predadores (zoopláncton)	13
g) Distribución horizontal de huevos y larvas sobre grupos de fitopláncton	14
h) Relación de la distribución de huevos de anchoveta y sardina común con la concentración de clorofila-a	14
4. OBJETIVO 2: ESTIMAR LA BIOMASA DEL STOCK DESOVANTE	15



4.1 Determinación del área de crucero y de desove	15
4.2 Conteo, clasificación y asignación de edad	16
4.3 Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos	17
4.4. Análisis estructural de la densidad de huevos	19
4.5. Tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común	20
4.5.1. Muestreo a bordo y procedimientos de laboratorio	21
4.5.2. Parámetros reproductivos de adultos	22
4.5.3. Indicadores de actividad reproductiva (IGS)	23
4.5.4. Estadios de madurez y fracción diaria de hembras desovantes	24
4.5.5. Fecundidad parcial	27
4.5.6. Peso promedio y proporción sexual	28
4.5.7. Biomasa desovante	28
5. OBJETIVO 3: PROPONER INDICADORES FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE ESCALA REGIONAL Y LOCAL QUE DEN CUENTA DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA	29
5.1. Indicadores para la zona centro sur de Chile, propuestos por la Universidad de Concepción	29
5.1.1. Anomalías de temperatura superficial del mar satelital y de clorofila-a satelitales, anomalías de temperatura a 10 m de profundidad, junto con la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur (2002-2016).	29
5.1.2. Variabilidad de los centros de masa de los huevos de anchoveta y sardina común junto con la distribución de huevos y las variables hidrográficas de temperatura, salinidad y fluorescencia entre los años 2002 y 2019	30
5.1.3. Indicador de caudales de los principales ríos en la zona centro sur de Chile, asociado a la abundancia de huevos	30
5.1.4. Indicador de la anomalía acumulada de temperatura superficial del mar y de la clorofila-a (satelitales)	32
5.1.5. Índice de abundancia de huevos	33
5.2. Indicadores Físicos propuestos por el Instituto de Fomento Pesquero	34
5.2.1. Posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS)	34
5.2.2. Amplitud y fase del ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM)	35
6. OBJETIVO INCREMENTAL: DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS AMBIENTALES EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y ABUNDANCIA DE LA SARDINA COMÚN Y ANCHOVETA USANDO MODELAMIENTO BIOFÍSICO. FASE III: PROPONER UN MODELO CONCEPTUAL DEL CICLO DE VIDA DE LA SARDINA COMÚN Y ANCHOVETA EN BASE A LA INFORMACIÓN HISTÓRICA.	38
VII. RESULTADOS	39
1. OBJETIVO 1: CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS ASOCIADAS AL CRUCERO DE HUEVOS DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN	39
1.1. Condiciones oceanográficas globales	39
Clorofila-a satelital	41
Campo advectivo de temperatura superficial del mar	41
Campo de viento superficial	42
1.2. Condiciones oceanográficas durante el crucero	43
Secciones horizontales a distintas profundidades	43
Diagramas T-S y masas de agua	48
2. OBJETIVO 2: ESTIMAR LA BIOMASA DEL STOCK DESOVANTE	49
2.1. Densidad, abundancia y distribución espacial de huevos de anchoveta y sardina común	49
2.1.1. Estaciones con presencia de huevos	49
2.1.2. Proporción de estaciones positivas por sector, año 2019	50
2.1.3. Abundancia de huevos	52
2.1.4. Abundancia promedio de huevos	53
2.1.5. Distribución de huevos y larvas en el año 2019	54
2.1.6. Distribución de huevos anchoveta y sardina común en los años 2016, 2018 y 2019	58
2.1.7. Distribución de huevos asociadas a condiciones oceanográficas y distribución de plancton, año 2019 ..	61



Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas (red Calvet)	61
Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas (red Cónica)	67
Diagramas T-S, asociados a las abundancias de huevos y larvas (red Calvet)	73
Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos e hidrografía a 10 m de profundidad (red Calvet).	75
Distribución horizontal de huevos y larvas, sobre grupos de potenciales presas y predadores en el zooplancton (red Cónica)	77
Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos de anchoveta y sardina común, con la presencia de potenciales presas y predadores (zooplancton), año 2019 (red Cónica).....	84
Distribución horizontal de huevos y larvas sobre grupos de fitoplancton, año 2019.	87
Relación de la distribución de huevos de anchoveta y sardina común con la concentración de clorofila-a en transectas (costa océano)	95
2.1.8. Análisis de desestructuración del desove con geoestadística	97
2.1.9. Producción diaria de huevos	98
2.2. Tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común.....	101
2.2.1. Crucero de adultos	101
2.2.2. Composición por tallas	106
2.2.3. Parámetros reproductivos	110
Estados de madurez	110
Indicador de actividad reproductiva (IGS).....	110
Fracción diaria de hembras desovantes	112
Fecundidad	113
Peso promedio y proporción de hembras	116
2.2.4. Biomasa desovante	117
4. OBJETIVO 4: INDICADORES FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE ESCALA REGIONAL Y LOCAL QUE DEN CUENTA DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA.....	119
4.1. Indicadores propuestos para la zona centro sur de Chile por la Universidad de Concepción	119
4.1.1. Anomalías de temperatura superficial del mar satelital y de clorofila-a satelitales, anomalías de temperatura y salinidad a 10 m de profundidad, junto con la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur (2002-2016).	119
4.1.2. Variabilidad de centros de masa de distribuciones de huevos (de anchoveta y sardina común entre los años 2002 y 2019 en los sectores geográficos (norte, centro y sur) de la zona centro sur de Chile.	121
4.1.3. Índicador de caudales de los principales ríos en la zona Centro sur de Chile, asociado a la abundancia de huevos.....	124
a. Análisis histórico de los caudales medios de los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia	124
b. Análisis histórico de las precipitaciones asociadas a los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia.....	124
c. Relación de los valores promedios de caudales y pluviometría, con la abundancia de huevos.	126
4.1.4. Indicador de la anomalía acumulada de temperatura superficial del mar y de la clorofila-a (satelitales)	127
4.1.5. Índice de abundancia de huevos.....	130
4.2. Indicadores Físicos propuestos por el Instituto de Fomento Pesquero.....	131
4.2.1. Indicador de la posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS)	131
4.2.2. Indicador de amplitud y fase de ciclo anual de la temperatura superficial del mar	134
5. OBJETIVO INCREMENTAL: DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS AMBIENTALES EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y ABUNDANCIA DE LA SARDINA COMÚN Y ANCHOVETA USANDO MODELAMIENTO BIOFÍSICO. FASE III: PROPOSER UN MODELO CONCEPTUAL DEL CICLO DE VIDA DE LA SARDINA COMÚN Y ANCHOVETA EN BASE A LA INFORMACIÓN HISTÓRICA	138
5.1. Etapa de adultos.....	138
5.1.1. Antecedentes biológicos.	138
Anchoveta Engraulis ringens (Jenys, 1842).....	138
Distribución geográfica.....	139
Sardina común, Strangomerus bentincki (Norman, 1936)	140
Distribución geográfica	140



5.1.2. Alimentación de ambas especies	141
5.1.3. Determinación de la fecha de nacimiento	144
5.1.4. Las tasas de crecimiento globales (TCG)	147
5.1.5. Mortalidad natural (M)	151
5.1.6. Madurez sexual y reproducción	154
5.1.7. Área del desove	157
5.1.8. Reclutamiento	157
5.2. Etapa de huevos.....	158
5.2.1. Estadios de desarrollo embrionario.....	158
5.2.2. Modelo de desarrollo de huevos en función de la temperatura	159
5.2.3. Mortalidad de los huevos	160
5.2.4. Características del huevo	160
5.2.5. Composición y calidad bioquímica del huevo	161
5.2.6. Volumen o tamaño del huevo.....	162
5.2.7. Densidad del huevo.....	163
5.3.Etapa de larvas.....	164
VIII. DISCUSION	168
IX. CONCLUSIONES	173
X. REFERENCIAS	175
ANEXO I: DETERMINACIÓN DE EDAD	198
a) Método convencional: procedimiento automatizado de Lo	198
b) Método Multinomial	199
ANEXO II: PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD	202
ANEXO III: DESCRIPTORES DE BASES DE DATOS	208
1.DATOS OCEANOGRÁFICOS	208
Intercalibración	215
2. DATOS BIOLÓGICOS	215
2.1.Huevos	215
2.2.Base de datos de hembras maduras	217
2.3. Proporción sexual	218
2.4. Fecundidad	219
2.5. Fitoplancton	220
2.6. Zooplancton.....	220
ANEXO IV: TALLERES	221
1.Taller de Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental en los proyectos MPDH, año 2019	221
1.2. Presentaciones	223
1.2.1. Bienvenida y presentación del taller por Catherine Grendi (IFOP)	223
1.2.2. Indicadores Biológicos por Jessica Bonicelli (IFOP)	225
1.2.3. Indicadores Físicos por Ursula Cifuentes (IFOP)	231
1.2.4. Indicadores de la zona Centro sur por Luis Cubillos (UdeC)	239
2.Taller de presentación de resultados del proyecto: Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2019.....	244
2.2. Presentaciones	247
2.2.1. Bienvenida y presentación del proyecto por Catherine Grendi (IFOP)	247



2.2.2. Biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos. Presentado por Luis Cubillos (UdeC)	252
2.2.3. Distribución y abundancia de huevos y su relación con las condiciones oceanográficas. Presentado por Leonardo Castro (UdeC)	256
2.2.4. Modelo conceptual del ciclo de vida de la anchoveta y sardina común. Presentado por Jessica Bonicelli (IFOP)	265
2.2.5. Indicadores ambientales propuestos en la zona centro sur. Presentado por Luis Cubillos (UdeC)	272
2.2.6. Resumen – conclusiones y cierre del taller por Catherine Grendi (IFOP)	276



III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1. Mapa de la grilla de muestreo del crucero MPDH Centro sur (33°00'S a 41°20'S), año 2019. La estaciones se distribuyen hasta el veril de los 200 m.	6
Figura 2. Serie de tiempo (2010 - 2019) del periodo de muestreo en los sectores centro y sur, incluyendo el sector norte durante el crucero 2019 (última quincena de octubre).	7
Figura 3. Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de la producción diaria de huevos y mortalidad diaria de huevos.	15
Figura 4. Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de los parámetros reproductivos principales del MPDH.	21
Figura 5. Análisis de Wavelet (<i>Morlet</i>) de la serie horaria de TSM en la estación costera de Valparaíso: a) Poder espectral (°C ²) en las distintas frecuencias entre los años 1999 y 2019 (el contorno indica nivel de significancia al 95%); b) Poder espectral promedio (°C ²) en toda la serie; c) Reconstrucción del ciclo anual de TSM para cada año de la serie (línea negra), ciclo anual promedio de TSM para toda la serie (línea verde) y datos originales de TSM sin tendencia (línea gris).	37
Figura 6. Promedios mensuales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (°C) en: a) Julio, b) Agosto, c) Septiembre y d) Octubre, 2019.	40
Figura 7. Promedios mensuales de concentraciones de clorofila-a en: a) Agosto, b) Septiembre y c) Octubre, 2019.	41
Figura 8. Campo promedio de velocidades advectivas de la TSM en los meses de: a) Agosto, b) Septiembre y c) Octubre, 2019.	42
Figura 9. Promedios mensuales del campo de viento satelital (m/s) en: a) Agosto, b) Septiembre y c) Octubre, 2019.	43
Figura 10. Características hidrográficas en superficie de: temperatura (°C, panel izquierdo), salinidad (panel central) y densidad (kg/m ³ , panel derecho), en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, durante el crucero 2019.	45
Figura 11. Características hidrográficas a 10 m de profundidad de: temperatura (°C, panel izquierdo), salinidad (panel central) y densidad (kg/m ³ , panel derecho), en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, durante el crucero 2019.	46
Figura 12. Características hidrográficas a 50 m de profundidad de: temperatura (°C, panel izquierdo), salinidad (panel central) y densidad (kg/m ³ , panel derecho), en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, durante el crucero 2019.	47
Figura 13. Diagrama T-S y porcentaje de masas de agua (%) presente en los sectores centro (panel izquierdo) y sur (panel derecho), durante el crucero 2019.	48



Figura 14. Porcentaje de estaciones con huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 y 2019, en la zona total de muestreo.....	50
Figura 15. Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común, por sector entre los años 2002 y 2019.....	51
Figura 16. Abundancia promedio de todas las estaciones positivas de huevos de anchoveta y de sardina común en toda la zona de estudio durante el periodo 2002 - 2019	52
Figura 17. Abundancia promedio en estaciones positivas de huevos de anchoveta y sardina común por sector, entre los años 2002 y 2019. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en el periodo 2002 - 2019.....	54
Figura 18. Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de anchoveta en los sectores norte, centro y sur, durante el crucero 2019 (red calvet).....	56
Figura 19. Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de sardina común en los sectores norte, centro y sur, durante el crucero 2019 (red calvet).....	57
Figura 20. Distribución de huevos de anchoveta, registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2016 (panel superior), 2018 (panel central) y 2019 (panel inferior).	59
Figura 21. Distribución de huevos de sardina común, registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2016 (panel superior), 2018 (panel central) y 2019 (panel inferior).....	60
Figura 22. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg/m ³) a 10 m de profundidad, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).	62
Figura 23. Distribución y abundancia de larvas de anchoveta sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg/m ³) a 10 m de profundidad en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).	63
Figura 24. Distribución y abundancia de huevos de sardina común sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg/m ³) a 10 m de profundidad, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).	65
Figura 25. Distribución y abundancia de larvas de sardina común sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg m ⁻³) a 10 m de profundidad, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).	66
Figura 26. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta (ind.m ⁻²), asociado a la temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m ⁻³), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).	69



Figura 27. Distribución y abundancia de huevos de sardina común (ind.m ⁻²), asociado a la temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m ⁻³), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).....	70
Figura 28. Distribución y abundancia de larvas de anchoveta (ind.m ⁻²), asociado a la temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m ⁻³), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).....	71
Figura 29. Distribución y abundancia de larvas de sardina común (ind.m ⁻²), asociado a la temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m ⁻³), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).....	72
Figura 30. Diagramas de temperatura y salinidad, a 10 m profundidad, en cada estación, sobrepuertos a una representación escalada de la abundancia por estación de: a) huevos y b) larvas de anchoveta (panel izquierdo) y sardina común (panel derecho). Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos y larvas en estaciones del sector norte, en rojo el sector central y en azul el sector sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).	74
Figura 31. Abundancia de huevos de anchoveta (ind.m ⁻²), sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind.m ⁻²), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).....	80
Figura 32. Abundancia de huevos de sardina común (ind.m ⁻²), sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind.m ⁻²), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).....	81
Figura 33. Abundancia de larvas de anchoveta (ind.m ⁻²), sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind.m ⁻²), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).....	82
Figura 34. Abundancia de larvas de sardina común (ind.m ⁻²), sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind.m ⁻²), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).....	83
Figura 35. Efectos de los predictores apendicularias, sifonóforos, quetognatos y medusas sobre la variable densidad de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b), ajustado un modelo quasipoisson (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta y líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza (red Cónica).....	86
Figura 36. Abundancia de huevos de anchoveta (huevos m ⁻²) sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, <i>Skeletonema</i> , <i>Thalassiosira</i> y <i>Chaetoceros</i> (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica).....	91



- Figura 37.** Abundancia de huevos de sardina común (huevos m^{-2}) sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros* (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica)..... 92
- Figura 38.** Abundancia de larvas de anchoveta (larvas m^{-2}) sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros* (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica)..... 93
- Figura 39.** Abundancia de larvas de sardina común (larvas m^{-2}) sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros* (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica)..... 94
- Figura 40.** Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (ind. $\cdot\text{m}^{-2}$), asociados a la sección vertical de la distribución de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 29 (panel izquierdo) y 35 (panel derecho) ubicados en el sector centro, 2019..... 96
- Figura 41.** Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (ind. $\cdot\text{m}^{-2}$) asociados a la sección vertical de la distribución de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), en las transectas 53 (panel izquierdo) y 65 (panel derecho) ubicados en el sector sur, 2019. 96
- Figura 42.** Distribución de los lances de pesca realizados durante el periodo del crucero de adultos en el año 2019, en las regiones del Biobío, de La Araucanía y de Los Ríos, correspondiente a los sectores central y sur, respectivamente. 106
- Figura 43.** Frecuencias de tallas de sardina común en los sectores central (panel superior) y sur (panel inferior). 108
- Figura 44.** Frecuencias de tallas de anchoveta en los sectores central (panel superior) y sur (panel inferior). 109
- Figura 45.** Evolución semanal durante el 2019, del IGS (%) de anchoveta (amarillo) y sardina común (azul). Un valor de $\text{IGS} \geq 5\%$ indica que las especies se encuentran en su máximo periodo reproductivo (línea horizontal de color rojo). Donde no hay datos, no hubo muestras para el monitoreo reproductivo. Los datos provienen del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP). 111
- Figura 46.** Evolución mensual durante el 2019, del IGS (%) de anchoveta (amarillo) y sardina común (violeta). Un valor de $\text{IGS} \geq 5\%$ indica que las especies se encuentran en su máximo periodo reproductivo (línea horizontal de color rojo). Los datos provienen del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP). 112
- Figura 47.** Rectas ajustadas en cada año de aplicación del MPDH (2002 al 2018). Línea roja es el ajuste de largo plazo. 114
- Figura 48.** Rectas ajustadas para cada año de aplicación del MPDH (2009 - 2018) en sardina común de la zona centro sur (líneas grises). Línea roja es el ajuste para el año. Izquierda modelo lineal con intercepto ($Y = a + bX$). Derecha modelo sin intercepto ($Y = bX$). 115



Figura 49. Series de anomalías (2002 - 2016) de: a) clorofila-a, b) temperatura superficial del mar satelital (°C), c) temperatura <i>in situ</i> (°C) a 10 m de profundidad y d) abundancia de huevos (huevos/0,05 m ²) de anchoveta y de sardina común en el sector centro (panel izquierdo) y sur (panel derecho).....	120
Figura 50. Variación latitudinal del centroide (°S) de distribución de huevos de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris) en los sectores: a) norte, b) central, c) sur y d) en el área total de estudio, entre los años 2002 al 2019.....	122
Figura 51. Valores promedios de temperatura, salinidad y fluorescencia a 10 m de profundidad, en la latitud en que se encontraron los centroides de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris), por sector: a) norte, b) centro y c) sur, en el periodo 2002 - 2019.....	123
Figura 52. Valores promedio de los caudales (panel superior) y precipitaciones (panel central) de los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia, entre julio y diciembre desde el año 2002 al 2018. Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común adyacente a los ríos en el periodo de los cruceros 2002 - 2018 (panel inferior)..	125
Figura 53. Series temporales de la anomalía de la temperatura superficial del mar y su anomalía acumulada en los sectores centro norte y centro sur, entre los años 2003 y 2019.	128
Figura 54. Series temporales de la anomalía de clorofila-a y su anomalía acumulada -a en los sectores centro norte y centro sur, entre los años 2003 y 2019.	129
Figura 55. Índice de densidad de huevos de anchoveta y sardina común, en el periodo 2002-2019, según diferente distribución de densidad de huevos.	130
Figura 56. a) Posición zonal, este-oeste (línea azul) y meridional, norte-sur (línea roja) del centro de presión del APS en función de la climatología anual. b) Anomalía mensual del centro de presión (línea negra) del Anticiclón del Pacífico Sur y su anomalía acumulada (línea verde). Las líneas de color más suave (azul, rojo y negro) indican la información mensual y líneas de color más intenso (azul, rojo y negro) indican el comportamiento interanual (filtro pasa-baja de 18 meses). Las flechas sugieren un comportamiento de respuesta de la serie a eventos interanuales cálidos/fríos del ENOS y la flecha verde sugiere un cambio de fase a escala interdecadal.....	133
Figura 57. Diagramas latitud v/s tiempo (Hovmoller) de: a) desfase en días del ciclo anual de TSM en la costa a lo largo de Chile, en azul se representan los días de Adelanto y en rojo-amarillo los atrasos, b) anomalías de TSM, asociadas al ciclo anual de temperatura.	137
Figura 58. Anchoveta <i>Engraulis ringens</i> , Jenys, 1842 (http://tumi.lamolina.edu.pe/infopes/)	139
Figura 59. Sardina común <i>Strangomera bentincki</i> , Norman, 1936 (Catálogo Strangomera, 2002).....	140
Figura 60. Relación lineal entre el crecimiento del pez y el crecimiento del otolito, es el principio de dependencia lineal, es base para la utilización del método retro cálculo (Chugunova, 1963; Francis, 1990), presentado por Cerna & Plaza, (2015).	144



Figura 61. Frecuencia mensual de captura de anchoveta en los Cruceros Hidroacústicos de Reclutamiento de IFOP (en un año específico) en los meses de verano e invierno y su frecuencia de nacimiento mensual estimada a través de análisis de la microestructura de otolitos sagitales de la anchoveta en la zona centro-sur de Chile, publicada en Cerna & Plaza (2015).....	145
Figura 62. Distribución de fechas de nacimiento para juveniles de sardina común, calculadas sustrayendo la edad total de la fecha de captura. (*) representa ejemplares <6 cm LT (Cerna & Plaza, 2015).....	146
Figura 63. Huevo de anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>) según estadios de desarrollo (del 1 al 11), de Soto (2001) y un esquema propuesto de Moser & Ahlstrom (1985).....	158
Figura 64. Modelo de desarrollo del huevo de la anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>) en función del estadio y la temperatura (Soto, 2001).....	159
Figura 65. Volumen medio de los huevos (mm ³) a intervalos de temperatura de 0,5°C para todos los años agrupados (2000-2003, 2007). El número de muestras está indicado en cada intervalo. Líneas verticales: intervalos de desviación estándar/volumen medio de los huevos (mm ³) (Claramunt et al., 2012).....	162
Figura 66. Variación en los volúmenes de huevo normales y anormales de <i>Strangomeria bentincki</i> agrupados por estadios de desarrollo (Vásquez et al., 2010).....	163
Figura 67. Esquema propuesto del ciclo de vida de anchoveta y sardina común en la zona centro sur de Chile (SC: sardina común; AN: anchoveta; ZDR: zona de desove recurrente; MVD: movimiento diurno).....	167

TABLAS

Tabla 1. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton, coordenadas de cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector, año 2019.....	8
Tabla 2. Estaciones realizadas en los cruceros ictioplanctónicos, por sector, año 2019.....	9
Tabla 3. Características de las masas de aguas presentes en las costas de Chile.....	11
Tabla 4. Las masas de agua y sus índices termohalinos (T, S) para cada uno de los triángulos de mezcla utilizados para calcular la participación de la masa de agua.....	11
Tabla 5. Resumen de los parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs).....	13
Tabla 6. Enfoque metodológico utilizado para identificar la estructura espacial y la densidad de dependencia de anchoveta y densidad de huevos de sardina común.....	20
Tabla 7. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de adultos en cada sector, periodo de muestreo y número de lances por sector.....	21
Tabla 8. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta (Sepúlveda et al., 1999).....	24



Tabla 9. Información de las estaciones fluviales y meteorológicas en la zona Centro sur de Chile entre los meses de julio a diciembre del 2002 al 2018.....	31
Tabla 10. Las principales características de los ríos en la zona Centro sur de Chile, entre los meses de julio y diciembre (2002 - 2018).....	32
Tabla 11. Estaciones costeras de temperatura superficial del mar distribuidos por el SHOA y periodo de registro.....	35
Tabla 12. Número de artículos revisado sobre cada especie y etapa del ciclo de vida.....	38
Tabla 13. Número de estaciones totales con huevos de anchoveta y sardina común, por sector en el 2019 y el porcentaje que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.....	49
Tabla 14. Número total de huevos de anchoveta y sardina común por sector, promedio y desviación estándar de huevos, considerando el número total de estaciones y sólo las estaciones positivas, junto con la máxima abundancia de huevos por estación (huevos x 0,05 m ⁻²) en cada sector, año 2019.....	53
Tabla 15. Abundancia promedio (desviación estándar, DS) y máxima abundancia de huevos y larvas de anchoveta y de sardina común por sector, considerando el número total de estaciones durante el crucero 2019 (red cónica).	68
Tabla 16. Resumen de los modelos aditivos generalizados (GAMs), en la densidad de huevos de anchoveta y sardina común, en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (<i>sigma-t</i>) (D) y fluorescencia (F), en el año 2019 (R ² : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, VCG: Validación cruzada general) (red Calvet)	75
Tabla 17. Parámetros de los modelos aditivos generalizados, seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos 0,05 m ⁻²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (<i>sigma-t</i>) (D) y fluorescencia (F), año 2019 (red Calvet).....	76
Tabla 18. Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables predictores a 10 m de profundidad, obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común, año 2019 (red Calvet).....	76
Tabla 19. Abundancia promedio, desviación estándar (DS) y abundancia máxima del zooplancton (ind.m ⁻²), por sector, considerando el número total de estaciones (en negrita son los grupos graficados), obtenidos durante el crucero 2019 (red Cónica).....	78
Tabla 20. Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (ind.m ⁻²) en función de la densidad de apendicularias, sifonóforos, quetognatos, y medusas durante el 2019 (R ² : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, VCG: Validación cruzada general) (red Cónica).....	84
Tabla 21. Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables zooplancónicas predictoras obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común durante el 2019 (red Cónica).....	85



Tabla 22. Abundancia promedio (desviación estándar - DS) y abundancia máxima de diatomea, dinoflagelados, ciliados y silicoflagelados (cel./L), por sector considerando el número total de estaciones.....	87
Tabla 23. Abundancia promedio (desviación estándar - DS) y abundancia máxima de fitoplancton (cel./L), por sector considerando el número total de estaciones.....	88
Tabla 24. Probabilidad de observar umbrales de densidades de huevos de anchoveta y sardina común, y parámetros de los variogramas utilizados para analizar la estructura espacial.	97
Tabla 25. Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlace log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos/m ²) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h ⁻¹).	99
Tabla 26. Estimaciones de la producción diaria de huevos (P_0) y tasa de mortalidad diaria (Z) para la anchoveta y sardina común, utilizando GLM con familia binomial negativa y enlace log y ponderación con el índice de agregación de Lloyd en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. Se muestra también la estimación estratificada de la producción de huevos en el área total (P). Los números entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación de los estimados.	100
Tabla 27. Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2019, en el sector central.....	102
Tabla 28. Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta, durante el crucero de adultos 2019, en el sector sur.....	104
Tabla 29. Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores central y sur, año 2019.....	107
Tabla 30. Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores central y sur, año 2019.....	107
Tabla 31. Fechas y sectores geográficos de los cruceros de huevos y sus respectivos valores de IGS con datos provenientes del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP)..	110
Tabla 32. Fechas y sectores geográficos de los cruceros de pesca de adultos y sus respectivos valores de IGS con datos provenientes del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP)..	111
Tabla 33. Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por sector y área total para anchoveta y sardina común, año 2019. t calculado para H ₀ : FPO 0 = FPO 1.....	113
Tabla 34. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial, para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH. LP = recta ajustada con los datos de los años 2002 al 2018.....	114
Tabla 35. Parámetros de las regresiones con intercepto cero entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH, entre el 2002 y 2018.....	115



Tabla 36. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPDH. LP indica la relación obtenida al combinar todos los años.	115
Tabla 37. Estimaciones de fecundidad parcial media por sector y área total para anchoveta y sardina común, año 2019.	116
Tabla 38. Estimaciones de peso promedio y proporción de hembra madura por sector y área total para anchoveta y sardina común, año 2019.....	117
Tabla 39. Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (año 2019). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa.	118
Tabla 40. Valores de correlación y valor p, asociado (en paréntesis), entre la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común y con el caudal de los ríos y precipitación (valor en negrilla son valores significativos p <0,05).	127
Tabla 41. Desempeño estadístico de los modelos utilizados para estandarizar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (parámetros = 18 coeficientes). Abreviaciones: g.l. (grados de libertad), Dev.Nula (devianza nula), Dev. Res. (devianza residual), Dev. Expl (desvianza explicada), AIC (criterio de información de Akaike)	130
Tabla 42. Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG, familia binomial negativo.....	131
Tabla 43. Climatología mensual de la posición y magnitud del centro de alta presión: Anticiclón del Pacífico Sureste (APS).	132
Tabla 44. Anomalía de Temperatura Superficial del Mar del ciclo anual en verano (ATSM-verano) e invierno (ATSM-invierno) y rezago en días, por localidad y año.....	135
Tabla 45. Sistemática de ambas especies.	141
Tabla 46. Alimento de anchovetas y sardina común en términos de abundancia numérica (%N) e índice de importancia relativa (%IIR), recopilado de varias fuentes de información.	142
Tabla 47. Ítems de presas dominantes, de acuerdo a lo señalado por diferentes autores en la dieta de la anchoveta (zonan norte).	143
Tabla 48. Determinación de fecha de nacimiento y edad en juveniles de anchoveta y sardina común (Cerna & Plaza, 2015).	145
Tabla 49. Estadísticas generales de los ejemplares de anchoveta, agrupados por cohorte mensual de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento de anchoveta, recolectados en la zona centro sur de Chile (Cerna & Plaza, 2015).	145



Tabla 50. Estadísticas generales de los ejemplares agrupados, por cohorte de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento y determinación la relación talla-edad de sardina común, recolectados en la zona centro sur de Chile (Cerna & Plaza, 2015).....	146
Tabla 51. Determinación de la tasa de crecimiento global (TCG) para juveniles en milímetros por día (mm/d), por varios autores.....	147
Tabla 52. Estudios publicados en peces pelágicos pequeños, donde se ha validado la periodicidad de formación de los incrementos de los otolitos, utilizando experimentos de laboratorio, publicada en Cerna & Plaza (2015). LS: longitud estándar, LT: longitud total.	148
Tabla 53. Tasas de crecimiento (mm/d) reportadas a diferentes temperaturas (°C) para otras especies de clupeidos como el espadín europeo, anchovetas y sardinas europeas y anchovetas y sardinas japonesas en etapas tempranas (Peck <i>et al.</i> , 2013). Np: no presentado; dph: días después de la eclosión.	149
Tabla 54. Mortalidad natural (año ⁻¹) de <i>E. ringens</i> en las zonas: centro norte (Canales & Leal, 2009) y centro sur de Chile (Cubillos <i>et al.</i> , 1998) estimada a partir de cuatro modelos empíricos.....	152
Tabla 55. Parámetros de crecimiento para la anchoveta y sardina común en las zonas norte, centro norte y centro sur, establecidos por distintos autores.	153
Tabla 56. Edad y talla en la anchoveta y sardina común al alcanzar su madurez sexual, estimada sobre la base del máximo incremento porcentual del índice gonadosomático promedio por clases de tallas, por diversos autores.....	154
Tabla 57. Fechas (meses) cuando la anchoveta y sardina común alcanzan la máxima actividad reproductiva, reportada por distintos autores.	154
Tabla 58. Rangos de temperatura del agua durante el desove de especies de sardina y anchoveta europeas, reportado en varios estudios y/o regiones (Peck <i>et al.</i> , 2013). Y rangos preferentes durante el desove de anchoveta y sardina común en la zona centro sur de Chile, con información histórica (2014-2019) de los cruceros MPDH.....	156
Tabla 59. Características de los huevos de anchoveta (ancho, largo y volumen) recolectados en diferentes latitudes a lo largo de la costa de Chile, durante los meses de máxima actividad reproductiva. D.S.: desviación estándar; n: número de muestras (Llanos-Rivera & Castro, 2004).	161
Tabla 60. Crecimiento larval de varias especies que habitan el ecosistema de la Corriente de Humboldt (Molina-Valdivia, 2018).	166



IV. ANTECEDENTES

La sardina común (*Strangomeria bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) son peces pelágicos pequeños de gran importancia pesquera para una flota industrial y otra artesanal de cerco que opera en la zona centro sur de Chile, con Talcahuano y Corral como los principales centros de desembarque. Ambas especies se caracterizan por una distribución costera y por presentar un corto ciclo de vida, con tres a cuatro años de longevidad, rápido crecimiento, elevada tasa de mortalidad natural, por formar cardúmenes altamente densos y por ser especies marcadamente influenciadas por factores ambientales (bióticos y abióticos) en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez *et al.*, 1992; Cubillos y Arancibia 1993; Cubillos *et al.*, 1998; Cubillos *et al.*, 2001; Cubillos y Arcos, 2002).

Al respecto, la condición ambiental en la zona centro sur de Chile está influenciada por procesos oceanográficos de escala estacional ligados a la surgencia costera (Sobarzo *et al.*, 2007; Letelier *et al.*, 2009). Durante la primavera-verano, predomina el viento del suroeste que favorece la surgencia costera, el transporte de aguas superficiales hacia fuera de la costa, y el establecimiento de un gradiente térmico horizontal. En otoño - invierno el viento es débil y proviene mayoritariamente del norte, favoreciendo los procesos de hundimiento (Thiel *et al.*, 2007). 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).

La línea de costa en esta zona tiene una orientación norte-sur y su topografía es compleja, compuesta por bahías, golfos y puntas que intensifica el desarrollo de sombras de surgencia (Graham, 1993; Valle-Levinson 2003), filamentos, meandros y remolinos (Correa-Ramírez *et al.*, 2007; Letelier *et al.*, 2009). En sectores costeros que se encuentran a sotavento de centros de surgencia, como por ejemplo el golfo de Arauco (37°10'S), se conforma una estructura hidrográfica que ha sido denominada “sombra de surgencia” (Graham, 1993; Valle-Levinson, 2003), donde la productividad biológica presenta valores elevados en relación a zonas más expuestas. Además, en los centros de surgencia, frente a punta Lavapie (37°9'S), la corriente que viene desde el sur se separa del borde costero formando un jet costero con dirección hacia el noroeste (Renault *et al.*, 2009; Aguirre *et al.*, 2012). Así mismo, es común encontrar remolinos de mesoescala, que concentran nutrientes en zonas alejadas de la costa donde comúnmente la productividad biológica es escasa (Correa-Ramírez *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2012).

La pesquería se desarrolla estacionalmente de Valparaíso al sur de Corral, usualmente a partir de marzo después del reclutamiento de la sardina común (Cubillos *et al.*, 1998, 2001). La evaluación del reclutamiento anual de los stocks de anchoveta y sardina común se realiza desde 1999 mediante el método hidroacústico (Castillo *et al.*, 2000; 2001; 2002a; 2004), método que también fue aplicado para evaluar la biomasa del stock desovante (Castillo *et al.*, 2002b), sin embargo, este método no considera los parámetros reproductivos del stock, los cuales son importantes para obtener un mejor conocimiento acerca de la condición reproductiva de las poblaciones de peces pelágicos. 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.

En el 2002 se aplicó por primera vez el MPDH en anchoveta y sardina común de la zona centro sur de Chile, proyecto FIP 2002-14 (Cubillos *et al.*, 2003), generando información relevante desde el punto de vista de la dinámica reproductiva, como de la distribución, abundancia y producción de huevos (Cubillos *et al.*, 2007). Desde entonces, se ha podido verificar que la expresión espacial del desove de ambas especies, en la principal época de desove, es costera (<30 mn), tal como se ha observado en los cruceros realizados hasta septiembre-octubre de 2018 (Bonicelli *et al.*, 2019).



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 asociadas al crucero.
- 2.2.** Estimar la biomasa del stock desovante
- 2.3.** Proponer indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona.
- 2.4.** Objetivo incremental: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta usando modelamiento biofísico. Fase III: Proponer un modelo conceptual del ciclo de vida de la sardina común y anchoveta en base a la información histórica.



VI. METODOLOGÍA GENERAL

1. Actividades administrativas y operacionales

En términos administrativos, el desarrollo del estudio se adjudicó a la Universidad de Concepción mediante Res. Ex. N° 33/2019 del Instituto de Fomento Pesquero, el 14 de mayo de 2019, para posteriormente gestionar el permiso de pesca. La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura autorizó a la Universidad de Concepción a realizar la pesca de investigación mediante Resolución Exenta N°2724 del 30 de julio de 2019. Autorizaron a embarcaciones artesanales a realizar cruceros de prospección en el área marítima comprendida desde la región de Valparaíso a la región de Los Lagos. Las embarcaciones participantes fueron “Don Julián” e “Isaac II” para la evaluación de la condición biológica de los adultos y “Gimar I” junto con “Kay Kay” para la evaluación del desove. En el **Anexo II**, se incorpora en detalle el “Personal participante por actividad”, considerando el personal participante en cada objetivo del proyecto, nombres de los profesionales, técnicos y/o muestreadores que ejecutaron las actividades más relevantes, junto con el periodo (fechas) y lugares (geográficos).

2. Área y periodo de estudio

El crucero de recolección de huevos se realizó entre el 20 de agosto y el 28 de octubre, dentro del área programada (33°S - $41^{\circ}20'\text{S}$), en los tres sectores geográficos: a) Sector norte, entre el sur de Valparaíso y el norte de Constitución ($33^{\circ}00'\text{S}$ - $34^{\circ}00'\text{S}$), b) Sector centro, entre el norte de Constitución y el golfo de Arauco ($34^{\circ}30'\text{S}$ - $37^{\circ}10'\text{S}$), y c) Sector sur, entre el sur de Lebu y el sur de punta Galera ($37^{\circ}30'\text{S}$ - $41^{\circ}20'\text{S}$).

2.1. Grilla regular de estaciones de huevos.

El área completa de estudio fue muestreada utilizando una grilla de 386 estaciones dispuestas en transectas perpendiculares a la costa, de las cuales 383 se realizaron con red Pairovet. Las transectas, variaron latitudinalmente, desde una distancia a la costa de media milla náutica hasta la ubicación del quiebre de la plataforma continental (isóbata de 200 m), desde la cual se realizaron dos estaciones más hacia el sector oceánico (**Figura 1**).

La grilla de estaciones, se diferenció en los tres sectores: Sector norte: El muestreo en este sector fue de menor intensidad, las transectas fueron espaciadas cada 20 mn, entre el sur de Valparaíso y el norte de Constitución. En cada transecta, la disposición espacial de las estaciones de muestreo fue cada 4 mn. En total se realizaron 4 transectas con 14 estaciones.

Sector centro: El diseño estuvo orientado a la evaluación de la producción diaria de huevos, y se consideraron 33 transectas separadas cada 5 mn entre el norte de Constitución y el golfo de Arauco. Cada estación estuvo separadas cada 4 mn y en total se realizaron 180 estaciones.



Sector sur: La grilla de estaciones tuvo la misma resolución que el sector centro y se extendió entre 37°30'S y 41°20'S. Se realizó un total de 192 estaciones.

2.2.- Recolección de muestras de huevos, mesozooplancton, fitoplancton, biomasa fitoplanctónica (clorofila-a) y muestreo hidrográfico.

Huevos de anchoveta y sardina común.

La recolección de huevos en cada estación, consistió en un arrastre vertical desde una profundidad máxima de 70 m, considerado en aguas profundas, mientras que en aguas someras se realizó considerando un máximo de 5 m sobre el fondo. En el muestreo se utilizó una red Pairovet, consistente en dos redes CalVET (California Vertical Egg Tow, Smith *et al.*, 1985) de 0,05 m² de área de boca y 150 µm de trama, equipada con un depresor de 36 kg que mantuvo la red vertical y cuya velocidad de virado fue 70 m por minuto (~1,2 m/s). Una vez a bordo, las muestras de zooplancton fueron preservadas en una solución de formalina al 10% de agua de mar neutralizada con borax (tetraborato de sodio). Posteriormente, en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) de la Universidad de Concepción, las muestras de zooplancton fueron analizadas, se extrajo la totalidad del ictioplancton, de los que se identificaron huevos y larvas de anchoveta y sardina común, luego fueron separados y cuantificados bajo lupa estereoscópica.

Mesozooplancton y fitoplancton.

Se realizó un total de 66 estaciones para el muestreo de mesozooplancton y fitoplancton. El muestreo de mesozooplancton se realizó mediante arrastre verticales con una red cónica (aro de 60 cm de diámetro de boca y red de 300 µm de trama) desde superficie hasta 70 m de profundidad. Una vez a bordo, las muestras fueron fijadas en formalina al 10%, luego fueron etiquetadas y almacenadas para análisis posterior en laboratorio. El muestreo de fitoplancton se llevó a cabo mediante arrastres verticales con una red de 60 cm de diámetro de boca y 10 µm de trama, desde superficie hasta 70 m de profundidad. Las muestras, una vez a bordo fueron fijadas, etiquetadas y posteriormente almacenadas para su análisis en laboratorio.

Biomasa fitoplanctónica.

Para determinar la biomasa fitoplanctónica en los sectores centro y sur, a partir de las concentraciones de clorofila-a, se tomaron muestras de agua de mar con botellas tipo Niskin (5 L) en cuatro transectas, dos en el sector centro (T- 25; T-31) y las otras 2 en el sector sur (T- 49; T-61). Se realizaron 28 estaciones efectivas (15 en sector centro y 13 en el sector sur), en 7 profundidades estándar de 0, 5, 10, 20, 30, 50 y 70 m. Dos estaciones de las planificadas no se pudieron realizar por condiciones climáticas adversas (N° 383 y 384). Una vez a bordo, las muestras de 200 ml fueron filtradas en filtros de fibra de vidrio (Whatman, 47 mm de diámetro y 0,7 µm de poro) y luego congeladas para su posterior determinación de clorofila-a en laboratorio, mediante la técnica de flourometría siguiendo los protocolos establecidos por Holm-Hansen *et al.* (1965).

**Muestreo oceanográfico (*in situ*).**

En las estaciones de la grilla regular y transecta por medio, se realizaron 211 perfiles oceanográficos en profundidad, con un perfilador continuo CTD equipado con un sensor de oxígeno disuelto. Los lances hidrográficos se realizaron hasta 100 m de profundidad o hasta 10 m sobre el fondo, según la batimetría que presentaron las estaciones. Adicionalmente, en todas las estaciones de la grilla, se midió la temperatura superficial del mar con termómetro digital a partir de una muestra de agua mar tomada en superficie con un balde.

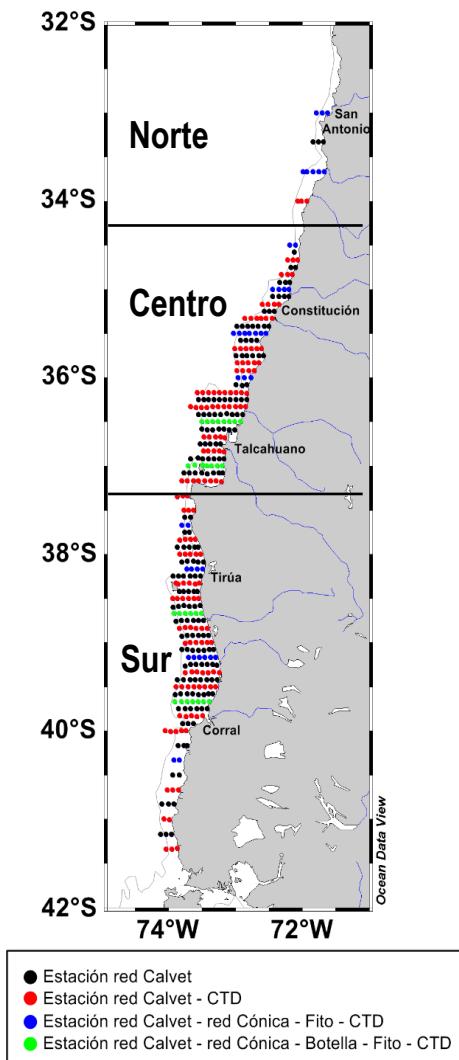


Figura 1. Mapa de la grilla de muestreo del crucero MPDH Centro sur (33°00'S a 41°20'S), año 2019. La estaciones se distribuyen hasta el veril de los 200 m.



2.3- Desarrollo del crucero y tipo de muestreo por estación

La secuencia temporal de cruceros es la históricamente utilizada en los proyectos del MPDH: primero se realizó el sector central, luego el sector sur y finalmente el sector norte. El inicio de los muestreos en el sector central (20 de agosto) fue 2 semanas antes que en los 10 años anteriores (**Figura 2**). Debido a las condiciones climáticas, con viento intenso durante la segunda quincena de septiembre, se retrasó el inicio del muestreo de la zona sur, así como también se suspendieron 45 estaciones lográndose 386 estaciones efectivas de 431 planificadas; principalmente las más alejadas de la costa. Comparando con los años anteriores, el periodo de muestreo de los sectores con mayor abundancia de huevos (sectores central y sur) terminó aproximadamente una semana antes (segunda semana de septiembre). A pesar del atraso del inicio del muestreo en el sector norte (27 de octubre) por motivos del cierre de puerto dado el estallido social a nivel nacional, el término de la zona completa fue equivalente a años anteriores, a fines de octubre (**Figura 2**). El total de estaciones muestreadas (**Tablas 1 y 2**) fue el mismo del año 2018 (386 estaciones de 431 planificadas), correspondiendo a 14 en el sector norte (de 14 planificadas), 180 en el sector central (de 197 planificadas) y 192 en el sector sur (de 220 planificadas). Por otra parte, las tres embarcaciones artesanales utilizadas en el muestreo de huevos durante el 2019, fueron las mismas de años anteriores: “María Elena II” en el sector norte, “Kay Kay II” y “Gimar I” en el sector central y “Gimar I” en el sector sur.

Mes Año	Agosto Semana 4	Septiembre				Octubre				Noviembre	
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2
2010											
2011											
2012											
2013											
2014											
2015											
2016											
2018											
2019											

Figura 2. Serie de tiempo (2010 - 2019) del periodo de muestreo en los sectores centro y sur, incluyendo el sector norte durante el crucero 2019 (última quincena de octubre).



Tabla 1. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton, coordenadas de cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector, año 2019.

Embarcación	Sector	Coordenadas	Período	Nº estaciones
María Elena II	Norte	33°00'S-34°00'S	27/10/2019 – 28/10/2019	14
Kay-Kay II	Centro	34°30'S-35°55'S	04/09/2019 – 08/09/2019	74
Gimar I	Centro	36°00'S-37°10'S	20/08/2019 – 25/08/2019	106
Gimar I	Sur	37°20'S-41°20'S	02/10/2019 – 12/10/2019	192
Total				386

En el sector central (34°30'S - 37°10'S), los cruceros 2019 se realizaron en dos periodos, entre los días 20 y 25 de agosto y entre el 4 y 8 de septiembre. En este sector se efectuó un total de 180 estaciones, de las cuales 178 fueron de huevos con red CalVET: i) en 79 estaciones se utilizó solo red CalVET, ii) en 70 estaciones se usó la red CalVET y se realizaron perfiles de CTD en profundidad (SBE 19 plus V2), iii) 14 estaciones se realizaron con red CalVET, red Cónica (mesozooplancton), red de fitoplancton y perfiles de CTD en profundidad, iv) en 15 estaciones se muestreó con red CalVET, red cónica (mesozooplancton), red de fitoplancton, perfiles hidrográficos, además se obtuvieron muestras de agua de mar con botellas oceanográficas tipo Niskin de capacidad de 5 L para determinar las concentraciones de clorofila-a. Finalmente, 2 estaciones fueron muestreadas con redes cónica (zooplancton) y de fitoplancton, junto con la realización de perfiles de CTD en profundidad (no se realizó muestreo con red CalVET). En total, se tomaron muestras de huevos con red CalVET en 178 estaciones, se realizaron 101 perfiles de CTD en profundidad, 31 estaciones con muestreo de mesozooplancton y 31 de fitoplancton (ambos con red cónica) y 15 muestras de agua fueron tomadas con botellas Niskin (**Figura 1, Tabla 2**).

El muestreo del sector sur (37°30'S - 41°20'S), se desarrolló entre los días 2 y 12 de octubre de 2019. En esta zona se realizaron 192 estaciones en total, de las cuales en 191 se tomaron muestras de huevos con red CalVET: i) 93 estaciones se muestrearon solo con red CalVET, ii) 71 estaciones con red CalVET y perfiles de CTD en profundidad (SBE 19 Plus V2), iii) 14 estaciones con redes CalVET, red Cónica (mesozooplancton), red de fitoplancton, junto con perfiles de CTD, y iv) en 13 estaciones se muestreó con redes CalVET, cónica (mesozooplancton) y de fitoplancton y se realizaron perfiles de CTD en profundidad, además se tomaron muestras de agua de mar con botellas oceanográficas tipo Niskin de 5 L de capacidad, para la clorofila-a. Sólo en una estación se realizó lance de CTD en profundidad (no se realizó muestreo con CalVET por condiciones meteorológicas desfavorables). En total en el sector sur, se tomaron muestras de huevo (CalVET) en 191 estaciones, 99 con perfiles de CTD en profundidad, 27 con muestreo de mesozooplancton, 27 de fitoplancton y se tomaron 13 muestras de agua de mar con botellas Niskin (**Figura 1, Tabla 2**). En este sector, también se realizaron perfiles en profundidad con un CTD SBE 25 para intercalibración con el SBE 19 plus V2 utilizado durante la campaña, con la finalidad de comparar ambos sensores de oxígeno disuelto.

**Tabla 2.** Estaciones realizadas en los cruceros ictioplanctónicos, por sector, año 2019.

Sector	Estaciones		Estaciones Red Calvet, CTD Red Zoo, Red Fito	Estaciones Red Calvet, CTD Red Zoo, Red Fito, Clo-a	Estaciones Total
	Red Calvet	Red Calvet CTD			
Norte	3	3	8	-	14
Centro	79	70	14*	15	178
Sur	93	71	14	13	192
Total	175	144**	38	28	383

(*) 2 estaciones red Zoo, red Fito + CTD (**) 1 estación CTD sin red Calvet

3. Objetivo 1 Determinar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero

El análisis y caracterización de las condiciones ambientales y bioceanográficas en la zona entre 33°00'S y 41°20'S, se llevó a cabo mediante el análisis de imágenes satelitales, la toma de muestras de agua de mar y la información hidrográfica *in situ* (CTD/OF con sensores de fluorescencia y oxígeno disuelto).

3.1. Información satelital

Se emplearon imágenes satelitales diarias de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila-a (CLOA), extraídas del Programa MODIS Aqua Level-3 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>), con resolución espacial de 4 km x 4 km, entre agosto y noviembre de 2019. Adicionalmente se procesaron imágenes satelitales de viento provenientes del IFREMER con el producto ASCAT y QUICKSCAT de resolución temporal diaria y espacial de ¼ de grado.

En la obtención del campo advectivo superficial asociado a la zona costera, se implementó el método del máximo de la correlación cruzada (Emery *et al.*, 1986), basado principalmente en la identificación de máximos coeficientes de correlación-cruzada en una matriz de rezago entre dos subáreas de un par de imágenes satelitales secuenciales de TSM. La primera imagen es dividida en sucesivas subáreas de 4 x 4 píxeles (ventanas plantillas). Para cada ventana plantilla, en la segunda imagen, se seleccionará una ventana de 8 x 8 píxeles de tamaño (ventanas de búsqueda), las cuales presentan el mismo centro espacial que la ventana plantilla correspondiente. La ventana plantilla recorre la ventana de búsqueda en la dirección x e y, cada 1 píxel, calculando coeficientes de correlación-cruzada. El desplazamiento relativo entre la posición del centro de la ventana plantilla y el centro en la ventana de búsqueda donde la correlación-cruzada fue máxima, determina el vector de velocidad. Detalles de la metodología y su aplicación en imágenes de TSM se encuentran en Navarro *et al.*



(2004). En el cálculo de la correlación-cruzada se ha considerado un máximo de un 30% de datos que responden al código de nubes.

3.2. Distribución de los huevos y larvas en ambas especies y las condiciones oceanográficas, durante el crucero 2019

Se describe la distribución horizontal de huevos y larvas de ambas especies y las condiciones oceanográficas, así como la determinación de posibles asociaciones entre las zonas de desove y características ambientales durante el crucero realizado el año 2019.

Secciones horizontales de variables hidrográficas

A partir de los datos hidrográficos (*in situ*), se confeccionaron secciones horizontales con la distribución de las variables hidrográficas (de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y fluorescencia) en cada una de los sectores analizados. En la confección de los mapas horizontales de distribución de las características oceanográficas, se utilizaron los valores de las variables en tres niveles de profundidad: superficie, 10 m y 50 m de profundidad. Los mapas fueron realizados a través del algoritmo Data Interpolating Variational Análisis (DIVA) del programa Ocean Data View (v.4.7.8). Este método de interpolación de una grilla regular, considera como parte de los análisis, la línea de costa y características batimétricas de la zona de estudio (Barth *et al.*, 2010; Troupin *et al.*, 2010; Tyberghein *et al.*, 2011).

Diagramas T-S y masas de agua

Con los datos hidrográficos (*in situ*), se identificaron las masas de agua presentes y su contribución relativa en cada sector, a partir de diagramas T-S. En este caso, se utilizaron los datos de los sectores centro y sur, donde se encontró la mayor abundancia de huevos de anchoveta y sardina común, las que luego fueron sobreuestas a los diagramas T-S, para explorar posibles asociaciones entre variables oceanográficas y la distribución de huevos y larvas de ambas especies. Se utilizaron datos de temperatura (°C) y salinidad de las estaciones oceanográficas localizadas en áreas oceánicas (>35 km) de los sectores centro (35°50'S - 36°50'S) y sur (37°20'S - 41°20'S). Con esta información se trazó un diagrama temperatura-salinidad (T-S) en cada sector con el fin de determinar las masas de agua presentes en la zona durante el crucero del año 2019. Los criterios para identificar las masas de agua en el área de estudio se presentan en la **Tabla 3**. Además, se calculó la participación porcentual de cada masa de agua en los sectores centro y sur mediante el método del triángulo de mezcla, los valores utilizados para los cálculos se señalan en la **Tabla 4**. Los diagramas y análisis, se realizaron mediante el software Matlab (R2015a) con la función pwma, la que permite obtener la participación porcentual de los tipos de aguas presentes en el perfil de salinidad y temperatura (°C), a partir de distancias geométricas al interior de cada triángulo de mezcla (Brown *et al.*, 2001).

**Tabla 3.** Características de las masas de aguas presentes en las costas de Chile.

Masas agua	T (°C)	S	Fuente
Aqua Subtropical (AST)	> 18,5	> 34,9	
Aqua Subantártica (ASAA)	11,5 - 14,5	33,8 - 34,8	Bernal <i>et al.</i> (1982)
Aqua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	8,5 - 12,5	34,4 - 34,9	Silva <i>et al.</i> (2009)
Aqua Intermedia Antártica (AIAA)	4 - 8	34,3 - 34,5	Silva y Konow (1975); Llanillo <i>et al.</i> (2012); Vergara <i>et al.</i> (2016)
Aqua Profunda Pacifico (APP)	1,75	34,68	

Tabla 4. Las masas de agua y sus índices termohalinos (T, S) para cada uno de los triángulos de mezcla utilizados para calcular la participación de la masa de agua.

Triángulos	Masas agua	T (°C)	S	Fuente
AST-ASAA-AESS	Aqua Subtropical (AST)	20,0	35,2	
	Aqua Subantártica Superficial (ASAA)	11,5	33,8	
	Aqua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	12,5	34,9	
ASAA-AESS-AIAA	Aqua Subantártica Superficial (ASAA)	11,5	33,8	Silva y Konow (1975);
	Aqua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	12,5	34,9	Millero y Poisson (1981);
	Aqua Intermedia Antártica (AIAA)	3,0	34,0	Silva <i>et al.</i> (2009)
AESS-AIAA-APP	Aqua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	12,5	34,9	
	Aqua Intermedia Antártica (AIAA)	3,0	34,0	
	Aqua Profunda Pacifico (APP)	1,75	34,68	

Distribución horizontal del ictioplancton, mesozooplanocton y fitoplancton

Con el fin de determinar los sectores con mayor agregación de los componentes planctónicos de ambas especies, se procedió a la confección de mapas de distribución horizontal del ictioplancton (huevos y larvas de anchoveta y sardina común), mesozooplanocton en grupos funcionales dominantes: predadores gelatinosos (quetognatos, sifonóforos, medusas), predadores quitinosos (eufáusidos), alimento potencial (copépodos y apendicularias) y fitoplancton agrupados en taxones mayores (diatomeas, dinoflagelados, incluidos otros grupos como ciliados y silicoflagelados).

Secciones verticales de las variables bioceanográficas

En 4 transectas se realizaron secciones verticales de las variables bioceanográficas, 2 en el sector centro (T-25; T-31) y las otras 2 en el sector sur (T-49; T-61), con un total de 26 estaciones muestreadas a profundidades estándares. En la elaboración de las secciones se utilizó el Software Ocean Data View (v. 4.7.8). Como información adicional, se graficó la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común a lo largo de cada transecta con los datos provenientes de las muestras



con red Calvet, para visualizar si las abundancias de huevos coincidieron con zonas frontales o de mayor concentración de clorofila-a.

3.3. Relación entre la distribución de huevos, mesozooplancton y fitoplancton con las condiciones oceanográficas durante el crucero.

Con el objetivo de poder relacionar la distribución de huevos de ambas especies con las condiciones oceanográficas, distribución de mesozooplancton y fitoplancton durante el periodo de estudio, se llevaron a cabo tres tipos de aproximaciones: elaboración de mapas de distribución horizontal, diagramas T-S y modelos aditivos generalizados (GAMs).

a) Distribución horizontal de huevos y larvas, mesozooplancton y fitoplancton sobre variables oceanográficas

La distribución horizontal de huevos y larvas con saco vitelino de anchoveta y sardina común, fue representada en mapas. La abundancia de los huevos (círculos de tamaños escalados de acuerdo a abundancia se sobrepuso a: i) mapas con variables ambientales (e.i., temperatura, salinidad, densidad - sigma-t, oxígeno disuelto y fluorescencia), ii) mapas de distribución de grupos funcionales dominantes del mesozooplancton, y iii) mapas con los grupos de fitoplancton.

b) Abundancias de huevos y larvas sobre diagramas T-S

Con el fin de identificar los rangos de temperatura y salinidad en que las mayores abundancias de huevos y larvas se presentaron, se sobrepuso las abundancias de huevos y larvas (círculos escalados de abundancia) sobre diagramas T-S obtenidos de la data *in situ* a 10 m de profundidad (Checkley *et al.*, 2000; van der Lingen *et al.*, 2005). Para realizar los diagramas T-S se utilizaron los programas Surfer v.8.0 y Ocean DataView v.4.

c) Modelos aditivos generalizados (GAMs)

Los GAMs permitieron evaluar potenciales asociaciones entre la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común con las variables hidrográficas obtenidas en el crucero del año 2019. Las variables predictoras que se incorporaron al modelo fueron latitud, longitud, temperatura, salinidad, densidad y fluorescencia a 10 m de profundidad (**Tabla 5**). Los modelos aditivos generalizados fueron desarrollados mediante el software R (2007) The R Foundation for Statistical Computing, v.2.6.1 (<http://www.r-project.org>). Para la selección del modelo, se utilizó el Método de Validación Cruzada General (GCV) o Método de Akaike (AIC), además de los suavizadores multidimensionales (Wood, 2003) contenidos en las librerías “mgcv” y “mass”. Los criterios metodológicos que se utilizaron se basaron en lo reportado por Cubillos *et al.* (2011). Los valores de las variables predictoras que se ocuparon provienen de data hidrográfica a 10 m de profundidad. Finalmente, a través de las salidas de los modelos, se obtuvieron los rangos de las variables oceanográficas que presentan un efecto positivo en la abundancia de huevos de ambas especies.

**Tabla 5.** Resumen de los parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs).

	Tipo	Parámetro	Explicación	Unidad
Red Calvet	Respuesta	Densidad huevo	Densidad	0,05 m ²
	Predictor	Temperatura		°C
		Salinidad		-
		Densidad (sigma-t)		kg/m
		Fluorescencia total		mg/m
Red Cónica	Respuesta	Densidad huevo	Densidad	1 m ²
	Predictor	Apendiculares		1 m ²
		Sifonóforos		1 m ²
		Quetognatos		1 m ²
		Medusas		1 m ²

d) Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas

La distribución de huevos y larvas de ambas especies, obtenidas con la red Cónica durante el año 2019, se representa mediante mapas horizontales en que se sobreponen la abundancia de huevos y larvas (burbujas de diferente tamaño) sobre las variables ambientales (e.i., temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y fluorescencia). La profundidad considerada en las variables oceanográficas fue de 10 m. Para la representación gráfica, se utilizaron los programas Surfer (v. 10) y Ocean Data View (v. 4.7.8).

e) Distribución horizontal de huevos y larvas sobre grupos de potenciales presas y predadores (zooplancton)

La distribución de huevos y larvas de ambas especies, junto a los grupos de zooplancton obtenidos con red cónica durante el crucero 2019, se representa mediante mapas horizontales. Para esto, se sobrepuso la abundancia de huevos y larvas de anchoveta y sardina común (burbujas de diferente tamaño) a las secciones horizontales (mapas) de los grupos de zooplancton dominantes (e.i., medusas, apendiculares, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas). Para la representación gráfica, se utilizaron los programas Surfer (v.10) y Ocean Data View (v.4.7.8).

f) Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos de anchoveta y sardina común con la presencia de potenciales presas y predadores (zooplancton)

Los GAMs son utilizados para evaluar potenciales asociaciones entre la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común con la presencia de potenciales presas y predadores obtenidos con la red cónica en el crucero del año 2019 (**Tabla 5**). Las variables predictoras que se incorporaron al modelo fueron apendiculares, sifonóforos, quetognatos y medusas. Los GAMs se desarrollaron en el software R (2007), The R Foundation for Statistical Computing v. 2.6.1 (<http://www.r-project.org>). Finalmente, a través de las salidas de los modelos, se obtuvieron rangos de las variables oceanográficas que presentan un efecto positivo en la abundancia de huevos de ambas especies. Esta metodología se aplicó solo a los huevos que provienen de los sectores centro y sur.



g) Distribución horizontal de huevos y larvas sobre grupos de fitoplancton

La distribución de huevos y larvas de anchoveta y sardina común obtenidas de la red cónica durante el año 2019, se representaron mediante mapas horizontales en los cuales se sobrepuso la abundancia de huevos y larvas (burbujas de diferente tamaño) sobre las secciones horizontales (mapas) con la abundancia de fitoplancton (e.g., *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros*, y grupos funcionales totales como diatomeas, dinoflagelados, ciliados y silicoflagelados). Para la representación gráfica se utilizaron los programas Surfer (v.10) y Ocean Data View (v.4.7.8).

h) Relación de la distribución de huevos de anchoveta y sardina común con la concentración de clorofila-a

La recolección de muestras de clorofila-a se realizó en 4 transectas, de las cuales 2 se localizaron en el sector centro (T-29; T-35) y 2 en el sector sur (T-53; T-65), con un total de 28 estaciones oceanográficas a profundidades estándares, estas muestras fueron colectadas mediante botellas Niskin de 5 L. En la representación gráfica de la concentración de clorofila-a, se utilizó el Software Ocean Data View (v.4.7.8). Posteriormente se asoció la concentración de clorofila-a con la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en cada transecta.



4. Objetivo 2: Estimar la biomasa del stock desovante

En el Método de la Producción Diaria de Huevos, la secuencia de actividades relacionadas con el crucero de huevos se resume en la **Figura 3**. Cada una de estas actividades involucra un conjunto de métodos y criterios que se describen a continuación.



Figura 3. Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de la producción diaria de huevos y mortalidad diaria de huevos.

4.1 Determinación del área de crucero y de desove

Para delimitar el área de crucero y el área de desove se consideró el área representada por cada estación, dentro del área del crucero, ya que es importante que la producción de huevos sea medida en unidades de individuos por m^2 por día. Se utilizó la distancia entre estaciones a cualquiera de las estaciones que la rodean para juntar estaciones vecinas secuencialmente y definir así los límites del área del crucero, de tal manera que el área de cada estación no se sobreponga con otras y la suma del área representada por cada estación sea igual al área total del crucero. El área de desove quedará delimitada por el área de las estaciones con presencia de a lo menos 1 huevo por $0,05 m^2$ (área positiva). La producción diaria de huevos se estimó para el área de desove en cada estrato geográfico, asumiendo independencia entre los estratos geográficos centro y sur.

Para determinar el área de cada estación se utilizó la biblioteca “geofun” para “spatstat” para el lenguaje de programación R (R Core Team, 2019). Este método permite conocer el área exacta representada por una estación de muestreo. El programa *geofun*, es el programa que permite modificar



los datos espaciales para ser utilizados adecuadamente en la modelación espacial y provee de funciones para representar mapas de distribución y salidas de los modelos. Las principales características son: a) transformación de pares de variables (usualmente latitud y longitud) a km^2 , y a lo largo de una línea de referencia (e.g. línea de costa, isóbata) y perpendiculares a ésta; b) encuentra los límites del área del crucero y detecta los puntos que están dentro de dichos límites; c) estima el área de los puntos de una grilla de muestreo regular o irregular dentro de los límites del crucero mediante Dirichlet Tessellation (Tesselación de Dirichlet o de Voronio), d) estima el área representada por los puntos localizados en el borde del crucero; y e) provee funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).

4.2 Conteo, clasificación y asignación de edad

Los huevos de sardina común y anchoveta fueron separados del plancton e identificados bajo un microscopio estereoscópico, según las características descritas por Moser y Ahlstrom (1985); Santander *et al.* (1984) y Herrera *et al.* (1987).

Los huevos fueron contados y su abundancia estandarizada a número por $0,05 \text{ m}^2$, luego se les asignó su estado de desarrollo entre uno y once, sobre la base de la secuencia de cambios morfológicos que ocurre durante la embriogénesis. Estos cambios morfológicos han sido descritos para la anchoveta por Moser y Ahlstrom (1985), Santander *et al.* (1984), en los proyectos del MPDH de anchoveta en el norte de Chile por Oliva *et al.* (2000, 2001) y en la zona centro sur por Cubillos *et al.* (2003a). En el caso de la sardina común se utilizaron los criterios establecidos por Sepúlveda *et al.* (2000), sobre la base de los criterios morfológicos de la sardina común de Herrera *et al.* (1987) y de la anchoveta. Según la metodología propuesta por Moser y Ahlstrom (1985), los estadios de desarrollo no identificables o desintegrados fueron clasificados como huevos deteriorados. Las características morfológicas de los huevos son las siguientes:

Estadio I: La división celular aún no se inicia, los huevos están recién desovados, sin observarse aún la segmentación. Sólo se conforma el blastodisco, una acumulación de citoplasma en un polo.

Estadio II: Este comienza con la división de la célula en dos células o blastómeros y termina con la formación de la mórula.

Estadio III: Este estadio se define a partir de la aparición de la cavidad de segmentación, que es el espacio formado entre el blastodisco y la masa de vitelo durante el último clivaje. Este estado marca el comienzo de la gastrulación. El final de este estadio es identificado ya que el anillo germinal está localizado un tercio más abajo que la masa de vitelo y la naturaleza bilateral del embrión ya es observable.

Estadio IV: Este estadio se identifica con el anillo germinal que ha envuelto un tercio de la masa de vitelo y el embrión está comenzando a formarse en la región mediana del escudo o defensa embrional.



Al final el anillo germinal envuelve dos tercios del vitelo y la región de la cabeza del embrión comienza a aparecer.

Estadio V: Comienza con el anillo germinal dos tercios bajo el vitelo y finaliza con el cierre del blastoporo.

Estadio VI: Se inicia con el cierre del blastoporo y finaliza cuando la cola comienza a separarse de la masa de vitelo.

Estadio VII: El extremo de la cola está separado del vitelo y comienza a elongarse, la notocorda se extiende hasta el extremo de la cola y la aleta embrional comienza a visibilizarse. Al final de este estado, la longitud de la cola libre es un medio de la longitud de la cabeza.

Estadio VIII: Se observa cuando la cola libre es mayor que un medio de la longitud de la cabeza y finaliza una vez que la longitud de la cola libre es igual a la longitud de la cabeza.

Estadio IX: Se observa cuando la cola se extiende o representa un cuarto de la longitud del saco vitelino y finaliza cuando ésta representa un medio de la longitud del saco vitelino.

Estadio X: Se inicia cuando la longitud de la cola libre representa un medio de la longitud del saco vitelino y finaliza cuando ésta alcanza a tres cuartos de la longitud del saco vitelino.

Estadio XI: Este corresponde al estado final previo a la eclosión y es definido porque la longitud de la cola es más de tres cuartos mayor que la longitud del saco vitelino.

La hora pico de desove ocurre a las 24:00 h en la anchoveta y a las 23:00 h en la sardina común (Claramunt *et al.*, 2007). La edad de los huevos se calculará mediante el procedimiento automatizado, descrito por Lo (1985), sobre la base de los modelos estadio-temperatura dependientes obtenidos según experimentos de incubación de huevos (Claramunt *et al.*, 2007), y a través del modelo multinomial (Bernal *et al.*, 2001), cuyos parámetros fueron estimados para la anchoveta y sardina común por Claramunt *et al.* (2007). En el **Anexo I** se describe la metodología en detalle de los modelos utilizados.

4.3 Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos

El número de huevos se asume declina a una tasa exponencial constante, según:

$$P_t = P_0 \exp(-Zt) \quad (1)$$

Donde P_t es la abundancia de huevos a edad t (huevos por $0,05 \text{ m}^2$ por día), P_0 es la producción diaria de huevos por $0,05 \text{ m}^2$ por día y Z es la tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos. La producción



diaria de huevos fue calculada solo para el estrato positivo (área de desove) en los sectores centro y sur. El área de estudio del crucero como el área positiva de desove, fue delimitada a través de polígonos utilizando el algoritmo 'geofun' disponible para el programa R (R Core Team 2014).

En la estimación de la producción diaria de huevos, es relevante establecer los criterios asociados con las colas de la abundancia de huevos. En el caso de la anchoveta y sardina común se descartaron todos los datos con una edad <4 h después de la hora del desove, para evitar sesgos relacionados con el desove incompleto de huevos al plancton. A su vez, las edades cercanas a la eclosión fueron descartadas, ya que podrían producir sesgo en la estimación de la mortalidad y producción diaria de huevos. Esto se debe a que en el modelo se podría confundir la eclosión con mortalidad. En efecto, los huevos que eclosionan no mueren, sino más bien pasan a ser larvas con saco vitelino, y este proceso no está explícito en el modelo de estimación. 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 >95% de la edad esperada de eclosión, fueron excluidas para evitar los probables sesgos causados por la eclosión (Somarakis *et al.*, 2002; 2004). Los criterios aquí establecidos fueron evaluados y acordados en el Proyecto FIP 2006-38 "Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos Aplicado en Pelágicos Pequeños" (Claramunt *et al.*, 2007).

En cada sector, el procedimiento de ajuste de la ecuación (1) a los datos observados se realizó con un modelo lineal generalizado (MLG), según:

$$E[P_t] = g^{-1} [\log(P_0) + Zt] \quad (2)$$

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

En el procedimiento de ajuste del MLG se utilizará la distribución binomial negativa con enlace logaritmo natural, que resulta ser adecuada para el caso de la variación de la densidad de huevos con la edad (Bernal *et al.*, 2001). La distribución binomial negativa tiene un parámetro extra (de dispersión), el cual se estima iterativamente según los procedimientos de ajuste de Venables y Ripley (2002).

Por otra parte, con el objeto de reducir el error estándar de los estimados se utilizará MLG ponderado por un índice de agregación. Este enfoque se basa en McGurk (1986, 1987), quien sostiene que la agregación espacial explica significativamente la mortalidad natural diaria de organismos pelágicos marinos, particularmente la mortalidad de los huevos de peces pelágicos y larvas en etapa temprana. Para ello se calculó el índice de agregación de Lloyd para cada cohorte diaria de huevos sobre, *i.e.*,

$$w_i = 1 + (\sigma_i^2 \mu_i^{-1} - 1) \mu_i^{-1} \quad (3)$$

donde σ^2 es la varianza de la densidad de huevos y μ es la densidad media de huevos para la i -ésima cohorte diaria. El índice de agregación se utilizó para ponderar el ajuste con GLM, familia



binomial negativa y enlace log. Este procedimiento no afecta al estimado de P_0 ni de Z y solamente permite reducir el error estándar de los parámetros (Cubillos *et al.*, 2015a, b).

En cualquiera de los métodos de estimación, los parámetros $\log(P_0)$ y Z se estiman como el intercepto y la pendiente del modelo MLG. La varianza de la tasa de mortalidad de huevos se obtiene directamente del error estándar de la pendiente del MLG. Se utilizó la biblioteca MASS (Venables y Ripley 2002), escrita para el lenguaje y software R (R Core Team 2014).

Para determinar la producción diaria de huevos en cada zona, se utilizaron las recomendaciones de Picquelle y Stauffer (1985) para la post estratificación al interior de cada sector. De esta manera, el estrato 0 comprende todas las estaciones fuera del área de desove, en las cuales la producción de huevos es por definición igual a cero. El área geográfica, que incluye a las estaciones positivas, más aquellas negativas al interior del área de desove, fueron consideradas como el área de desove y definen el estrato uno. Según Picquelle y Stauffer (1985), bajo el enfoque de post estratificación, la producción diaria total (P) en cada estrato geográfico corresponde a la siguiente expresión:

$$P_0 = \sum_{h=0}^1 [P_{0,h} A_h / A] \quad (4)$$

donde: $P_{0,h}$ es la producción diaria de huevos por unidad de superficie para el estrato h , A_h es el área del estrato h ($h = 0$ área negativa, $h = 1$ es el área de desove), y A es el área total evaluada al interior de cada sector ($A = A_0 + A_1$). La varianza de la producción diaria de huevos, puede ser estimada por:

$$Var(P_0) = (1 + \frac{1}{n}) \sum_{h=0}^1 [Var(P_{0,h}) A_h / A] \quad (5)$$

donde $Var(P_{0,h})$ es la varianza del estimador de $P_{0,h}$, siendo cero para el estrato cero por definición.

4.4. Análisis estructural de la densidad de huevos

Determinar la estructura espacial del desove, consiste en analizar niveles de agregación de huevos en el espacio a través de un variograma experimental (Bellier *et al.*, 2007), el cual es definido por la varianza y covarianza de la diferencia entre los valores de h unidades (Petitgas, 1993). Ende utilizar la densidad de huevo bruto, la estructura espacial se puede describir sobre la base de niveles de densidad, con variables indicadoras de presencia-ausencia. El variograma experimental se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_i^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

donde $\gamma(h)$ es la semivarianza, h es el vector de distancia y dirección, $n(h)$ es el número de pares de observaciones separados por una distancia h en una dirección dada, $z(x_i)$ es el valor de la variable



para los i -esimo punto con datos. El variograma experimental se calculó sobre la base de distancias determinadas mediante la transformación de sistemas de coordenadas (latitud y longitud) a kilómetros en los componentes espaciales Este y Norte, utilizando el sistema UTM. Se emplearon los criterios descritos en la **Tabla 6** para el análisis estructural.

Tabla 6. Enfoque metodológico utilizado para identificar la estructura espacial y la densidad de dependencia de anchoveta y densidad de huevos de sardina común.

Pregunta	Enfoque	Prueba	Decisión	Consecuencias
¿Existe "Desestructuración" en los cluster de parches de huevo?	Elegir diferentes valores de corte de densidad de huevos	Comparar el rango de los variogramas para variables indicadoras de $z \geq 1$, $z \geq 10$ y $z \geq 30$ huevos por $0,05 \text{ m}^2$	A) Si los rangos no cambian para diferentes variables de indicador B) Si el rango disminuye a medida que aumenta la densidad de corte del indicador	No hay "desestructuración" Hay evidencia de "desestructuración"

Se utilizaron los modelos de variograma Matérn, Gausiano, Esférico y Exponencial para modelar el variograma experimental y estimar el efecto nugget (C_0), sill parcial (C), y rango de autocorrelación (r). El nugget refleja una interpretación física ligada al azar en la distribución espacial, el sill ($C_0 + C$) representa el nivel de heterogeneidad en la estructura espacial, y el rango de autocorrelación representa el tamaño promedio de las agregaciones de huevos (Petitgas, 1993). El modelo de variograma, se ajustó según el criterio de minimización de mínimos cuadrados ponderado de Cressie (1993). En el modelo de variograma exponencial, el nugget intercepta con el eje y, mientras que el rango y el umbral están determinados por el punto de inflexión superior donde la línea se vuelve plana y, a lo largo del eje x, el punto de inflexión es el rango medido como una distancia en km.

4.5. Tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común

En el Método de la Producción Diaria de Huevos, la secuencia de actividades involucradas con la campaña de adultos se resume en la **Figura 4**. Cada una de estas actividades involucra metodologías y criterios que se describen a continuación.

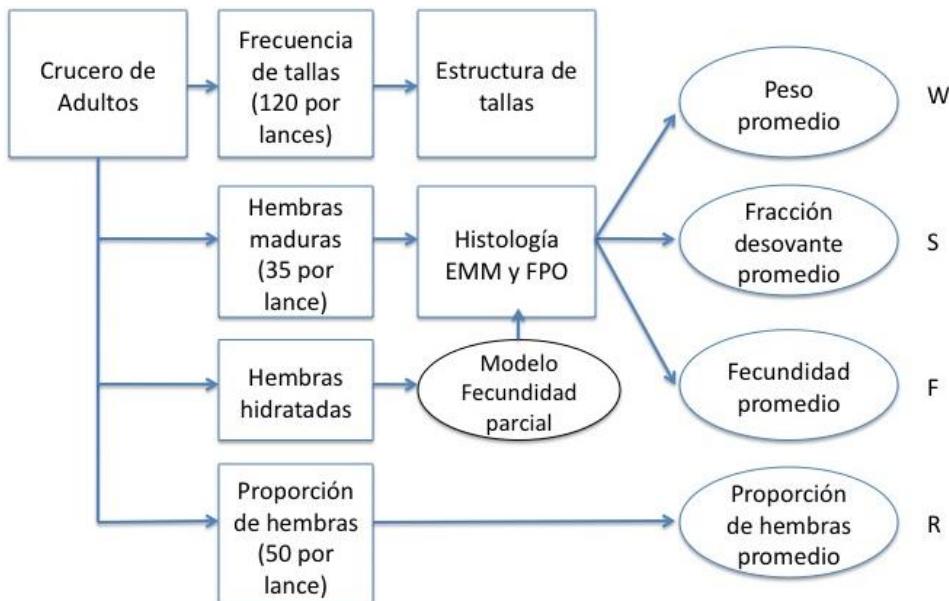


Figura 4. Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de los parámetros reproductivos principales del MPDH.

4.5.1. Muestreo a bordo y procedimientos de laboratorio

Se utilizaron dos embarcaciones en la campaña de adultos de sardina común y anchoveta, cuya cobertura espacial y temporal permitió lograr 32 lances efectivos en el sector centro y 30 lances efectivos en el sector sur (**Tabla 7**). El número mínimo de lances planificados fue de 30 lances.

A bordo, en cada lance de pesca, se obtuvo una muestra aleatoria de 120 ejemplares de anchoveta y sardina común, a los que se les midió la longitud total (cm) con la finalidad de obtener la distribución de frecuencias de longitud de machos y hembras.

Tabla 7. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de adultos en cada sector, periodo de muestreo y número de lances por sector.

Embarcación	Sector	Región	Periodo	Lances
Don Julián	Centro	Biobío	20 Ago – 01 Sep	32
Isaac II	Sur	La Araucanía – Los Lagos	24 Sep - 09 Oct	30

A su vez, en cada lance, se obtuvo una submuestra aleatoria de 40 hembras maduras de cada especie, 5 ejemplares más de lo indicado en la **Figura 4**. Cada ejemplar fue diseccionado ventralmente, luego se conservó en una solución de formalina al 10% tamponada para el posterior análisis histológico del ovario en laboratorio. Adicionalmente, cualquier hembra extra detectada macroscópicamente con



ovarios hidratados se conservó en formalina al 10% para el análisis de la fecundidad parcial en el laboratorio. Estas hembras extras, no fueron utilizadas en el análisis de parámetros de adultos, dado el carácter selectivo del muestreo, solo fueron utilizadas para establecer el modelo de fecundidad parcial, a partir del cual se estimó la fecundidad parcial de las hembras maduras por lance.

En el caso de la muestra de adultos, la aleatoriedad viene dada por una unidad básica de muestreo consistente en un balde de 5 L, que se llena a partir de la captura del lance. En el caso de la muestra de hembras, para la estimación de la fecundidad, la aleatoriedad está representada por la selección de las primeras 40 hembras desde la muestra de 120 individuos por lances.

Por último, una submuestra al azar de 50 peces fue preservada para determinar la proporción sexual en peso en el laboratorio.

4.5.2. Parámetros reproductivos de adultos

Los parámetros de la población adulta, peso promedio, fracción desovante promedio, fecundidad promedio y proporción de hembras promedio, fueron estimados según Picquelle y Stauffer (1985), i.e.,

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (7)$$

y la varianza dada por:

$$Var(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{\bar{m}^2 n(n-1)} \quad (8)$$

Donde \bar{y} es el estimado de los parámetros de la fracción diaria de hembras desovantes (S), fecundidad (F), peso promedio (W), o proporción de hembras en peso (R), n el número de lances de pesca, $\bar{y}_i = \sum_{j=1}^m y_{i,j} / m_i$ la media de los lances de pesca i , m_i el número de hembras maduras muestreadas en cada lance de pesca, y_{ij} valor calculado para la hembra j en el lance de pesca i .

La expresión de varianza en la Ecuación (7) sólo es válida para la varianza del peso promedio, fracción diaria de hembras desovantes y proporción de hembras en peso, mientras que el estimador de la varianza de la fecundidad parcial, es dada por Hunter *et al.* (1985), i.e.,

$$Var(\bar{F}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(\bar{F}_i - \bar{F})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + (\bar{W}_i^* - \bar{W}_h^*) s_b^2 \right]}{(\sum_{i=1}^n (m_i/n))^2 n} \quad (9)$$

Donde s_h^2 es la varianza de la regresión (12), n_h es el número de hembras hidratadas usada para ajustar la regresión, \bar{W}_i^* es el peso libre de ovario promedio en el lance de pesca i , \bar{W}_h^* es el peso libre



de ovarios promedio de las hembras hidratadas n_h y s_b^2 es la varianza de la pendiente de la regresión (12).

4.5.3. Indicadores de actividad reproductiva (IGS)

La actividad reproductiva de la anchoveta y sardina común entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos fue monitoreada semanalmente mediante la determinación del índice gonadosomático (IGS), por el “Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile, de IFOP” (<https://www.ifop.cl/comunicaciones/boletines-e-informes/pesqueria-pelagica-zona-centro-sur-2/>).

Durante este monitoreo se tomaron muestras biológicas a bordo de embarcaciones cerqueras (artesanales o industriales), que operaron sobre los recursos entre el 4 de febrero y el 1 de diciembre de 2019 (semanas 6 a la 48). Las muestras tomadas durante los cruceros de pesca MPDH con PINV durante la veda en periodo fijo, entre el 29 julio y el 29 septiembre (semanas 31 a la 39), fueron analizadas por IFOP para el monitoreo reproductivo.

La ejecución de los cruceros MPDH 2019, de pesca de adultos se llevó a cabo entre el 20 de agosto y el 9 de octubre (semanas 34 a la 41) y los de huevos se realizaron entre el 20 agosto y el 28 de octubre (semanas 34 a la 44).

El análisis biológico para determinar los indicadores reproductivos consistió en recolectar ovarios de anchoveta y de sardina común de la captura comercial y de los cruceros de adultos (si había disponible), los que fueron inmediatamente fijados en formalina tamponada al 10%, con el fin de determinar la condición reproductiva de la especie, mediante técnicas macroscópicas (variaciones del índice gonadosomático).

El IGS es un indicador macroscópico de actividad gonadal, el cual refleja los cambios estacionales en el peso del ovario (W_g), asociados al proceso de maduración y de desove, en relación al peso eviscerado (W), según:

$$\hat{IGS}_i = \frac{Wg_i}{W_i} 100 ; \quad \hat{IGS} = \sum_{i=1}^n \hat{IGS}_i / n$$

donde:

- Wg_i : Peso del ovario del i-ésimo ejemplar
 W_i : Peso eviscerado del i-ésimo ejemplar
 n : Muestra de ejemplares

La estimación del IGS se considera a partir de las hembras clasificadas en estado de madurez (EMM) 3 y 4 (**Tabla 8**). En la interpretación del IGS es importante considerar la estrategia reproductiva y el



tipo de ovario (desarrollo de los ovocitos) de la especie en estudio. Los umbrales que indican una alta actividad reproductiva durante el periodo de finales de invierno y primavera, correspondieron a aquellos ejemplares que presentaron un IGS $\geq 5\%$.

4.5.4. Estadios de madurez y fracción diaria de hembras desovantes

En el laboratorio, cada adulto preservado fue medido en su longitud total (cm), peso total y peso libre de góndadas, como estimador del peso corporal. Además, se determinó el sexo y los ovarios de las hembras fueron pesados ($\pm 0,01$ g) y preservados en solución de formalina tamponada al 10 % para el posterior análisis histológico. Los ovarios de las hembras fueron cortados y teñidos con hematoxilina y eosina. El desarrollo y la maduración de ovocitos fue dividido en 9 etapas de acuerdo con las características descritas por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989) y Hunter y Macewicz (1985) (**Tabla 8**). Del mismo modo, los ovarios de las hembras hidratadas disponibles para la estimación de la fecundidad parcial, fueron pesados y preservados para el posterior análisis histológico, para confirmar este estado de madurez particular según Hunter *et al.* (1985) y Hunter y Macewicz (1985).

Tabla 8. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta (Sepúlveda *et al.*, 1999)

ESTADIO OVÁRICO	CITOLOGÍA E HISTOMORFOLOGÍA OVÁRICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibroconectivos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y de posición central, con prominentes nucléolos esféricos, próximos a la membrana nuclear. El citoplasma es escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos se observan pequeñas vesículas periféricas.
Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, abarcando no más de las $\frac{3}{4}$ partes del citoplasma. Vesícula germinativa grande, central, con numerosos nucléolos 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 nucléolos 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	Co-existencia de ovocitos hidratados y folículos postovulatorios nuevos, entre ovocitos en depositación temprana de vitelo.
Estadio VIII: Postdesovante de tanda	Ovario con presencia de folículos postovulatorios 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 postovulatorios.

La fracción diaria de hembras desovante (S), es decir, la fracción de hembras maduras que desova por día, se puede calcular considerando la edad de los folículos postovulatorios (FPO). De acuerdo a los criterios desarrollados por Hunter y Goldberg (1980) y Hunter y Macewicz (1985), los FPO del Día-0 son hembras que desovarán en la noche (0 h - 9 h), de Día-1 se refiere a la noche anterior (9 h - 32 h), y los FPO de Día-2 de 33 h - 56 h después del pico de desove (Alheit *et al.*, 1984). La fracción desovante se puede estimar a partir de la proporción de FPO de Día-0 y de Día-1. Antes del año 2006, para la anchoveta y sardina común de la zona centro sur se consideró utilizar solamente los FPO de Día-1 debido a que los FPO de Día 2 podrían demorar más tiempo en degenerar. En la zona, la temperatura es de 10°C a 12°C y podría determinar una tasa de degeneración más baja para estos pelágicos (Fitzhugh y Hettler, 1995; Ganias *et al.*, 2003). Esto es sólo una inexactitud en la asignación de la edad de los FPO viejos y no un procedimiento que deba ser ajustado o corregido. De esta manera, en Cubillos *et al.* (2007), se mencionó que no fue necesario aplicar ninguna corrección al número de hembras maduras y la fracción desovante podría ser estimada como la proporción entre el número de hembras con FPO de Día-1 y el total de hembras maduras.

Sin embargo, Claramunt *et al.* (2007) plantearon la necesidad de conseguir una mayor resolución del proceso de degeneración de los FPO. Por esta razón, los autores ampliaron la escala de clasificación de los estadios según el grado de degeneración de éstos en base al trabajo de Alday *et al.* (2008). La escala permitió subdividir el proceso de reabsorción de los FPO en varios estadios de degeneración, y ajustada a los requerimientos específicos para anchoveta y sardina común, tomando en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear (ubicación y grado de picnosis), aspecto del citoplasma, relación límites de células vecinas, presencia de vacuolas citoplasmáticas, láminas celulares y pliegues, aspecto del conjunto y características del lumen.

Los criterios morfohistológicos de clasificación permitieron mejorar la asignación de edad a los FPO, tanto de anchoveta como de sardina común (Claramunt *et al.*, 2007), y se describen a continuación:

Estadio I: No están presentes en la colección.



Estadio II: Los folículos son numerosos, lumen estrecho, se presentan pliegues. Las células foliculares evidencian el inicio del proceso degenerativo, presencia de vacuolas de tamaño menor al tamaño de los núcleos, aún se conserva estructura lineal con núcleos en distintos grados de picnosis, menos numerosos que los núcleos sanos. Células tecales se presentan adheridas al tejido folicular, en algunos casos hay desprendimiento de la envoltura folicular, pero no de manera extensa, también existe presencia de capilares entre la teca y las células foliculares.

Estadio III: Los folículos aún conservan tamaño similar al Estado II, se incrementa el número de núcleos picnoticos, las vacuolas de igual o mayor tamaño de los núcleos sanos, se observa ruptura celular, presencia de capilares sanguíneos, aun se observa ordenamiento de la lámina folicular, y la lámina tecal aún se adhiere a la lámina folicular.

Estadio IV: Considerable reducción del tamaño del folículo y del lumen, envoltura folicular constituida principalmente por células vacuoladas y en algunos casos células rotas, presencia de núcleos picnóticos muy numerosos y algunos hipertrofiados, aun se presenta cierto ordenamiento de las células foliculares.

Estadio V: El folículo es pequeño y carece de lumen, con forma de poliedro, dominancia de núcleos picnóticos y células vacuoladas en la estructura folicular, desorden masivo de la envoltura folicular.

Estadio VI: Folículos pequeños con forma poliédrica, se observan vestigios de las células foliculares, principalmente y algunos núcleos, con dominancia absoluta de picnosis y presencia de vacuolas.

Estadio VII: Folículos de muy reducido tamaño, de forma triangular o poliédrica, ubicados entre los ovocitos, no es posible encontrar vestigios de células foliculares ni núcleos, solo se reconoce el remanente tecal.

Dependiendo de las características morfológicas de los FPO es factible determinar su incidencia en ciclos diarios de 24 horas, es decir, si la hembra presentará un desove durante la presente noche, la noche anterior o dos noches antes de la captura (Cubillos *et al.*, 2005), permitiendo estimar con mayor precisión la fracción desovante. Además, la incidencia de algunos estadios ováricos también fue considerada para la estimación de la frecuencia de desove, según los criterios de Macewicz y Hunter (1993), estos son las gónadas que presentaron ovocitos con núcleo en migración e hidratados y que permiten definir si la hembra estaba en condiciones de desovar en el mismo día de la captura.

La distribución horaria de los siete estadios FPO o grupos de ellos, así como de los estadios de madurez microscópicos (EMM) que indican el proceso de hidratación (núcleo migrante) e hidratado, considerando los registros histológicos históricos, permite detectar las noches de desove y el desplazamiento de los estadios ováricos y de los FPO (Claramunt *et al.*, 2019). Por otra parte, al considerar que el muestreo de hembras hidratadas, o de hembras de Día-1 (0 a 24 h) ó de Día-2 (24 a 48 h) no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes para el lance *i* se puede estimar por:



$$S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} \text{ ó } \frac{m_{1,i}}{m_i} \text{ ó } \frac{m_{2,i}}{m_i} \quad (10)$$

donde:

$$m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i} \quad (11)$$

donde m_{hi} es el número de hembras hidratadas en el lance i, m_{1i} es el número de hembras de día 1 en el lance i, m_{2i} es el número de hembras de día 2 en el lance i, m_{ai} es el número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 h (incluidas las hembras con FPO con una edad <9 h, FPO nuevos), m_i es el número de hembras maduras en el lance i, S_i es la fracción desovante en el lance i.

Para los fines de estimación, y dada la duración de los estadios Núcleo Migrante, Hidratación, Estadios 1 al 4 de los FPO, para los fines de este proyecto sólo fue factible una estimación de la fracción desovante de las hembras que van a desovar (Día-0) y de Día-1, que corresponden a las que desovaron la noche anterior (Claramunt *et al.*, 2019).

4.5.5. Fecundidad parcial

La fecundidad parcial (F), número de huevos desovados por tanda, de las hembras con ovocitos hidratados fue estimada usando el método gravimétrico sugerido por Hunter *et al.* (1985). Sólo los ovarios con ovocitos hidratados (hidratación temprana, hidratado totalmente) fueron usados, y se descartaron aquellos con FPO detectados previamente mediante el análisis histológico del ovario. Tres subsecciones fueron cortadas de un ovario, pesadas y contados en cada una el número de ovocitos hidratados.

El número total de huevos por lote, se calculó multiplicando el número medio de ovocitos por gramo de ovario de la subsección por el peso total de los ovarios. La fecundidad parcial fue relacionada con el peso libre de ovario de las hembras considerando un modelo lineal, es decir,

$$F_j = a + bW_j^* \quad (12)$$

donde W_j^* es el peso libre de ovario de la hembra j , a y b son parámetros estimados de la regresión lineal. La fecundidad media de hembras maduras de cada lance fue estimada por:

$$\bar{F}_{i,j} = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^m F_{i,j} \quad (13)$$

donde $\hat{F}_{i,j}$ es la fecundidad estimada para la hembra j en el lance de pesca i , calculado de la ecuación (12).



4.5.6. Peso promedio y proporción sexual

El peso promedio (W) de las hembras maduras en el lance de pesca fue calculado y corregido por el factor asociado a la preservación en formalina, así como el peso total de las hembras hidratadas fue corregido para evitar el aumento del peso que se produce por la hidratación de los ovarios.

La proporción de sexos (R) en el lance de la pesca i se calculó a partir del peso de las hembras dividido por la suma total del peso de hembras y machos. El peso de los machos también fue corregido por el factor asociado a la conservación en formalina.

4.5.7. Biomasa desovante

El modelo de producción diaria de huevos se usa para estimar la biomasa del stock desovante, de acuerdo con Stauffer y Picquelle (1980) y se expresa como:

$$B = \frac{P_0 AW}{RSF} k \quad (14)$$

Donde B es la biomasa del stock desovante (t), P_0 es la producción diaria de huevos (número de huevos por m^2 por día), A es el área total crucero, W es el peso promedio de hembras maduras (g), k es el factor de conversión de gramos a toneladas, R es la fracción de hembras maduras por peso, S es la fracción de hembras maduras desovantes por día, y F es la fecundidad parcial (número promedio de huevos por hembras maduras por desove). El estimador de la varianza de la biomasa desovante se calcula por:

$$Var(B) \cong \widehat{B}^2(CV(P_0)^2 + CV(W)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + CV(R)^2 + 2COVS) \quad (15)$$

donde CV representa el coeficiente de variación del parámetro estimado, y $COVS$ corresponde a la suma de términos que incorpora las respectivas covarianzas. La fórmula de covarianza es estándar, y se expresada por

$$COVS = \sum_i \sum_{i < j} sign \frac{COV(x_i, x_j)}{x_i x_j} \quad (16)$$

donde x representa los parámetros adultos, y los sub-índices i y j se refieren a diferentes parámetros, por ejemplo: $x_i = F$ (fecundidad) y $x_j = W$ (peso promedio). El término $sign$ representa el signo, positivo cuando ambos parámetros están en el numerador o en el denominador, y negativo en otro caso.

La función de correlación es la matriz de varianza-covarianza, por ejemplo, la correlación entre la fecundidad (F) y peso (W) está dado por:



$$r(\bar{F}, \bar{W}) = \frac{\sum_i m_i (\bar{F}_i - \bar{F}) k_i (\bar{W}_i - \bar{W})}{(\bar{m} \bar{k} n(n-1)) \sigma_F \sigma_W} \quad (17)$$

donde m_i y k_i se refieren al número de hembras maduras en el i -ésimo lance para cada parámetro, y σ se refiere al error estándar de cada parámetro. Sin considerar el producto entre los errores estándar en el denominador, la ecuación se transforma en la ecuación de covarianza.

5. Objetivo 3: Proponer indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona

5.1. Indicadores para la zona centro sur de Chile, propuestos por la Universidad de Concepción

En la zona Centro sur de Chile (33°S - 42°S) se realiza la evaluación de stock desovante de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomerina bentincki*). Esta zona se divide en tres sectores geográficos: a) Sector norte, sur de Valparaíso – norte de Constitución (33°S – 34°S), b) Sector centro, entre Constitución y Golfo de Arauco ($34^{\circ}30'\text{S}$ – $37^{\circ}10'\text{S}$) y c) Sector sur, entre el sur de Lebu – sur de Punta Galera ($37^{\circ}30'\text{S}$ – 42°S). A continuación, se presentan los indicadores propuestos para esta zona:

5.1.1. Anomalías de temperatura superficial del mar satelital y de clorofila-a satelitales, anomalías de temperatura a 10 m de profundidad, junto con la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur (2002-2016).

Argumento: Mediante la anomalía de clorofila-a satelital, considerada como anomalía de biomasa fitoplanctónica durante el periodo reproductivo, para analizar los efectos de enriquecimiento trófico en la zona costera y probables efectos en la distribución del desove por preferencia de los adultos desovantes. Por otra parte las anomalías de temperatura a 10 m nos permiten analizar los efectos locales de cambios de temperatura y salinidad superficial en la columna de agua y relacionar probables impactos en la tasa de desarrollo de los huevos. La anomalía de abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común no permite analizar los efectos del ambiente y del stock desovante de anchoveta y sardina común y sus probables impactos en el desove.

Metodología:

Se emplearon datos satelitales de temperatura superficial del mar y de clorofila-a de los meses de septiembre y octubre de cada año entre el 2002 y 2016. Las imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y clorofila provienen del satélite MODIS Aqua y tienen resolución espacial de 4 Km (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>). También se utilizó a información de abundancia promedio de huevos de ambas especies (huevos/ $0,05\text{ m}^2$) y la temperatura del mar a 10 m de profundidad proveniente de los cruceros realizados en los sectores centro ($34^{\circ}30'\text{S}$ - $37^{\circ}10'\text{S}$) y sur ($37^{\circ}30'\text{S}$ - $41^{\circ}20'\text{S}$).



Las anomalías fueron calculadas, restando la media del periodo total a cada periodo analizado. La interpretación de los resultados de CLOA y TSM satelitales, la temperatura del mar a 10 m de profundidad, junto con la abundancia de huevos de ambas especies en los sectores centro y sur fue la siguiente: cuando los valores son cero (0), significan valores iguales al promedio de la serie, mientras que los valores negativos (-) o positivos (+) muestran si los resultados se encuentran debajo o encima del promedio de la serie.

5.1.2. Variabilidad de los centros de masa de los huevos de anchoveta y sardina común junto con la distribución de huevos y las variables hidrográficas de temperatura, salinidad y fluorescencia entre los años 2002 y 2019

Argumento: Visualizar los cambios latitudinales en la distribución del desove de anchoveta y sardina común en la zona de desove recurrente en los sectores geográficos norte (33°S-34°S), centro (34°30'S-37°10'S) y sur (37°30'S-41°20'S), pertenecientes a la zona centro sur de Chile. Con ello determinar probables impactos en el éxito reproductivo.

Metodología:

Los centros de masa de la distribución de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur, entre los años 2002 y 2019, fueron calculados mediante un centroide de latitud (C_{lat}), considerando la posición geográfica (latitud) de los huevos en cada sector y año y su abundancia (huevos/0,05 m²):

$$C_{lat} = \frac{\sum(lat_i w_i)}{\sum w_i} \quad (18)$$

donde lat_i es la latitud de estación i y w_i es la abundancia de organismos encontrados en la estación i .

Los valores promedios de las variables oceanográficas en base a la posición del centroide se graficaron por sector y año.

5.1.3. Indicador de caudales de los principales ríos en la zona centro sur de Chile, asociado a la abundancia de huevos.

Argumento:

Determinar cambios en el aporte de agua dulce a la zona costera adyacente a los desoves de anchoveta y sardina común y determinar probables impactos en la distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común.

**Metodología:**

Se estimó la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común adyacentes a los principales ríos: Itata, Biobío, Toltén y Valdivia, entre los años 2002 y 2018, luego se graficó junto con los valores promedios de las descargas de agua por sector y por año.

Además, se relacionaron los valores promedios de pluviometría, con la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común por año. Los datos diarios de caudal y precipitación de los diferentes ríos entre los años 2002 al 2018, se obtuvieron a partir de las estaciones fluviales y meteorológicas proporcionadas por la Dirección General de Aguas (DGA) en su página web (<http://www.dga.cl/servicioshidrometeorologicos/Paginas/default.aspx>). Respecto a los ríos Toltén y Valdivia, se utilizaron dos criterios con el objetivo de completar los datos de caudales y precipitaciones en las estaciones de los ríos: Toltén, Calle-Calle (balsa San Javier) y Valdivia durante el periodo de estudio. Se utilizó información de otras estaciones (**Tabla 9**) en base a la metodología descrita por Garcés-Vargas *et al.* (2013), donde se realizaron correlaciones entre estaciones fluviales durante el periodo de superposición. En este indicador, se obtuvo una correlación entre la información de caudal y precipitación $>0,88$ ($p <0,05$), además, se aplicó el método de interpolación de Akima (1970), cuando ninguna de las estaciones presentó información de caudal o precipitación (**Tabla 10**). Este método se basa en ajustes locales que, en la definición de los coeficientes del polinomio cúbico, se requiere información sobre los puntos contiguos al intervalo de interpolación. De este modo, cada punto de datos en un spline Akima afecta sólo a la porción cercana a la curva, Este método produce buenos resultados para el valor de la función de aproximación (Hyman, 1983; Akima, 1996a, 1996b).

Tabla 9. Información de las estaciones fluviales y meteorológicas en la zona Centro sur de Chile entre los meses de julio a diciembre del 2002 al 2018.

Sector	Ríos	Estación	Latitud (°S)	Longitud (°W)
Centro	Itata	río Itata en Coelemu	36°28'01"	72°41'28"
	Biobío	río Biobío	36°50'19"	73°03'43"
	Toltén	río Toltén en Teodoro Schmidt	39°00'52"	73°04'58"
		río Toltén	39°10'35"	73°09'44"
	Valdivia	río Calle Calle en Pupunahue	39°48'16"	72°54'09"
		río Calle Calle en balsa San Javier	39°46'30"	72°58'60"
		Valdivia (U. Austral)	39°48'37"	73°15'06"
Sur	Llancahue		39°51'22"	73°10'43"

A los datos diarios de caudal y precipitación, se le extrajo el promedio entre julio y diciembre de cada año (2002-2018). Los valores de abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común que se utilizaron en el análisis, se basaron en la extensión de la pluma de los ríos. Para esto, se seleccionaron las estaciones que se encontraban en el radio de extensión de la pluma considerando la boca de cada río como centro. Se han seleccionado estos ríos, dado que presentan un alto caudal



en las zonas de desove de anchoveta y sardina común (**Tabla 10**) (Soto-Mendoza *et al.*, 2010). Finalmente, las tendencias en las diferentes series cronológicas (eg. caudal, precipitación y abundancia huevos) fueron evaluadas a través de la correlación de Spearman (Siegel y Castellan, 1988; Casanova y Figueroa, 2015).

Tabla 10. Las principales características de los ríos en la zona Centro sur de Chile, entre los meses de julio y diciembre (2002 - 2018).

Ríos	Itata	Biobío	Toltén	Valdivia
Latitud (°S)	36,39	36,83	38,27	39,85
Longitud (°W)	72,871	73,175	73,432	73,227
Caudal (m ³ /s)	427 ±282	1187 ±662	694 ±312	635 ±291
Precipitación (mm)	69 ±75	88 ±80	-	189 ±133
Extensión pluma (km)				
	16	20	12	20
Referencia	10	18,5	~ 12	~ 20
	(Saldías, 2011)	(Castro y Hernández, 2000)	(Saldías <i>et al.</i> , 2016)	(Pérez <i>et al.</i> , 2015)
	~ 22	~ 21,5	-	-
	(Sepúlveda <i>et al.</i> , 2000)	(Pérez <i>et al.</i> , 2015)		

5.1.4. Indicador de la anomalía acumulada de temperatura superficial del mar y de la clorofila-a (satelitales)

Argumento: Caracterizar las condiciones bioceanográficas históricas (2003-2018) en la costa de la zona centro sur de Chile, a partir de imágenes satelitales de TSM y cloa. Con la anomalía acumulada de TSM, visualizar los efectos de escala regional de baja frecuencia, probable impacto en las tendencias en la distribución y densidad de huevos. Con la anomalía acumulada de clorofila-a, determinar los efectos del enriquecimiento trófico de baja frecuencia en la zona costera, probables efectos en la distribución del desove por preferencia de los adultos desovantes

Metodología:

Se procesaron imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y clorofila-a, con resolución temporal mensual y espacial de 4 x 4 km del satélite MODIS Aqua Level-3 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>) del periodo comprendido entre enero de 2003 y diciembre de 2018. Luego, se construyeron series temporales considerando dos zonas: centro norte (34°S a 37°S) y centro sur (37°S a 41°S). Más tarde, se calcularon las anomalías y se realizó un análisis de la frecuencia acumulada de las anomalías para las series de temperatura superficial del mar y clorofila-a. La anomalía de cada serie fue definida como la diferencia entre cada valor de la serie y su media y



en el cálculo de la anomalía acumulada se realizó una suma acumulada de los valores de anomalía de cada serie (unidad adimensional).

5.1.5. Índice de abundancia de huevos

Argumento: Con el objeto de obtener un índice de abundancia relativa de huevos que sea un proxy de la producción diaria de huevos y de la biomasa desovante, el número de huevos de ambas especies fue analizado con un Modelo Lineal Generalizado (MLG). Este índice de abundancia de huevos es un proxy del potencial reproductivo y se puede evaluar su desempeño en términos retrospectivos en los modelos de evaluación de stock disponibles para ambos recursos.

Metodología:

La densidad de huevos depende del grado de agregación/dispersión del desove y por lo tanto en algunos años no es factible cumplir con criterios de precisión deseable para medir la producción diaria de huevos con coeficientes de variación bajos (con precisión). Aumentar el tamaño de muestra en número de estaciones, no es una estrategia que pueda resolver esta situación, tal y como se ha demostrado para el caso de la anchoveta de la zona norte de Chile. Sin embargo, en el caso de la zona centro sur de Chile, se puede tomar ventaja del muestreo estratificado del desove. En el sector sur ocurre una zona de desove recurrente entre 38°30'S y 39°30'S, que se extiende hasta el veril de los 100 m y en el sector central ocurre entre 34°20'S y 37°00'S, comprendido entre Constitución y el Golfo de Arauco, donde el desove se expresa con una variabilidad interanual alta.

El Modelo Lineal Generalizado se representa por:

$$H_{i,j,k} = \text{offset}(-\log(a))_{i,j,k} + \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{i,j,k}$$

donde $H_{i,j,k}$ es el número de huevos en el año i , estrato j , y profundidad k , $\text{offset}(-\log(a))_{i,j,k}$ es el área efectiva de la red, μ es el intercepto que representa una estimación de la densidad de huevos en el primer año, en el primer estrato geográfico y en la primera profundidad, α representan los coeficientes asociados a los años como desviaciones de μ , β representa los coeficientes asociados a los estratos geográficos y γ los coeficientes asociados con la factorización de la profundidad de fondo, mientras que $\varepsilon_{i,j,k}$ es el error aleatorio con media igual a cero y varianza constante. Se utilizó el MLG como una herramienta flexible para tomar en cuenta explícitamente el tipo de distribución estadística (Binomial Negativa, Poisson, Poisson con sobre dispersión). En los MLG las observaciones independientes (y_1, y_2, \dots, y_n) provienen de una función de densidad de la familia exponencial, parametrizada por μ_i ($i = 1, \dots, n$) (la media), y ψ_i (el parámetro de dispersión).

De esta manera, se puede tener los siguientes casos para el componente aleatorio; a saber:

- Poisson (μ_i, ψ_i), con múltiples ψ_i veces una variable aleatoria Poisson (μ_i, ψ_i), con varianza proporcional a $\psi_i(\mu_i)^1$



- ·Poisson compuesta con gamma, con algún valor $1 < p < 2$, y varianza proporcional a $\psi(\mu)^0$ (la distribución Tweedie).
- ·Binomial negativa, con un parámetro p que varía.

Además de modelar bien la distribución de probabilidad de la variable de interés, el componente sistemático contendrá un predictor lineal que ayudará a identificar los cambios temporales en la densidad de huevos de anchoveta y sardina común. El modelo fue esencialmente el mismo y sólo varió la familia y enlace, este modelo fue seleccionado según las tendencias esperadas en la densidad de huevos, considerando la devianza explicada por cada modelo.

5.2. Indicadores Físicos propuestos por el Instituto de Fomento Pesquero

5.2.1. Posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS)

Argumento: La señal estacional de la surgencia a lo largo de la costa de Chile está relacionada con la intensidad y migración del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) que presenta una fuerte componente estacional (Rahn *et al.*, 2015). Adicionalmente, otras señales como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) pueden modular el inicio y término de la surgencia, ya sea por el debilitamiento (El Niño) o fortalecimiento del APS (La Niña), respectivamente (Montecinos & Gómez, 2010). Forzantes de periodo más largo como Oscilación decadal del Pacífico, también pueden influir en el APS y contribuir al incremento en el tiempo de los vientos favorables a la surgencia en el Sistema de Corrientes de Humboldt (Aguirre *et al.*, 2018).

Se elaboró un indicador de la posición e intensidad del APS, para identificar comportamientos anómalos del ambiente, asociados a la variabilidad del viento favorable a la surgencia y consecuentemente, a la disponibilidad de alimento para el crecimiento y reproducción de pequeños pelágicos como la anchoveta y sardina común.

Metodología:

Se obtuvo información histórica (1979-2019) de la presión atmosférica a nivel del mar (SLP, por sus siglas en inglés) de la zona entre 120°W - 70°W y 15°S - 50°S , área donde se localiza el Anticiclón del Pacífico Sureste (APS) (Rahn *et al.*, 2015). Los datos corresponden a la información diaria promedio, provenientes del análisis global NCEP, con una resolución espacial de $2,5^{\circ}/2,5^{\circ}$ en latitud/longitud (grilla $\sim 280 \text{ km}^2$), distribuidos por la NOAA (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.html>).

Para determinar el centro del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS) se obtuvo la posición (latitud y longitud) y magnitud de la presión máxima encontrada en la zona entre 120°W - 70°W y 15°S - 50°S de la información diaria de la presión a nivel del mar. Se utilizó el periodo entre 1990-2019 en el cálculo de la climatología anual, mediante la mediana mensual de la latitud, longitud y magnitud del centro de alta presión, luego estas tres series de tiempo diarias se transformaron en mensuales.



Para determinar la migración del APS, se calculó la distancia (km) zonal (este-oeste) y meridional (norte-sur) entre el dato mensual observado y el dato de la climatología mensual. Valores positivos (negativos) indicaron que el APS se ubicó hacia el norte (sur) y este (oeste) de su posición promedio. Para la interpretación de la variabilidad interanual de estos eventos, se aplicó un filtro pasa-baja para eliminar las altas frecuencias asociada a periodos menores a 18 meses. Las variaciones en la magnitud del APS se calcularon a partir de la anomalía de la presión, restando la serie de tiempo mensual con la climatología mensual y con ello se estimó la anomalía acumulada.

5.2.2. Amplitud y fase del ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM)

Argumento: El ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM) es determinante para la biología de organismos pelágicos tales como la anchoveta y sardina. La temperatura se vincula con múltiples procesos biológicos y pesqueros (Parada *et al.*, 2013; Ottersen *et al.*, 2010). La dinámica reproductiva de la anchoveta, se encuentra afectada por cambios en el medio ambiente, asociado a variaciones de largo plazo (Contreras-Reyes *et al.*, 2016) y a la estacionalidad de la temperatura (Hernández-Santoro *et al.*, 2018). La estacionalidad de la temperatura explica en un 40% la actividad reproductiva de la anchoveta asociada al IGS (Hernandez-Santoro *et al.*, 2019), por lo que modificaciones en la estacionalidad podrían alterar el inicio de la máxima actividad reproductiva.

Este indicador identifica la amplitud y fase del ciclo anual y semi-anual, en función de las anomalías asociadas a la estacionalidad de la temperatura y al adelanto y/o atraso de las temporadas de verano e invierno para cada año.

Metodología

Se analizaron series costeras de temperatura superficial del mar (TSM) registradas con termistores cada hora que transmiten en tiempo casi real vía satelital, en 9 estaciones de nivel del mar mantenidas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) entre Arica y Talcahuano (<http://www.shoa.cl/php/tsm.php?idioma=es>) (**Tabla 11**).

Tabla 11. Estaciones costeras de temperatura superficial del mar distribuidos por el SHOA y periodo de registro.

Estación costera de TSM	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Inicio del registro (dd/mm/aaaa)	Fin del registro (dd/mm/aaaa)
Arica	18,476	70,323	01-01-1999	31-12-2019
Iquique	20,204	70,148	31-03-1999	31-12-2019
Mejillones	23,098	70,451	02-06-2011	31-12-2019
Antofagasta	23,653	70,404	06-04-1999	31-12-2019
Caldera	27,064	70,825	01-01-1999	31-12-2019
Coquimbo	29,952	71,336	09-04-1999	31-12-2019



Valparaíso	33,027	71,626	01-01-1999	31-12-2019
San Antonio	33,582	71,619	14-03-1999	31-12-2019
Talcahuano	36,695	73,106	28-04-1999	31-12-2019

La información de TSM ($^{\circ}$ C) fue utilizada para determinar la amplitud y la fase del ciclo anual a lo largo de la costa de Chile, en función del ciclo anual promedio esperado de cada localidad. Para ello, se analizó el ciclo anual de la serie histórica horaria (sin tendencia) con el método de Wavelet, el cual permite una mejor separación de la señal en el espacio del tiempo y de frecuencias en series de tiempo (Torrence & Campo, 1998). En la transformada Wavelet se utilizaron los coeficientes para la función base Morlet y el cálculo del nivel de significancia al 95% se calculó con el método de Monte Carlo con 1.000 iteraciones (Torrence & Campo, 1998; Storch & Zwiers, 1984). La señal utilizada para describir el ciclo anual y semianual fue la reconstruida entre los períodos de 182,5 y 547,5 días, equivalente a 0,5 y 1,5 años, respectivamente (**Figura 5**).

Una vez capturada la señal anual y semi anual para cada año del registro de temperatura analizado, se procedió a calcular el verano e invierno climatológico, en función del tiempo y magnitud promedio de cada serie (**Tabla 11**). Luego, se calculó la diferencia de la amplitud y desfase (en días), entre el máximo/mínimo anual observado y cada verano/invierno climatológico. Un desfase positivo (negativo) correspondió a un retraso (adelanto) de las épocas de verano/invierno respecto al ciclo anual promedio. Al mismo tiempo, se calculó la diferencia entre el máximo (mínimo) de cada ciclo de TSM y el máximo (mínimo) del ciclo anual que corresponden a los períodos de verano (invierno) climatológico, lo que se denominó como ATSM-verano (ATSM-invierno). Un valor positivo (negativo) de ATSM correspondió a un ciclo anual más cálido (frío) respecto al ciclo anual promedio. Si el ciclo anual no pudo ser determinado por falta de datos (brechas), la amplitud y el rezago no fueron determinados.

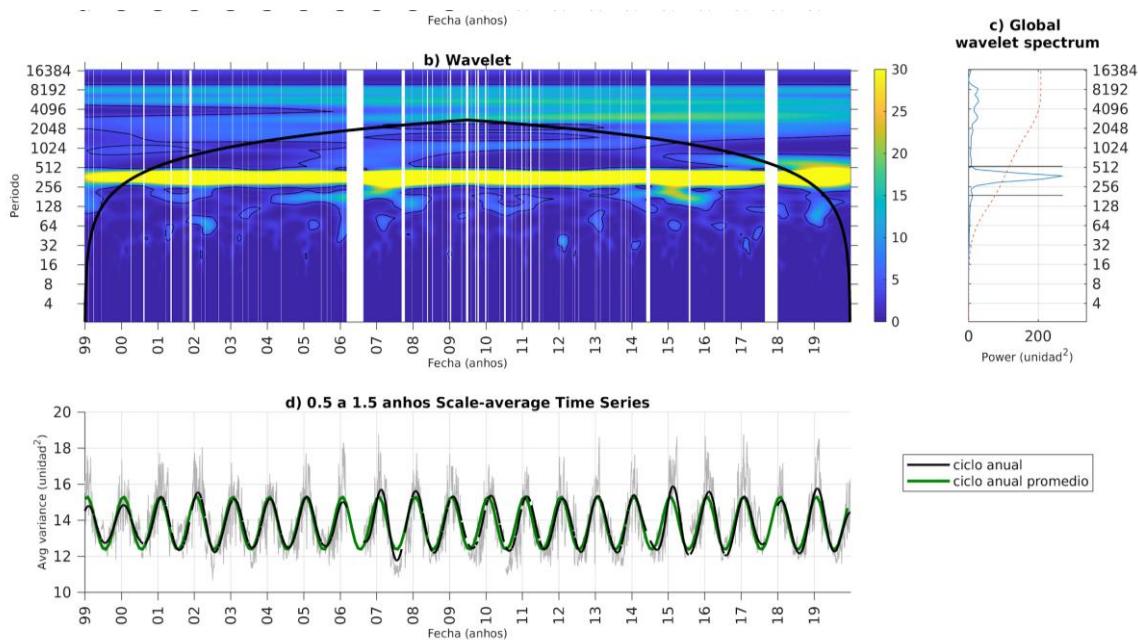


Figura 5. Análisis de Wavelet (Morlet) de la serie horaria de TSM en la estación costera de Valparaíso:
 a) Poder espectral ($^{\circ}\text{C}^2$) en las distintas frecuencias entre los años 1999 y 2019 (el contorno indica nivel de significancia al 95%); b) Poder espectral promedio ($^{\circ}\text{C}^2$) en toda la serie; c) Reconstrucción del ciclo anual de TSM para cada año de la serie (línea negra), ciclo anual promedio de TSM para toda la serie (línea verde) y datos originales de TSM sin tendencia (línea gris).



6. Objetivo incremental: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta usando modelamiento biofísico. Fase III: Proponer un modelo conceptual del ciclo de vida de la sardina común y anchoveta en base a la información histórica.

En el desarrollo de este objetivo, se propone un modelo conceptual del ciclo de vida de la sardina común y anchoveta en base a la información histórica, revisando más de 200 publicaciones nacionales y extranjeras relacionadas a especies de pequeños pelágicos (clupeidos) (**Tabla 12**). Dado que estas especies presentan amplia distribución lo largo de la costa de Chile, en especial la anchoveta, se recopilaron datos de la historia de vida de la anchoveta en sus tres poblaciones o stock pesqueros en las zonas: norte, centro norte y centro sur y de sardina común en el centro sur.

El océano es un ambiente dinámico, donde interactúan diversos mecanismos físicos, químicos, biológicos a distintas escalas espacio temporales que influyen sobre el ciclo de vida de las distintas especies que habitan en él. En el esquema propuesto del ciclo de vida de los peces pequeños pelágicos: los adultos desovan sus huevos, estos eclosionan y se convierten en larvas, luego van creciendo y adoptando otras características biológicas, hasta que se cierra el ciclo cuando alcanzan la madurez sexual y logran reproducirse.

Este modelo conceptual servirá para desarrollar un modelo biológico, el cual en el futuro se vinculará con un modelo hidrodinámico para general el modelo biofísico de dispersión. Para tener un buen modelo biofísico, hay que tener un buen modelo biológico y para ello hay que conocer el ciclo de vida de las especies que se quiere estudiar.

Tabla 12. Número de artículos revisado sobre cada especie y etapa del ciclo de vida.

Etapas del ciclo de vida	Anchoveta	Sardina común	Anchoveta y sardina común	Otras especies de anchoveta	Otras especies de sardinas	Otras relacionadas	Totales
Adultos	46	19	29	25	28	12	159
Huevos	17	2	4	2	1	9	35
Larvas	10	4	5	6	3	8	36



VII. RESULTADOS

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

1.1. Condiciones oceanográficas globales

Las condiciones oceanográficas en la zona de estudio antes, durante y después del crucero 2019, se describen a continuación, mediante la temperatura superficial del mar satelital (promedio mensual). En julio, la TSM fue $>15^{\circ}\text{C}$ en el sector norte del área de estudio, entre 33°S - 35°S (**Figura 6a**). Estas temperaturas se extendieron hacia la costa entre 33°S - 37°S y hacia el sector oceánico $\sim 39^{\circ}\text{S}$. Durante el mes de agosto, la TSM fue $\sim 14,5^{\circ}\text{C}$ en el sector norte y se extendió hacia la costa en $\sim 36^{\circ}\text{S}$ (**Figura 6b**). Aguas con menor temperatura se asociaron a un evento de surgencia en la bahía de San Antonio ($\sim 33,4^{\circ}\text{S}$). En septiembre, la temperatura disminuyó a 14°C entre 33°S - 34°S y se extendió hacia el sector costero de 36°S (**Figura 6c**). Al sur de esta latitud, la TSM fue $<13^{\circ}\text{C}$. En octubre temperaturas $>13^{\circ}\text{C}$ se presentaron al norte de 36°S (**Figura 6d**). En la costa al norte de $\sim 34^{\circ}\text{S}$ se presentaron aguas más frías con valores $<13^{\circ}\text{C}$, que corresponderían a otro evento de surgencia.

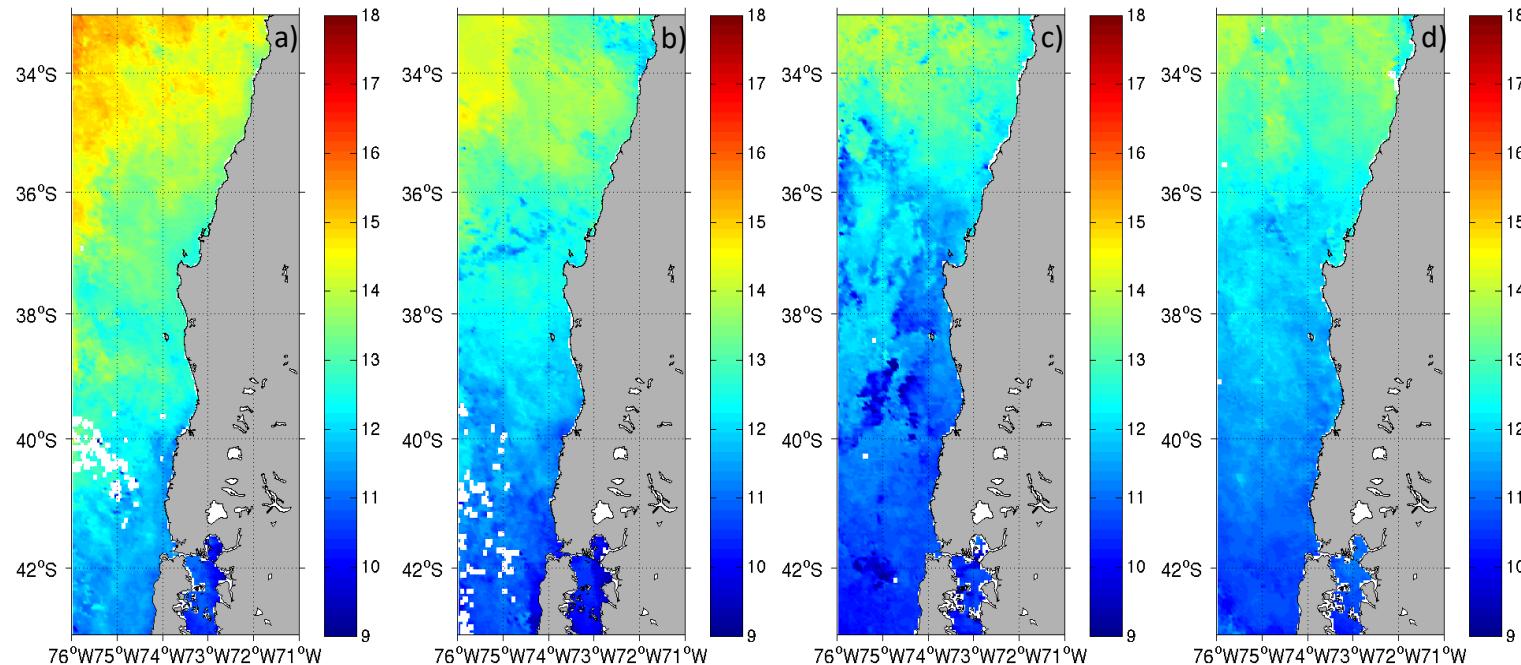


Figura 6. Promedios mensuales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (°C) en: a) Julio, b) Agosto, c) Septiembre y d) Octubre, 2019.

Clorofila-a satelital

En agosto las concentraciones de clorofila-a fueron $<2,5 \text{ mg/m}^3$. No obstante, se observaron valores $>7,5 \text{ mg/m}^3$ en la franja costera entre 36°S - 37°S y entre 39°S - 40°S (**Figura 7**). En septiembre aumentó la cobertura de las concentraciones de cloa $>5 \text{ mg/m}^3$ en la costa entre 36°S - 37°S y entre 38°S - 39°S , que posteriormente, se mantuvieron en octubre.

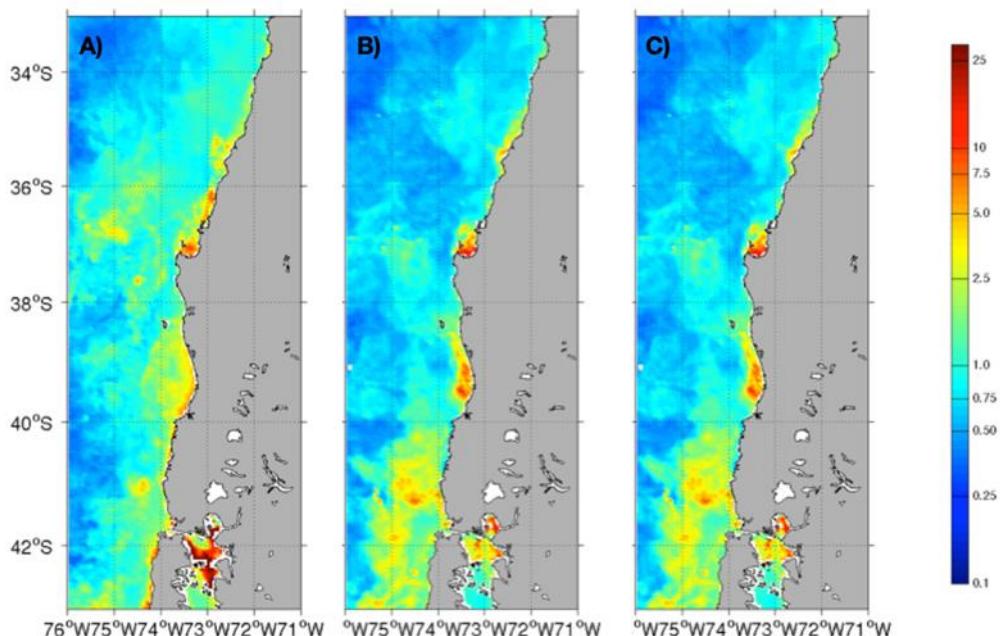


Figura 7. Promedios mensuales de concentraciones de clorofila-a en: a) Agosto, b) Septiembre y c) Octubre, 2019.

Campo advectivo de temperatura superficial del mar

El promedio de velocidad advectiva mensual, entre agosto y octubre, mostró una advección predominante con dirección Noroeste, al norte de 36°S (**Figuras 8a y 8b**). Velocidades $<10 \text{ cm/s}$, se registraron con dirección hacia la costa en torno a 38°S . Asimismo, el transporte este-oeste mostró flujos con alta variabilidad, pero con una componente dominante hacia el oeste (fuera de la costa). Entre los meses de septiembre y octubre, hubo un incremento en el transporte hacia el oeste entre 35°S - 37°S y entre 39°S - 41°S , que equivale a un transporte neto con velocidades $>1 \text{ cm/s}$, que se intensificaron a 15 cm/s entre 34°S - 36°S (**Figuras 8b y 8c**).

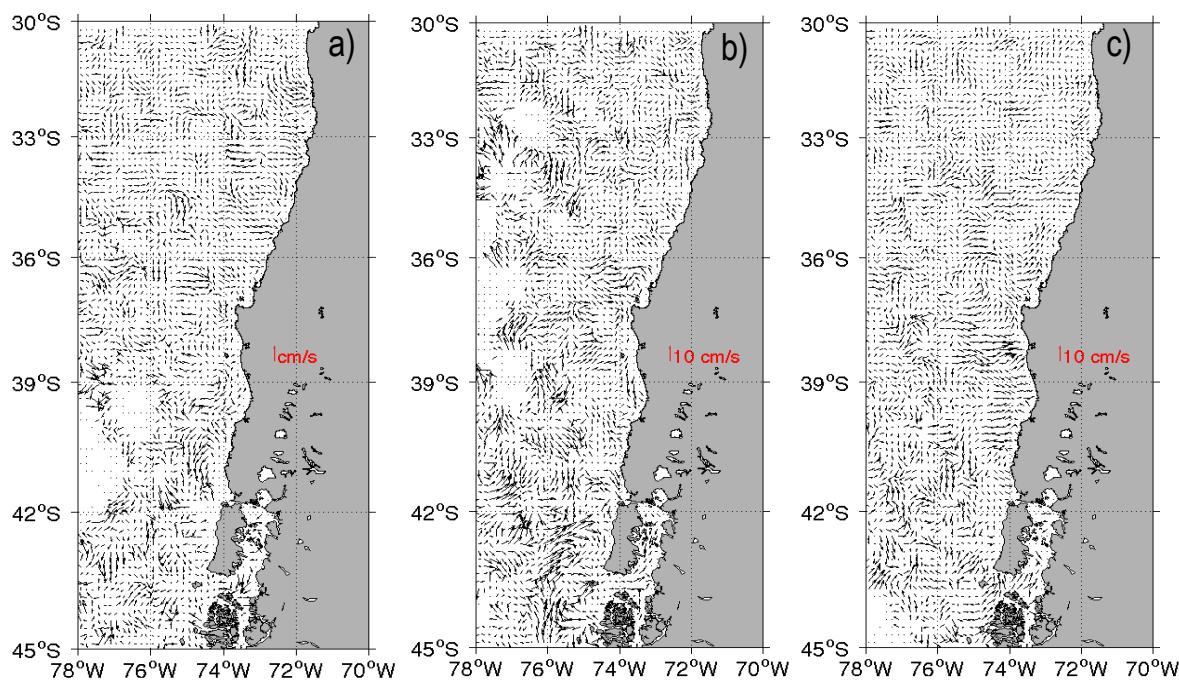


Figura 8. Campo promedio de velocidades advectivas de la TSM en los meses de: a) Agosto, b) Septiembre y c) Octubre, 2019.

Campo de viento superficial

En agosto se observaron vientos del oeste y noroeste al sur del golfo de Arauco ($37^{\circ}05'S$), lo que determinó condiciones de convergencia entre $38^{\circ}S$ y $42^{\circ}S$; mientras que al norte del golfo de Arauco el viento tuvo dirección sur, pero fue de baja intensidad (Figura 9). En septiembre se presentaron vientos sur en toda el área de estudio, favoreciendo la suregncia costera, y en octubre el viento sur se presentó al norte del golfo de Arauco, con intensidad moderada.

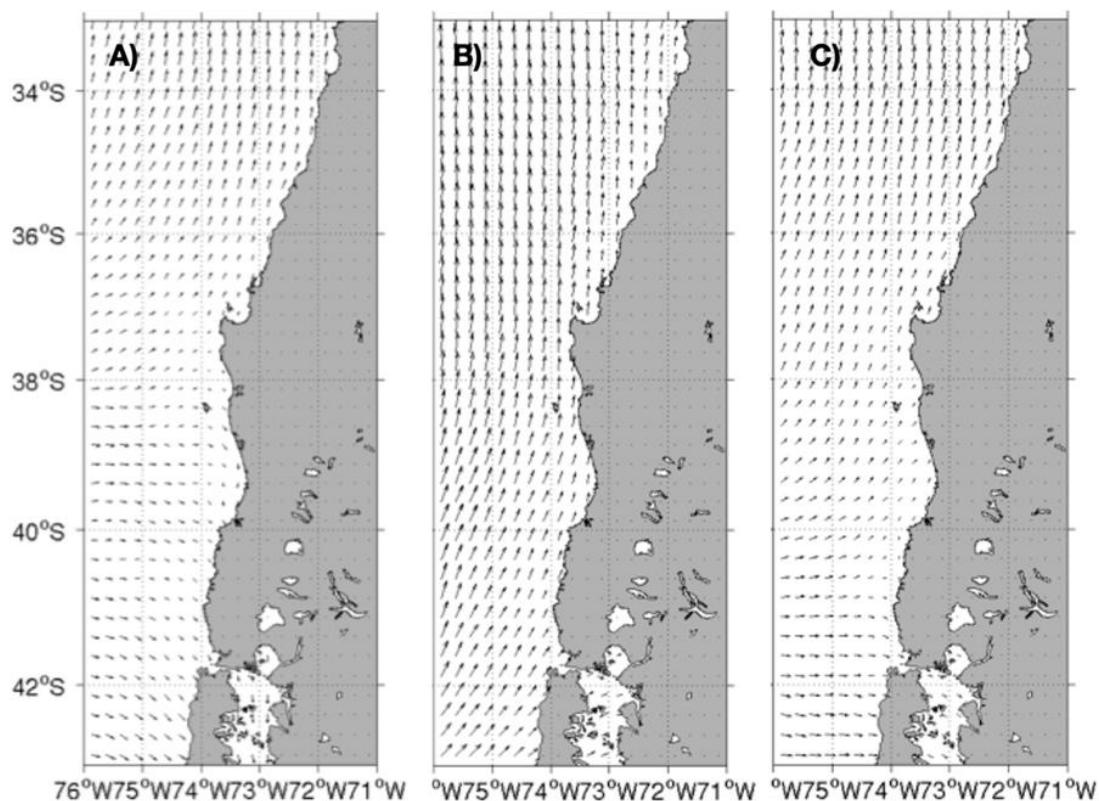


Figura 9. Promedios mensuales del campo de viento satelital (m/s) en: a) Agosto, b) Septiembre y c) Octubre, 2019.

1.2. Condiciones oceanográficas durante el crucero

Secciones horizontales a distintas profundidades

Con la finalidad de visualizar los cambios espaciales en las características oceanográficas: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad y densidad (σ_t), se construyeron secciones horizontales a diferentes profundidades: superficie, 10 m y 50 m, en los sectores norte, centro y sur de la zona de estudio (**Figuras 10-12**).

Las secciones horizontales de variables oceanográficas obtenidas con CTD permitieron: i) confirmar una tendencia latitudinal de temperatura superficial observada con las muestras de agua tomada con balde, ii) determinar las variaciones latitudinales en salinidad superficial, y de temperatura, salinidad y densidad a 10 m y 50 m, así como iii) establecer áreas particulares en que algunos procesos costeros modificaron la columna de agua. En particular, las secciones horizontales de salinidad superficial



permitieron identificar zonas costeras, con características hidrográficas influenciadas por las descargas de los ríos Maule, Itata y Biobío en sector central ($36,2^{\circ}\text{S}$ - $37,1^{\circ}\text{S}$) y los ríos Imperial, Toltén y Valdivia en el sector sur ($38,5^{\circ}\text{S}$ - 40°S).

La diagramación de las variables oceanográficas por sector, también permitió observar su variación con la profundidad.

En el sector norte, los valores de temperatura, salinidad y densidad (σ_t) en superficie, mostraron pequeñas variaciones en: temperatura (12°C – 14°C), en salinidad ($33,5$ – $34,5$) y densidad (25 – 27 kg/m^3) (**Figura 10**). A 10 m de profundidad, la temperatura fluctuó entre $11,5^{\circ}\text{C}$ y 13°C , cuyos valores fueron bajos en la zona costera entre $33,8^{\circ}\text{S}$ - 34°S , mientras que hubo poca variación en la salinidad y densidad (34 - $34,5$; 25 - $26,5 \text{ kg/m}^3$) (**Figura 11**). A una profundidad de 50 m , se registraron aguas con menor temperatura que 11°C y mayores valores en salinidad >34 y densidad $>26 \text{ kg/m}^3$ (**Figura 12**).

En el sector centro, a nivel superficial, se observó que la temperatura fluctuó entre 10° - 13°C , la salinidad entre 28 - $34,5$ y la densidad entre 24 - 27 kg/m^3 . Sin embargo, en la zona adyacente a la desembocadura del río Biobío y del golfo de Arauco, se observaron temperaturas $<12^{\circ}\text{C}$ y un claro gradiente de salinidad de 20 a $33,5$, junto con valores de densidad entre 18 - 26 kg/m^3 (**Figura 10**). A 10 m de profundidad, se presentaron leves variaciones en: la temperatura (11°C - $12,5^{\circ}\text{C}$), salinidad ($32,5$ – $34,5$) y densidad (25 - 27 kg/m^3) (**Figura 11**). A 50 m de profundidad y a lo largo de la costa, se observaron aguas con temperaturas $<11^{\circ}\text{C}$, salinidades >34 y densidades $>26 \text{ kg/m}^3$ (**Figura 12**).

En el sector sur, la temperatura en superficie varió entre 11°C - $12,5^{\circ}\text{C}$. Al sur de la Isla Mocha, desde el sur de 38°S hasta 40°S , se presentaron temperaturas entre 12°C y $12,5^{\circ}\text{C}$, mientras que al sur de 40°S se registraron temperaturas $<11^{\circ}\text{C}$. La salinidad y densidad oscilaron entre 20 - $34,5$ y entre 18 - 26 kg/m^3 respectivamente, con fuertes gradientes asociados a las desembocaduras de los ríos Toltén (~ $39,27^{\circ}\text{S}$) y Valdivia (~ $39,85^{\circ}\text{S}$) (**Figura 10**). A una profundidad de 10 m los valores de temperatura, salinidad y densidad presentaron leves variaciones en todo el sector de estudio, excepto al norte de la desembocadura del río Valdivia donde se registró una temperatura $<11^{\circ}\text{C}$, un fuerte gradiente de salinidad entre 20 - 34 y densidades entre 18 - 25 kg/m^3 (**Figura 11**). A 50 m de profundidad, las variables oceanográficas presentaron valores homogéneos, es decir, temperaturas $<11^{\circ}\text{C}$, salinidad >34 y densidad $>25 \text{ kg/m}^3$ (**Figura 12**).

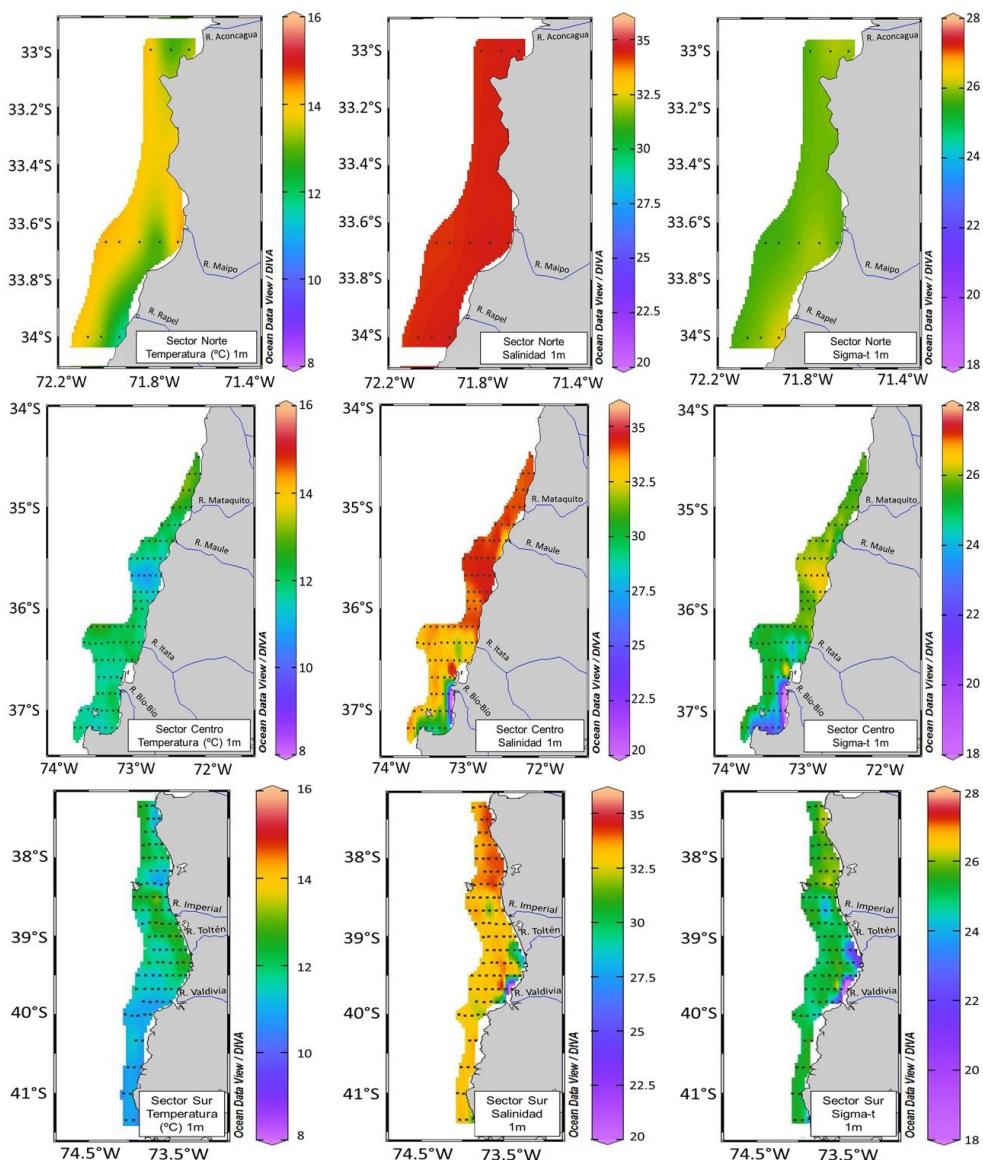


Figura 10. Características hidrográficas en superficie de: temperatura ($^{\circ}\text{C}$, panel izquierdo), salinidad (panel central) y densidad (kg/m^3 , panel derecho), en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, durante el crucero 2019.

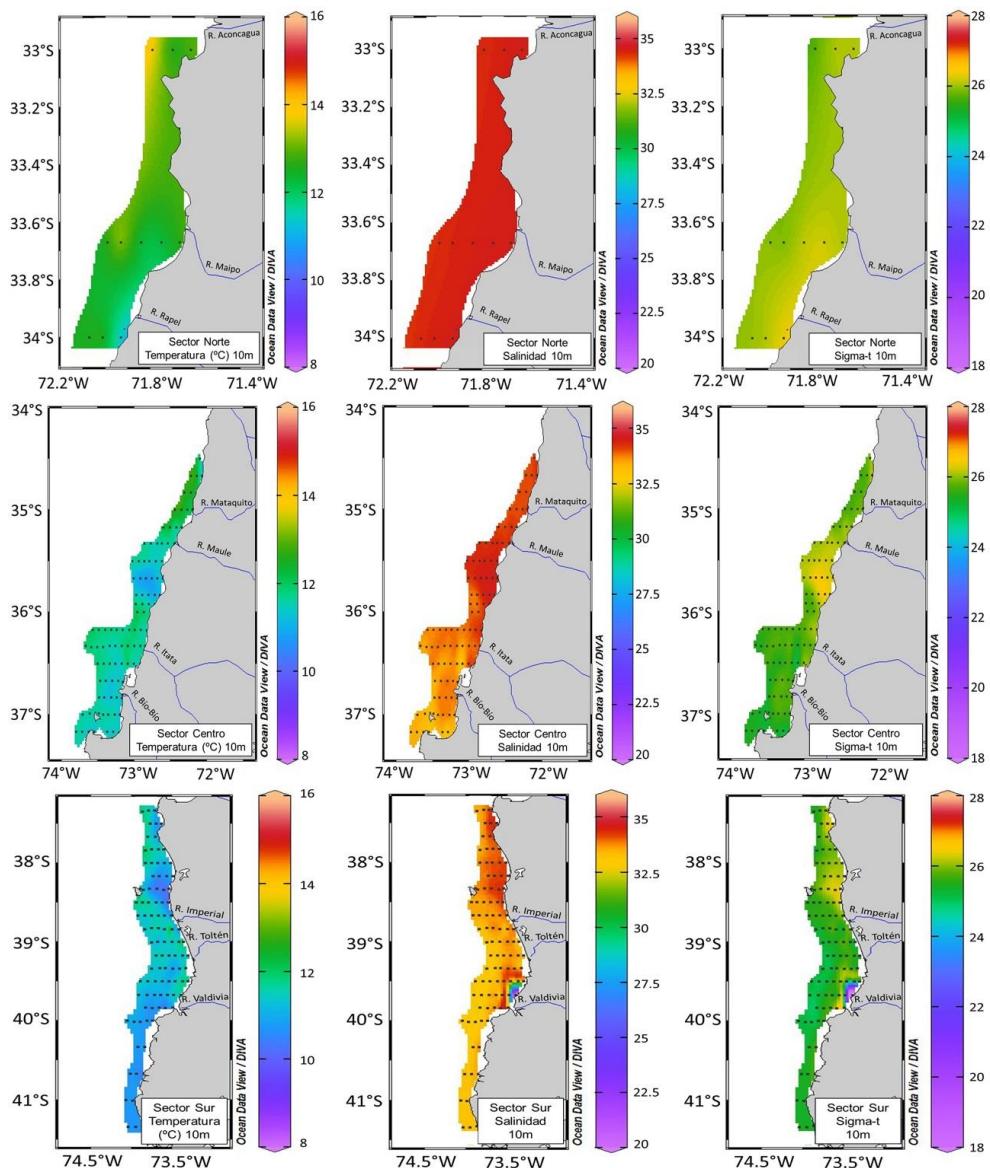


Figura 11. Características hidrográficas a 10 m de profundidad de: temperatura ($^{\circ}\text{C}$, panel izquierdo), salinidad (panel central) y densidad (kg/m^3 , panel derecho), en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, durante el crucero 2019.

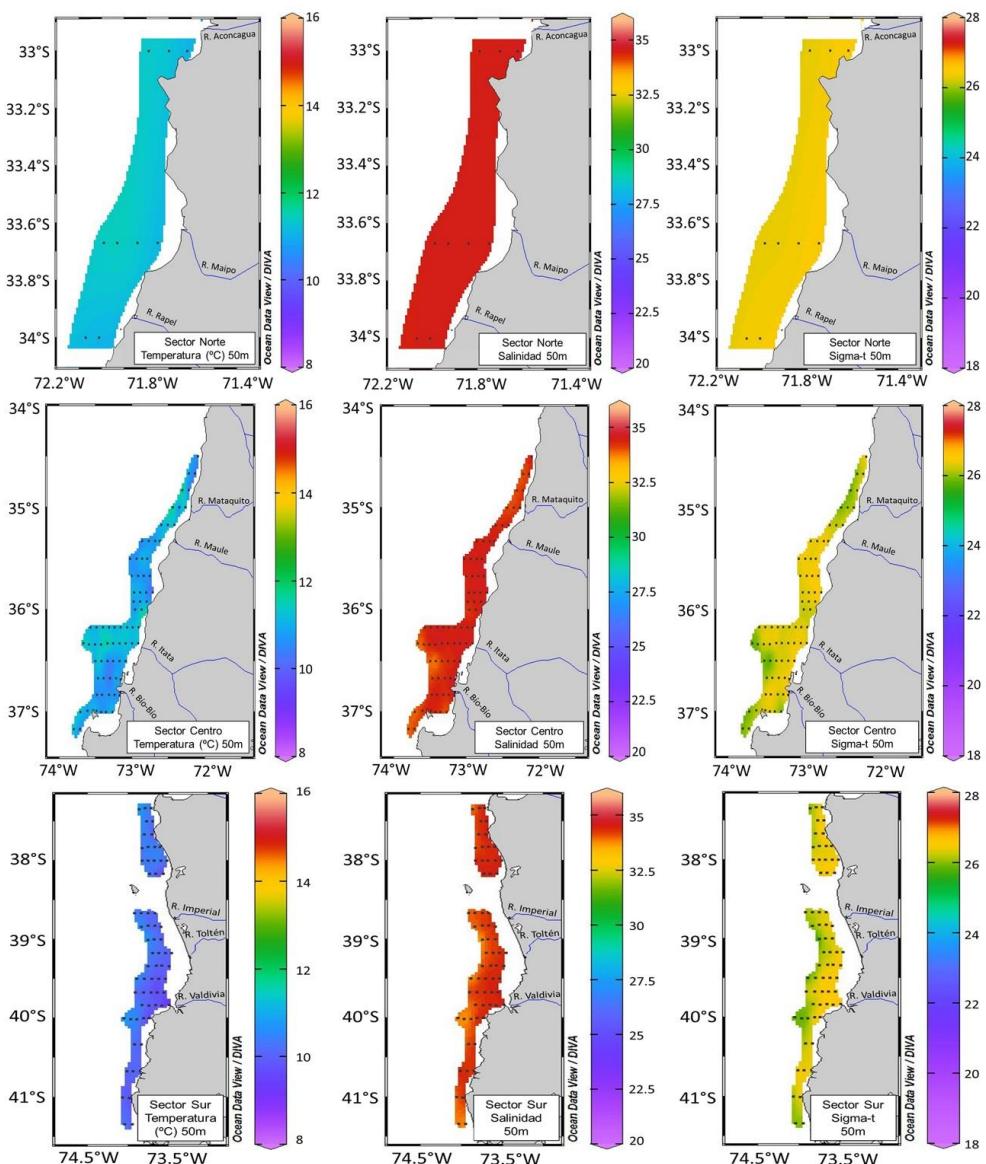


Figura 12. Características hidrográficas a 50 m de profundidad de: temperatura ($^{\circ}\text{C}$, panel izquierdo), salinidad (panel central) y densidad (kg/m^3 , panel derecho), en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, durante el crucero 2019.

Diagramas T-S y masas de agua

Con el fin de precisar mejor las masas de agua, se consideraron las estaciones oceanográficas localizadas en el sector oceánico (>35 km) y se consideró el aporte de agua con baja salinidad proveniente de la mezcla de agua dulce de las desembocaduras de los ríos en la banda costera (**Figura 13**). En el sector centro, a una profundidad entre 12 y 30 m de profundidad el ASAA presentó una alta participación, con PPMA entre 70%-95%. El porcentaje de esta masa de agua disminuyó con la profundidad a <18% a 100 m. En cambio, el porcentaje de AEES aumentó en profundidad, desde PPMA < 5% en la capa superficial hasta 60%-70% en los 100 m de profundidad.

En el sector sur, los mayores porcentajes de ASAA con PPMA >85% se presentaron entre 19 y 50 m y disminuyeron con la profundidad a <30% en los 100 m (**Figura 13**). En tanto, el AEES presentó PPMA <5% en profundidades entre 19 y 50 m y al igual que en el sector centro, aumentó con la profundidad a PPMA entre 50%-60% en los 100 m.

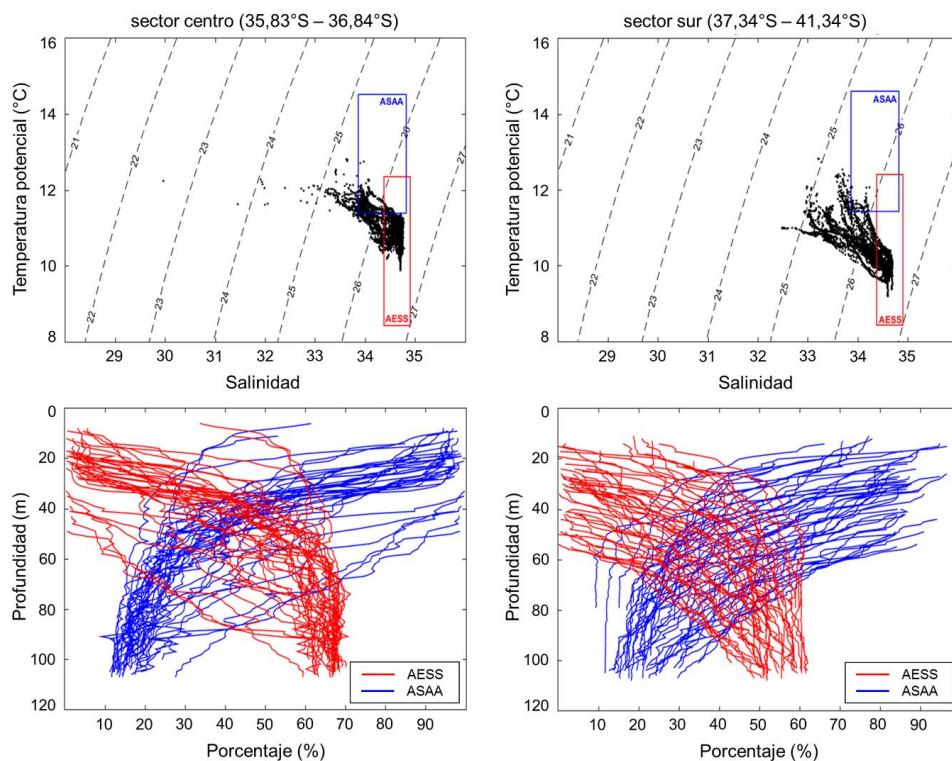


Figura 13. Diagrama T-S y porcentaje de masas de agua (%) presente en los sectores centro (panel izquierdo) y sur (panel derecho), durante el crucero 2019.



2. Objetivo 2: Estimar la biomasa del stock desovante

2.1. Densidad, abundancia y distribución espacial de huevos de anchoveta y sardina común

2.1.1. Estaciones con presencia de huevos

Del total de 383 estaciones de la grilla regular del 2019 realizadas con red Pairovet, 106 estaciones presentaron huevos de anchoveta, lo que representó un 27,6 % del total de las estaciones y 88 estaciones presentaron huevos de sardina común que correspondió a un 22,9% del total de las estaciones (**Tabla 13**). Comparado con el 2018, ocurrió una disminución del porcentaje de estaciones positivas con huevos de anchoveta (2018 = 35%) y un aumento del porcentaje de estaciones positivas de sardina común (2018 = 14%).

Tabla 13. Número de estaciones totales con huevos de anchoveta y sardina común, por sector en el 2019 y el porcentaje que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.

Sector	Estaciones totales	ANCHOVETA		SARDINA COMÚN	
		Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
Norte	14	5	36	0	0
Centro	178	46	26	33	19
Sur	191	55	29	55	29
TOTAL	383	106	27,6	88	22,9

Al analizar la serie de tiempo completa de porcentajes de estaciones con huevos de ambas especies entre el 2002 y 2019 (**Figura 14**), se observó que:

En todo el periodo, excepto el año 2013, se mantuvo la tendencia de un mayor número de estaciones positivas de huevos de anchoveta sobre los de sardina común.

Se mantuvieron menores números de estaciones con huevos de anchoveta en el periodo 2008-2019, comparado con el periodo inicial entre los años 2003 y 2007. Sin embargo, desde el año 2012, han aumentado levemente las estaciones positivas de anchoveta.

En relación a los huevos de sardina común, después del 2007, aumentó la proporción de estaciones positivas en relación al periodo inicial 2002-2005 .

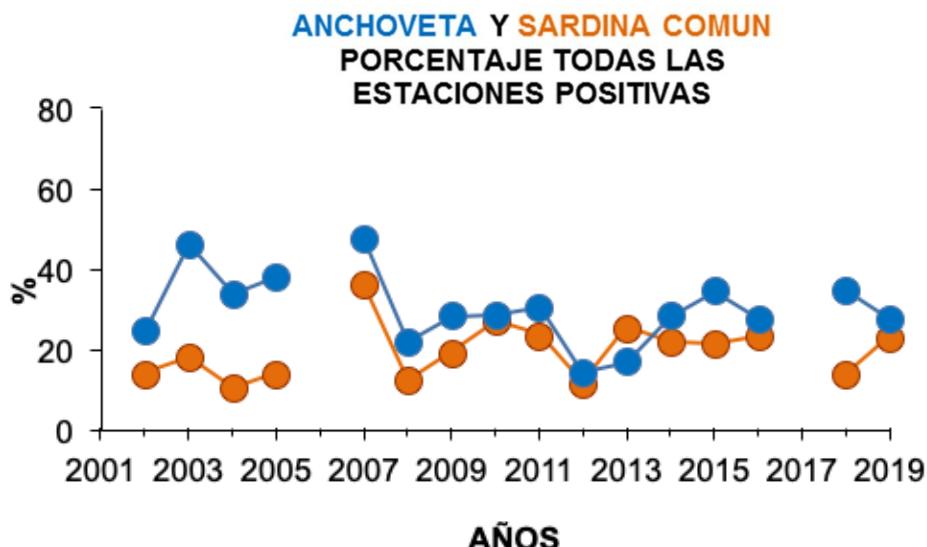


Figura 14. Porcentaje de estaciones con huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 y 2019, en la zona total de muestreo.

2.1.2. Proporción de estaciones positivas por sector, año 2019

El porcentaje de estaciones positivas de huevos de anchoveta en el sector norte (36%) durante el año 2019 fue mayor al promedio histórico (12%), mientras que en los sectores centro (26%) y sur (29%) se mantuvieron bajo el promedio histórico (29% y 33%, respectivamente). Al comparar el año 2018 con el año 2019, se observó un leve aumento de la proporción de estaciones positivas en el sector sur (2018 = 27%), una disminución en el sector central (2018 = 44%), mientras que, en el sector norte, los porcentajes se mantuvieron constantes (2018 = 36%) (**Tabla 13; Figura 15**).

La proporción de estaciones positivas de huevos de sardina común en los sectores central (19%) y sur (29%) fue mayor al promedio histórico (16% y 25%, respectivamente). En el sector norte, no se encontraron huevos de sardina común y se mantuvo una tendencia a la disminución desde el 2016 (2016 = 21,4% y 2018 = 14%). Comparativamente, entre los años 2018 y 2019, los porcentajes disminuyeron levemente en el sector central (2018 = 18%) y aumentaron en el sector sur (2018 = 10%) (**Tabla 13; Figura 15**).

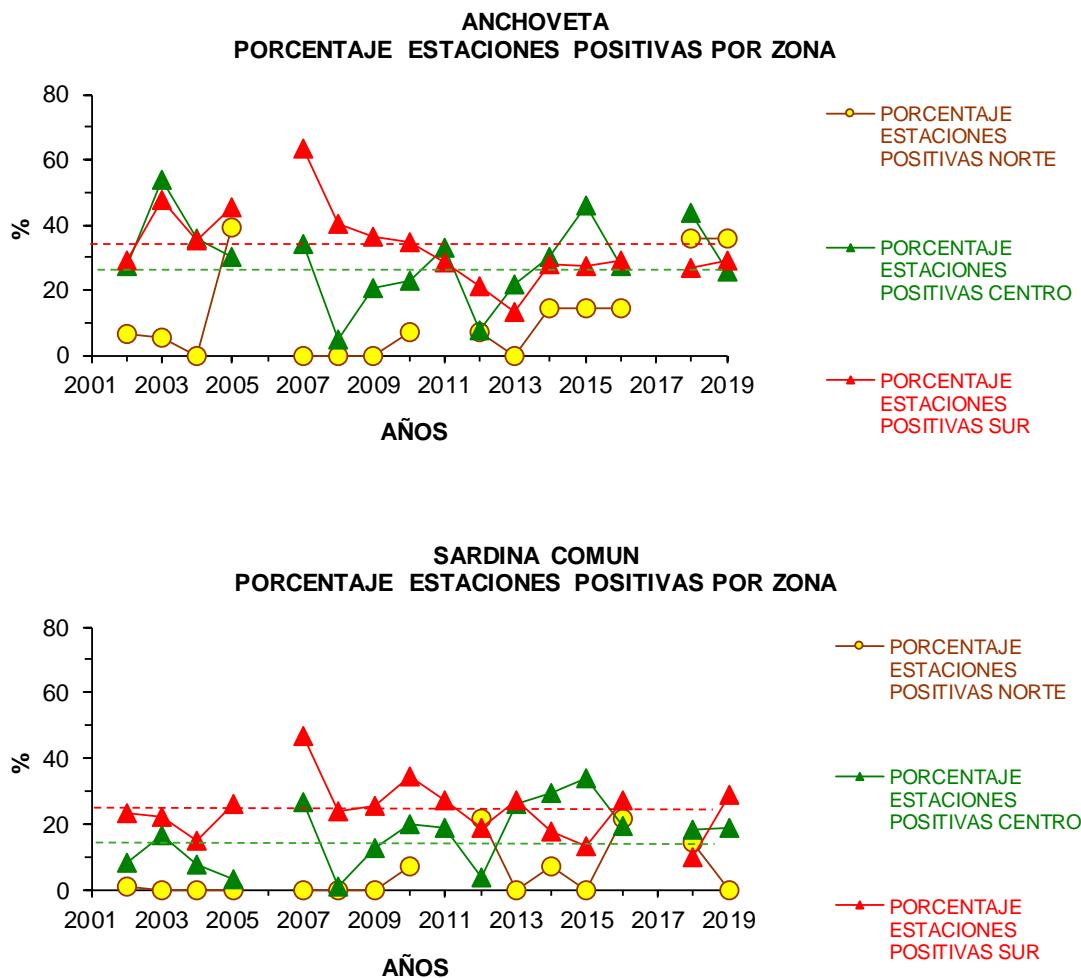


Figura 15. Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común, por sector entre los años 2002 y 2019.

2.1.3. Abundancia de huevos

En los tres sectores norte, centro y sur, la abundancia promedio de todas las estaciones positivas de huevos de anchoveta fue de 34,1 huevos 0,05 m⁻² y la abundancia promedio de estaciones positivas de huevos de sardina común fue de 70,6 huevos 0,05 m⁻². Comparado con el año 2018, se mantuvo la abundancia de huevos de anchoveta (2018 = 34,8 huevos 0,05 m⁻²) y se observó un claro incremento de huevos de sardina común (2018 = 13,9 huevos 0,05 m⁻²).

Al analizar la serie de tiempo completa, se observa que entre los años 2007 y 2008, hubo un cambio en las abundancias relativas de ambas especies: desde mayores abundancias de huevos de anchoveta en el periodo 2003 - 2007, a un mayor promedio de huevos de sardina común en el periodo 2008 - 2016, situación que se revirtió el año 2018 y que se repite nuevamente un aumento en el 2019. La fecha de cambio en el periodo 2007 - 2008, coincidió con el cambio en la proporción de estaciones positivas señalado anteriormente (**Figura 16**).

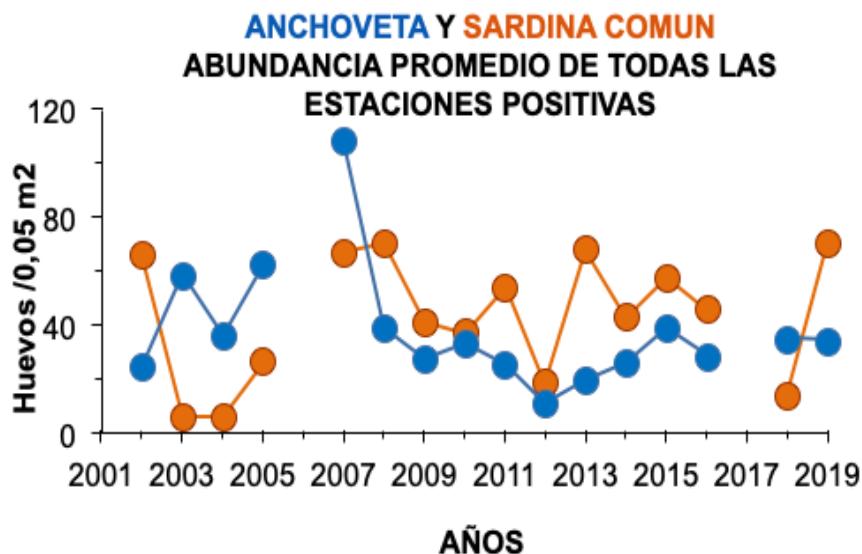


Figura 16. Abundancia promedio de todas las estaciones positivas de huevos de anchoveta y de sardina común en toda la zona de estudio durante el periodo 2002 - 2019.



2.1.4. Abundancia promedio de huevos

La abundancia promedio de huevos de anchoveta de estaciones positivas durante el año 2019 fue de 29 huevos 0,05 m⁻² en el sector norte, 16 huevos 0,05 m⁻² en el sector central y 50 huevos 0,05 m⁻² en el sector sur (**Tabla 14**). Comparado con el año 2018, la abundancia promedio: disminuyó notablemente en el sector norte (2018: 44 huevos 0,05 m⁻²), aumentó en el sector centro (2018: 9 huevos 0,05 m⁻²) y disminuyó en el sector sur (2018: 69 huevos 0,05 m⁻²) (**Figura 17**).

Considerando la serie completa (2002-2019), el promedio de huevos de anchoveta de estaciones positivas en el 2019, fue superior al promedio histórico en el sector norte (29 huevos 0,05 m⁻² v/s 10,5 huevos 0,05 m⁻²); fue inferior al promedio histórico en el sector central (16 huevos 0,05 m⁻² v/s 26,5 huevos 0,05 m⁻²) y en el sector sur superó al promedio histórico (50 huevos 0,05 m⁻² v/s 47,8 huevos 0,05 m⁻²) (**Figura 17**).

Tabla 14. Número total de huevos de anchoveta y sardina común por sector, promedio y desviación estándar de huevos, considerando el número total de estaciones y sólo las estaciones positivas, junto con la máxima abundancia de huevos por estación (huevos x 0,05 m⁻²) en cada sector, año 2019.

ANCHOVETA							
Sector	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Promedio Estaciones Positivas 2002-2019
Norte	144	10	37,1	29	61,6	139	10,5
Centro	730	4	14,8	16	26,0	134	26,5
Sur	2750	14	55,9	50	95,8	398	47,8

SARDINA COMÚN							
Sector	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Promedio Estaciones Positivas 2002-2019
Norte	0	0	0	0	0	0	2,1
Centro	3300	19	110,3	100	242,6	1232	40,7
Sur	2999	16	74,7	55	132,2	832	41,4

La abundancia promedio de huevos de sardina común de estaciones positivas durante el año 2019 fue de 100 huevos 0,05 m⁻² en el sector central y de 55 huevos 0,05 m⁻² en el sur (**Tabla 14**). En ambos sectores centro y sur aumentaron las estaciones positivas respecto al año 2018 (19 huevos 0,05 m⁻² y 7 huevos 0,05 m⁻², respectivamente) (**Figura 17**). Durante el año 2019 se observó un notable aumento de la abundancia de sardina común en los sectores centro y sur, con 100 huevos 0,05 m⁻² y

55 huevos 0,05 m⁻², respectivamente. Estos valores sobrepasaron el promedio histórico en los sectores central y sur (40,7 huevos 0,05 m⁻² y 41,4 huevos 0,05 m⁻²) (**Figura 17**).

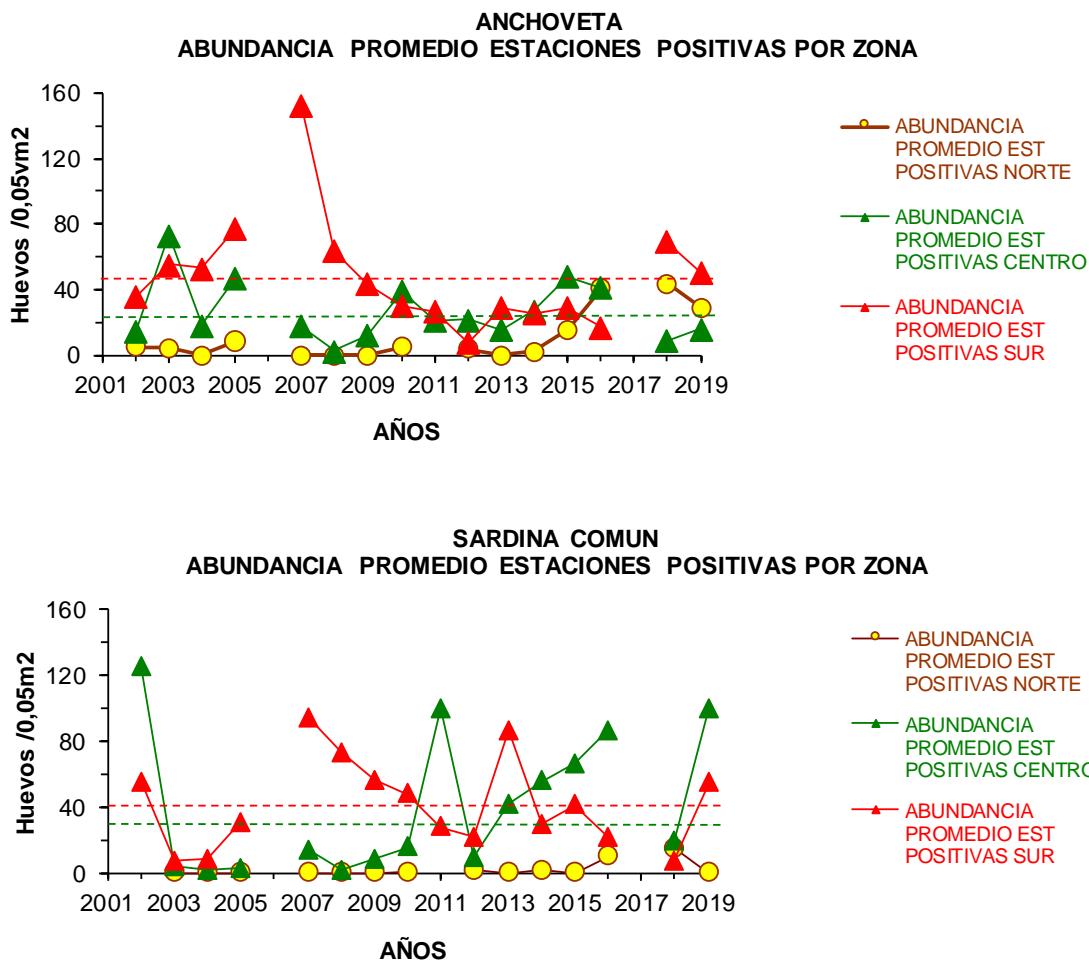


Figura 17. Abundancia promedio en estaciones positivas de huevos de anchoveta y sardina común por sector, entre los años 2002 y 2019. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en el periodo 2002 - 2019.

2.1.5. Distribución de huevos y larvas en el año 2019

En el sector norte, los huevos de anchoveta se presentaron en baja abundancia en las estaciones más costeras y estuvieron asociados a las desembocaduras de los ríos Aconcagua (32°54'S) y Rapel (33°54'S). Durante el desarrollo del crucero no se recolectaron larvas de anchoveta (**Figura 18**). En el sector central, los de huevos de anchoveta, se localizaron a lo largo de toda la franja costera y exhibieron alta abundancia en aquellas localidades que históricamente han presentado huevos, es



decir, frente a punta Nugurne ($35^{\circ}30'S$), al sur de la desembocadura del río Itata y golfo de Arauco ($37^{\circ}10'S$). Se observó baja abundancia de larvas, principalmente al sur de la desembocadura del río Itata hasta el golfo de Arauco (**Figura 18**). En el sector sur, los huevos de anchoveta estuvieron cubiertos desde $38^{\circ}20'S$ a $39^{\circ}46'S$ y se detectaron dos zonas con alta agregación desde: la isla Mocha hasta frente a la desembocadura del río Imperial y desde el norte del río Toltén hasta el río Valdivia. Larvas de anchoveta, se detectaron principalmente al norte de la desembocadura del río Toltén, en baja abundancia.

En el sector norte, se registró ausencia de huevos y larvas de sardina común (**Figura 19**). En el sector central, las mayores agregaciones de huevos de sardina común se presentaron principalmente al sur de la desembocadura del río Itata y golfo de Arauco. En cambio, frente a punta Nugurne, se detectó baja presencia de huevos. Las larvas, se observaron en baja abundancia, centradas principalmente en las típicas áreas mencionadas previamente (**Figura 19**). En el sector sur, la presencia de huevos, se localizó principalmente en la banda costera (<5 mn), se distribuyó desde la isla Mocha hasta la desembocadura del río Valdivia. Con respecto, al núcleo principal de huevos, este se localizó desde la desembocadura del río Imperial hasta el río Valdivia. Las larvas de sardina común, se presentaron en baja abundancia y se distribuyeron al norte de $39^{\circ}S$. Se observó una importante agregación de larvas entre punta Lavapié y norte de la desembocadura del río Imperial.

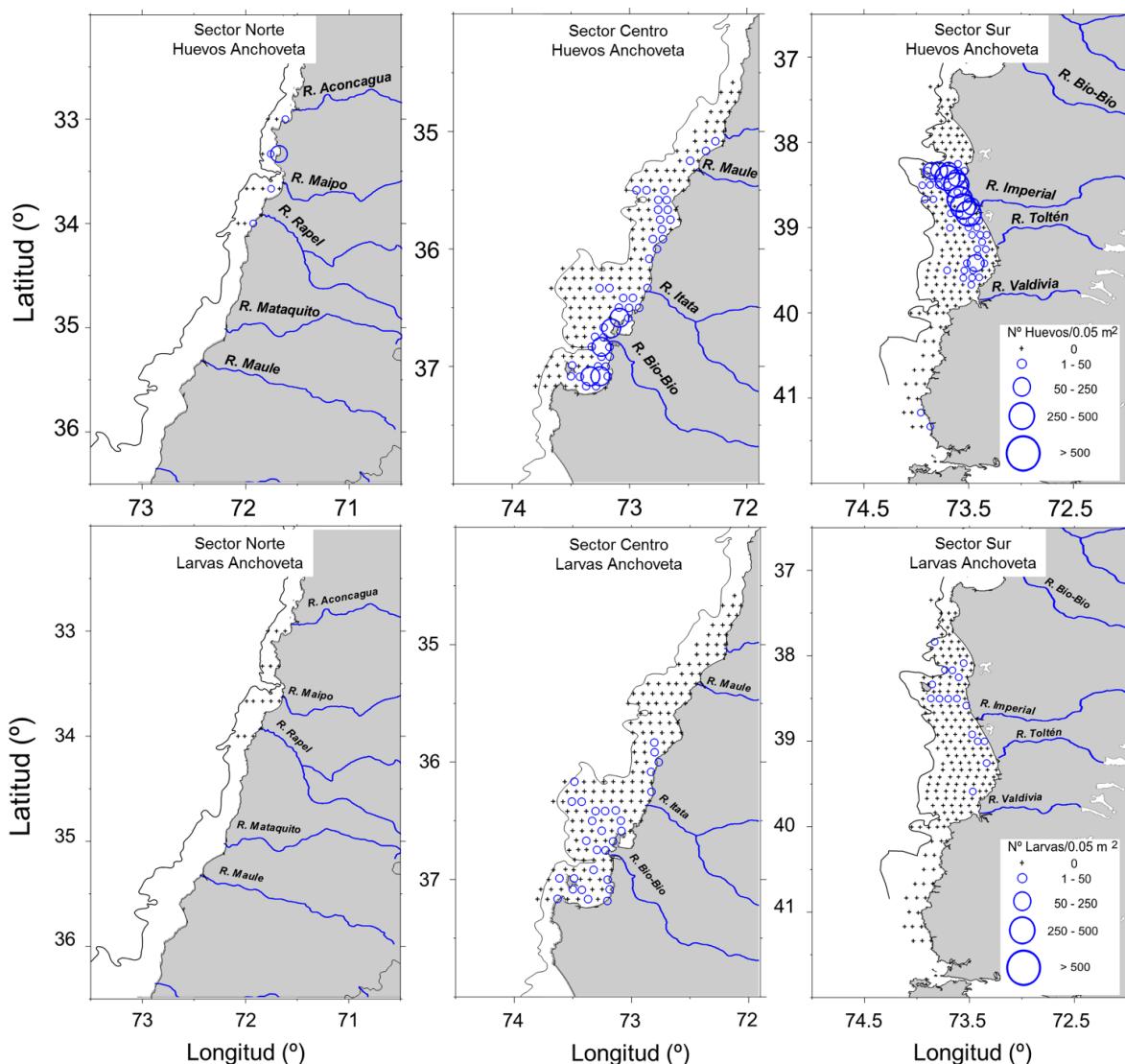


Figura 18. Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de anchoveta en los sectores norte, centro y sur, durante el crucero 2019 (red calvet).

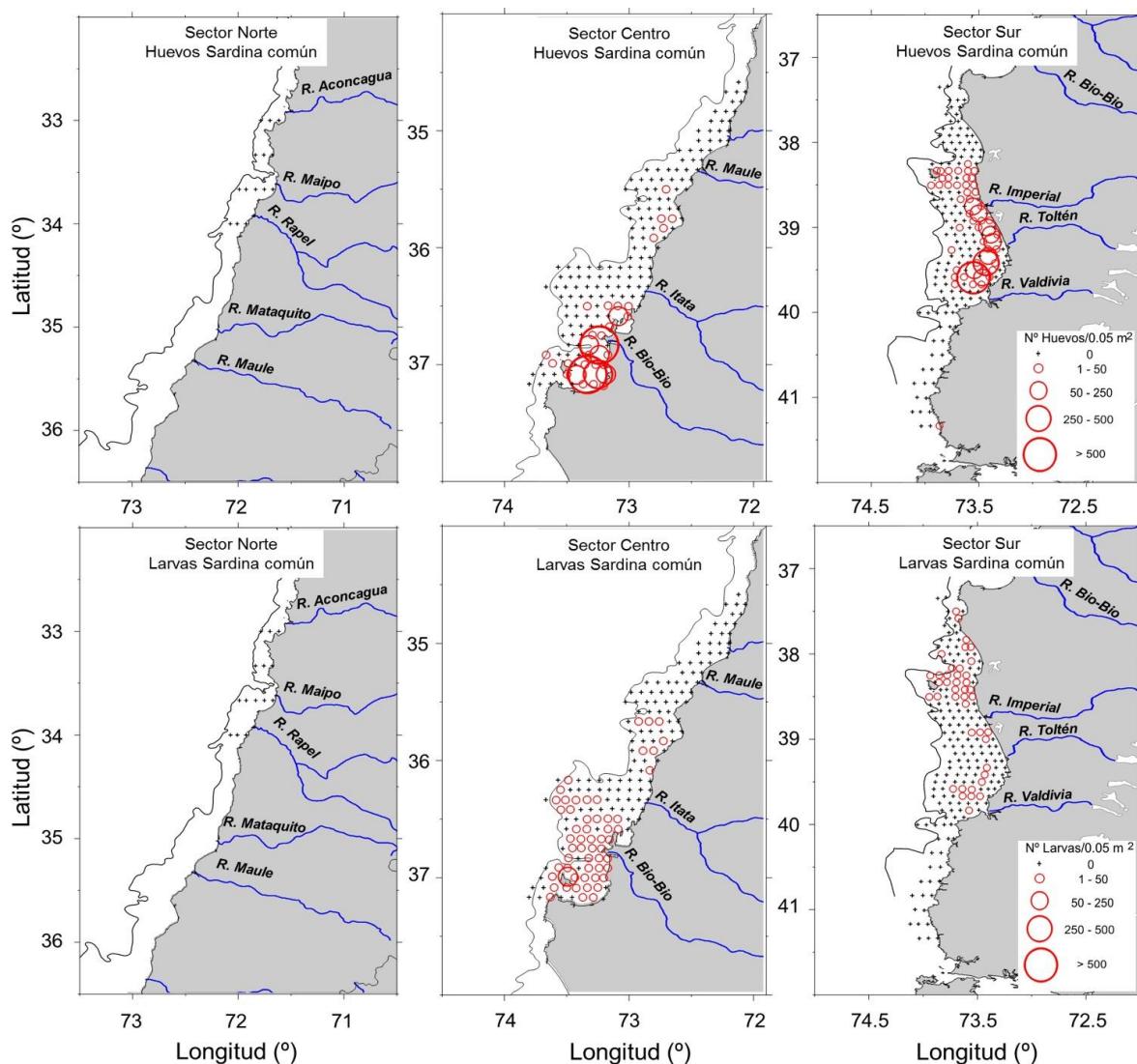


Figura 19. Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de sardina común en los sectores norte, centro y sur, durante el crucero 2019 (red calvet).



2.1.6. Distribución de huevos anchoveta y sardina común en los años 2016, 2018 y 2019.

En el 2019, los huevos de anchoveta del sector norte, al igual que durante los años anteriores (2016 y 2018), fueron recolectados principalmente en estaciones costeras y en baja abundancia, asociados a las desembocaduras de los ríos Aconcagua ($32^{\circ}54'S$) y Maipo ($33^{\circ}43'S$) (Figura 20). Los huevos de anchoveta en el sector central durante el 2016, se presentaron a lo largo de toda la franja costera y con mayor frecuencia en las localidades que históricamente presentan huevos, es decir, frente a punta Nugurne ($35^{\circ}30'S$), al sur de la desembocadura del río Itata ($37^{\circ}09'S$) y en el golfo de Arauco ($37^{\circ}10'S$). Sin embargo, en el 2018, solo en el sector ubicado al norte de $36^{\circ}S$, se detectaron algunas estaciones con altas concentraciones de huevos. Comparando con los dos años anteriores, durante el 2019 la distribución de huevos de anchoveta fue más acotada, donde, las principales agrupaciones de huevos se presentaron entre el golfo de Arauco y el sur de la desembocadura del río Itata . En el sector sur, los huevos de anchoveta entre los años 2016 y 2018 se distribuyeron entre la isla Mocha y Corral, sin embargo, las principales agrupaciones mostraron variaciones entre años, en el 2016 se presentaron frente a la desembocadura del río Valdivia, en el 2018 desde isla Mocha a la desembocadura del río Valdivia ($39^{\circ}48'S$) y en el 2019 entre la isla Mocha y el río Imperial .

Los huevos de sardina común en el sector norte, se presentaron en estaciones de la zona costera en bajas concentraciones durante los años 2016 y 2018 (Figura 21). En el 2016, las mayores agregaciones en el sector central, se observaron en las tres zonas típicas de agregación de huevos. En el 2018 solo se presentaron entre el golfo de Arauco y al sur de la desembocadura del río Itata, con una baja abundancia en el golfo de Arauco. En cambio, en el año 2019 se observaron altas abundancias huevos de anchoveta en el golfo de Arauco. En el sector sur, durante el 2016, la mayor agrupación se presentó frente a Corral (zona histórica de agregación). En el 2018, se detectaron dos áreas con mayor frecuencia de estaciones con huevos de sardina común: frente a isla Mocha y al norte de Corral, pero solo en algunas estaciones costeras frente a la desembocadura del río Imperial, al sur de isla Mocha) las concentraciones de huevos fueron altas. Finalmente, en el 2019 se observó una distribución más amplia en comparación a los dos años previos, que cubrió desde la isla Mocha hasta la desembocadura del río Valdivia.

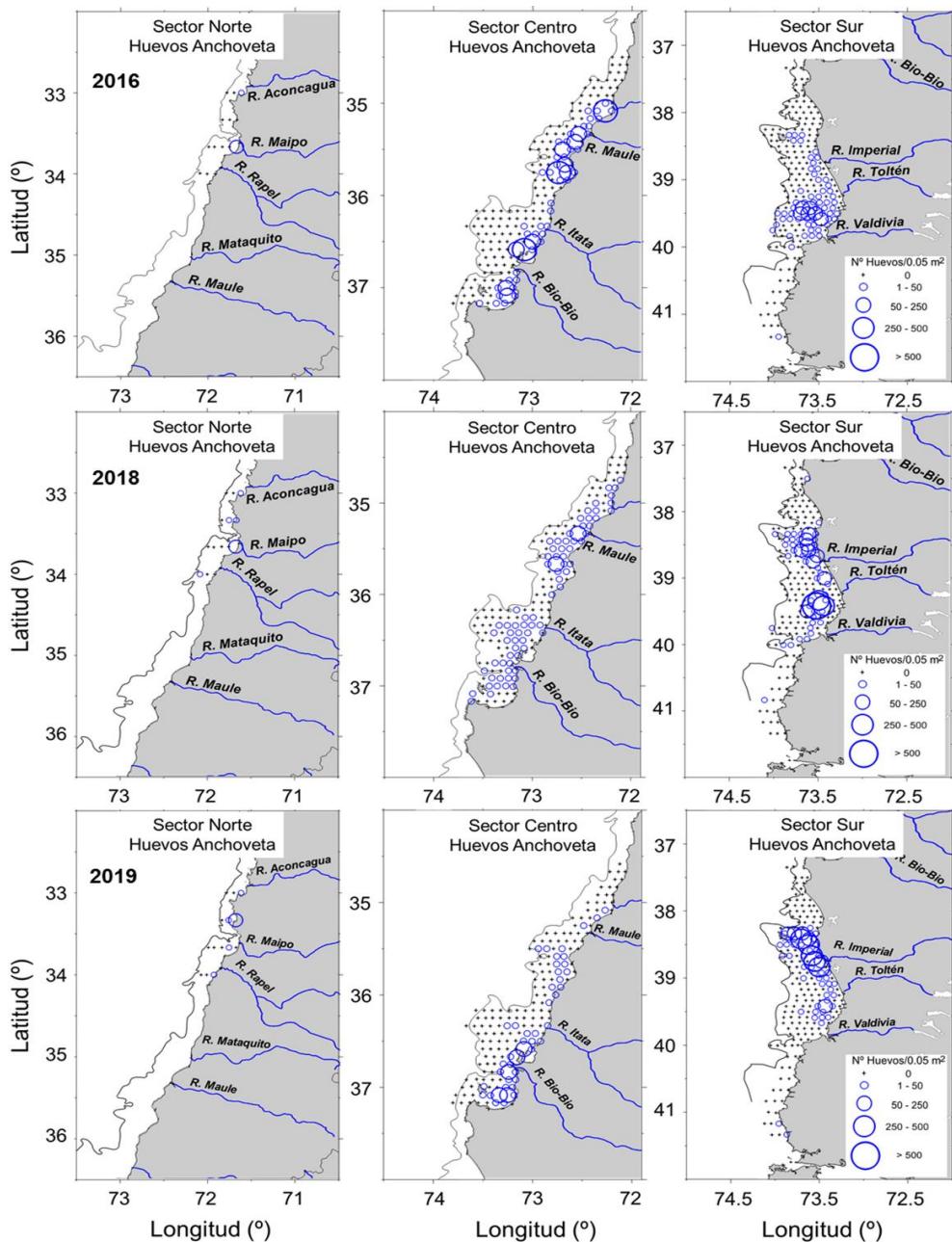


Figura 20. Distribución de huevos de anchoveta, registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2016 (panel superior), 2018 (panel central) y 2019 (panel inferior).

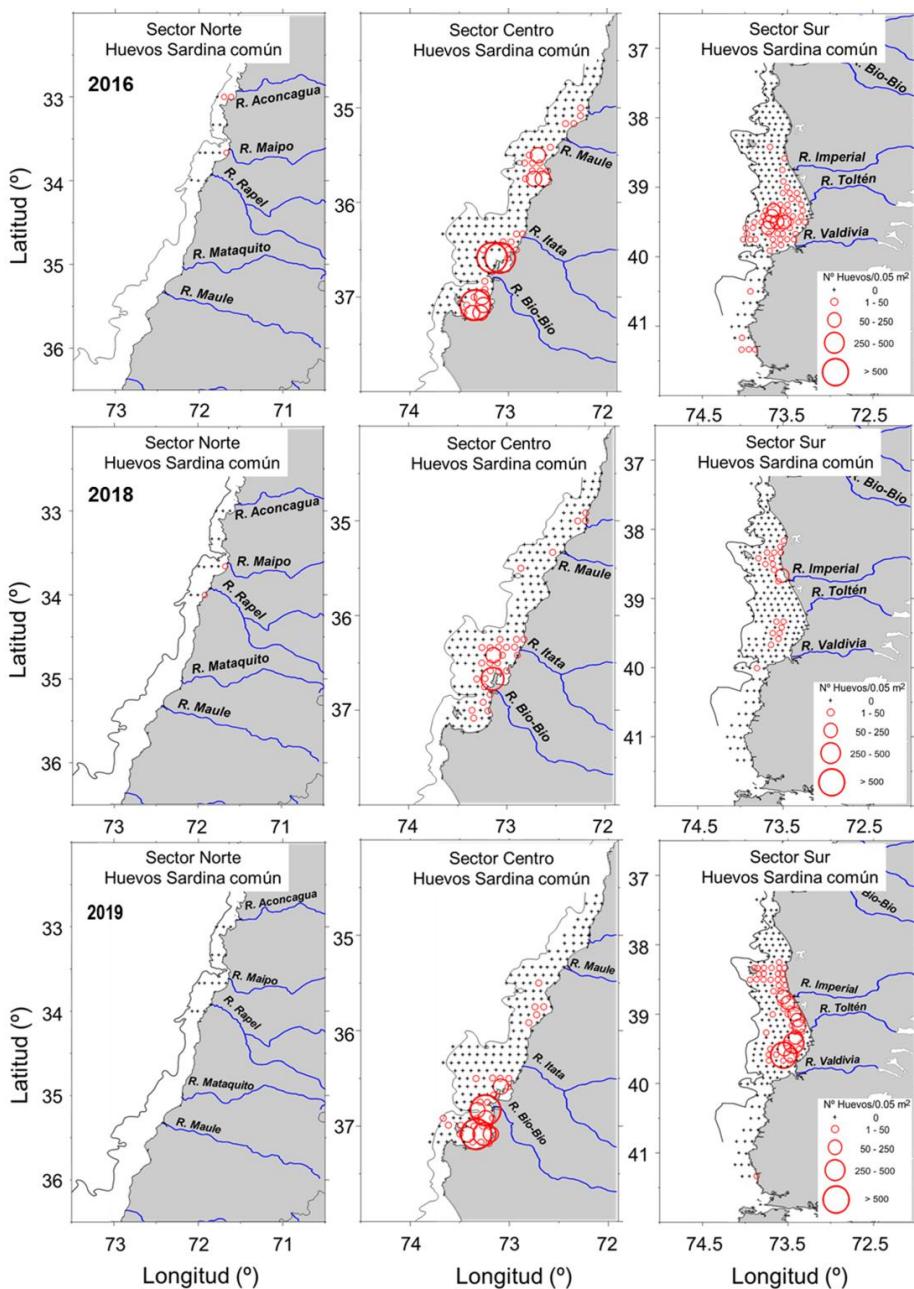


Figura 21. Distribución de huevos de sardina común, registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2016 (panel superior), 2018 (panel central) y 2019 (panel inferior).



2.1.7. Distribución de huevos asociadas a condiciones oceanográficas y distribución de plancton, año 2019.

Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas (red Calvet)

En el sector norte, los huevos de anchoveta se presentaron principalmente entre las desembocaduras de los ríos Aconcagua ($32,93^{\circ}\text{S}$) y Rapel ($33,9^{\circ}\text{S}$), asociados a aguas costeras con temperatura entre $11,5^{\circ}\text{C}$ y 13°C , salinidad entre 34 y 34,8 y densidad entre 25 y $26,5 \text{ kg/m}^3$. Las concentraciones de oxígeno disuelto y fluorescencia presentaron alta fluctuación de 1,5 a 5 ml/L y de 1 a 11 mg/m^3 , respectivamente. Durante el desarrollo del crucero no se encontraron larvas de anchoveta (**Figuras 22a y 23a**).

En el sector centro, las principales agrupaciones de huevos de anchoveta se registraron al sur de Constitución ($\sim 35^{\circ}\text{S}$), frente a la bahía Concepción ($36,5^{\circ}\text{S}$) y al golfo Arauco ($\sim 37^{\circ}\text{S}$). En cambio, la distribución de las larvas fue acotada y se detectaron principalmente desde el sur de la desembocadura del río Itata, hasta el golfo Arauco. Los huevos de anchoveta situados al sur de Constitución, se asociaron a temperaturas entre 11°C y 12°C y altos valores de salinidad, entre 34 y 34,5, densidades entre 25 y 27 kg/m^3 , junto con un rango amplio en las concentraciones de oxígeno disuelto, de 1,5 a 5 ml/L y fluorescencia, de 3 a 7 mg/m^3 . En cambio, se presentaron agrupaciones de huevos y larvas situadas entre 36°S y 37°S , con aguas con menores temperaturas, de $12,3^{\circ}\text{C}$ a 11°C , salinidades entre 34 y 32,5 y densidades de 25 a 26 kg/m^3 . Esta disminución tiene dirección norte - sur (36°S - 37°S). Las concentraciones de oxígeno disuelto y fluorescencia fluctuaron de 4,5 a 7 ml/L y de 6 a 15 mg/m^3 (**Figuras 22b y 23b**).

En el sector sur, se observaron huevos de anchoveta entre $38^{\circ}20'\text{S}$ - $39^{\circ}46'\text{S}$, con dos núcleos principales: desde la Isla Mocha hasta a la desembocadura del río Imperial y desde el río Toltén hasta río Valdivia. Las larvas de anchoveta se presentaron principalmente al norte de la desembocadura del río Toltén ($39,27^{\circ}\text{S}$). La mayor densidad de huevos y larvas al norte de $39^{\circ}16'\text{S}$, se asoció a valores de temperatura que fluctuaron entre $10,9^{\circ}\text{C}$ y $12,1^{\circ}\text{C}$, con altos valores de salinidad $>32,5$ y densidad $>25 \text{ kg/m}^3$. Las concentraciones de oxígeno disuelto exhibieron una marcada estratificación (costa-océano), con valores desde 1,5 a 6 ml/L y baja fluorescencia ($<5 \text{ mg m}^{-3}$). En el segundo núcleo de huevos, desde el río Toltén hasta río Valdivia, se presentaron temperaturas entre $10,5^{\circ}\text{C}$ y 12°C . En la salinidad y densidad se observó una marcada estratificación (costa-océano), con valores de salinidad de 20 a 34 y densidad desde 18 a 27 kg/m^3 . Además, se detectaron altas concentraciones de oxígeno disuelto (6 a 7 ml/L) y fluorescencia (5 a 7 mg/m^3) (**Figuras 22c y 23c**).

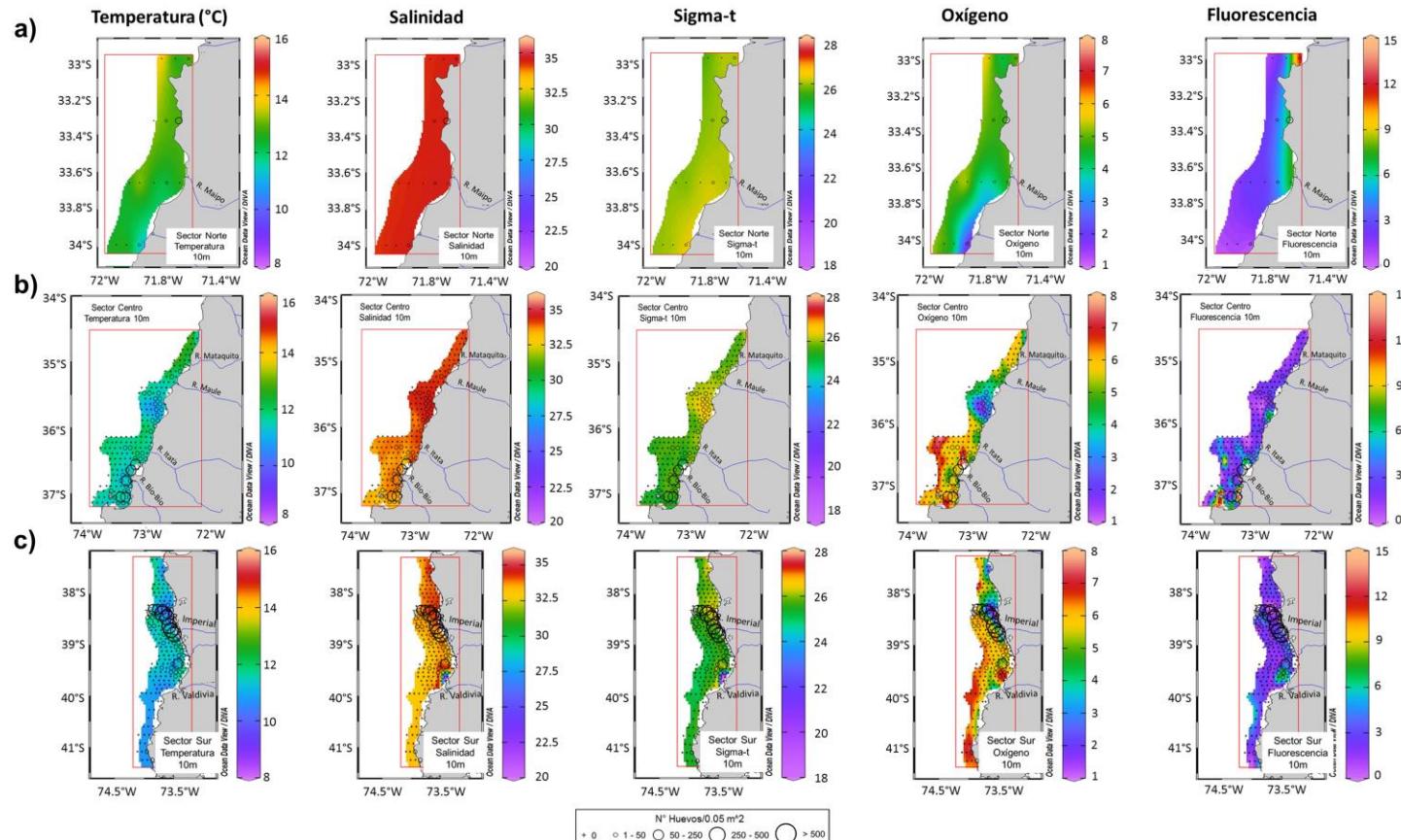


Figura 22. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg/m³) a 10 m de profundidad, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).

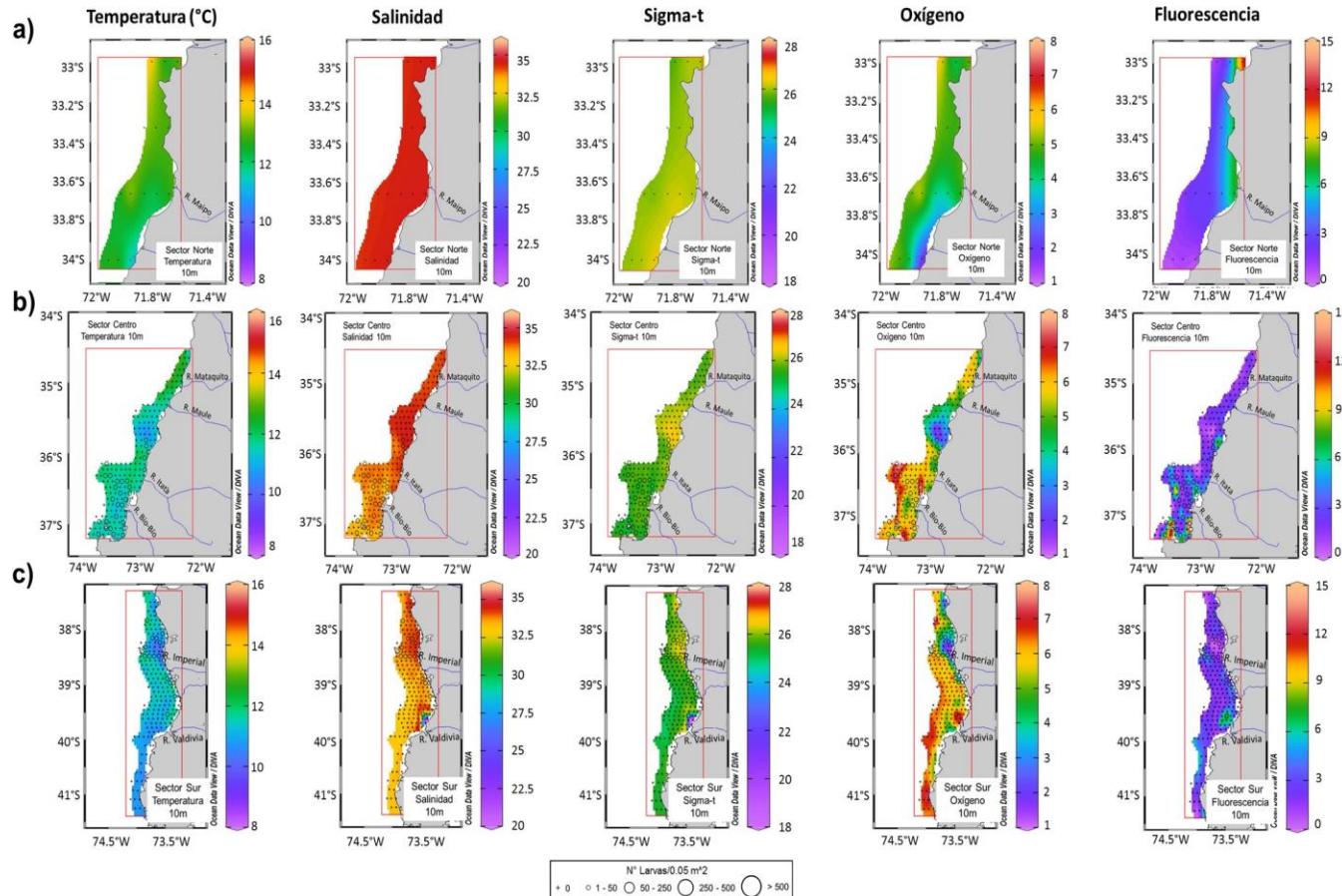


Figura 23. Distribución y abundancia de larvas de anchoveta sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg/m^3) a 10 m de profundidad en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).



En el sector norte, no se registraron huevos ni larvas de sardina común (**Figuras 24a y 25a**). En el sector centro, las principales agrupaciones de huevos y larvas de sardina común se presentaron en el golfo Arauco (~37°S) y entre la bahía Concepción (36,5°S) y la desembocadura del río Itata. En cambio, en el sector central, al sur de Constitución (~35°S) se detectó baja abundancia de huevos y larvas. Las mayores densidades de huevos y larvas se encontraron asociadas a temperatura entre 10,8°C y 12°C, salinidad <33,5 y densidad <25,5 kg/m³). En relación a la concentración de oxígeno disuelto de 4,5 a 7 ml/L y fluorescencia de 6 a 15 mg/m³, se registraron altos valores frente a la bahía Concepción y el golfo de Arauco (**Figuras 24b y 25b**).

En el sector sur, se observó que los huevos de sardina común se distribuyeron desde la isla Mocha hasta la desembocadura del río Valdivia y se relacionaron a temperaturas bajas (10,4°C a 11,8°C). La salinidad y densidad presentaron valores de 20 a 34 y de 18 a 27 kg/m³. Las concentraciones de oxígeno disuelto y fluorescencia oscilaron entre 1,5 y 7,5 ml/L y de 1,5 a 7 mg/m³, respectivamente. Las larvas de sardina común se registraron en dos núcleos, el primero con mayor agregación se situó entre punta Lavapié y la desembocadura del río Imperial, asociado a temperaturas entre 10,3°C y 11,8°C, salinidades de 34 a 34 y densidades de 26 a 27 kg/m³. La concentración de oxígeno disuelto presentó un marcado gradiente (costa-océano), con valores entre 1,5 y 6 ml/L y baja fluorescencia <4 mg/m³. El segundo núcleo, con baja abundancia, se localizó frente al río Valdivia, con temperatura entre 10,5°C y 11,8°C y un importante gradiente de salinidad y densidad, con valores entre 20 y 34 y de 18 a 26 kg/m³. Las concentraciones de oxígeno disuelto y fluorescencia presentaron valores entre 5 y 7 ml/L y de 4 a 8 mg/m³, respectivamente (**Figuras 24c y 25c**).

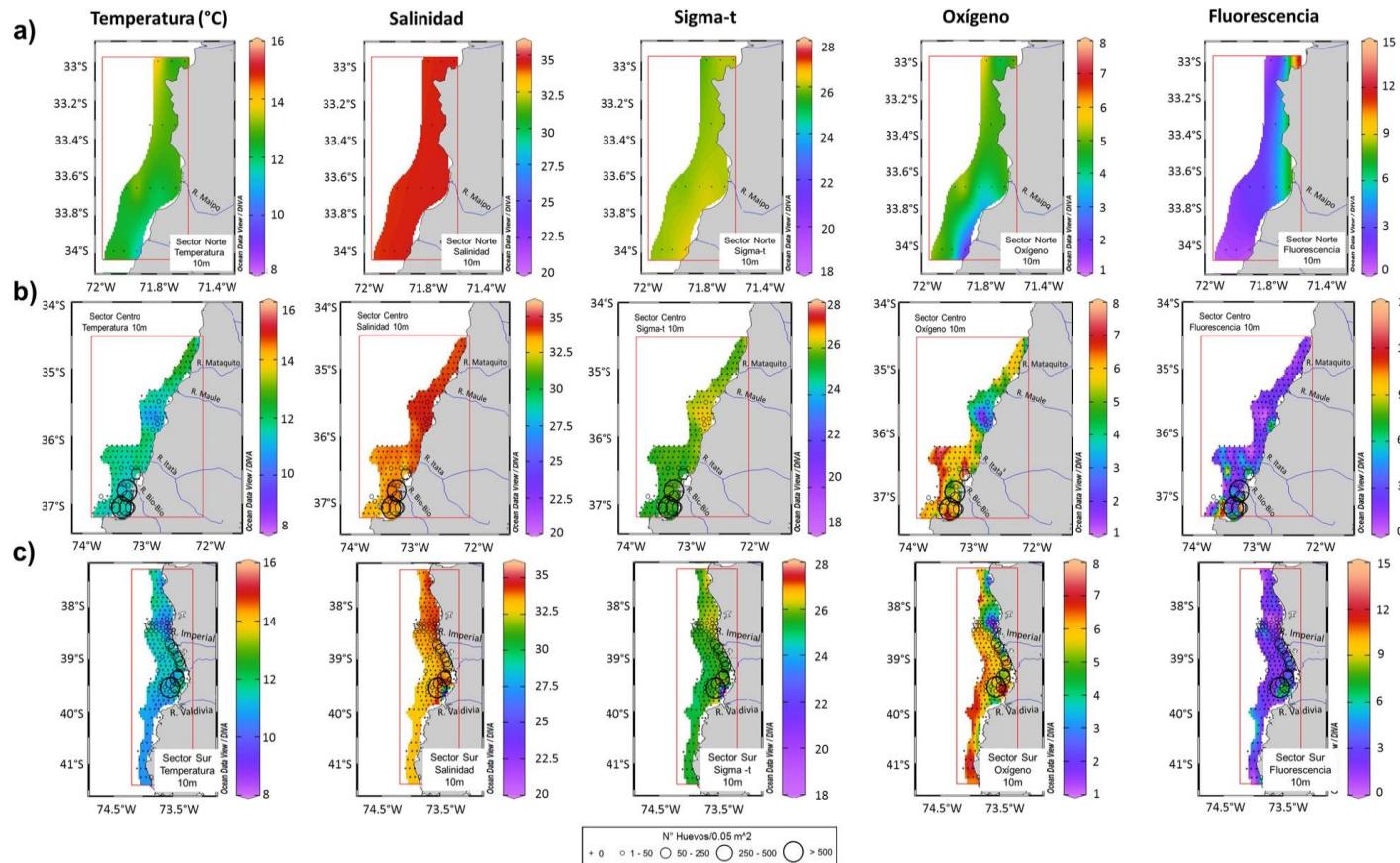


Figura 24. Distribución y abundancia de huevos de sardina común sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg/m^3) a 10 m de profundidad, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).

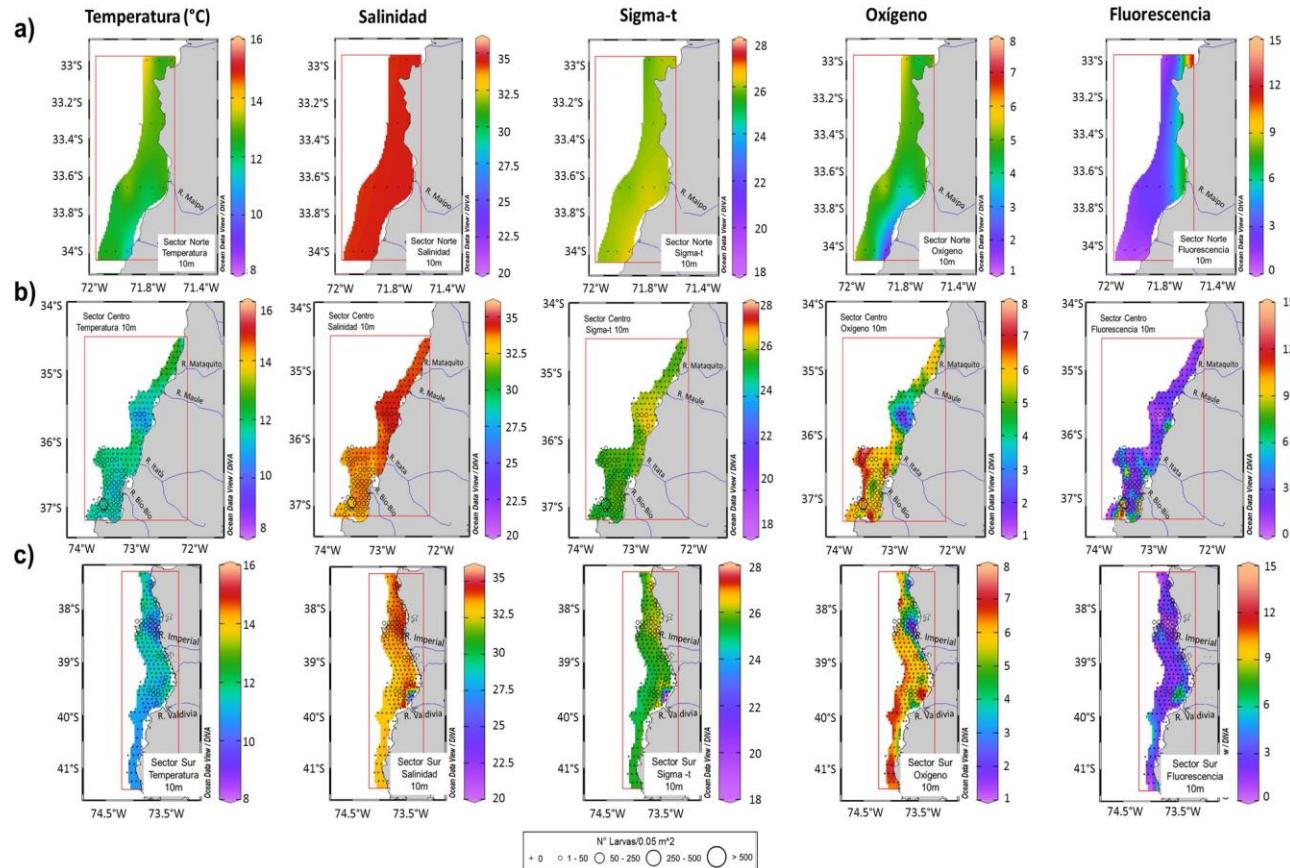


Figura 25. Distribución y abundancia de larvas de sardina común sobreuestas a las secciones horizontales de: temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno disuelto (ml/L) y fluorescencia (mg m⁻³) a 10 m de profundidad, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).



Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas (red Cónica)

En el sector norte, los huevos de anchoveta se presentaron en baja abundancia (1,63 ind. m⁻²), cercano a la desembocadura de los ríos Aconcagua (~32,93°S) y Maipo (~33,5°S), por otra parte, huevos y larvas de sardina común no se encontraron (**Tabla 15; Figuras 26a, 27a, 28a, 29a**). Las aguas donde se encontraron os huevos de anchoveta, se caracterizaron con temperaturas <13°C, oxígeno 4,5 ml/L, salinidad >34, densidad <26,5 kg/m³ y fluorescencia <11 mg/m³ (**Figuras 27a**).

En el sector centro, la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común presentó valores de 17 y 12 ind. m⁻², respectivamente. Las larvas de anchoveta (1 ind. m⁻²) fueron menores que las de sardina común (7 ind. m⁻²) (**Tabla 15**). Los huevos de anchoveta y sardina común se localizaron principalmente al norte del golfo Arauco, entre la bahía Concepción y la desembocadura del río Itata y desde 36°S hasta la desembocadura del río Mataquito, se asociaron temperaturas <12,5°C. La salinidad y densidad presentaron notables cambios en estas zonas, con altos valores al sur de Constitución (>34 y >25 kg/m³) y menores valores frente a la bahía Concepción y el golfo de Arauco (<34 y <25 kg/m³). En cambio, las concentraciones de oxígeno y fluorescencia, fueron mayores al sur del río Itata con 5 ml/L y >6 mg/m³ y un máximo en el golfo Arauco (7 ml/L y 15 mg/m³) (**Figura 28b, 28b**). Las larvas de ambas especies, se situaron principalmente entre el río Itata y el norte del golfo Arauco, asociadas a temperaturas entre 11°C y 12°C, salinidad <34 y densidad de 25 kg/m³. La fluorescencia fue >6 mg/m³ y las concentración de oxígeno fueron >5,5 ml/L (**Figuras 27b y 29b**).

En el sector sur, se presentaron las mayores abundancias de huevos de anchoveta, con 78 ind.m⁻² y la presencia de larvas de ambas especies, fue menor en comparación con el sector centro (**Tabla 15**). Los huevos de anchoveta y sardina común se situaron principalmente entre la isla Mocha y la desembocadura del río Valdivia. Las larvas, se encontraron desde punta Lavapié (~37,5°S) hasta la desembocadura del río Valdivia. Las distribuciones de huevos y larvas se vincularon a temperaturas <12°C, salinidades entre 32,5 y 34 y densidades de 25 a 27 kg/m³. La fluorescencia y concentración de oxígeno disuelto, presentaron importantes fluctuaciones, de 4 a 7 ml/L y de 1 a 5 mg/m³. Finalmente, los huevos y larvas presentes en la desembocadura del río Valdivia se asociaron a altas concentraciones de oxígeno disuelto (6 a 7 ml/L) y fluorescencia (5 a 7 mg/m³) y a un marcado gradiente de salinidad (20 a 34) y densidad (18 a 27 kg/m³) (**Figuras 26c, 27c, 28c, 29c**).



Tabla 15. Abundancia promedio (desviación estándar, DS) y máxima abundancia de huevos y larvas de anchoveta y de sardina común por sector, considerando el número total de estaciones durante el crucero 2019 (red cónica).

Abundancia estandarizada (ind. m ⁻²)																
Sector norte							Sector centro				Sector sur					
				Nº Estaciones					Nº Estaciones				Nº Estaciones			
E°	×	DS	máx	total	positiva		×	DS	máx	total	positiva	×	DS	máx	total	positiva
Anchoveta	Huevo	1,63	4,2	12	8	2	17	55,6	293	30	11	78	176,3	768	26	14
	Larva	0	0	0	8	0	1	2,7	11	30	8	0,4	0,8	3	26	6
S común	Huevo	0	0	0	8	0	12	32,7	160	30	7	40	171,9	876	26	11
	Larva	0	0	0	8	0	7	16,8	83	30	11	1	1,1	4	26	6

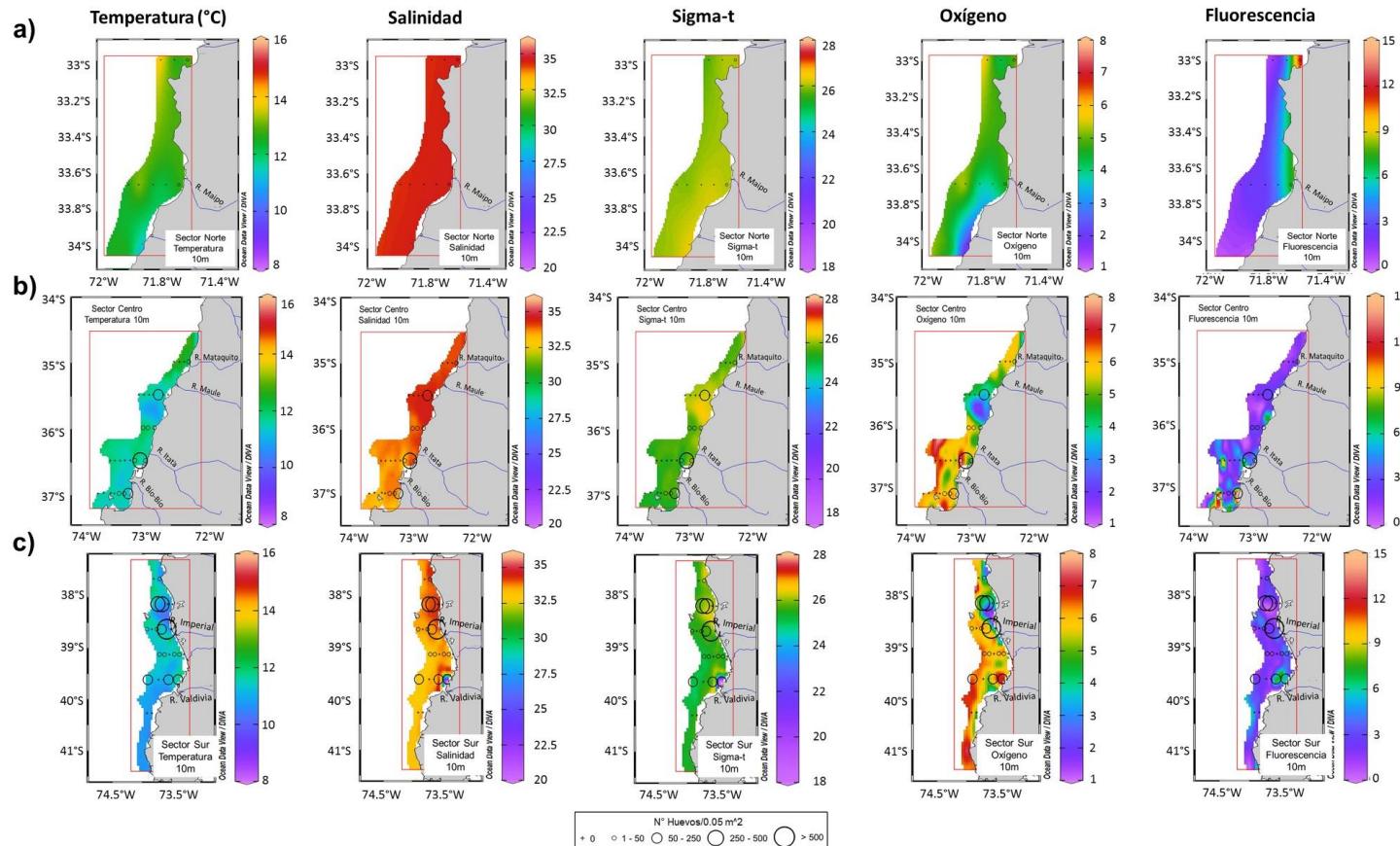


Figura 26. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta (ind.m^{-2}), asociado a la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m^{-3}), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).

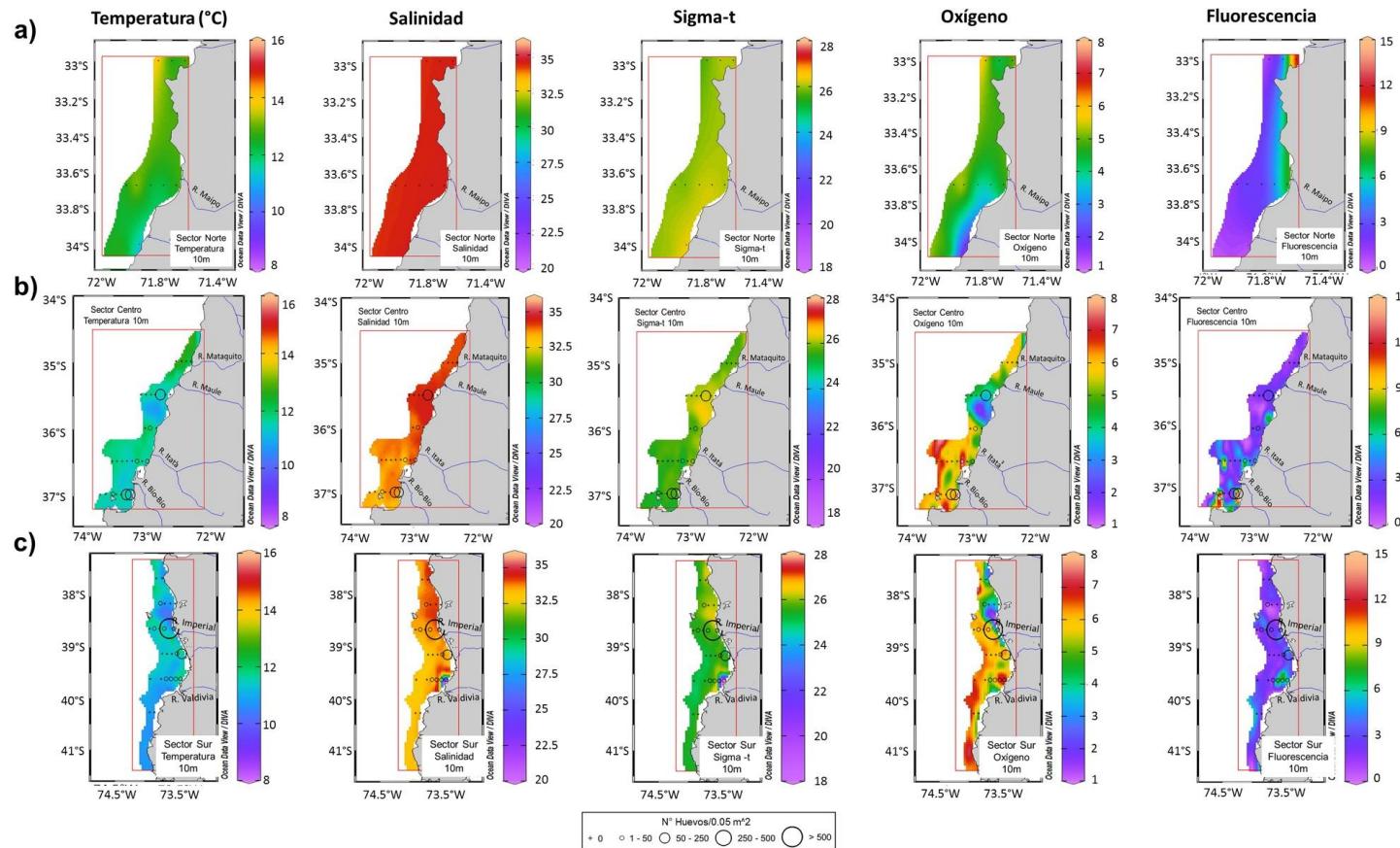


Figura 27. Distribución y abundancia de huevos de sardina común (ind.m^{-2}), asociado a la temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m^{-3}), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).

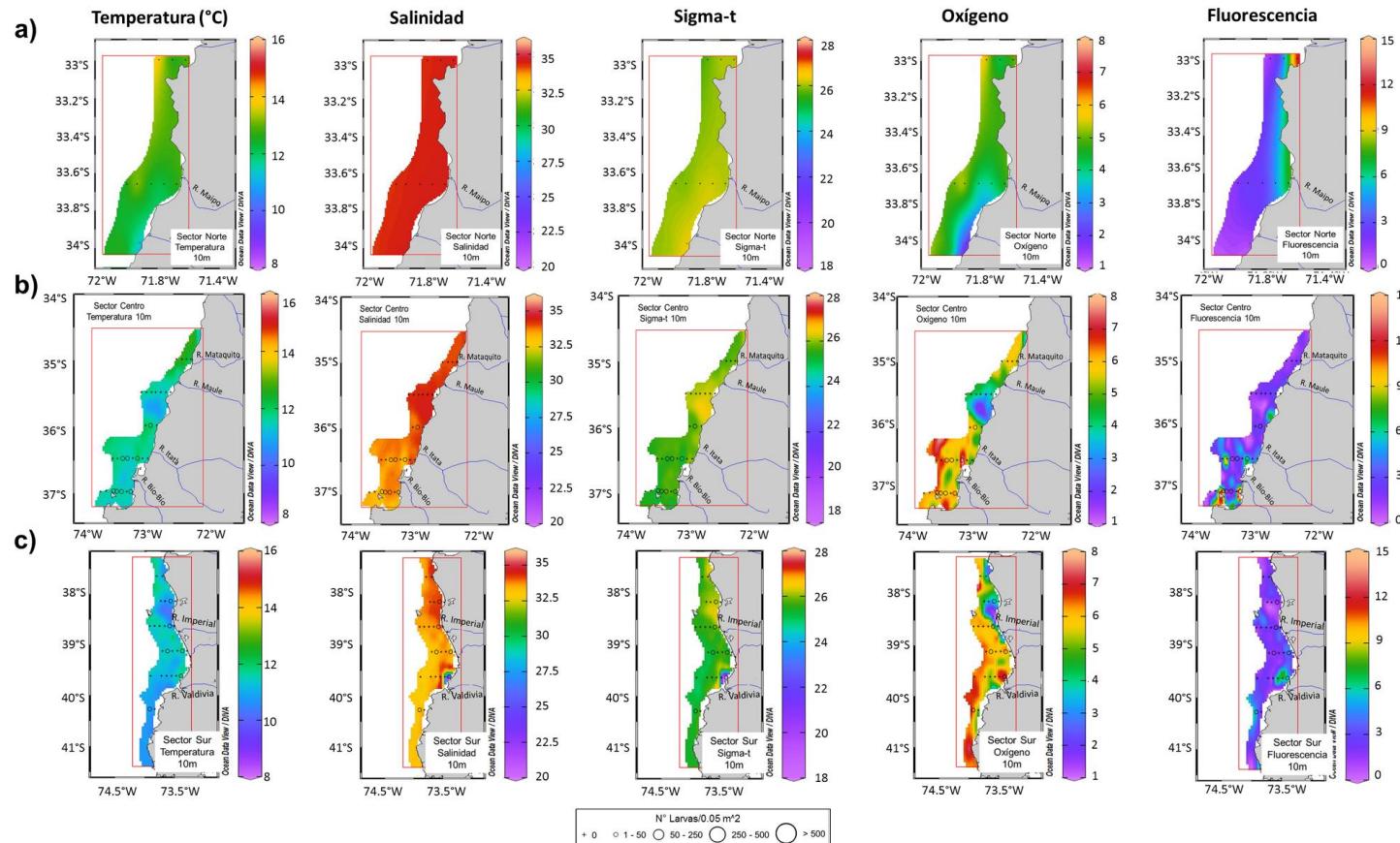


Figura 28. Distribución y abundancia de larvas de anchoveta (ind.m^{-2}), asociado a la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m^{-3}), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).

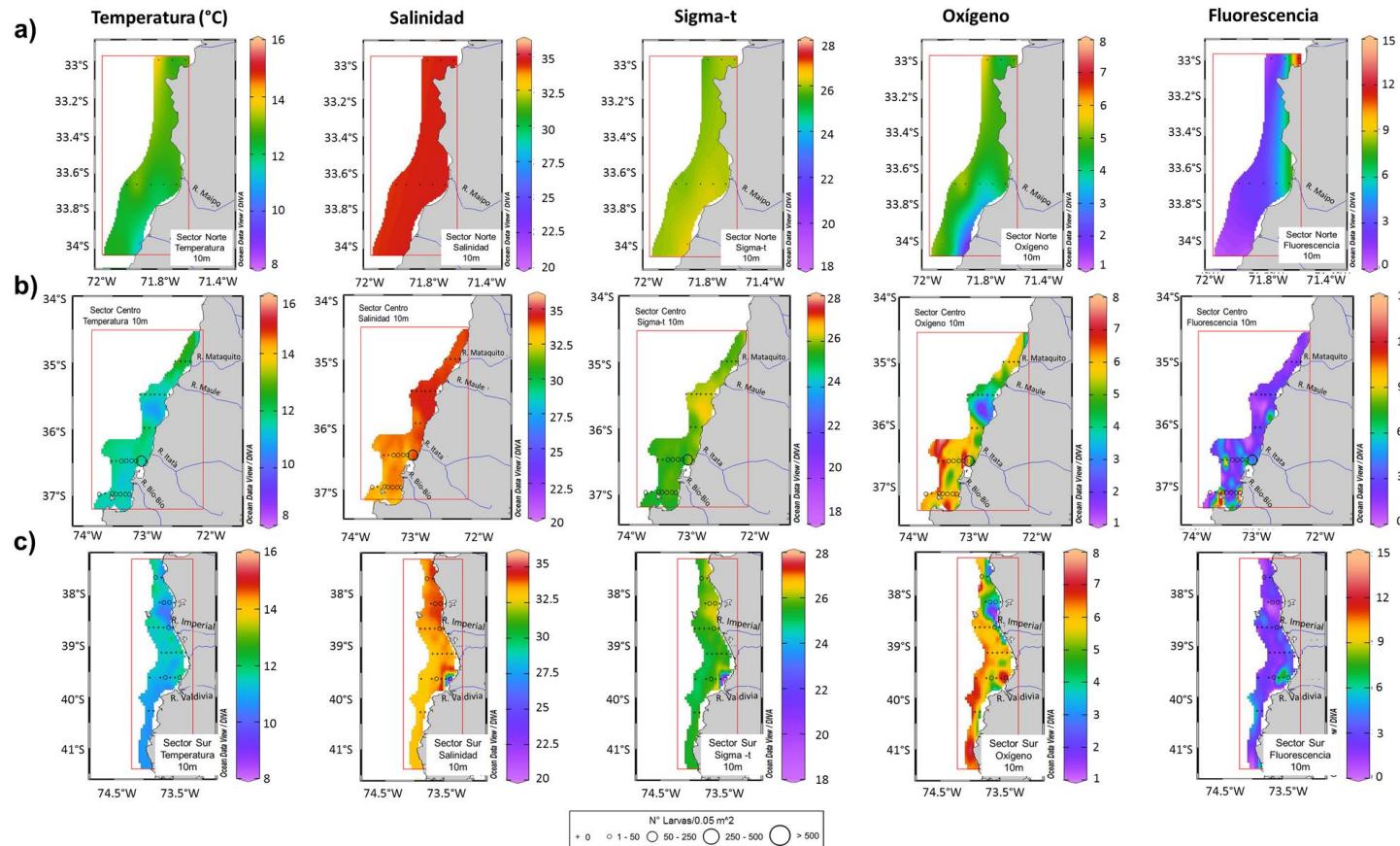


Figura 29. Distribución y abundancia de larvas de sardina común (ind.m⁻²), asociado a la temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t), oxígeno (ml/L) y fluorescencia (mg m⁻³), a una profundidad de 10 m, en los sectores: a) norte, b) centro y c) sur, durante el crucero 2019 (red cónica).



Diagramas T-S, asociados a las abundancias de huevos y larvas (red Calvet)

Los diagramas temperatura y salinidad (T - S), junto a las abundancias de huevos y larvas por especie, muestran los rangos de las variables: temperatura y salinidad a 10 m de profundidad y las abundancias escaladas (círculos) asociadas a las variables hidrográficas (**Figura 30a, 30b, ambos paneles**).

En el sector norte, se observó presencia de huevos de anchoveta y ausencia de larvas de anchoveta, junto con ausencia de huevos y larvas de sardina común (**Figuras 30a y 30b, panel izquierdo**). Los huevos de anchoveta, se vincularon a valores de salinidad relativamente homogéneos, entre 34 y 34,6 y a temperaturas entre 11,5°C y 13°C (**Figura 30a, panel izquierdo**).

En el sector centro, la abundancia de huevos de anchoveta, se asoció a temperaturas que oscilaron entre 10,8°C y 12°C y salinidades entre 32,5 y 34,5 (**Figuras 30a, panel izquierdo**). Los huevos de sardina común se encontraron en rangos de temperatura levemente más estrechos, con valores entre 10,9°C y 11,8°C, y salinidad similar a la de anchoveta (**Figura 30a, panel derecho**). La abundancia larval de anchoveta, se relacionó con temperaturas entre 11,4°C y 11,9°C y salinidades entre 32,8 y 34,5 (**Figura 30b, panel izquierdo**). En cambio en la sardina común, las mayores densidades de larvas se presentaron en aguas con menor temperatura, de 10,7°C a 11,9°C y salinidades de 32,8 a 34,5 (valores similares a lo observado en anchoveta) (**Figura 30b**).

La presencia de huevos de anchoveta en el sector sur, se relacionó a rangos de temperatura entre 10,4°C y 12,2°C y salinidades entre 33 a 34,5 (**Figura 30a, panel izquierdo**). Los huevos de sardina común, se asociaron a rangos de temperatura entre 10,3°C a 12°C y salinidades de 32,8 a 34 (**Figura 30a, panel derecho**). Las mayores abundancias de larvas de anchoveta se encontraron con rangos de temperatura y salinidad de 11,6°C a 12,2°C y entre 32,9 y 34 (**Figura 30b, panel izquierdo**). Las larvas sardina común, se ubicaron en aguas más frías (10,3°C a 11,8°C) y salinidades equivalentes a lo encontrado en anchoveta (**Figura 30b, panel derecho**).

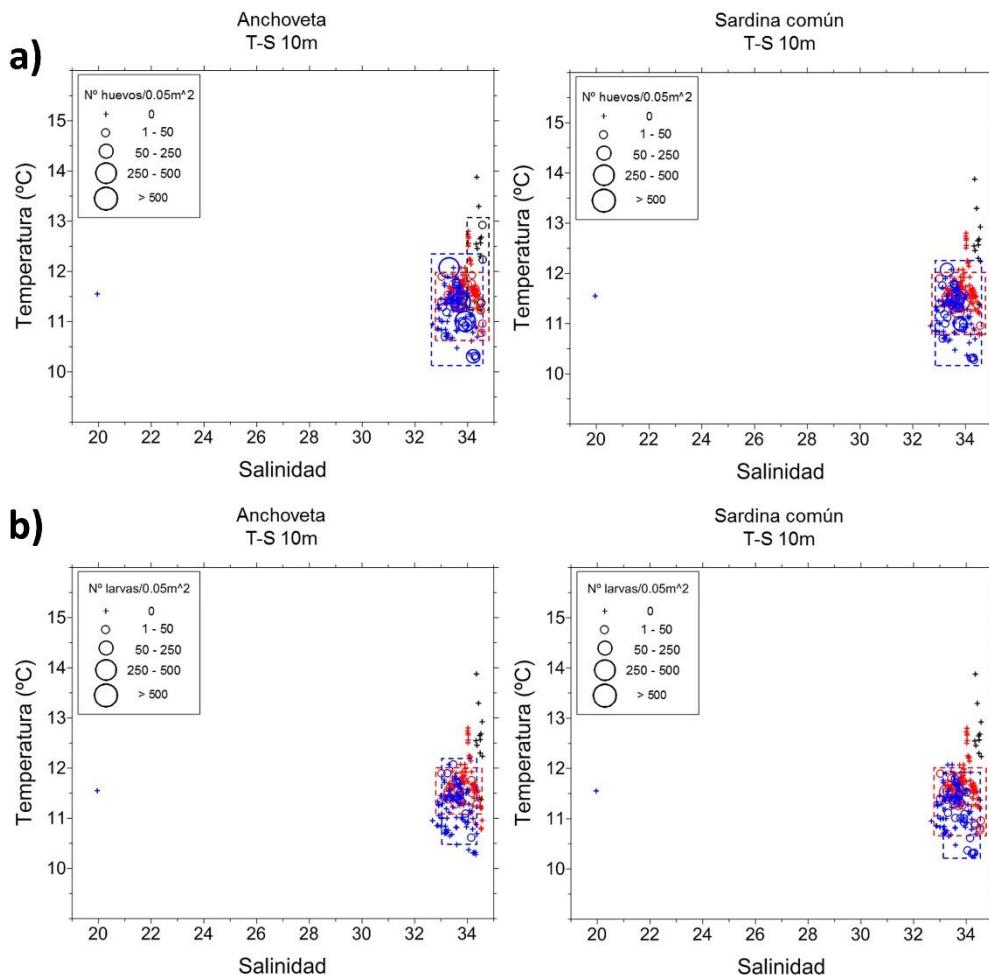


Figura 30. Diagramas de temperatura y salinidad, a 10 m profundidad, en cada estación, sobrepuertos a una representación escalada de la abundancia por estación de: a) huevos y b) larvas de anchoveta (panel izquierdo) y sardina común (panel derecho). Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos y larvas en estaciones del sector norte, en rojo el sector central y en azul el sector sur, durante el crucero 2019 (red Calvet).

**Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos e hidrografía a 10 m de profundidad (red Calvet).**

Los resultados de la modelación, utilizados para relacionar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común con las variables predictoras a 10 m de profundidad, se resumen en la **Tabla 16**. En general, no se detectaron procesos isotrópicos claros respecto a la interacción longitud-latitud. Para anchoveta y sardina común, se encontró que el modelo 5 que incluye todas las variables predictoras en conjunto, entregó los mejores resultados, con un coeficiente de determinación de >0,8 y de desvianza explicada >84%; así como los valores de la validación cruzada general (VCG) (**Tabla 16**). Los valores de los parámetros estimados del modelo 5 en ambas especies, se resumen en la **Tabla 17**. Se observó que los coeficientes de los distintos modelos (entre la variable respuesta y predictoras), fueron significativos para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común ($p < 0,05$). Los rangos óptimos (límite inferior y superior) de las variables evaluadas en relación a las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común, se muestran en la **Tabla 18**. Se observó que temperatura entre 11,3°C y 12,3°C, y salinidad de 33,1 a 34,6 presentaron un efecto positivo en los huevos de anchoveta. La densidad (σ_t) entre 25,4 y 26,5 kg/m³ presentó una relación positiva con la presencia de huevos. Los valores de fluorescencia, también mostraron una relación positiva respecto a la densidad de huevos de anchoveta, de 0,3 a 0,8 mg/m³ y de 2,1 a 7 mg/m³. Rangos de temperatura, salinidad y densidad más bajos a lo encontrado en anchoveta, presentaron un efecto positivo en los huevos de sardina común. Los valores temperatura fueron <11,8°C, salinidad entre 32,7 y 34,1 y densidad (σ_t) de 24,9 a 25,8 kg/m³. En cambio, la fluorescencia presentó un rango más amplio, con valores que fluctuaron entre 2,1 y 15,7 mg/m³ y tuvieron un efecto positivo en la densidad de huevos (**Tabla 18**).

Tabla 16. Resumen de los modelos aditivos generalizados (GAMs), en la densidad de huevos de anchoveta y sardina común, en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (σ_t) (D) y fluorescencia (F), en el 2019 (R²: Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, VCG: Validación cruzada general) (red Calvet).

Profundidad (10 m)					
Especie	Modelo	Fórmula	R ²	VE (%)	VCG
Anchoveta	1	$s(x, y)$	0,49	72,2	17,53
	2	$s(x, y) + s(T)$	0,71	87,1	14,67
	3	$s(x, y) + s(T) + s(S)$	0,77	90,3	6,05
	4	$s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D)$	0,80	93,6	4,04
	5	$s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D) + s(F)$	0,85	95,2	3,41
Sardina común	1	$s(x, y)$	0,58	57,4	38,41
	2	$s(x, y) + s(T)$	0,65	59,2	37,64
	3	$s(x, y) + s(T) + s(S)$	0,69	70,8	28,58
	4	$s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D)$	0,71	72,3	26,79



5 $s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D) + s(F)$ 0,79 84,7 15,79

Tabla 17. Parámetros de los modelos aditivos generalizados, seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos $0,05 \text{ m}^{-2}$) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (*sigma-t*) (D) y fluorescencia (F), año 2019 (red Calvet).

Profundidad (10 m)							
Especie	Modelo	Parámetros	Estimado	Valor F	Error stand.	Valor t	p-valor
Anchoveta	5	a	-30	-	19,6	-6,82	0,0436
		$s(x, y)$	28,97	12,97	-	-	2,00e-16
		$s(T)$	8,16	8,55	-	-	6,29e-10
		$s(S)$	8,10	6,18	-	-	5,81e-7
		$s(D)$	6,29	5,06	-	-	3,18e-5
		$s(F)$	8,50	9,01	-	-	7,87e-10
Sardina común	5	a	-7,83	-	1,65	-4,75	4,4e-6
		$s(x, y)$	11,00	12,99	-	-	2,00e-16
		$s(T)$	4,96	15,48	-	-	5,41e-13
		$s(S)$	1,73	1,20	-	-	0,0083
		$s(D)$	2,00	1,07	-	-	0,0493
		$s(F)$	3,96	20,44	-	-	1,18e-15

Tabla 18. Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables predictores a 10 m de profundidad, obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común, año 2019 (red Calvet).

Profundidad de 10 m				
Especie	Temperatura (°C)	Salinidad	Densidad (<i>sigma-t</i>)	Fluorescencia
Anchoveta	11,33 - 12,25	33,05 - 34,56	25,36 - 26,45	0,30 - 0,79 2,08 - 6,98
Sardina común	10,98 – 11,76	32,67 – 34,06	24,94 - 25,81	2,05 – 15,71



Distribución horizontal de huevos y larvas, sobre grupos de potenciales presas y predadores en el zooplancton (red Cónica)

En las **Figuras 31 a 34**, se observa la distribución de huevos y larvas de anchoveta y sardina común, sobre mapas de distribución de grupos funcionales de zooplancton que potencialmente podrían representar alimento larval (copépodos y apendicularias), predadores quitinosos (eufáusidos), predadores gelatinosos (quetognatos, sifonóforos, medusas) y salpas.

Los grupos zooplanctónicos más abundantes en todos los sectores, fueron los copépodos (chicos y grandes), seguido de zoeas y apendicularias (**Tabla 19**). Entre las diferencias de abundancia de algunos grupos entre sectores, destacan altos valores de copépodos (1.000 a 30.117 ind.m⁻²), principalmente en los sectores centro (36°S - 37°S) y sur (39°S - 40,5°S). En apendicularias, el principal núcleo, se situó en el sector centro (36°S - 37°S: con 100 a 2.719 ind. m⁻²) y se presentó un núcleo secundario en el sector sur (39°S - 40°S: con 100 a 535 ind. m⁻²). En eufáusidos, se observó baja abundancia en los diferentes sectores (<39 ind. m⁻²). Las relativamente mayores abundancias de quetognatos y sifonóforos, se presentaron principalmente en el sector centro (<137 ind. m⁻²) y sur (<68 ind.m⁻²). En medusas, la mayor abundancia se centró en el sector centro (36°S - 36,5°S: con <641 ind.m⁻²). Salpas se presentaron principalmente en el sector norte (33°S - 34°S: con 171 ind. m⁻²) (**Tabla 19; Figuras 31-34**).

Las zonas de mayor abundancia de huevos y larvas de anchoveta y sardina común, coincidieron con las mayores abundancias de copépodos en los sectores centro y sur, así como también con las mayores abundancias de apendicularias en el sector central. Los eufáusidos se presentaron en muy baja abundancia y los quetognatos se observaron más alejados de la costa, por lo que, la sobreposición de ambos grupos con el ictioplancton fue relativamente baja. Los sifonóforos, sin embargo, coincidieron con las mayores abundancias de huevos y larvas en el sector central. El núcleo costero principal de abundancia de medusas, localizado en el sector centro, presentó baja asociación a la presencia de huevos y larvas de anchoveta y sardina común. Las salpas se presentaron en baja abundancia y registrándose alejadas de la costa, por lo que la sobreposición de este grupo con el ictioplancton fue baja (**Figuras 31-34**).



Tabla 19. Abundancia promedio, desviación estándar (DS) y abundancia máxima del zooplancton (ind.m⁻²), por sector, considerando el número total de estaciones (en negrita son los grupos graficados), obtenidos durante el crucero 2019 (red Cónica).

Abundancia estandarizada (ind.m ⁻²)																		
	Grupos	Sector norte					Sector centro					Sector sur						
		ñ	DS	máx	nº estaciones	total	positivas	ñ	DS	máx	nº estaciones	total	positiva	DS	máx	nº estaciones	total	positivas
Eufáusidos	Calíptopis	63	103,03	254	8	5	1	1,9	9	30	8	11	19,1	70	26	17		
	Furcilias	1	1,1	3	8	2	1	2,0	11	30	8	11	17,2	75	26	22		
	Juveniles	1	1,4	4	8	3	1	2,7	12	30	6	1	3,04	14	26	6		
	Adultos	6	13,4	39	8	4	2	4,7	19	30	12	1	3,5	16	26	3		
ZOOPLANCTON	Copépodos chico	1417	1079,02	3336	8	8	964	923,3	3583	30	30	4121	7090,3	28191	26	26		
	Copépodos grande	224	278,3	702	8	8	353	1262,7	6959	30	24	656	745,2	2351	26	26		
	Copépodo total	1640	1202,3	3482	8	8	1317	1945,7	10542	30	30	4777	7427,2	30117	26	26		
	Nauplius	33	90,9	258	8	2	25	64,6	337	30	17	3	8,3	33	26	7		
	Zoeas	109	148,3	457	8	8	97	132,4	554	30	27	46	72,9	327	26	26		
	Megalopas	3	4,9	14	8	4	1	1,6	5	30	13	1	2,4	9	26	7		
	Poliquetos	26	23,8	71	8	7	8	12,5	67	30	26	3	2,9	12	26	18		
	Mysis	0	0	0	8	0	0,3	1,0	5	30	4	2	7,7	39	26	1		
	Cladóceros	6	10,3	31	8	6	52	189,7	990	30	16	1	1,8	6	26	8		
	Ostrácodos	0	0,4	1	8	1	0,4	1,7	9	30	4	0,04	0,2	1	26	1		
	Gastropodos	0	1,1	3	8	1	4	8,5	46	30	17	0,4	0,8	2	26	6		
	Estomatópodos	9	11,1	28	8	6	4	6,3	22	30	16	6	6,2	21	26	20		
	Anfípodos	1	1,7	5	8	4	16	46,4	236	30	19	10	12,3	51	26	22		
	Cumáceos	2	3,9	11	8	3	0,03	0,2	1	30	1	0,1	0,4	2	26	2		



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Misidáceos	0	0	0	8	0	1	2,6	14	30	2	1	4,7	23	26	2
Sergestes	0	0	0	8	0	0,1	0,3	1	30	3	0,04	0,2	1	26	1
Larvas Cipris	1	2,3	6	8	3	10	29,0	143	30	14	0,2	0,8	4	26	3
Larvas Cifonautas	1	1,4	3	8	3	7	6,9	23	30	24	10	8,5	29	26	21
Huevos Invertebrados	0	0	0	8	0	15	39,6	153	30	7	78	176,3	768	26	14
Cefalópodos	0	0	0	8	0	0,03	0,2	1	30	1	0	0	0	26	0
Quetognatos	10	7,7	23	8	7	8	8,6	27	30	24	16	16,8	64	26	22
Sifonóforos	12	21,7	57	8	4	15	28,1	137	30	20	13	17,2	68	26	22
Medusas	21	12,1	34	8	7	36	115,9	641	30	29	23	17,1	72	26	26
Ctenóforos	2	1,6	4	8	5	3	7,0	27	30	11	2	2,3	9	26	13
Apendiculares	46	124,6	354	8	3	247	613,3	2719	30	23	61	128,8	535	26	15
Salpas	171	199,9	440	8	6	2	5,0	24	30	4	6	16,6	81	26	11

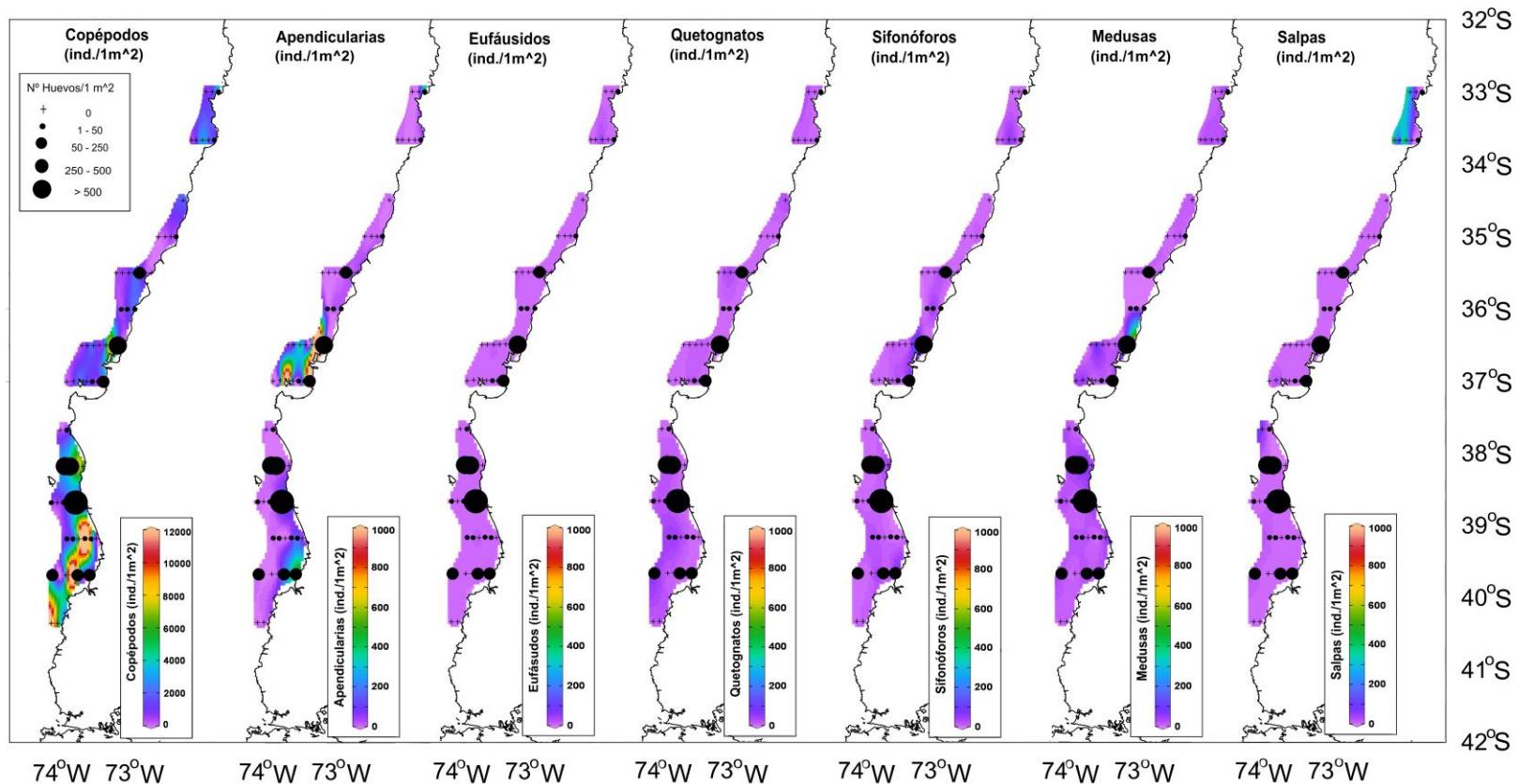


Figura 31. Abundancia de huevos de anchoveta (ind.m⁻²), sobreuesta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind.m⁻²), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).

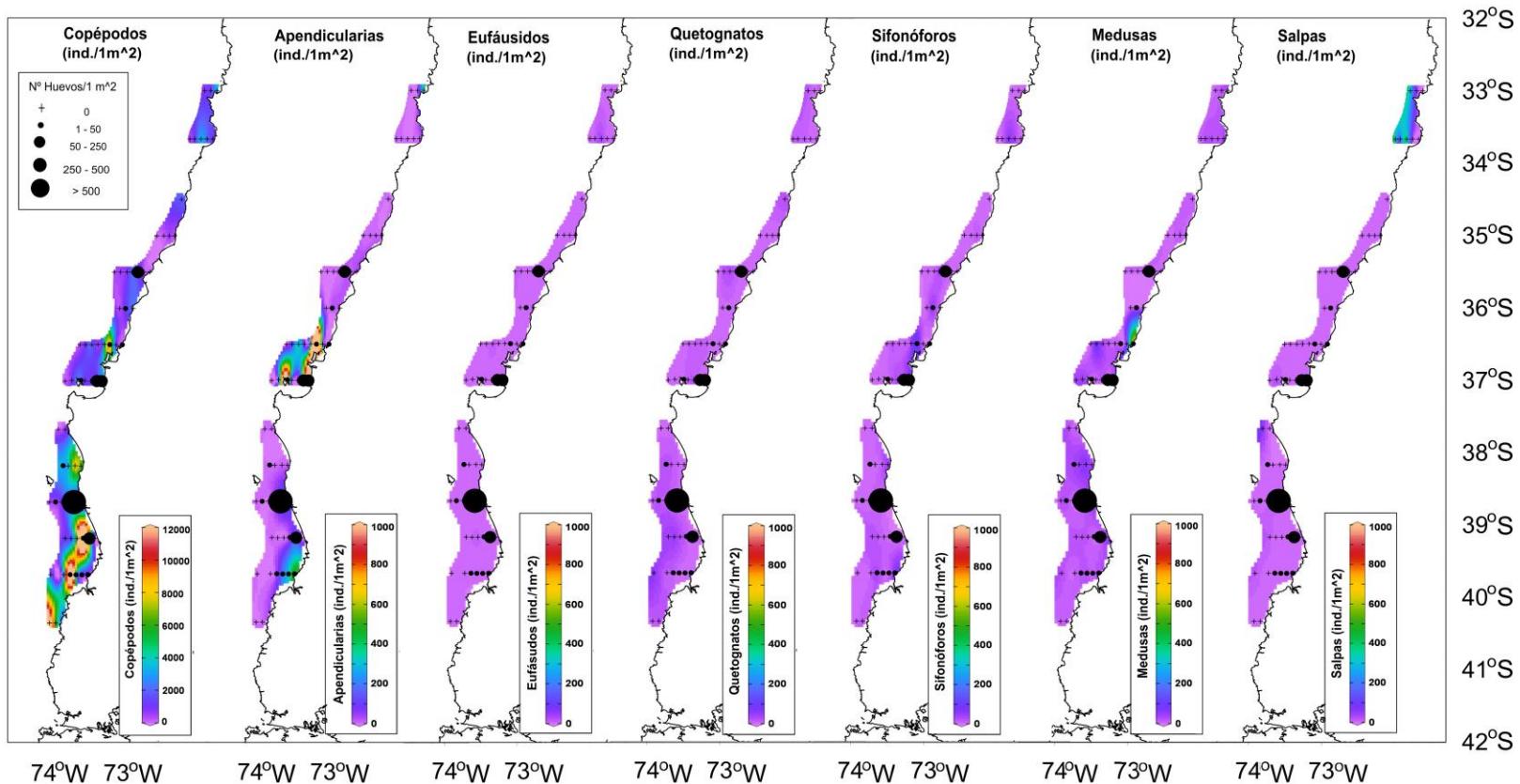


Figura 32. Abundancia de huevos de sardina común (ind.m^{-2}), sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind.m^{-2}), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).

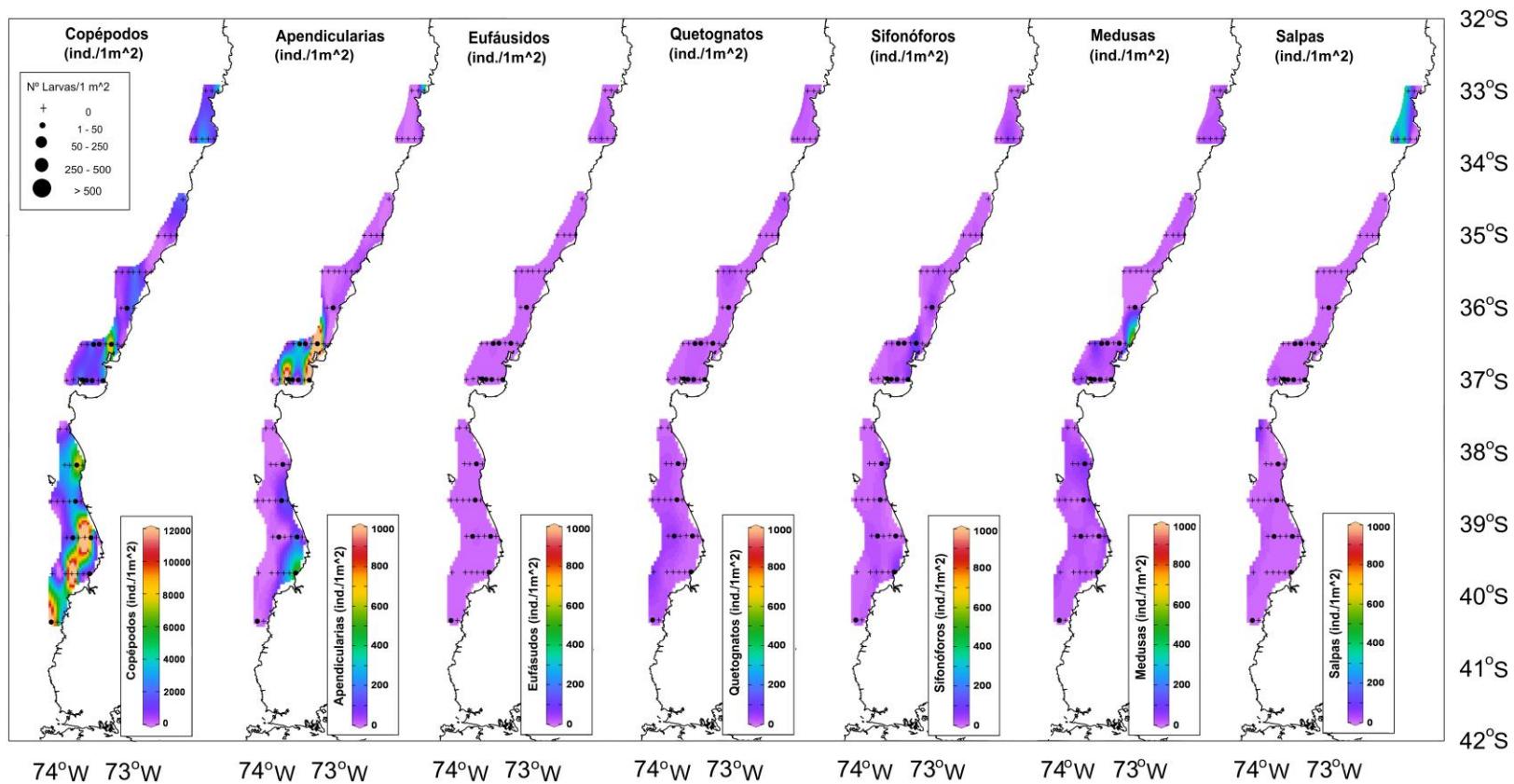


Figura 33. Abundancia de larvas de anchoveta (ind.m⁻²), sobrepuerta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind.m⁻²), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).

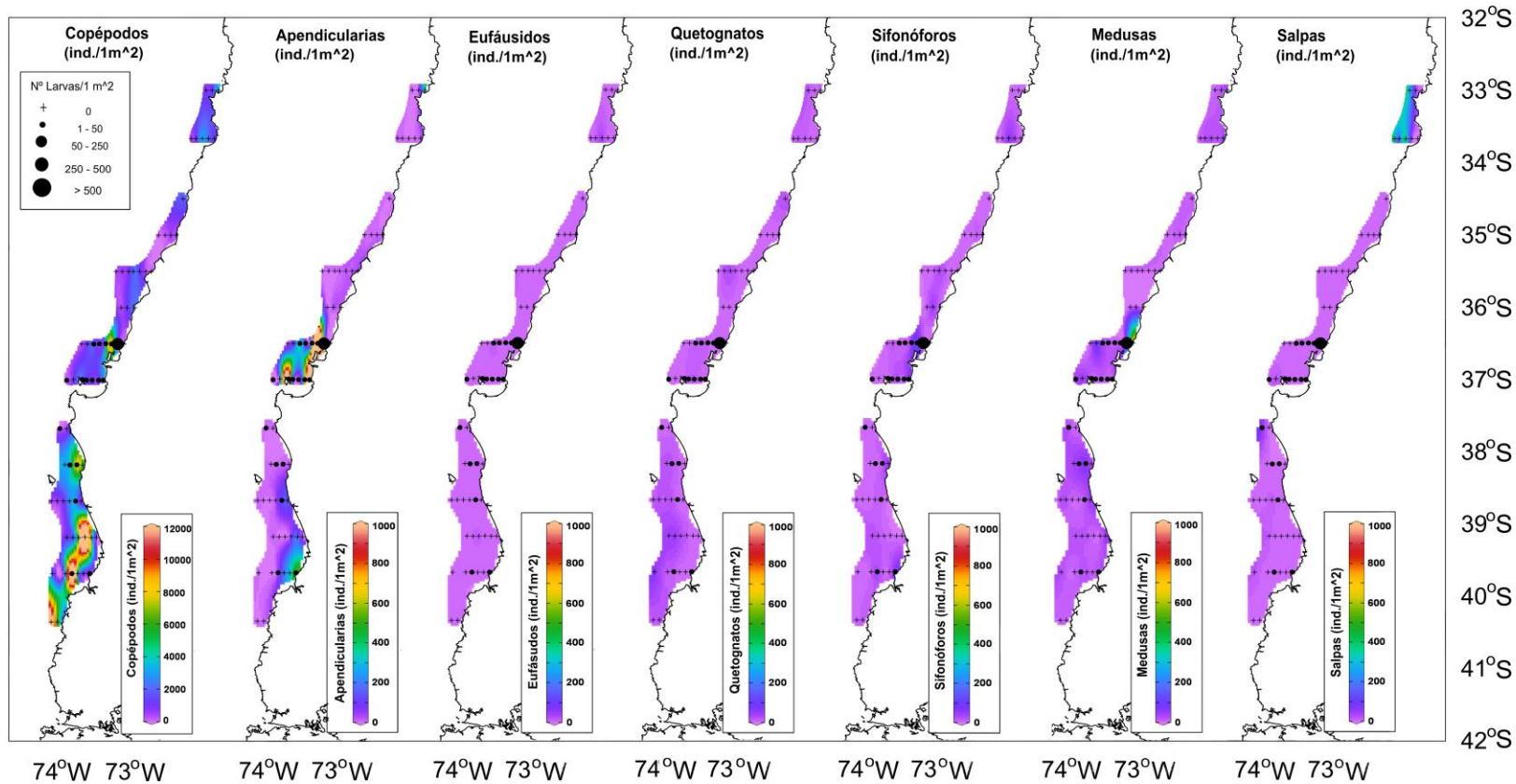


Figura 34. Abundancia de larvas de sardina común (ind. \cdot m⁻²), sobreuesta a las secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas (ind. \cdot m⁻²), en el área de estudio por sector (norte, centro y sur), durante el crucero 2019 (red Cónica).

**Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos de anchoveta y sardina común, con la presencia de potenciales presas y predadores (zooplancton), año 2019 (red Cónica).**

Los resultados de la modelación utilizada para relacionar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común con las variables predictoras (presencia de apendicularias, sifonóforos, quetognatos y medusa), se resumen en la **Tabla 20**. En los huevos de sardina común y anchoveta, el modelo que incluye todos los grupos de zooplancton (variables predictoras), entregó un coeficiente de determinación de >0,56 una desvianza explicada >60% y validación cruzada general <2,01 (**Tabla 21**).

Tabla 20. Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (ind.m⁻²) en función de la densidad de apendicularias, sifonóforos, quetognatos, y medusas durante el 2019 (R²: Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, VCG: Validación cruzada general) (red Cónica).

Espece	Parámetros	Estimado	Valor F	Error standard	Valor t	p-valor	R ²	VE (%)	VCG
Anchoveta	a	4,37	-	3,69	-1,18	0,025	0,61	72	1,89
	s(apendicularias)	2,06	3,27	-	-	0,041			
	s(sifonóforos)	9,15	9,94	-	-	3,01e-8			
	s(quetognatos)	9,31	5,73	-	-	7,53e-5			
	s(medusas)	5,87	4,74	-	-	0,0014			
Sardina común	a	-3,43	-	8,71	-3,91	0,025	0,56	60	2,01
	s(apendicularias)	6,07	6,19	-	-	0,001			
	s(sifonóforos)	4,01	5,58	-	-	0,0001			
	s(quetognatos)	10,50	11,77	-	-	0,015			
	s(medusas)	7,67	8,86	-	-	0,028			

Los rangos óptimos (límite inferior y superior) de las variables evaluadas en relación a las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común, se muestran en la **Tabla 20**. Se observó en la anchoveta, que valores de densidad de apendicularias <270 ind. m⁻², presentaron un efecto positivo en la presencia de huevos. En cambio, densidades menores de sifonóforos <23 ind.m⁻² se relacionaron positivamente con la presencia de huevos, asimismo valores de densidad de quetognatos <6 ind.m⁻² presentaron un efecto positivo en los huevos, y una baja densidad de medusas también presentó una relación positiva con la presencia de huevos de anchoveta (<50 ind. m⁻²) (**Tabla 21, Figura 35a**). Por otra parte, valores de apendicularias <37 ind. m⁻² presentaron un efecto positivo sobre los huevos de sardina común. Bajas densidades de sifonóforos (<20 ind. m⁻²), quetognatos (<12 ind. m⁻²) y medusas (<43 ind. m⁻²) presentaron un efecto positivo sobre los huevos de sardina común (**Tabla 21, Figura 35b**).



Tabla 21. Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables zooplanctónicas predictoras obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común durante el 2019 (red Cónica).

Especie	Apendiculares	Sifonóforos	Quetognatos	Medusas
Anchoveta	1 - 270	9 - 23	1 - 6	1 - 50
Sardina común	1 - 137	5 - 20	1 - 12	1 - 43

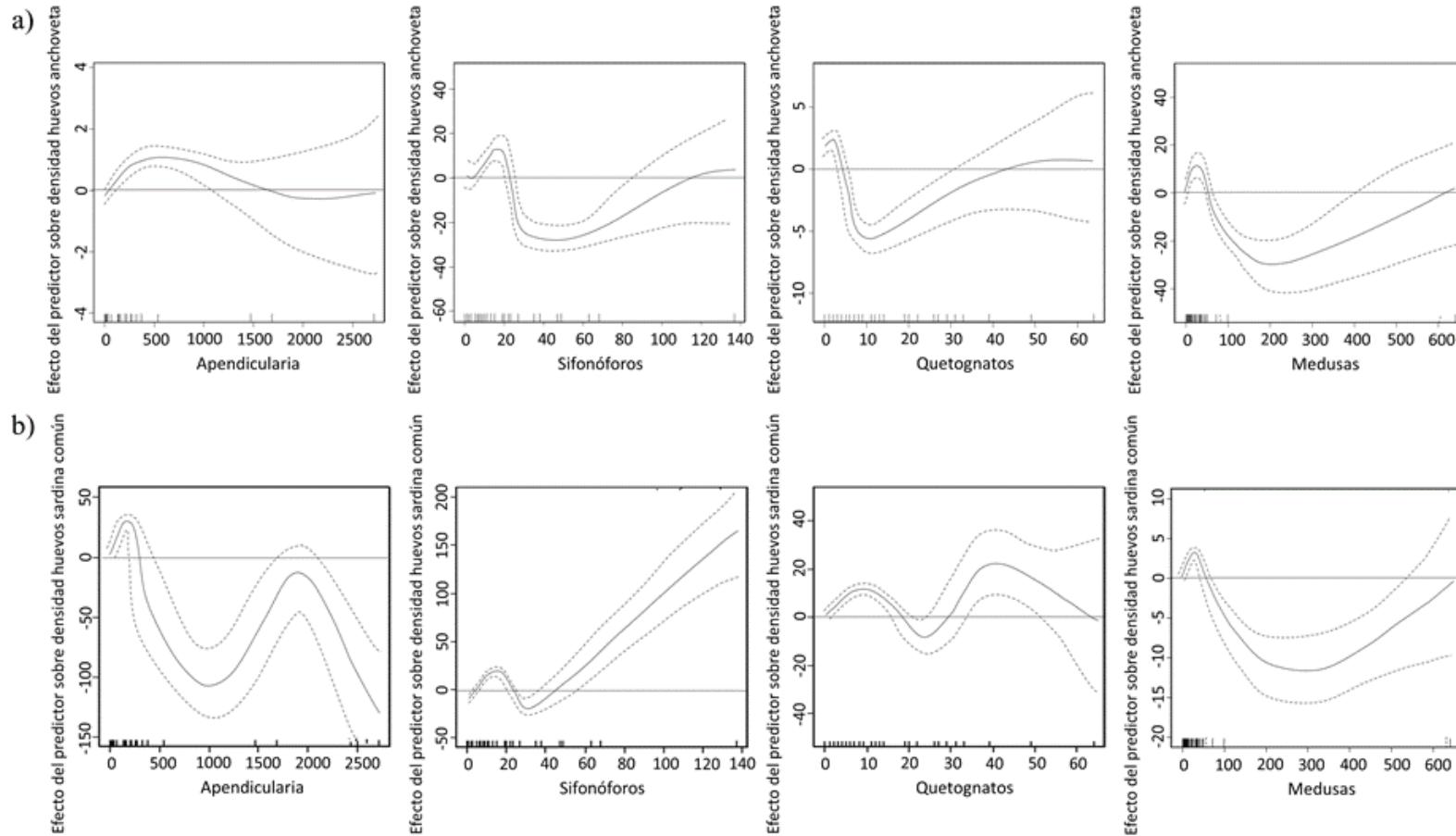


Figura 35. Efectos de los predictores apendicularias, sifonóforos, quetognatos y medusas sobre la variable densidad de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b), ajustado un modelo quasipoisson (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta y líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza (red Cónica).



Distribución horizontal de huevos y larvas sobre grupos de fitoplancton, año 2019.

El grupo más abundante del fitoplancton en los diferentes sectores, fue el de las diatomeas (>17 cel./L) seguido por los dinoflagelados ($>0,8$ cel./L) y ciliados ($>0,5$ cel./L). Se observaron silicoflagelados y otras microalgas, pero con abundancias menores en comparación a los otros grupos (0,001 cel./L a 0,2 cel./L) (**Tabla 22**). Las mayores abundancias de diatomeas se registraron en los tres sectores asociados a la desembocadura de ríos (e.g., río Aconcagua (~32,93°S), río Maipo (~33,5°S), río Rapel (~33,9°S), río Mataquito (~35°S), río Maule (~35,32°S), río Itata (~36,39°S), río Biobío (~36,83°S), río Imperial (~38,7°S), río Toltén (~39,27°S), río Valdivia (~39,85°S), se destacaron los géneros *Chaetoceros*, *Skeletonema* y *Thalassiosira*. El género *Chaetoceros*, se presentó en mayor abundancia (<3.193 cel./L) en el sector norte (~33°S), con respecto a lo observado en el sector centro (36°S - 37°S: <95 cel./L) y sur (39°S - 40°S: <509 cel./L). Las mayores abundancias de *Skeletonema* se registraron en los sectores norte (~33,5°S: <4.969 cel./L) y sur (39°S - 40°S: <1.629 cel./L), en comparación a lo encontrado en el sector centro (36°S - 37°S: <538 cel./L). En cambio, la abundancia de *Thalassiosira* fue alta en los tres sectores, con valores máximos de 6.872 cel./L en el sector centro (36°S - 37°S), seguido por el sector norte (~33,5°S: 5.058 cel./L) y el sur (39°S - 40°S: 3.191 cel./L). En general, se detectó que la presencia de huevos y larvas de anchoveta y sardina común, se asoció a las principales agrupaciones de *Chaetoceros*, *Skeletonema* y *Thalassiosira* (**Tabla 23; Figuras 36-38**). La abundancia de ciliados fue alta en el sector norte (33°S - 33,5°S: <20 cel./L), seguido por el sector sur (39°S - 40°S: <8 cel./L) y centro (36°S - 37°S: <5 cel./L). Asociados a las mayores abundancias de ciliados de los tres sectores, se encontraron huevos de anchoveta. En cambio, los huevos de sardina común y larvas de ambas especies, se relacionaron a los sectores centro y sur (**Tabla 23; Figuras 36-39**). Los dinoflagelados presentaron dos núcleos de alta abundancia (>5 cel./L), uno en el sector centro (35°S - 36°S) y otro en el sector norte (~33,5°S). Asociados a estos núcleos se observaron huevos de anchoveta. Huevos de sardina común, solo se registraron asociados al núcleo del sector centro. En cambio, no se registraron larvas asociadas a estos núcleos (**Tabla 23; Figuras 36-39**). Finalmente, la mayor abundancia de silicoflagelados se detectó entre 39°S y 40°S (sector sur) asociada a huevos y larvas de anchoveta y a huevos de sardina común (**Tabla 23**).

Tabla 22. Abundancia promedio (desviación estándar - DS) y abundancia máxima de diatomea, dinoflagelados, ciliados y silicoflagelados (cel./L), por sector considerando el número total de estaciones.

Abundancia estandarizada (cel./L)												
Grupo	Sector norte			Sector centro			Sector sur			Total		
	\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx
Diatomeas	2.206	4.169,52	10.597	1.002	1.716,83	7.384	717	1.452,14	5.776	1.032	2.080,81	10.597
Dinoflagelados	1,1	1,94	5,4	1,09	2,70	10,6	0,8	1,18	4,8	1,0	2,06	10,6
Ciliado	3,1	6,25	18,2	0,53	1,13	5,3	0,5	1,06	5,4	0,8	2,47	18,2
Silicoflagelados	0,03	0,06	0,2	0,03	0,09	0,4	0,2	0,45	2,1	0,1	0,30	2,1
Otras Microalgas	0	0	0	0,02	0,06	0,2	0,001	0,003	0,01	0,01	0,04	0,2



Tabla 23. Abundancia promedio (desviación estándar - DS) y abundancia máxima de fitoplancton (cel./L), por sector considerando el número total de estaciones.

ABUNDANCIA ESTANDARIZADA (cel/L)													
Grupo	Género	Sector norte			Sector centro			Sector sur			total		
		\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx
Diatomeas	<i>Achnanthes</i>	0,06	0,10	0,2	3,27	13,95	74,3	1,27	3,39	14,8	2,02	9,62	74,3
Diatomeas	<i>Achnanthidium</i>	0,00	0,00	0,0	0,001	0,005	0,02	0,950	2,517	9,90	0,40	1,68	9,9
Diatomeas	<i>Frustulia</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,003	0,01	0,1	0,001	0,01	0,1
Diatomeas	<i>Asteromphalus</i>	0,00	0,00	0,0	0,001	0,003	0,02	0,00	0,00	0,0	0,0003	0,002	0,02
Diatomeas	<i>Asterionellopsis</i>	1,12	3,12	8,8	1,02	4,29	23,0	0,00	0,00	0,0	0,60	3,09	23,0
Diatomeas	<i>Aulacoseira</i>	0,00	0,00	0,0	0,02	0,09	0,5	26,18	105,02	530,5	11,05	68,71	530,5
Diatomeas	<i>Cylindrotheca</i>	0,001	0,0008	0,002	0,02	0,08	0,4	0,0003	0,001	0,01	0,01	0,06	0,4
Diatomeas	<i>Pseudo-nitzschia</i>	27,76	60,15	173,3	27,1	43,01	196,3	36,6	83,09	397,9	31,15	64,00	397,9
Diatomeas	<i>Fragilaropsis</i>	0,002	0,01	0,01	0,03	0,11	0,6	0,05	0,24	1,3	0,03	0,18	1,3
Diatomeas	<i>Nitzschia</i>	0,00	0,00	0,0	0,01	0,03	0,2	0,001	0,004	0,02	0,004	0,02	0,2
Diatomeas	<i>Biddulphia</i>	0,00	0,00	0,0	3,57	18,10	97,6	0,28	0,91	4,1	1,73	12,20	97,6
Diatomeas	<i>Eucampia</i>	0,01	0,04	0,1	0,11	0,61	3,3	0,00	0,00	0,0	0,05	0,41	3,3
Diatomeas	<i>Chaetoceros</i>	413,80	1.123,65	3.193,2	9,02	19,69	95,0	66,27	153,18	509,3	83,77	408,26	3.193,2
Diatomeas	<i>Corethron</i>	1,46	2,28	5,3	14,47	51,40	265,7	0,90	2,13	8,8	7,12	34,96	265,7
Diatomeas	<i>Coscinodiscus</i>	0,58	1,25	3,5	0,4	0,89	4,0	1,0	1,51	5,7	0,67	1,24	5,7
Diatomeas	<i>Coccconeis</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0002	0,001	0,004	0,0001	0,001	0,004
Diatomeas	<i>Diploneis</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,02	0,0001	0,0004	0,002	0,0003	0,002	0,02
Diatomeas	<i>Fragilaria</i>	0,00	0,00	0,0	0,06	0,15	0,7	3,15	10,59	54,2	1,35	6,98	54,2
Diatomeas	<i>Gomphonais</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	0,04	0,05	0,23	1,18	0,02	0,15	1,2
Diatomeas	<i>Encyonema</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0001	0,001	0,003	0,00005	0,0004	0,003
Diatomeas	<i>Grammatophora</i>	0,22	0,63	1,8	0,00	0,01	0,04	0,02	0,08	0,40	0,03	0,23	1,8
Diatomeas	<i>Actinoptichus</i>	0,01	0,02	0,1	0,00	0,02	0,1	0,002	0,01	0,02	0,004	0,01	0,1
Diatomeas	<i>Cerataulina</i>	0,03	0,09	0,2	0,01	0,03	0,1	0,18	0,50	2,1	0,08	0,34	2,1
Diatomeas	<i>Hemiaulus</i>	0,00	0,00	0,0	0,15	0,65	3,4	0,0001	0,0004	0,002	0,069	0,44	3,4
Diatomeas	<i>Lauderia</i>	2,21	6,25	17,7	1,06	4,05	21,2	0,39	2,04	10,6	0,92	3,70	21,2
Diatomeas	<i>Licmophora</i>	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,04	0,45	1,38	5,31	0,19	0,91	5,3
Diatomeas	<i>Ditylum</i>	0,001	0,004	0,01	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0002	0,001	0,01
Diatomeas	<i>Melosira</i>	0,00	0,00	0,0	0,11	0,43	2,1	0,04	0,13	0,6	0,07	0,30	2,1
Diatomeas	<i>Navicula</i>	0,23	0,62	1,8	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	0,20	0,03	0,22	1,8
Diatomeas	<i>Pleurosigma</i>	0,43	0,75	1,8	0,10	0,22	0,9	0,002	0,01	0,03	0,10	0,32	1,8
Diatomeas	<i>Odontella</i>	0,48	1,24	3,5	1,18	2,71	10,1	7,78	32,68	169,8	3,87	21,34	169,8



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Diatomeas	<i>Paralia</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	7,43	26,86	137,9	3,14	17,65	137,9
Diatomeas	<i>Proboscia</i>	0,001	0,001	0,004	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0001	0,001	0,004
Diatomeas	<i>Pinnularia</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,001	0,003	0,01	0,0002	0,002	0,01
Diatomeas	<i>Dactyliosolen</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,0	0,0005	0,004	0,03
Diatomeas	<i>Guinardia</i>	0,002	0,004	0,01	0,19	0,72	3,5	0,01	0,04	0,2	0,09	0,49	3,5
Diatomeas	<i>Rhizosolenia</i>	0,68	1,87	5,3	0,02	0,09	0,5	2,80	4,55	15,9	1,28	3,27	15,9
Diatomeas	<i>Skeletonema</i>	625,26	1.755,24	4.969,2	69,81	128,25	537,9	106,89	350,89	1628,7	154,88	657,92	4.969,2
Diatomeas	<i>Stephanopyxis</i>	0,02	0,04	0,1	1,58	6,16	32,3	0,76	2,52	11,9	1,04	4,45	32,3
Diatomeas	<i>Striatella</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,005	0,02	0,1	0,002	0,01	0,1
Diatomeas	<i>Surirella</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0	0,0001	0,001	0,01
Diatomeas	<i>Thalassionema</i>	30,84	77,02	221,0	15,74	26,44	132,4	2,08	8,13	42,4	11,86	33,03	221,0
Diatomeas	<i>Detonula</i>	461,62	1295,66	3.668,1	0,92	2,95	12,4	2,96	10,84	47,7	59,37	458,32	3.668,1
Diatomeas	<i>Planktoniella</i>	0,0004	0,001	0,001	0,00	0,00	0,01	0,0004	0,001	0,004	0,0004	0,001	0,01
Diatomeas	<i>Thalassiosira</i>	638,96	1785,40	5057,6	851,78	1581,69	6871,5	448,60	884,83	3191,0	655,09	1351,04	6871,5
Diatomeas	<i>Trigonion</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,001	0,005	0,02	0,0004	0,003	0,02

ABUNDANCIA ESTANDARIZADA (cel/L)

Grupo	Género	Sector norte			Sector centro			Sector sur			total		
		\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx	\bar{x}	DS	máx
Dinoflagelados	<i>Dinophysis</i>	0,15	0,35	1,0	0,12	0,43	2,1	0,08	0,18	0,7	0,11	0,33	2,1
Dinoflagelados	<i>Ceratium</i>	0,02	0,05	0,2	0,17	0,73	3,9	0,13	0,40	1,9	0,13	0,55	3,9
Dinoflagelados	<i>Tripos</i>	0,01	0,04	0,1	0,03	0,18	1,0	0,00001	0,0001	0,0004	0,02	0,12	1,0
Dinoflagelados	<i>Ornithocercus</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00004	0,0002	0,001	0,0002	0,001	0,004
Dinoflagelados	<i>Oxyphysis</i>	0,001	0,002	0,01	0,01	0,03	0,1	0,00	0,00	0,0	0,003	0,02	0,1
Dinoflagelados	<i>Diplopsalis</i>	0,07	0,18	0,5	0,12	0,42	2,2	0,14	0,30	1,4	0,12	0,35	2,2
Dinoflagelados	<i>Preperidinium</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,001	0,01	0,03	0,001	0,00	0,03
Dinoflagelados	<i>Gonyaulax</i>	0,02	0,04	0,1	0,02	0,08	0,4	0,00	0,00	0,0	0,01	0,05	0,4
Dinoflagelados	<i>Gymnodinium</i>	0,0001	0,0004	0,001	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,0	0,0003	0,003	0,02
Dinoflagelados	<i>Gyrodinium</i>	0,002	0,003	0,01	0,00	0,01	0,03	0,004	0,02	0,10	0,003	0,01	0,1
Dinoflagelados	<i>Kofoidinium</i>	0,0003	0,001	0,002	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0003	0,0003	0,002
Dinoflagelados	<i>Phalacroma</i>	0,00	0,00	0,0	0,001	0,01	0,03	0,005	0,02	0,11	0,002	0,01	0,1
Dinoflagelados	<i>Scirripsiella</i>	0,0004	0,001	0,002	0,003	0,02	0,1	0,02	0,12	0,6	0,01	0,08	0,6
Dinoflagelados	<i>Podolampas</i>	0,07	0,18	0,5	0,02	0,11	0,6	0,001	0,002	0,01	0,02	0,10	0,6
Dinoflagelados	<i>Protoperidinium</i>	0,74	1,85	5,3	0,59	1,96	10,1	0,45	0,76	2,7	0,55	1,53	10,1
Dinoflagelados	<i>Prorocentrum</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00003	0,0003	0,002
Dinoflagelados	<i>Pyrocystis</i>	0,0003	0,0005	0,001	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00004	0,0002	0,001
Dinoflagelados	<i>Alexandrium</i>	0,00	0,00	0,0	0,0002	0,00	0,01	0,0001	0,001	0,003	0,0002	0,001	0,007



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Dinoflagelados	Cisto Dinoflagelado	0,003	0,01	0,02	0,00	0,00	0,0	0,0001	0,0004	0,002	0,0005	0,003	0,02
Ciliados	<i>Codonella</i>	0,0003	0,001	0,002	0,05	0,17	0,9	0,13	0,33	1,3	0,07	0,24	1,3
Ciliados	<i>Tintinnopsis</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	0,1	0,001	0,004	0,01	0,002	0,01	0,1
Ciliados	<i>Dyctiocysta</i>	0,001	0,001	0,002	0,01	0,04	0,2	0,0002	0,001	0,003	0,004	0,03	0,2
Ciliados	<i>Epiploctysis</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	0,03	0,01	0,04	0,20	0,01	0,03	0,2
Ciliados	<i>Helicostomella</i>	2,70	5,55	16,1	0,13	0,25	0,9	0,05	0,23	1,2	0,42	2,06	16,1
Ciliados	<i>Cymatoclysis</i>	0,33	0,68	2,0	0,06	0,24	1,2	0,00	0,00	0,0	0,07	0,29	2,0
Ciliados	<i>Rhabdonella</i>	0,00	0,00	0,0	0,03	0,11	0,6	0,002	0,005	0,02	0,015	0,08	0,6
Ciliados	<i>Eutintinnus</i>	0,01	0,02	0,1	0,21	0,67	3,5	0,26	1,01	5,3	0,21	0,80	5,3
Ciliados	<i>Undella</i>	0,00	0,00	0,0	0,01	0,04	0,2	0,0002	0,001	0,003	0,004	0,03	0,2
Ciliados	<i>Parafavella</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00005	0,0004	0,003
Ciliados	<i>Mesodinium</i>	0,001	0,001	0,004	0,02	0,08	0,4	0,00004	0,0002	0,001	0,01	0,06	0,4
Ciliados	<i>Codonellopsis</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,001	0,003	0,01	0,0002	0,002	0,01
Ciliados	<i>Strobilidium</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,02	0,004	0,02	0,10	0,003	0,01	0,1
Ciliados	<i>Strombidium</i>	0,01	0,02	0,1	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,0	0,001	0,01	0,1
Ciliados	<i>Laboea</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0001	0,0003	0,002	0,00003	0,0002	0,002
Ciliados	<i>Salpingella</i>	0,01	0,02	0,1	0,01	0,06	0,3	0,001	0,004	0,02	0,01	0,04	0,30
Ciliados	<i>Codonella</i>	0,01	0,04	0,1	0,00	0,01	0,1	0,001	0,004	0,02	0,004	0,01	0,10
Ciliados	Ciliophora Indet.	0,0003	0,001	0,002	0,05	0,17	0,9	0,13	0,33	1,3	0,07	0,24	1,3
Silicoflagelados	<i>Dictyocha</i>	0,03	0,06	0,2	0,03	0,09	0,4	0,20	0,45	2,1	0,10	0,30	2,1
Otras Microalgas	<i>Staurastrum</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,001	0,003	0,01	0,0003	0,002	0,01
Otras Microalgas	<i>Mougeotia</i>	0,00	0,00	0,0	0,02	0,06	0,2	0,00	0,00	0,0	0,01	0,04	0,2

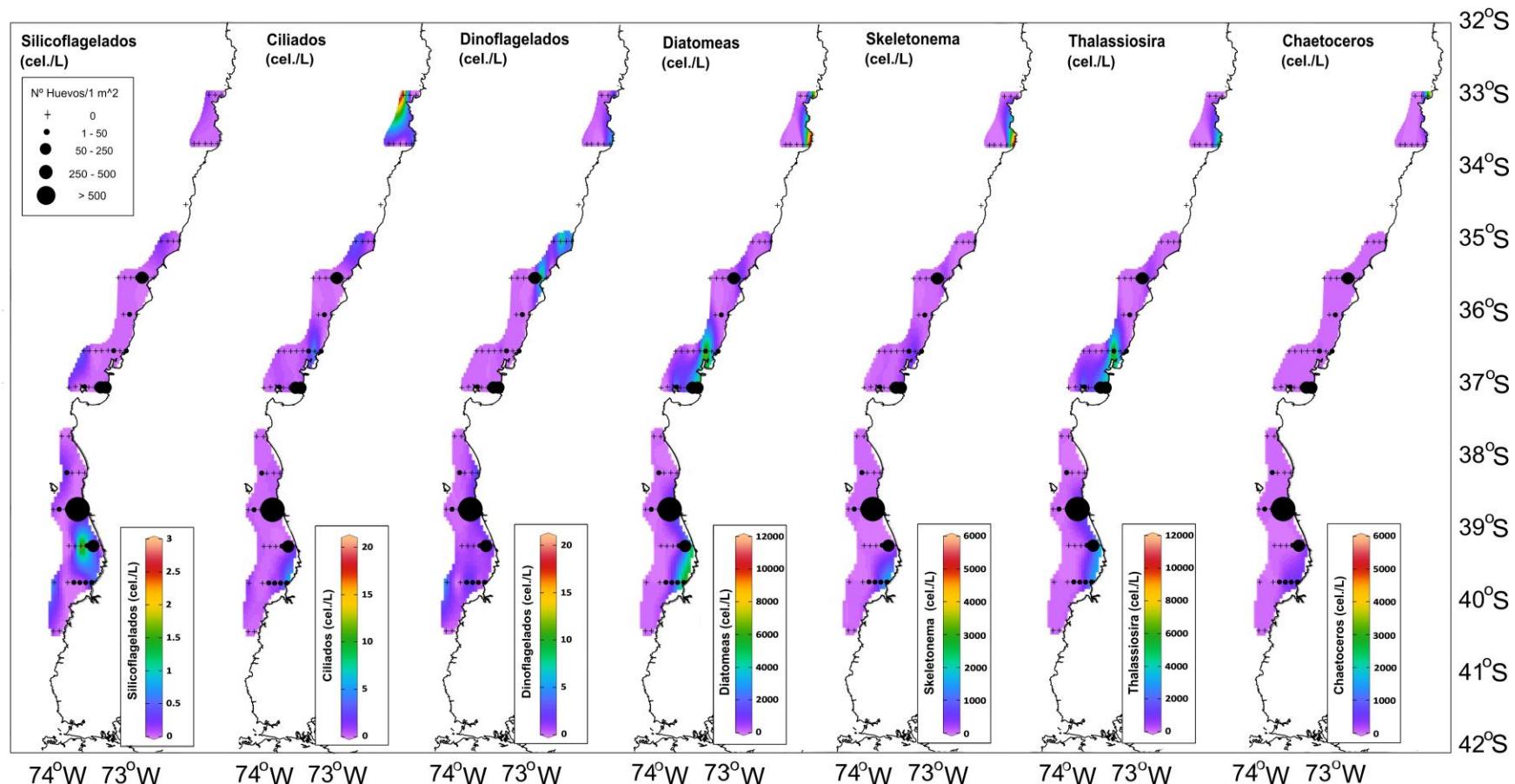


Figura 36. Abundancia de huevos de anchoveta (huevos m^{-2}) sobre puesta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, Skeletonema, Thalassiosira y Chaetoceros (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica).

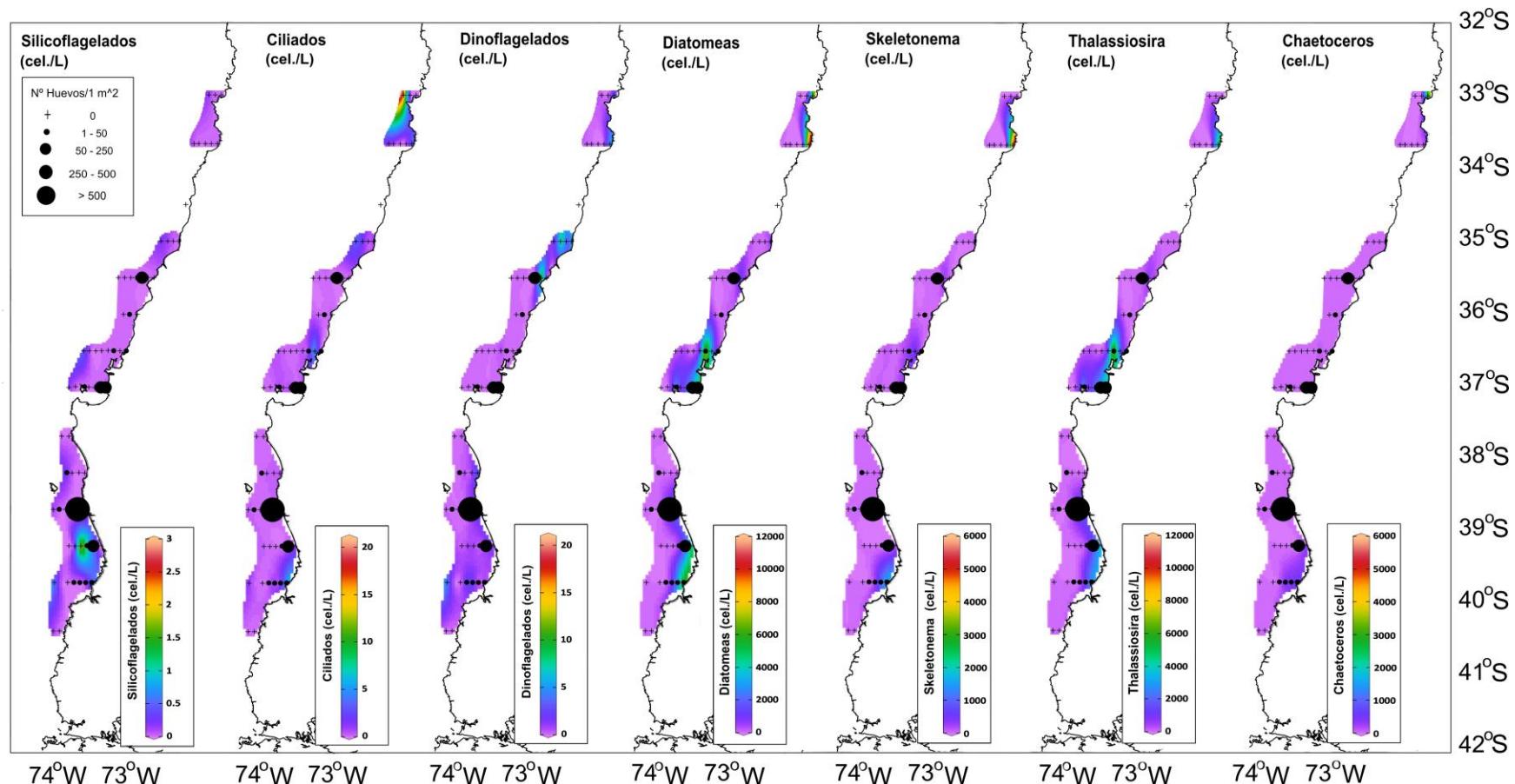


Figura 37. Abundancia de huevos de sardina común (huevos m⁻²) sobre puesta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros* (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica).

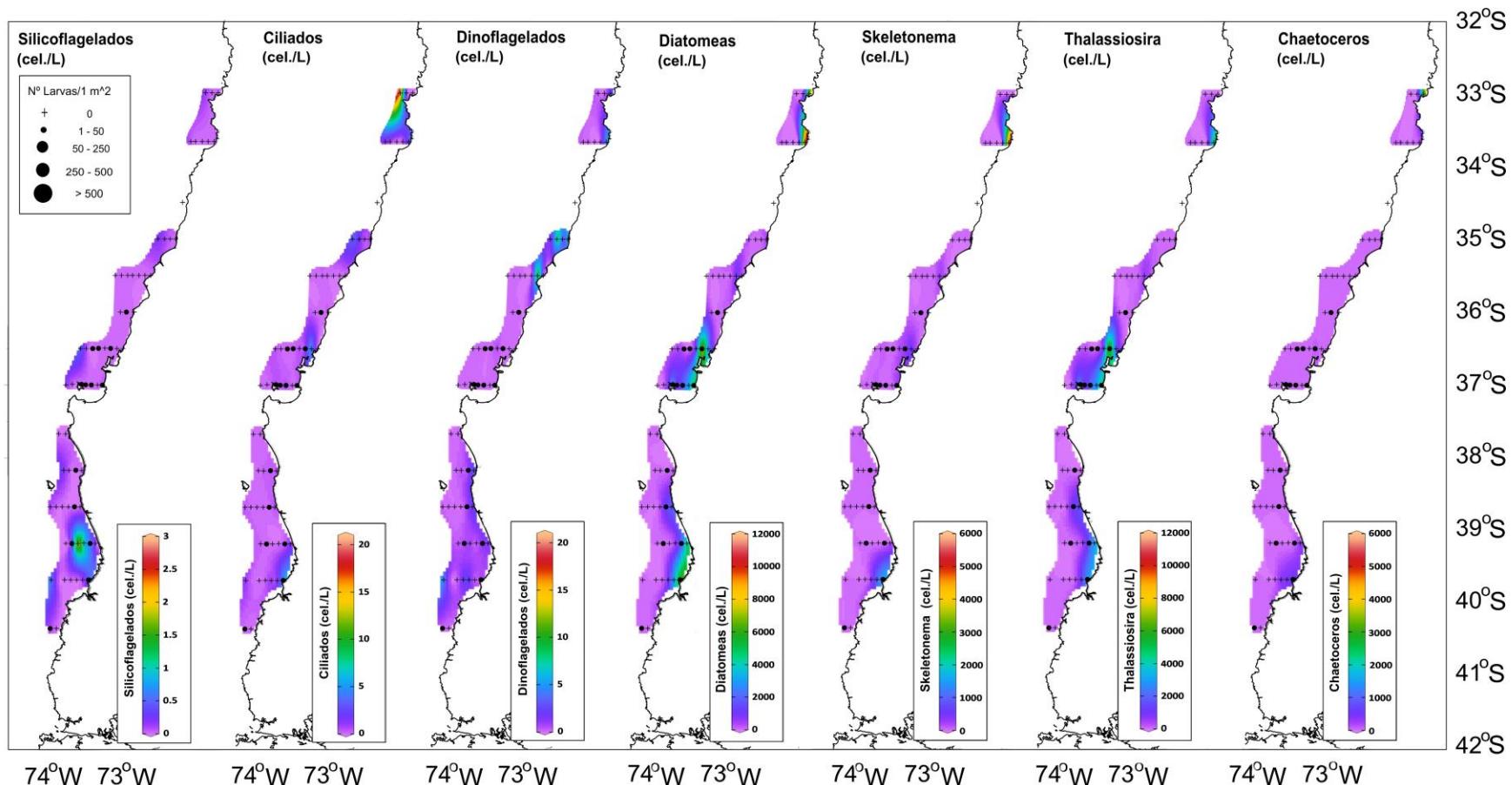


Figura 38. Abundancia de larvas de anchoveta (larvas 1m^{-2}) sobre puesta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros* (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica).

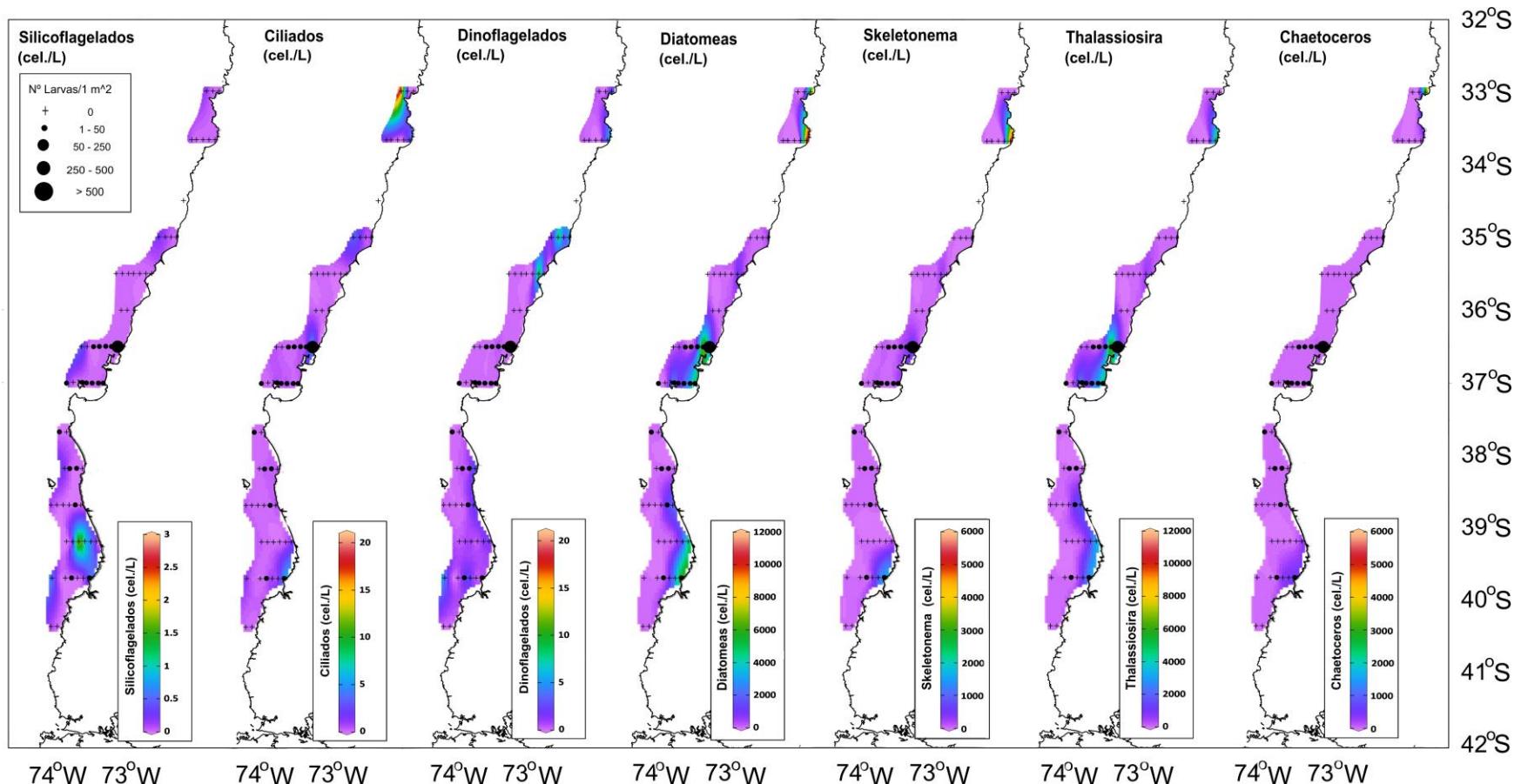


Figura 39. Abundancia de larvas de sardina común (larvas m^{-2}) sobre puesta a las secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros* (cel./L) en el área de estudio (norte, centro y sur), 2019 (red Cónica).



Relación de la distribución de huevos de anchoveta y sardina común con la concentración de clorofila-a en transectas (costa océano)

En los primeros 20 m de profundidad de la transecta 29 ($36,5^{\circ}\text{S}$) del sector centro, la clorofila-a presentó concentraciones relativamente altas, con un máximo $\sim 6 \mu\text{g/L}$ (**Figura 40, panel izquierdo**). A profundidades >30 m se presentaron concentraciones $<1 \mu\text{g/L}$. En el sentido costa-océano, se observaron dos núcleos de clorofila-a, el primero a 30 km de la costa, con concentraciones entre 1 y $6 \mu\text{g/L}$; el segundo núcleo se situó en las estaciones más oceánicas (40 a 55 km) con concentraciones de clorofila-a $<4 \mu\text{g/L}$. En el núcleo costero de clorofila-a (<30 km), se detectó alta abundancia de huevos de anchoveta (18 a 293 ind. m^{-2}) y sardina común (9 a 25 ind. m^{-2}). En cambio, en el núcleo oceánico (>40 km), no se registró la presencia de huevos de ambas especies. En la transecta 35 (37°S), en dirección costa-océano, también se presentaron dos núcleos, uno costero (<10 km) con alta concentración de clorofila-a ($>4 \mu\text{g/L}$) en los primeros 25 m de profundidad, con una importante presencia de huevos de anchoveta (10 a 71 ind. m^{-2}) y sardina común (60 a 160 ind. m^{-2}) (**Figura 40, panel derecho**). El segundo núcleo, se localizó en el sector oceánico (25 a 35 km) con concentraciones de clorofila-a de 2 a 3 $\mu\text{g/L}$ y solo se observaron huevos de sardina común en baja abundancia (26 ind. m^{-2}).

En el sector sur, la transecta 53 ($38,67^{\circ}\text{S}$) presentó un solo núcleo con alta concentración de clorofila-a en la banda costera (<20 km), desde la superficie hasta 25 m de profundidad, con valores que fluctuaron entre 2 y 6 $\mu\text{g/L}$; altas abundancias de huevos de anchoveta (86 a 768 ind. m^{-2}) y sardina común (6 a 876 ind. m^{-2}) se asociaron a este núcleo (**Figura 41, panel izquierdo**). A una distancia >20 km, se detectaron bajas concentraciones de clorofila-a con valores $<1 \mu\text{g/L}$, asociados a baja presencia de huevos de anchoveta (<5 ind. m^{-2}) y sardina común (1 ind. m^{-2}). En la transecta 65 ($39,67^{\circ}\text{S}$), se destacó un núcleo costero (<20 km) con altas concentraciones de clorofila-a que variaron entre 2 y 6 $\mu\text{g/L}$, desde la superficie hasta 25 m de profundidad (**Figura 41, panel derecho**). En este núcleo se encontró gran abundancia de huevos de anchoveta (61 a 209 ind. m^{-2}) y sardina común (1 a 20 ind. m^{-2}). Además, se observó un núcleo reducido ($<2 \mu\text{g/L}$) a la misma profundidad, pero con una distribución más oceánica (>45 km), en el cual se registró solo la presencia de huevos de anchoveta (101 ind. m^{-2}).

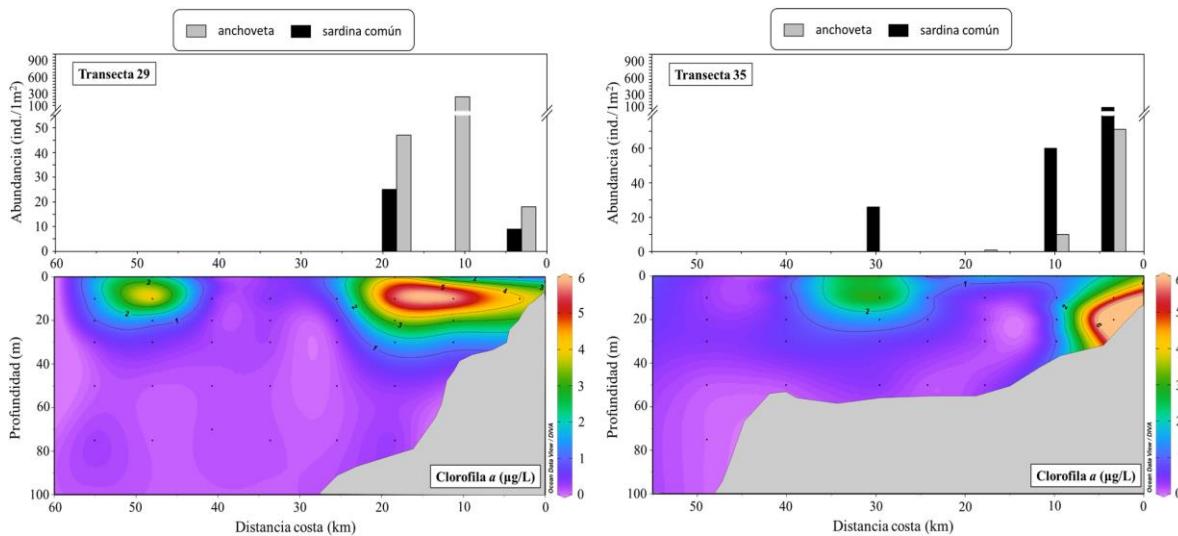


Figura 40. Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común ($\text{ind}.\text{m}^{-2}$), asociados a la sección vertical de la distribución de clorofila-a ($\mu\text{g}/\text{L}$) en las transectas 29 (panel izquierdo) y 35 (panel derecho) ubicados en el sector centro, 2019.

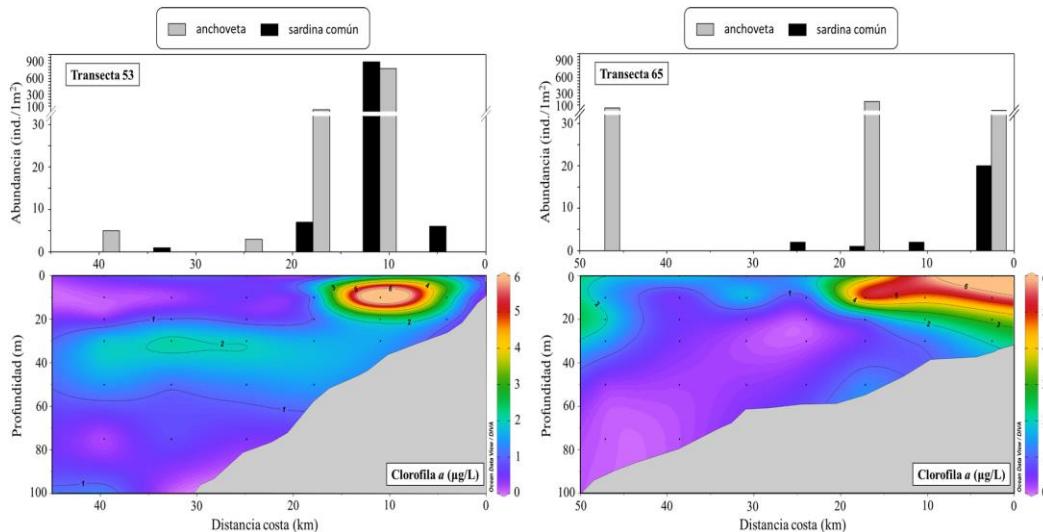


Figura 41. Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común ($\text{ind}.\text{m}^{-2}$) asociados a la sección vertical de la distribución de clorofila-a ($\mu\text{g}/\text{L}$), en las transectas 53 (panel izquierdo) y 65 (panel derecho) ubicados en el sector sur, 2019.



2.1.8. Análisis de desestructuración del desove con geoestadística

La agregación espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común consideró tres umbrales de densidades: a) $D \geq 1$ huevo $0,05 \text{ m}^{-2}$, b) $D \geq 10$ huevo $0,05 \text{ m}^{-2}$ y $D \geq 50$ huevo $0,05 \text{ m}^{-2}$. En el sector centro, los umbrales de densidades en anchoveta representaron 25,8%, 9,0% y 2,8%, y 18,6%, 9,6% y 4,5% en sardina común; mientras que en el sector sur, los umbrales de densidad fueron similares entre anchoveta y sardina común (**Tabla 24**). La estructura espacial de estas densidades se analizó con los parámetros estructurales de modelos de variograma ajustados al variograma empírico, se observó que el variograma esférico fue el modelo seleccionado más frecuente, seguido por el exponencial en el sector centro, tanto para anchoveta como para sardina común (**Tabla 24**). El rango del variograma estimado aquí para cada umbral de densidad, representa el tamaño promedio de las agregaciones de huevos. De esta manera, se observó desestructuración sólo en el sector sur tanto para anchoveta como sardina común. La densidad más baja ($D \geq 1$) demostró un tamaño de agregaciones del orden de 29,3-45,7 km en la anchoveta y entre 33 y 39,7 km en la sardina común. En cambio, las densidades más altas ($D \geq 50$) demostraron tamaños de agregaciones de 20 km en el sector sur para anchoveta, y entre 6,5 y 13,2 km en la sardina común (**Tabla 24**).

Tabla 24. Probabilidad de observar umbrales de densidades de huevos de anchoveta y sardina común, y parámetros de los variogramas utilizados para analizar la estructura espacial.

Especie y Sector	Densidad	Pr[D≥x]	Modelo	Nugget (Co)	pSill (C)	Sill (Co + C)	Rango (Km) r
Anchoveta, Centro	$D \geq 1$	0,258	Esférico	0,064	0,139		29,3
	$D \geq 10$	0,090	Esférico	0,074	0,011		31,5
	$D \geq 50$	0,028	Esférico	0,029	0,000	0,0288	-
Anchoveta, Sur	$D \geq 1$	0,288	Exponencial	0,039	0,191		45,7
	$D \geq 10$	0,168	Esférico	0,066	0,092		30,8
	$D \geq 50$	0,058	Esférico	0,026	0,036		20,0
Sardina, Centro	$D \geq 1$	0,186	Exponencial	0,018	0,133		39,7
	$D \geq 10$	0,096	Esférico	0,030	0,057		40,0
	$D \geq 50$	0,045	Esférico	0,000	0,042		13,2
Sardina, Sur	$D \geq 1$	0,288	Esférico	0,071	0,158		33,4
	$D \geq 10$	0,157	Esférico	0,079	0,077		28,4
	$D \geq 50$	0,052	Esférico	0,000	0,061		6,5



2.1.9. Producción diaria de huevos

La producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad diaria, se estimaron con dos procedimientos de determinación de la edad, utilizando modelos lineales generalizados (**Tabla 25**). En estas estimaciones, el estimado de P_0 está en escala logaritmo y el error estándar de P_0 es equivalente al coeficiente de variación. Se observó que los coeficientes fueron todos significativos para P_0 , tanto con la datación convencional (modelo de Lo) como multinomial y que la pendiente asociada a la edad fue negativa para ambas especies, tanto en el sector centro como sur.

Las estimaciones de los coeficientes, basados en la asignación de la edad con el modelo multinomial fueron menos preciso para ambas especies, ya que el error estándar del logaritmo de P_0 y Z, fueron mayores que aquellos basados en la asignación de la edad con el modelo de Lo. Asimismo, se observó que los estimados ponderados por el índice de agregación fueron más precisos, ya que se observó una reducción importante en el error estándar de los parámetros (**Tabla 25**).

Los coeficientes de la **Tabla 25**, ponderados por el índice de agregación, permitieron estimar la producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos, resultados presentados en la **Tabla 26**. Dichas estimaciones están referidas al área de desove (A_1), mientras que la estimación estratificada considera el total de área de estudio que incluye tanto el área positiva como negativa (P), lo que implica una corrección para la varianza ponderada por $(1+1/n)$, donde n es el número total de estaciones, lo que permitió ajustar el coeficiente de variación de la producción de huevos CV(P). Se observó que la mayor producción diaria de huevos, se debió a la anchoveta en el sector sur, con 1.159,5 huevo/0,05 m²/día en el sector sur y la menor producción de huevos fue también de anchoveta en el sector centro con 136,5 huevo/0,05 m²/día.

La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta, fluctuó entre 0,42 por día (sector centro) y 1,02 por día en el sector sur, mientras que la tasa de mortalidad diaria de la sardina común, fue similar ~0,3 por día en los sectores centro y sur (**Tabla 26**).



Tabla 25. Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlace log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos/m²) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h⁻¹).

Anchoveta					
Modelo Edad: Lo	Sector	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	4,836	0,439	11,018
		Z	-0,016	0,010	-1,557
	Sur	Log(P0)	6,998	0,388	18,018
		Z	-0,041	0,009	-4,684
MLG 2: Bin. Neg. ponderada con índice de agregación	Centro	Log(P0)	4,917	0,159	30,958
		Z	-0,017	0,004	-4,316
	Sur	Log(P0)	7,056	0,161	43,724
		Z	-0,043	0,004	-10,650
Modelo Edad: Multinomial	Sector	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	5,202	0,597	8,720
		Z	-0,020	0,012	-1,668
	Sur	Log(P0)	6,822	0,381	17,913
		Z	-0,035	0,008	-4,493
Sardina común					
Modelo: Lo	Sector	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	6,344	0,695	9,124
		Z	-0,013	0,016	-0,824
	Sur	Log(P0)	6,251	0,457	13,674
		Z	-0,015	0,010	-1,442
GLM 2: Bin. Neg. ponderada con índice de agregación	Centro	Log(P0)	6,337	0,214	29,568
		Z	-0,013	0,005	-2,348
	Sur	Log(P0)	6,233	0,174	35,753
		Z	-0,015	0,004	-3,749
Modelo: Multinomial	Sector	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Intercepto	6,715	0,961	6,990
		Pendiente	-0,008	0,020	-0,417
	Sur	Intercepto	6,742	0,574	11,737
		Pendiente	-0,028	0,011	-2,475



Tabla 26. Estimaciones de la producción diaria de huevos (P_0) y tasa de mortalidad diaria (Z) para la anchoveta y sardina común, utilizando GLM con familia binomial negativa y enlace log y ponderación con el índice de agregación de Lloyd en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. Se muestra también la estimación estratificada de la producción de huevos en el área total (P). Los números entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación de los estimados.

	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Área de estudio (A, km ²)	12.271	12.770	12.271	12.770
Área de desove, A ₁ (km ²)	3.002	3.481	2.160	3.552
Número de estaciones	178	191	178	191
Número de estaciones positivas	46	55	33	55
Datación con Lo:				
P_0 (huevo/0,05 m ² /día)	6,827 (0,159)	57,977 (0,161)	28,253 (0,214)	25,453 (0,174)
Z (día ⁻¹)	0,415 (0,232)	1,024 (0,094)	0,302 (0,426)	0,352 (0,267)
P_0 (huevo/m ² /día)	136,5 (0,159)	1.159,5 (0,161)	565,1 (0,214)	509,1 (0,174)
P (10 ¹¹ huevos/día)	4,1 (0,078)	40,4 (0,084)	12,2 (0,090)	18,1 (0,092)



2.2. Tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común

2.2.1. Crucero de adultos

En el sector central del área de estudio, la campaña de adultos se realizó entre el 20 de agosto y 1 de septiembre de 2019, considerando en la región del Biobío, la embarcación “Don Julián”. Se capturaron 3 lances solo de sardina común y 3 lances solo de anchoveta. Al respecto, se lograron 26 lances de pesca efectivos de sardina común con anchoveta (**Tabla 27**).

En el sector sur, la campaña de adultos se desarrolló desde el 24 de septiembre al 9 de octubre de 2019, frente a las regiones de La Araucanía y de Los Ríos, a bordo de la embarcación “L/M Isaac II”. Se obtuvieron 26 lances de pesca efectivos de sardina común y 4 lances de pesca efectivos de sardina común con anchoveta (**Tabla 28**).

Durante la campaña 2019, los lances de pesca de sardina común y anchoveta se distribuyeron desde el norte de Dichato hasta el golfo de Arauco (**Figura 42**). En el sector sur, la captura fue frente al litoral de Corral hasta el litoral del límite sur de la región de La Araucanía (**Figura 42**).

**Tabla 27.** Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2019, en el sector central.

Embarcación	Periodo	Región	Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	PROPORCIÓN ESPECIE (%)		Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Velocidad	Dirección
									Anchoveta	Sardina				
Don Julián	Agosto	8	1	20-08-19	17:48	37°07,269	73°25,839	1	54	46	25	12,0	Calma	
Don Julián	Agosto	8	2	21-08-19	12:25	37°09,081	73°18,891	1	58	42	27	12,0	Calma	
Don Julián	Agosto	8	3	22-08-19	10:29	37°09,830	73°21,617	1	47	53	28	12,5	Calma	
Don Julián	Agosto	8	4	22-08-19	12:16	37°09,083	73°21,095	1	53	47	30	12,0	Calma	
Don Julián	Agosto	8	5	22-08-19	15:10	37°07,814	73°16,969	1	0	100	30	12,5	Calma	
Don Julián	Agosto	8	6	22-08-19	17:30	37°07,350	73°26,115	1	0	100	30	12,0	1	S
Don Julián	Agosto	8	7	22-08-19	19:00	37°05,438	73°24,420	1	0	100	30	12,0	1	S
Don Julián	Agosto	8	8	23-08-19	08:30	37°08,907	73°21,095	1	50	50	31	12,5	2	S
Don Julián	Agosto	8	9	23-08-19	10:40	37°06,900	73°17,924	1	52	48	31	12,0	Calma	
Don Julián	Agosto	8	10	23-08-19	12:05	37°10,833	73°30,353	1	49	51	27	12,0	Calma	
Don Julián	Agosto	8	11	23-08-19	14:10	37°00,599	73°25,833	1	51	49	26	11,0	2	S
Don Julián	Agosto	8	12	23-08-19	16:01	37°01,162	73°21,595	1	53	47	30	11,0	3	SW
Don Julián	Agosto	8	13	23-08-19	18:30	36°56,156	73°11,643	1	51	49	29	11,5	3	S
Don Julián	Agosto	8	14	27-08-19	14:14	36°20,604	72°53,114	1	48	52	28	11,5	3	S
Don Julián	Agosto	8	15	27-08-19	18:11	36°24,338	72°57,365	1	46	54	31	12,0	1	N
Don Julián	Agosto	8	16	29-08-19	16:40	36°33,612	73°00,365	1	100	0	30	12,0	4	SW
Don Julián	Agosto	8	17	30-08-19	06:55	36°35,014	73°03,350	1	42	58	35	12,0	3	SW
Don Julián	Agosto	8	18	30-08-19	09:50	36°30,320	72°59,196	1	47	53	37	12,0	2	S
Don Julián	Agosto	8	19	30-08-19	12:01	36°32,520	73°00,714	1	55	45	37	12,5	2	S
Don Julián	Agosto	8	20	30-08-19	14:10	36°28,119	73°01,618	1	59	41	35	12,5	2	S
Don Julián	Agosto	8	21	30-08-19	18:00	36°31,148	72°59,955	1	56	44	36	12,0	3	SW
Don Julián	Agosto	8	22	30-08-19	20:10	36°29,618	73°00,143	1	51	49	34	11,0	4	S



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Don Julián	Agosto	8	23	31-08-19	06:57	36°28,732	73°01,315	1	58	42	35	11,0	2	S
Don Julián	Agosto	8	24	31-08-19	09:03	36°30,614	73°00,517	1	55	45	38	12,5	2	S
Don Julián	Agosto	8	25	31-08-19	11:16	36°31,319	72°59,610	1	47	53	37	12,0	3	S
Don Julián	Agosto	8	26	31-08-19	13:21	36°30,845	73°01,910	1	58	42	38	12,0	4	S
Don Julián	Agosto	8	27	31-08-19	17:45	36°31,683	73°00,615	1	60	40	40	12,0	4	SW
Don Julián	Agosto	8	28	01-09-19	06:50	36°28,411	73°00,172	1	49	51	39	11,0	2	S
Don Julián	Agosto	8	29	01-09-19	10:26	36°30,721	73°00,462	1	55	45	37	11,0	2	S
Don Julián	Agosto	8	30	01-09-19	12:48	36°29,810	72°59,321	1	59	41	35	11,5	3	SW
Don Julián	Agosto	8	31	01-09-19	14:37	36°29,716	72°58,614	1	100	0	35	12,0	3	SW
Don Julián	Agosto	8	32	01-09-19	17:20	36°31,107	73°00,321	1	100	0	37	12,0	3	SW

**Tabla 28.** Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta, durante el crucero de adultos 2019, en el sector sur.

Embarcación	Periodo	Región	Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	PROPORCIÓN ESPECIE (%)		Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Velocidad	Dirección
									Anchoveta	Sardina				
Isaac II	Septiembre	XIV	1	24-09-19	08:20	39°23,580	73°24,328	1	0	100	36	11,0	3	S
Isaac II	Septiembre	XIV	2	24-09-19	10:55	39°25,982	73°25,634	1	0	100	40	11,0	5	S
Isaac II	Septiembre	XIV	3	25-09-19	09:10	39°17,744	73°20,537	1	0	100	29	11,0	3	SW
Isaac II	Septiembre	XIV	4	25-09-19	10:52	39°16,296	73°20,570	1	0	100	30	11,0	3	SW
Isaac II	Septiembre	XIV	5	25-09-19	12:49	39°20,982	73°18,868	1	0	100	46	11,5	4	S
Isaac II	Septiembre	XIV	6	26-09-19	09:20	39°25,655	73°26,563	1	0	100	47	11,5	4	S
Isaac II	Septiembre	XIV	7	26-09-19	10:27	39°30,316	73°30,316	1	0	100	58	11,5	4	N
Isaac II	Octubre	XIV	8	01-10-19	16:05	39°46,814	73°25,983	1	59	41	38	11,0	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	9	01-10-19	17:40	39°44,431	73°25,617	1	46	54	31	11,5	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	10	02-10-19	10:07	39°39,623	73°25,324	1	40	60	41	11,0	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	11	02-10-19	14:25	39°30,967	73°20,240	1	46	54	30	11,0	3	S
Isaac II	Octubre	XIV	12	02-10-19	16:12	39°30,090	73°17,953	1	0	53	27	11,5	3	S
Isaac II	Octubre	XIV	13	02-10-19	17:10	39°29,625	73°17,170	1	0	100	25	11,5	4	SW
Isaac II	Octubre	XIV	14	03-10-19	10:35	39°17,762	73°20,152	1	0	100	28	11,5	4	SW
Isaac II	Octubre	XIV	15	03-10-19	13:17	39°09,820	73°19,598	1	0	100	27	12,0	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	16	03-10-19	14:35	39°09,743	73°18,679	1	0	100	25	12,0	3	S
Isaac II	Octubre	XIV	17	04-10-19	09:14	39°29,089	73°19,083	1	0	100	27	12,0	4	S
Isaac II	Octubre	XIV	18	05-10-19	11:00	39°33,487	73°19,744	1	0	100	31	12,0	3	S
Isaac II	Octubre	XIV	19	05-10-19	12:35	39°30,955	73°20,242	1	0	100	32	11,5	4	N
Isaac II	Octubre	XIV	20	07-10-19	17:26	39°36,571	73°22,542	1	0	100	35	12,0	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	21	07-10-19	19:03	39°34,237	73°20,657	1	0	100	32	11,5	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	22	08-10-19	09:45	39°21,553	73°17,767	1	0	100	25	11,0	2	S



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Isaac II	Octubre	XIV	23	08-10-19	10:52	39°20,977	73°18,874	1	0	100	33	12,0	2	S
Isaac II	Octubre	XIV	24	08-10-19	13:11	39°29,010	73°20,407	1	0	100	29	12,0	2	SW
Isaac II	Octubre	XIV	25	08-10-19	14:40	39°28,972	73°20,439	1	0	100	31	12,0	2	SW
Isaac II	Octubre	XIV	26	08-10-19	15:55	39°27,408	73°19,142	1	0	100	28	11,5	2	S
Isaac II	Octubre	XIV	27	08-10-19	16:47	39°26,960	73°18,105	1	0	100	30	12,0	3	S
Isaac II	Octubre	XIV	28	09-10-19	09:23	39°29,046	73°20,367	1	0	100	27	12,5	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	29	09-10-19	12:12	39°30,378	73°20,870	1	0	100	25	12,0	3	SW
Isaac II	Octubre	XIV	30	09-10-19	14:45	39°32,393	73°19,779	1	0	100	28	12,0	4	SW

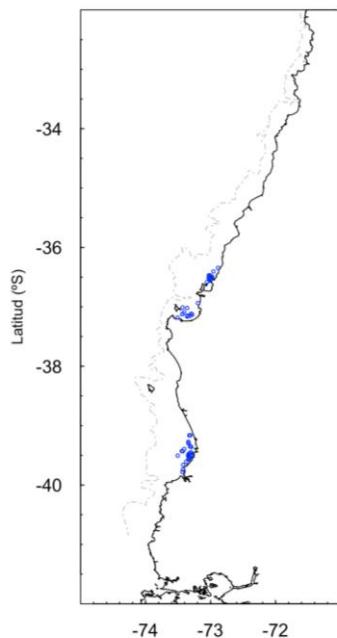


Figura 42. Distribución de los lances de pesca realizados durante el periodo del crucero de adultos en el año 2019, en las regiones del Biobío, de La Araucanía y de Los Ríos, correspondiente a los sectores central y sur, respectivamente.

2.2.2. Composición por tallas

En el sector central, se realizaron 32 lances de pesca, de los cuales se muestrearon 4.149 individuos de sardina común, el 51,1% fueron machos y 48,9% hembras, presentaron una estructura homogénea entre machos y hembras, con una longitud de 14,3 cm (**Tabla 29, Figura 43**). En el caso de la anchoveta, se registraron 3.961 individuos, con una longitud promedio de 15 cm y una proporción de machos de 49,6% sobre 50,4% de hembras (**Tabla 30, Figura 44**).

En el sector sur, se realizaron 30 lances, de los cuales se muestrearon 4.463 individuos de sardina común, con el 53,3% de machos y 46,7% de hembras, con una longitud total de 14,1 cm (**Tabla 29, Figura 43**). En este sector se muestrearon 545 ejemplares de anchoveta, de las cuales el 49,7% fueron machos y el 50,3% hembras, su longitud total fue de 14,1 cm (**Tabla 30, Figura 44**).

**Tabla 29.** Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores central y sur, año 2019.

Sectores	Centro			Sur		
	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total
Sex						
N	2.119	2.030	4.149	2.083	2.380	4.463
\bar{L} (cm)	14,4	14,3	14,3	14,1	14,0	14,1
σ^2 (cm)	1,61	1,56	1,58	0,66	0,50	0,58
σ (cm)	1,27	1,25	1,26	0,81	0,71	0,76
CV (%)	8,89	8,67	8,7	5,79	4,99	5,41

Tabla 30. Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores central y sur, año 2019.

Sectores	Centro			Sur		
	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total
Sex						
N	1.966	1.995	3.961	271	274	545
\bar{L} (cm)	14,8	15,2	15,0	12,1	11,9	12,0
σ^2 (cm)	5,01	5,59	5,30	3,02	2,41	2,71
σ (cm)	2,24	2,36	2,30	1,74	1,55	1,65
CV (%)	14,68	15,9	15,5	14,6	12,7	13,5

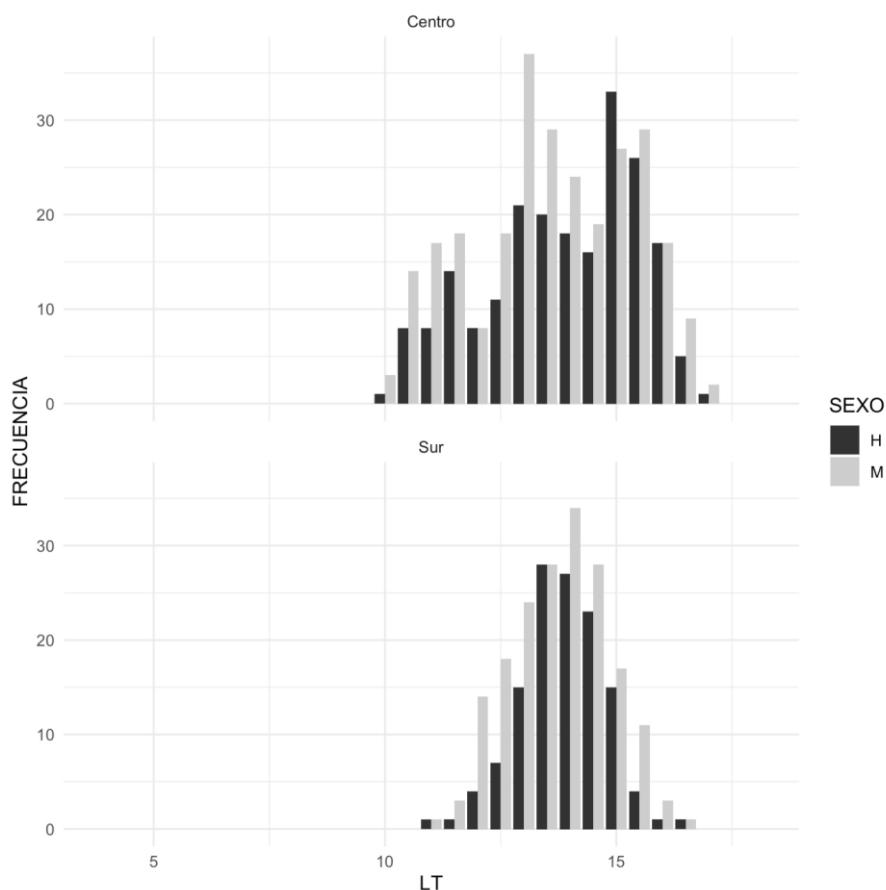


Figura 43. Frecuencias de tallas de sardina común en los sectores central (panel superior) y sur (panel inferior).

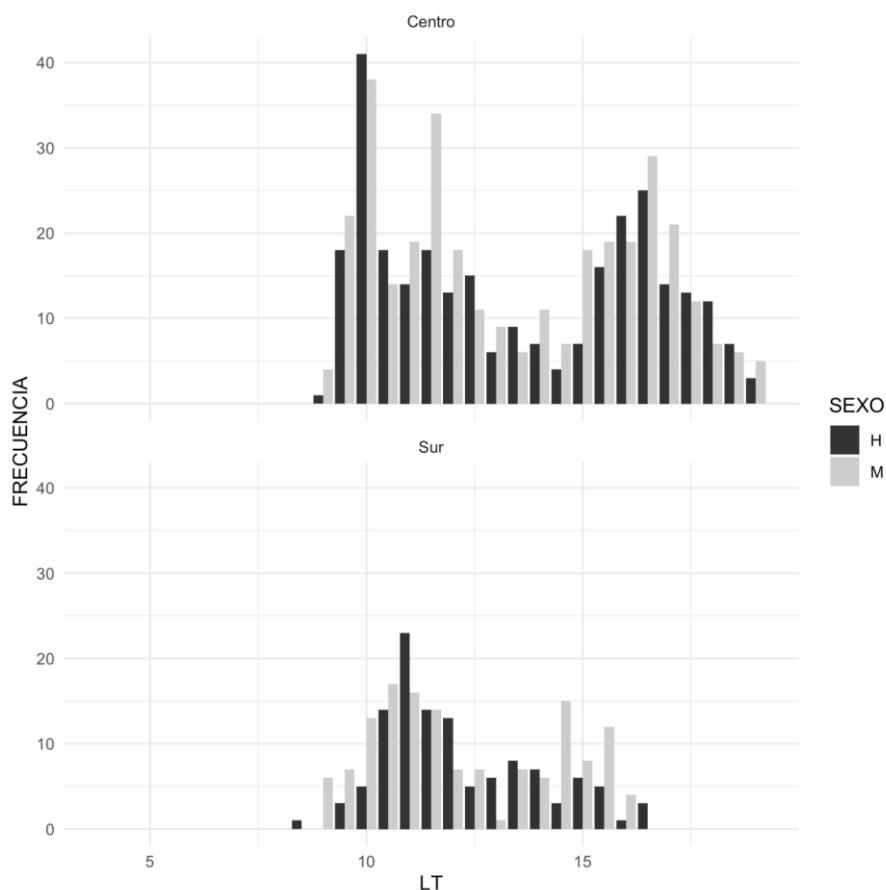


Figura 44. Frecuencias de tallas de anchoveta en los sectores central (panel superior) y sur (panel inferior).



2.2.3. Parámetros reproductivos

Estados de madurez

Anchoveta: Se analizaron 1257 hembras correspondientes a 34 lances. El análisis histológico de los ovarios indicó que el 98,5% de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7), evidenciando que el crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove. De estas hembras, 18 se encontraban en una condición de virginidad; por tanto, se descartaron de los cálculos.

Sardina común: Se analizaron 1.589 hembras correspondientes a 40 lances en el área total, de los cuales 20 provinieron del sector centro y 20 del sector sur. El análisis histológico de los ovarios, indicó que el 98,6% de las hembras se encontraron activas (EMM 3 al 7) en el área total. En el sector centro se encontró 100% de hembras activas, mientras que en el sector sur se encontró 97%.

Indicador de actividad reproductiva (IGS)

La evolución semanal del IGS (%) durante los cruceros de huevos y de adultos (**Tablas 31 y 32**), mostró valores para la anchoveta que aumentaron de 2,9% a 5,5% entre las semanas 34 y 40, mientras que en la sardina común fueron más elevados, con valores que aumentaron de 4,8% a 7,1% en mismo periodo (semanas 34 a 40). Luego en la semana 41 el IGS de anchoveta y sardina común disminuyó a 3,1% y 3,9% respectivamente (**Figura 45**). Después, de la semana 41 a 43 los IGS incrementaron en ambas especies a 6,3% (anchoveta) y a 5,2% (sardina común) (**Figura 46**).

Tabla 31. Fechas y sectores geográficos de los cruceros de huevos y sus respectivos valores de IGS con datos provenientes del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP).

Sector	Coordinadas	Periodo	Semanas en monitoreo reproductivo	IGS Anchoveta	IGS Sardina común
Norte	33°S-34°S	27/10/2019 – 28/10/2019	43; 44	6,3; s/d	5,2; s/d
Centro	34°30'S-35°55'S	04/09/2019 – 08/09/2019	36	2,9	5,6
Centro	36°00'S-37°10'S	20/08/2019 – 25/08/2019	34	2,9	4,8
Sur	37°20'S-41°20'S	02/10/2019 – 12/10/2019	40; 41	5,5; 3,1	7,1; 3,9

(s/d): sin datos proporcionados para el monitoreo reproductivo

Tabla 32. Fechas y sectores geográficos de los cruceros de pesca de adultos y sus respectivos valores de IGS con datos provenientes del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP).

Sector	Coordenadas	Periodo	Semanas en monitoreo reproductivo	IGS Anchoveta	IGS Sardina común
Centro	34°30'S-37°10'S	20/08/2019 – 01/09/2019	34; 35	2,9; 1,6	4,8; 5,7
Sur	37°20'S-41°20'S	24/09/2019 – 09/10/2019	39, 40, 41	3,5; 5,5; 3,1	6,3; 7,1; 3,9

La evolución mensual del IGS (%), en la sardina común se mantuvo >5% desde finales de junio hasta noviembre, mientras que los de anchoveta desde finales de septiembre hasta noviembre (**Figura 46**). El desove de sardina común tuvo mayor cobertura temporal que la anchoveta.

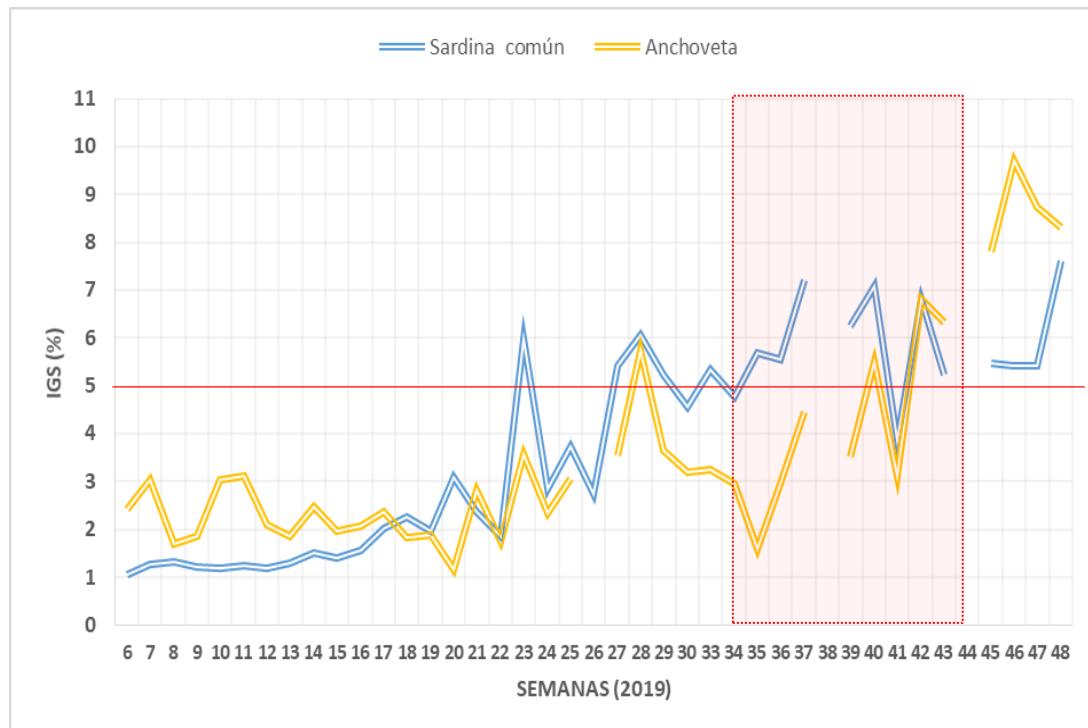


Figura 45. Evolución semanal durante el 2019, del IGS (%) de anchoveta (amarillo) y sardina común (azul). Un valor de IGS $\geq 5\%$ indica que las especies se encuentran en su máximo periodo reproductivo (línea horizontal de color rojo). Donde no hay datos, no hubo muestras para el monitoreo reproductivo. Los datos provienen del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP).



Figura 46. Evolución mensual durante el 2019, del IGS (%) de anchoveta (amarillo) y sardina común (violeta). Un valor de $IGS \geq 5\%$ indica que las especies se encuentran en su máximo periodo reproductivo (línea horizontal de color rojo). Los datos provienen del Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile (IFOP).

Fracción diaria de hembras desovantes

Anchoveta: Considerando los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5), Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7), como pertenecientes al grupo de desove, que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estimó en 0,227, con una varianza de 0,00067 y un coeficiente de variación de 10,5%. Considerando los folículos posovulatorios (FPO) de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 h y 2:00 AM), como correspondientes hembras que desovaron la noche anterior, es decir, con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estimó en 0,182 con una varianza de 0,00054 y un coeficiente de variación de 12,8%. Un test pareado indicó que no existen diferencias entre ambas estimaciones ($t_{calc} = 1,33$, $t_{tabla} = 2,03$). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estimó una fracción diaria de hembras desovantes de 0,205 con una varianza de 0,00027 y un coeficiente de variación de 8,1%

Sardina común: Las estimaciones de fracción desovante para los marcadores de desove utilizados y por zona, se entregan en **Tabla 33**. Para el área total existen diferencias significativas entre las estimaciones efectuadas con estadios Núcleo Migrante e Hidratadas (FPO 0) y las provenientes de los FPO.



Tabla 33. Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por sector y área total para anchoveta y sardina común, año 2019. t calculado para $H_0: FPO\ 0 = FPO\ 1$.

Sector	Estimado	Varianza	CV	t calculado $FPO\ 0 = FPO\ 1$
Anchoveta				
Centro	FPO 0	0,220	0,000696	0,120
	FPO 1	0,190	0,000670	0,140
	FPO 0+1	0,210	0,0000339	0,090
Sur	FPO 0	0,250	0,001660	0,160
	FPO 1	0,130	0,000930	0,230
	FPO 0+1	0,190	0,000824	0,150
Área total	FPO 0	0,230	0,000565	0,100
	FPO 1	0,180	0,000540	0,130
	FPO 0+1	0,200	0,000273	0,080
Sardina común				
Centro	FPO 0	0,085	0,00032	0,209
	FPO 1	0,187	0,00230	0,256
	FPO 0+1	0,136	0,00089	0,218 2,476*
Sur	FPO 0	0,040	0,00012	0,273
	FPO 1	0,217	0,00398	0,291
	FPO 0+1	0,129	0,00097	0,242 2,686*
Área total	FPO 0	0,063	0,00012	0,174
	FPO 1	0,202	0,00153	0,194
	FPO 0+1	0,132	0,00045	0,161 3,595 *

Fecundidad

Anchoveta: Debido al bajo número de hembras hidratadas colectadas, se utilizó la relación entre fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras de largo plazo, esto es, el ajuste con los datos disponibles de 12 años, del 2002 al 2018 (**Figura 47**). Dado que el intercepto en los ajustes anuales, no fue significativamente distinto de 0 ($P > 0,05$ (**Tabla 34**) y a que el ajuste de largo plazo también presentó un intercepto no significativo, se utilizó el ajuste de largo plazo sin intercepto para cálculos de fecundidad media poblacional (**Figura 47, Tabla 35**).

La fecundidad media poblacional resultó en 10000 ovocitos, con una varianza de 342.189 y un coeficiente de variación de 5,8% (**Tabla 37**).

Sardina común: Debido al bajo número de hembras hidratadas para cálculos de fecundidad, se utilizó la recta ajustada a la serie histórica (largo plazo: 2009-2018). Las rectas de la relación entre fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras se muestra en **Figura 48**, siendo muy similar a la estimada de largo plazo (**Tabla 36, Figura 48**). Dado que el intercepto no fue significativo en las regresiones anuales ($P > 0,05$), se utilizó el modelo sin intercepto. En la **Tabla 37**, se presenta la fecundidad parcial promedio para el año 2019 en cada sector y la totalidad de la fecundidad promedio.

Tabla 34. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial, para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH. LP = recta ajustada con los datos de los años 2002 al 2018.

Años	Intercepto (a)	Sa	Pr(a=0)	Pendiente (b)	Sb	Pr(b=0)	Error Estándar	R2	n
2002	-613,4	824,669	0,458	422,38	44,285	<0,001	2.156,15	0,37	158
2003	122,0	580,495	0,834	395,12	34,071	<0,001	1.877,71	0,58	100
2004	600,21	864,321	0,490	360,86	39,082	<0,001	1.787,19	0,56	68
2005	-311,16	677,321	0,651	331,17	40,183	<0,001	1.138,15	0,76	23
2007	-574,21	734,85	0,44	445,11	33,36	<0,001	1.807,76	0,66	92
2009	896,29	717,11	0,23	266,90	38,98	<0,001	1.419,77	0,69	23
2010	925,94	1.033,82	0,38	415,17	56,69	<0,001	1.406,68	0,71	24
2012	-1.735,73	2.892,33	0,55	660,96	130,60	<0,001	2.418,68	0,50	28
2014	-2.186,58	1.937,27	0,27	660,72	78,49	<0,001	3.210,50	0,70	32
2015	-5.204,58	1.692,66	0,01	840,20	100,63	<0,001	1.747,91	0,75	25
2016	3.278,32	1.866,70	0,09	452,23	57,01	<0,001	3.402,02	0,59	34
2018	-4.385,93	1.134,76	0,00	737,47	45,98	<0,001	2.244,56	0,91	28
LP	-170,36	307,24	0,58	404,05	15,83	<0,001	1.963,82	0,57	489

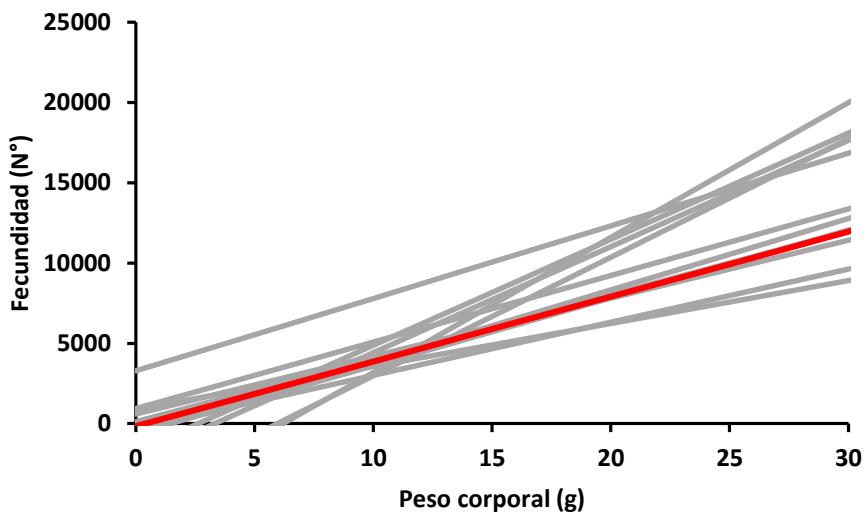


Figura 47. Rectas ajustadas en cada año de aplicación del MPDH (2002 al 2018). Línea roja es el ajuste de largo plazo.

Tabla 35. Parámetros de las regresiones con intercepto cero entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH, entre el 2002 y 2018.

Años	Pendiente (b)	Sb	Pr(b=0)	Error Estándar	R2	n	IC inf. 95%	IC sup. 95%
2002	390,16	9,199	<0,001	2.153,078	0,37	158	372,0	408,3
2003	401,89	10,968	<0,001	1.958,621	0,58	100	360,1	423,7
2004	387,13	9,752	<0,001	1.780,270	0,56	68	367,6	406,6
2005	313,89	13,815	<0,001	1.117,552	0,76	23	285,2	342,5
2007	419,91	8,54	<0,001	1.803,89	0,66	92	403,0	436,9
2009	311,27	16,30	<0,001	1.437,79	0,69	23	277,5	345,1
2010	463,94	15,70	<0,001	1.402,81	0,71	24	431,46	495,42
2012	583,57	20,39	<0,001	2.389,85	0,50	28	541,73	525,12
2014	576,01	23,10	<0,001	3.224,65	0,70	32	528,91	523,12
2015	537,49	24,17	<0,001	2.032,56	0,75	25	487,61	587,36
2016	554,03	21,60	<0,001	3.507,82	0,59	34	520,09	607,96
2018	572,64	21,16	<0,001	2.763,86	0,91	28	529,21	616,06
LP	395,65	4,57	<0,001	1.962,42	0,57	489	386,66	404,64

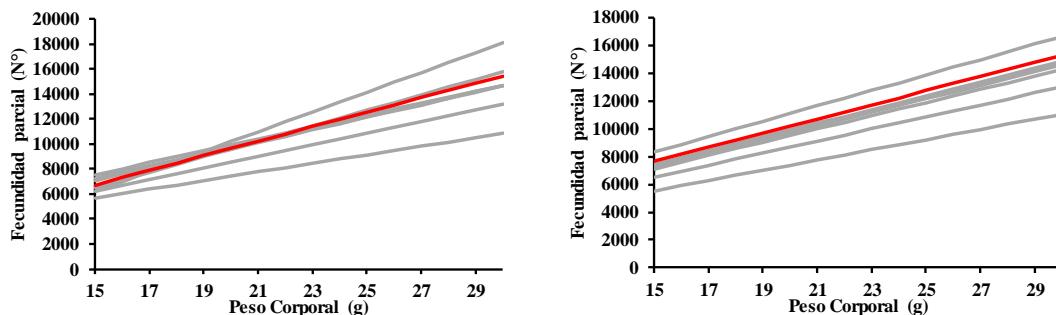


Figura 48. Rectas ajustadas para cada año de aplicación del MPDH (2009 - 2018) en sardina común de la zona centro sur (líneas grises). Línea roja es el ajuste para el año. Izquierda modelo lineal con intercepto ($Y = a + bX$). Derecha modelo sin intercepto ($Y = bX$).

Tabla 36. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPDH. LP indica la relación obtenida al combinar todos los años.

Años	Intercepto (a)	Sa	Pr(a=0)	Pendiente (b)	Sb	Pr(b=0)	Error Estándar	R2	n
2009	-629,76	568,76	0,27	460,13	25,83	<0,01	1.601,33	0,86	54
2010	552,32	1.021,54	0,59	343,46	48,89	<0,01	1.972,78	0,58	38
2011	447,82	2.305,40	0,85	474,20	108,20	<0,01	2.051,32	0,37	35
2013	-2.793,88	1.580,82	0,09	619,16	82,88	<0,01	1.784,05	0,62	35
2014	-5.655,36	2.534,70	0,03	791,71	107,71	<0,01	2.546,53	0,62	35
2015	-148,95	3.814,94	0,97	494,45	494,45	<0,01	2.669,81	0,29	30
2016	-455,35	1.706,99	0,79	503,17	503,17	<0,01	2.021,29	0,64	35
2018	-1.985,56	2.438,71	0,42	581,53	90,54	<0,01	2.774,99	0,60	30
LP	-1.247,48	527,78	0,02	528,86	22,81	<0,01	2.416,95	0,65	292
2009	0	-	-	433,72	9,92	<0,01	1.604,73	0,86	54



2010	0	-	-	368,56	15,17	<0,01	1.953,82	0,57	38
2011	0	-	-	494,97	16,04	<0,01	2.022,08	0,37	35
2013	0	-	-	475,37	16,30	<0,01	1.838,92	0,96	35
2014	0	-	-	554,58	19,36	<0,01	2.691,39	0,96	35
2015	0	-	-	488,80	18,31	<0,01	2.623,45	0,96	30
2016	0	-	-	485,89	13,05	<0,01	1.993,49	0,98	35
2018	0	-	-	509,43	18,70	<0,01	2.758,82	0,96	30
LP	0	-	-	476,92	6,16	<0,01	2.435,92	0,95	292

Tabla 37. Estimaciones de fecundidad parcial media por sector y área total para anchoveta y sardina común, año 2019.

Especie	Sector	Estimado	Varianza	CV
Anchoveta	Centro	10.771	314.221	0,052
	Sur	4.636	677.678	0,178
	Total	10.000	342.189	0,058
Sardina	Centro	11.758	433.585	0,056
	Sur	10.404	42.979	0,020
	Total	11.081	138.325	0,033

Peso promedio y proporción de hembras

Anchoveta: El peso total del cuerpo de las hembras hidratadas, estadio que se caracteriza por el incremento temporal del peso producido por la retención de agua en el ovario, se calculó de acuerdo al ajuste obtenido de una ecuación lineal estimada con aquellas hembras maduras de cada lance y que histológicamente no clasificaron como hembras hidratadas, siendo esta:

$$PT = 0,8207 + 1,0282*(PT-PG)$$

R² = 0,97

N = 1.226

El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 26,8 gramos, con una varianza de 2,448 y un coeficiente de variación de 5,8%.

Sardina común: El peso total del cuerpo de hembras hidratadas, se corrigió de acuerdo al ajuste obtenido de una ecuación lineal estimada con aquellas hembras maduras de cada lance y que histológicamente no clasificaron como hembras hidratadas

Las estimaciones de peso promedio de hembra madura y proporción por sector y el total se entregan en **Tabla 38**.

**Tabla 38.** Estimaciones de peso promedio y proporción de hembra madura por sector y área total para anchoveta y sardina común, año 2019.

Parámetro	Especie	Sector	Estimado	Varianza	CV
(W)	Anchoveta	Centro	28,9	2,239	0,052
		Sur	12,3	5,182	0,185
		Total	26,8	2,448	0,058
	Sardina Común	Centro	26,47	2,139	0,055
		Sur	23,04	0,117	0,015
		Total	24,76	0,625	0,032
(R)	Proporción hembras Anchoveta	Centro	0,596	0,00069	0,044
		Sur	0,441	0,00053	0,052
		Total	0,579	0,00064	0,044
	Sardina común	Centro	0,452	0,00042	0,046
		Sur	0,529	0,00029	0,032
		Total	0,491	0,00020	0,029

2.2.4. Biomasa desovante

La biomasa del stock desovante se sustenta en la producción diaria de huevos de cada estrato geográfico (sectores centro y sur), los cuales se consideran independientes. En el 2019, la biomasa desovante de la anchoveta fue estimada en sólo 8.785 toneladas en el sector centro, mientras que en el sector sur fue de 127.804 toneladas (**Tabla 39**). La sardina común presentó mayor biomasa que la anchoveta en el sector centro con 44.752 toneladas y en el sur con 58.581 toneladas.

El estimado de biomasa estratificado fue: 136.588 toneladas de anchoveta y 103.333 toneladas de sardina común (**Tabla 39**).



Tabla 39. Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (año 2019). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa.

Parámetros	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Fracción desovante, S	0,21 (0,080)	0,19 (0,150)	0,136 (0,218)	0,129 (0,242)
Peso promedio, W (g)	28,9 (0,052)	12,3 (0,185)	26,5 (0,055)	23,0 (0,015)
Proporción de hembras, R	0,596 (0,044)	0,441 (0,052)	0,452 (0,046)	0,529 (0,032)
Fecundidad media, F	10.771 (0,052)	4.636 (0,178)	11.758 (0,056)	10.404 (0,020)
Fecundidad relativa, RF (huevo g ⁻¹)				
Área de estudio, A (km ²)	12.271	12.770	12.271	12.770
Área de desove, A_1 (km ²)	3.002	3.481	2.160	3.552
P_0 (huevo/m ² /día)	136,5 (0,159)	1.159,5 (0,161)	565,1 (0,214)	509,1 (0,174)
Biomasa desovante, B (t)	8.785	127.804	44.752	58.581
Biomasa total, B (t)	136.588		103.333	



4. Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona

4.1. Indicadores propuestos para la zona centro sur de Chile por la Universidad de Concepción

4.1.1. Anomalías de temperatura superficial del mar satelital y de clorofila-a satelitales, anomalías de temperatura y salinidad a 10 m de profundidad, junto con la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur (2002-2016).

En el sector centro (34°S - 37°S), la anomalía de cloa satelital entre el 2002 y 2016 fluctuó entre -0,6 y 1,7 mg/m³, con una tendencia a la disminución y valores negativos aparecieron desde el 2012 al 2018, de -0,1 a -0,6 mg/m³ (**Figura 49a**). Las anomalías de TSM (satelital) y de temperatura del mar a 10 m (*in situ*) fueron positivas durante el periodo 2014-2016, valores máximos se presentaron en el 2015, cercanos a +0,7°C (satelital) y +1,3°C (*in situ*) (**Figura 49b, 49c**). Dos periodos con baja temperatura se registraron entre el 2009-2013, las que fluctuaron de -0,1°C a -0,7°C y más tarde en el 2018 con valores cercanos a -0,3°C.

En el sector sur ($37^{\circ}30'\text{S}$ – 41°S) la anomalía de cloa durante los años 2002 y 2016 varió entre -1,4 y 2,2 mg/m³ (**Figura 49a**). Predominaron las anomalías positivas, se destacaron años >0,5 mg m⁻³ en el 2005, 2009-2011, 2013 y 2016. Anomalías negativas que oscilaron entre -0,1 y -1,4 mg m⁻³ se presentaron en tres periodos 2003-2004, 2006-2008 (cercanos a cero) y 2014-2015. Ambas anomalías de temperatura (TSM satelital e *in situ* a 10 m) fueron similares y fluctuaron entre -1,3°C y +0,74°C (**Figura 49b, 49c**). Anomalías positivas se detectaron en los años 2003, 2004, 2008 y entre el 2014 y 2016 con los máximos (>0,4°C), por otra parte, las anomalías negativas más intensas se registraron durante el 2007 -0,6°C (satelital) y -1,3°C (*in situ*).

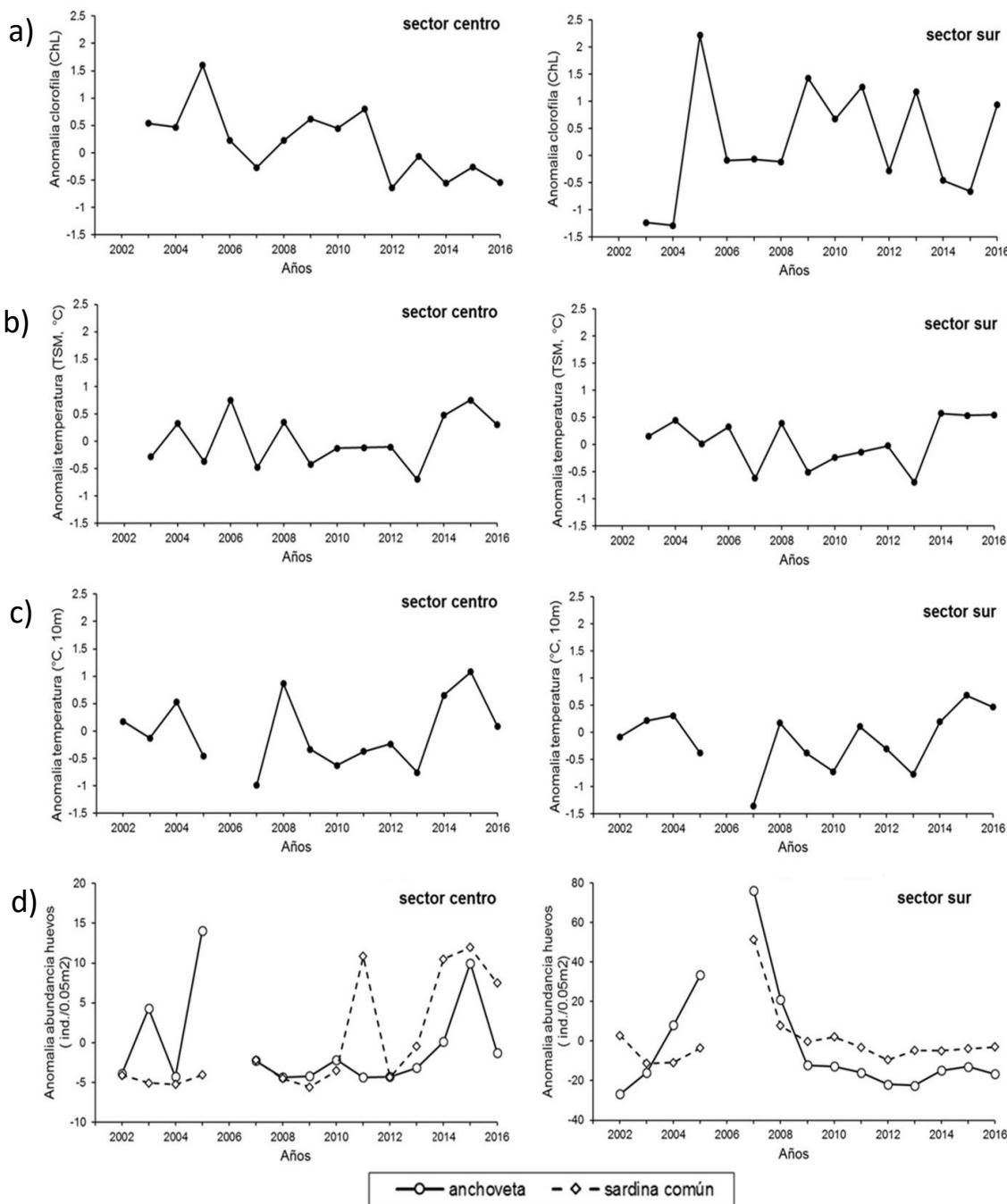


Figura 49. Series de anomalías (2002 - 2016) de: a) clorofila-a, b) temperatura superficial del mar satelital ($^{\circ}\text{C}$), c) temperatura *in situ* ($^{\circ}\text{C}$) a 10 m de profundidad y d) abundancia de huevos (huevos/0,05 m²) de anchoveta y de sardina común en el sector centro (panel izquierdo) y sur (panel derecho).



4.1.2. Variabilidad de centros de masa de distribuciones de huevos (de anchoveta y sardina común entre los años 2002 y 2019 en los sectores geográficos (norte, centro y sur) de la zona centro sur de Chile.

Comparativamente, los centroides de sardina común tendieron a ubicarse en mayores latitudes que los de anchoveta, los desplazamientos latitudinales de los centroides de ambas especies tuvieron patrones semejantes dentro de cada sector (excepto en el norte), los desplazamientos latitudinales no fueron concordantes entre sectores y los desplazamientos dentro de cada sector, no coincidieron con el desplazamiento de los centroides obtenidos con los datos totales de los tres sectores en conjunto (total población) (**Figura 50**). Al estimar los valores promedios de temperatura, salinidad y fluorescencia a 10 m de profundidad y en la latitud en que se encontraron los centroides de cada especie, se logró apreciar que las temperaturas y salinidades a las que se encontraron los huevos de sardina común, fueron similares o más bajas que en las que se encontraron los huevos de anchoveta (**Figura 51**).

En el sector norte la posición del centroide de distribución de huevos de anchoveta permaneció entre 33,25°S y 34°S, con temperaturas entre 11,8° y 13,8°C, salinidades de 33,5 a 34,5 y fluorescencia entre 4 y 18 mg/m³ (**Figuras 50 y 51**). Entre los años 2014-2016, el centroide se desplazó al norte de 34°S y se asoció a incrementos de temperatura de 11,8°C a 13,8°C, salinidades entre 34,3-34,5 y fluorescencia de 5 a 7 mg/m³. Al comparar los años 2018 y 2019, también se observó un desplazamiento del centroide hacia el norte; de 33,63°S a 33,37°S y se asoció a temperaturas de 12,6°C, salinidades 34,4 y fluorescencia <3,6 mg/m³. Los huevos de sardina común, presentaron una distribución orientada hacia el norte del sector de estudio (33°S-33,8°S), asociados a temperaturas entre 11,9°C y 12,9°C, salinidades entre 34-34,3 y fluorescencia de 6 a 27 mg/m³. Del 2014 al 2018, se detectó un desplazamiento del centro de masa hacia latitudes ~33,75°S y se relacionó con leves variaciones de temperatura de 12,5°C a 13°C y de salinidad de 34,1 a 34,3, pero con una disminución notoria de la fluorescencia de 28 a 6 mg/m³ (**Figuras 50 y 51**).

El sector centro mostró desplazamientos hacia el norte de los centros de masa de anchoveta y sardina común, de 35,75°S a 37,25°S, asociados a rangos de temperatura de 10,8°C a 13°C, salinidades de 33 a 34,4 y fluorescencia de 1 a 28 mg/m³ (**Figuras 50 y 51**). Entre los años 2014 y 2018, el centro de masa de ambas especies se desplazó hacia el norte, desde 37°S a 36°S y se asoció a un incremento en la salinidad de 33 a 34,4, pero a una disminución en la temperatura de 13°C a 11,3°C y en la fluorescencia, de 9 a 2 mg/m³. En cambio, en los años 2018 y 2019, en ambas especies el centro de masa se desplazó a mayores latitudes, de 36,75°S a 37°S, asociado a temperatura de 11,26°C a 11,57°C, mayores fluorescencias de 1,2 a 7,7 mg m⁻³ y salinidad que disminuyeron de 34,3 a 33,3.

En el sector sur los centroides de distribución de huevos en ambas especies, del año 2009 al 2015 se desplazaron hacia el sur (de 38,5°S a 39,7°S) y se asociaron a estrechos rangos de temperatura, de 10,5° a 12,5°C, salinidades entre 32,5 y 34 y fluorescencia de 3 a 14 mg/m³ (**Figuras 50 y 51**). Luego del 2018 al 2019 sólo la sardina común siguió el mismo desplazamiento hacia el sur, pero a menor latitud (de 38,8°S a 39,2°S) y los centros de masa de anchoveta se desplazaron hacia el norte (de 39,2°S a 38,7°S), ambos desplazamientos estuvieron asociados a una disminución en la temperatura

de 12,6°C a 11,5°C y en fluorescencia de 3,9 a 2,3 mg/m³, pero se relacionaron con un incremento en la salinidad de 32,8 a 33,7.

Los centroides de las distribuciones totales de huevos de anchoveta y sardina común (norte, centro y sur), entre los años 2003 y 2007 presentaron un desplazamiento hacia el sur en ~39°S (**Figura 50d**). Luego, entre el 2007 y 2016 la anchoveta se desplazó al norte ~37°S y la sardina común, aunque con mayores variaciones en latitudes, se desplazó hacia 37,5°S. En el año 2019 el centroide de la anchoveta se encontró levemente hacia el norte y el de la sardina común hacia el sur, ambas especies en ~38°S.

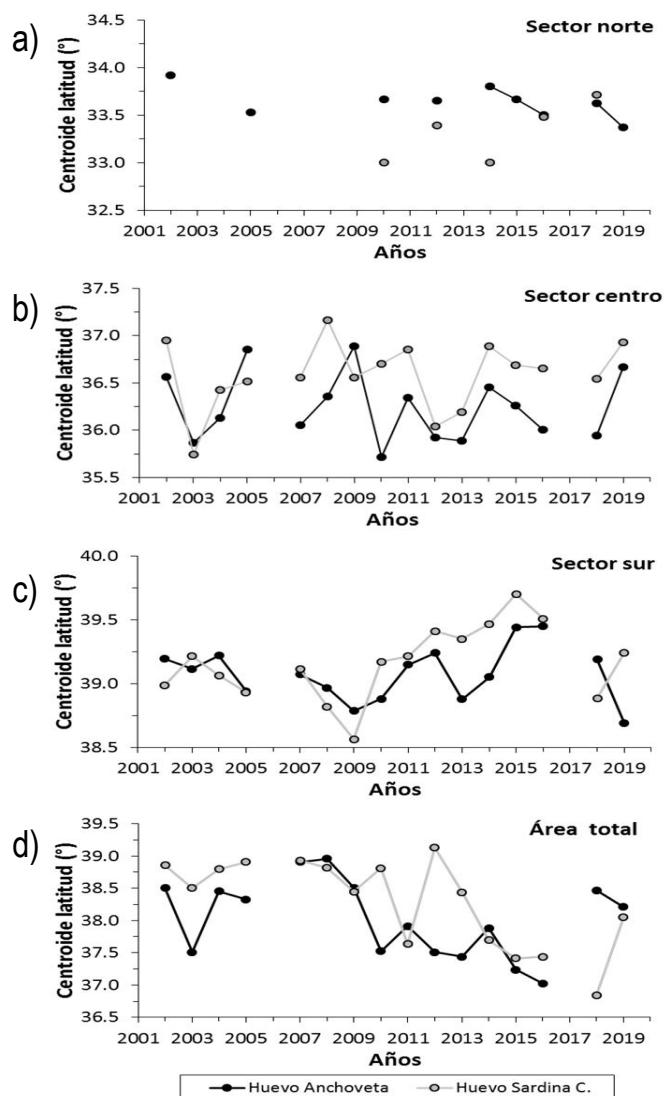


Figura 50. Variación latitudinal del centroide (°S) de distribución de huevos de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris) en los sectores: a) norte, b) central, c) sur y d) en el área total de estudio, entre los años 2002 al 2019.

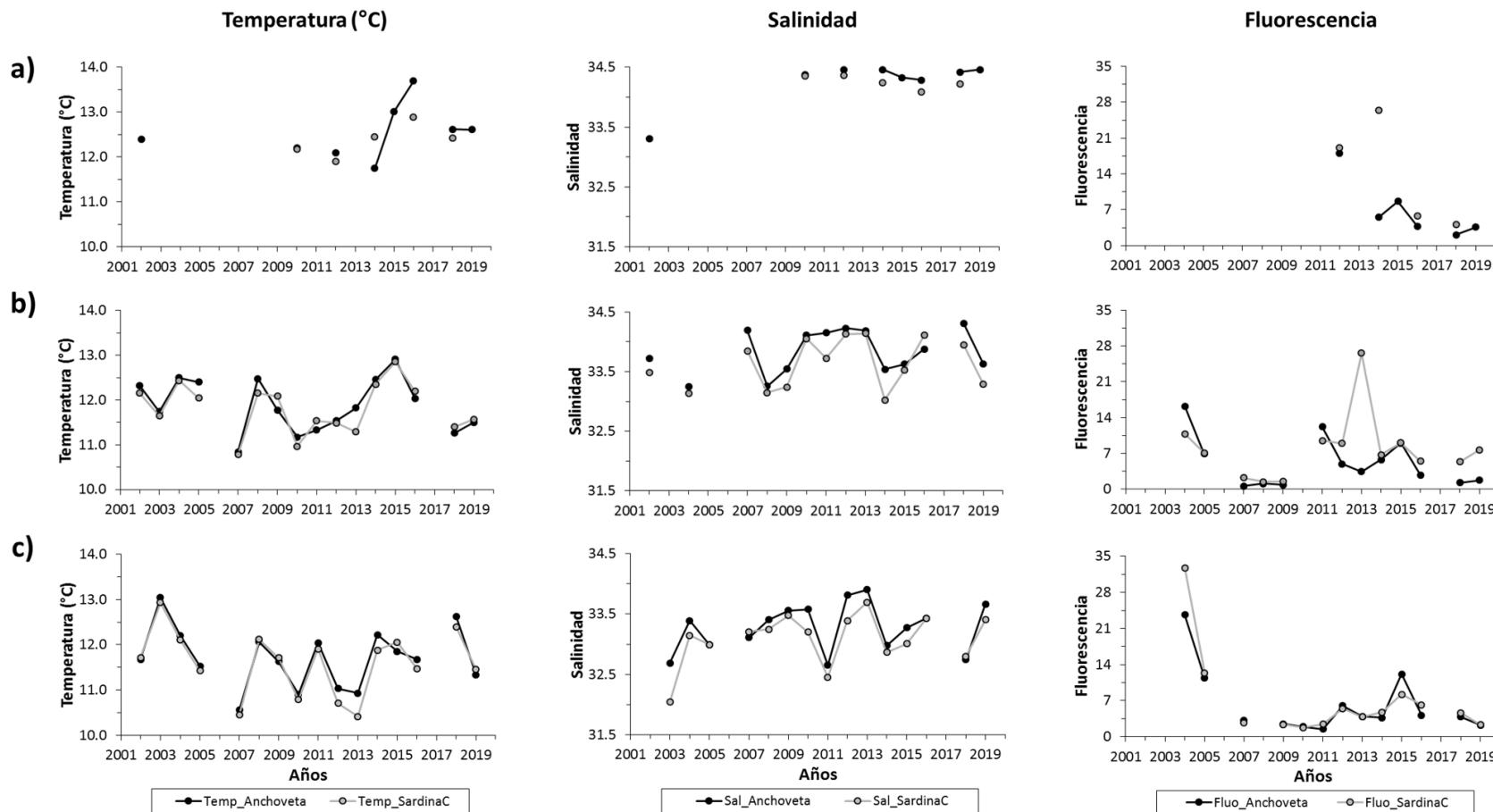


Figura 51. Valores promedios de temperatura, salinidad y fluorescencia a 10 m de profundidad, en la latitud en que se encontraron los centroides de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris), por sector: a) norte, b) centro y c) sur, en el periodo 2002 - 2019.



4.1.3. Índicador de caudales de los principales ríos en la zona Centro sur de Chile, asociado a la abundancia de huevos.

a. Análisis histórico de los caudales medios de los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia

Los mayores valores promedio de caudales de ríos en la serie histórica (2002 - 2018) se presentaron en el Biobío (1,187 m³/s), seguido por los ríos Toltén (694 m³/s) y Valdivia (635 m³/s), mientras que, el caudal más bajo se registró en el río Itata (427 m³/s) (**Figura 52**).

En el río Itata, durante 7 años: 2002, 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2017, los caudales superaron el promedio histórico (427 m³/s). Caudales <300 m³/s, se presentaron en los años 2003, 2007, 2010, 2012, 2013, 2016 y 2018. Finalmente, en los años 2004, 2008 y 2011, los caudales fueron similares al promedio histórico (**Figura 52**). Los caudales de los ríos Biobío, Toltén y Valdivia, durante los primeros años de la serie (2002 - 2006 y 2008 - 2009) fueron mayores que el promedio histórico (Biobío: 1187 m³/s; Toltén: 694 m³/s; Valdivia: 635 m³/s). En cambio, caudales bajos se registraron principalmente al final de la serie histórica (2007, 2010, 2011, 2012, 2013, 2016). En los años 2017 y 2018, los caudales fueron bajos en el río Biobío, en comparación al promedio histórico, mientras que los ríos Toltén y Valdivia, registraron valores similares a los promedios históricos (**Figura 52**).

b. Análisis histórico de las precipitaciones asociadas a los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia

La serie de precipitaciones (2002 - 2018), mostró los mayores valores asociados al río Valdivia (189 mm), mientras que menores valores fueron detectados en los sectores adyacentes a los ríos Biobío (88 mm) e Itata (69 mm) (**Figura 52**). Las estaciones fluviales y meteorológicas adyacentes al río Toltén, no registraron datos continuos de precipitación durante el periodo analizado (sin datos). El patrón de variación de las precipitaciones en las zonas adyacentes a los ríos Itata, Biobío y Valdivia, fue similar, donde los valores más altos, se presentaron principalmente al inicio de la serie (2002, 2004, 2005, 2006) y disminuyeron entre los años 2007, 2010, 2011, 2012 y 2016. En los años 2017 y 2018, los valores de precipitación asociados a los ríos Itata y Biobío fueron mayores e iguales al promedio histórico. En cambio, en igual periodo las precipitaciones en el río Valdivia disminuyeron y fueron menor al promedio histórico.

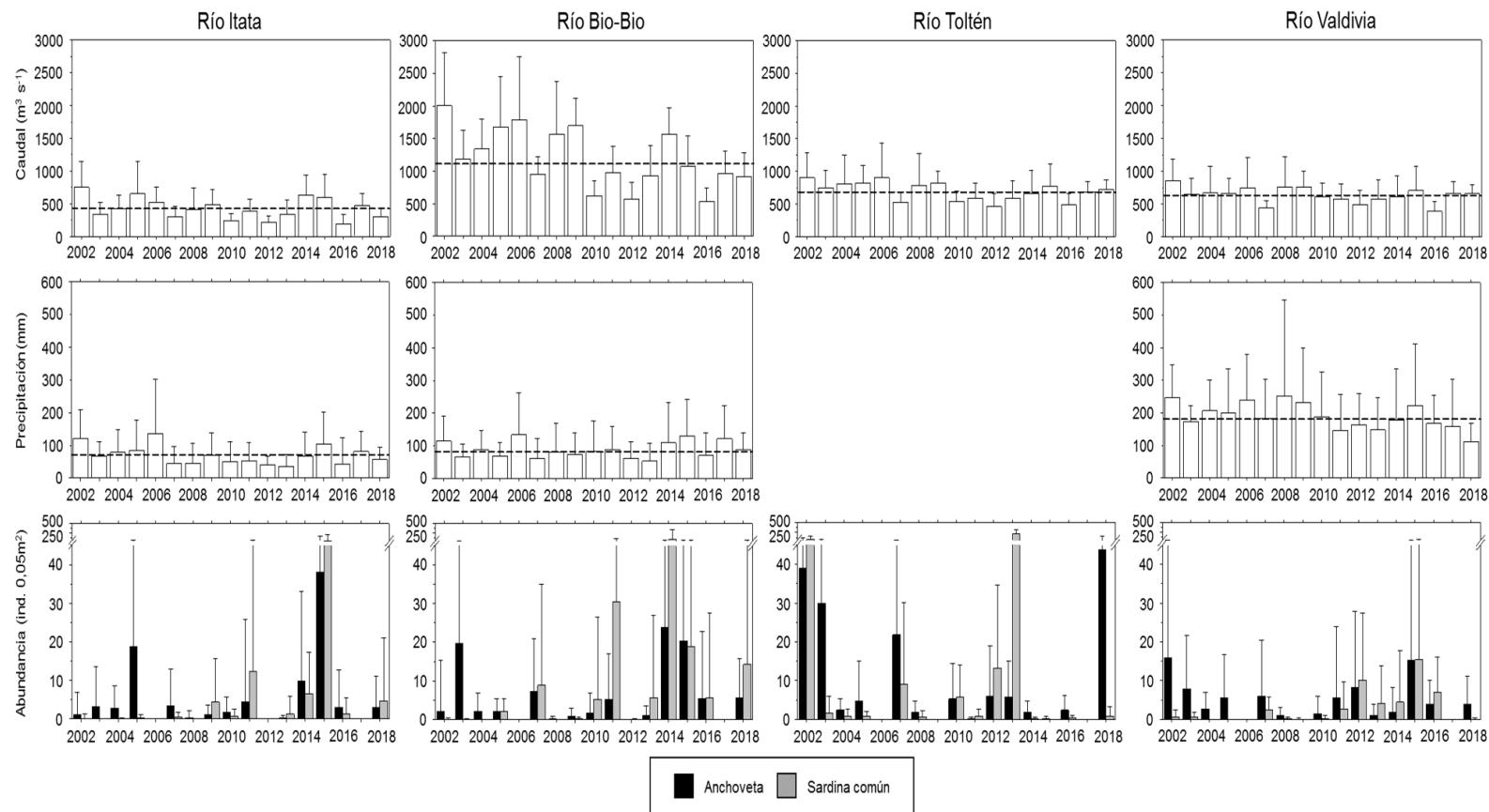


Figura 52. Valores promedio de los caudales (panel superior) y precipitaciones (panel central) de los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia, entre julio y diciembre desde el año 2002 al 2018. Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común adyacente a los ríos en el periodo de los cruceros 2002 - 2018 (panel inferior).



c. Relación de los valores promedios de caudales y pluviometría, con la abundancia de huevos.

La abundancia de huevos de anchoveta (huevos/0,05 m²), presentó fluctuaciones significativas entre los años 2002 y 2005, donde aumentaron en los sectores adyacentes a los ríos Itata (<19 huevos/0,05 m²), Biobío (<21 huevos/0,05 m²), Toltén (<37 huevos/0,05 m²) y Valdivia (<14 huevos/0,05 m²) y se asociaron a importantes variaciones en los caudales de los ríos Itata <750 m³/s; Biobío <2002 m³/s; Toltén: <900 m³/s¹; Valdivia: <900 m³/s, además a las precipitaciones de los ríos Itata <120 mm; Biobío <160 mm; Valdivia <250 mm (**Figura 52**). En los años 2014 y 2015, se presentaron las máximas abundancias adyacentes a los ríos Itata (<37 huevos/0,05 m²), Biobío (<24 huevos/0,05 m²) y Valdivia (<15 huevos/0,05 m²), con caudales y precipitaciones mayores al promedio histórico. En cambio, en la zona del río Toltén la mayor abundancia de huevos (<44 huevos/0,05 m²) se presentó en los años 2002, 2003, 2007 y 2018 y se asoció a un alto caudal (<1000 m³/s). Finalmente, entre los años 2016 y 2018, se observaron abundancias similares en los sectores adyacentes a los ríos Itata, Biobío y Valdivia con caudales similares al promedio histórico y precipitaciones variables entre años.

La abundancia de huevos de sardina común fue baja (<10 huevos/0,05 m²) durante los primeros 6 años de la serie (2002 - 2009), en los sectores adyacentes a los ríos Itata, Biobío y Valdivia (**Figura 52**). Estas abundancias se asociaron con importantes fluctuaciones en los caudales (Itata <750 m³/s; Biobío <2000 m³/s; Valdivia <900 m³/s) y precipitaciones (Itata <150 mm; Biobío <160 mm; Valdivia <270 mm). En cambio, una alta abundancia de huevos (<230 huevos/0,05 m²) se observó durante los últimos años de la serie (2013 - 2015) en los ríos Itata, Biobío y Toltén. En el río Valdivia, la principal presencia de huevos comprendió un periodo más amplio (2011 - 2016) y la abundancia se asoció a un leve incremento de los caudales y precipitaciones. Finalmente, en el 2018 se observó un incremento de la abundancia de huevos asociados a los ríos Itata y Biobío, en cambio, en los ríos Toltén y Valdivia se presentó una disminución de ella. Respecto a los ríos Itata y Biobío, los valores de caudal y pluviometría fueron menores que el promedio histórico, y por el contrario en los ríos Toltén y Valdivia, fueron similares al promedio histórico en el caso de los caudales, mientras que, con la pluviometría, los valores fueron menores.

Los resultados del análisis de correlación entre la serie histórica de caudales, precipitaciones y abundancias de huevos de anchoveta y sardina común, asociados a los diferentes ríos se presenta en la **Tabla 40**. Para anchoveta, la abundancia de huevos mostró una correlación significativa con los valores de caudales y precipitaciones asociados a los ríos Itata y Biobío, fluctuando entre 0,30 y 0,43. Para sardina común, la abundancia de huevos exhibió una correlación significativa con los valores de caudales y precipitaciones asociados a los ríos Biobío y Valdivia, siendo con este último la mayor correlación (>0,34). En cambio, la abundancia de huevos de sardina en el río Itata presentó una baja correlación con los valores de caudal (0,20).



Tabla 40. Valores de correlación y valor p, asociado (en paréntesis), entre la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común y con el caudal de los ríos y precipitación (valor en negrilla son valores significativos p <0,05).

RÍOS								
	Itata		Biobío		Toltén		Valdivia	
Abundancia	Caudal	Precipitación	Caudal	Precipitación	Caudal	Precipitación	Caudal	Precipitación
(huevo 0,05m ²)	(m s ⁻¹)	(mm)	(m s ⁻¹)	(mm)	(m s ⁻¹)	(mm)	(m s ⁻¹)	(mm)
Anchoveta	0,39 (0,028)	0,43 (0,011)	0,30 (0,05)	0,4 (0,014)	-0,2 (0,795)	- (0,88)	-0,33 (0,88)	-0,14 (0,87)
Sardina común	0,20 (0,067)	0,16 (0,61)	0,32 (0,051)	0,31 (0,027)	-0,3 (0,281)	- (0,037)	0,54 (0,037)	0,34 (0,021)

4.1.4. Indicador de la anomalía acumulada de temperatura superficial del mar y de la clorofila-a (satelitales)

La anomalía de la TSM en el sector centro norte tuvo mayor variabilidad, de -2,3°C a 2,5°C, que en el sector centro sur de -1,5°C a 1,6°C (**Figura 53**). El patrón de la anomalía acumulada fue bastante similar entre los sectores centro norte y centro sur. A partir del año 2004, en ambos sectores aumentó la anomalía acumulada hasta llegar a un máximo valor en el año 2007, con 6,5°C en el sector centro y 10,7°C en el sur. Desde el 2007 comenzó un paulatino decrecimiento de la anomalía acumulada en ambos sectores, con valores mínimos en el 2015, luego hubo un incremento desde el 2015 hasta mediados del 2017 y finalmente entre los años 2017 y 2018 se estabilizó la anomalía acumulada de TSM y nuevamente disminuyeron a finales del 2019.

En el sector centro norte, la anomalía de clorofila-a presentó valores entre -2 y 2,5 mg/m³, mientras que en el centro sur varió de -3,6 a 4,4 mg/m³ (**Figura 54**). En general, la anomalía acumulada de clorofila-a, en ambos sectores presentó un patrón completamente diferente. En el sector centro norte, a partir del año 2003 aumentaron paulatinamente las concentraciones de cloa, con un máximo en el 2012 con 16,5 mg/m³. Posteriormente, disminuyeron las concentraciones hasta un mínimo de 1 mg/m³ a finales del 2014. Luego, hubo un abrupto incremento entre el 2015 y finales del 2016, con valores ~10 mg/m³. A finales del año 2016 los valores de la anomalía acumulada de clorofila-a disminuyeron paulatinamente hasta 2 mg/m³ a finales del año 2019. En el sector centro sur, predominaron valores negativos (menores al promedio). Una marcada disminución en las concentraciones de cloa se observó desde mediados del 2003 hasta el 2005, con anomalías negativas inferiores a 12 mg/m³, luego se mantuvieron relativamente estables hasta el 2017 (6 mg/m³). Entre mediados del 2017 y fines del 2019 las anomalías se estabilizaron con valores cercanos al promedio, en comparación al largo periodo de valores negativos previamente descrito.

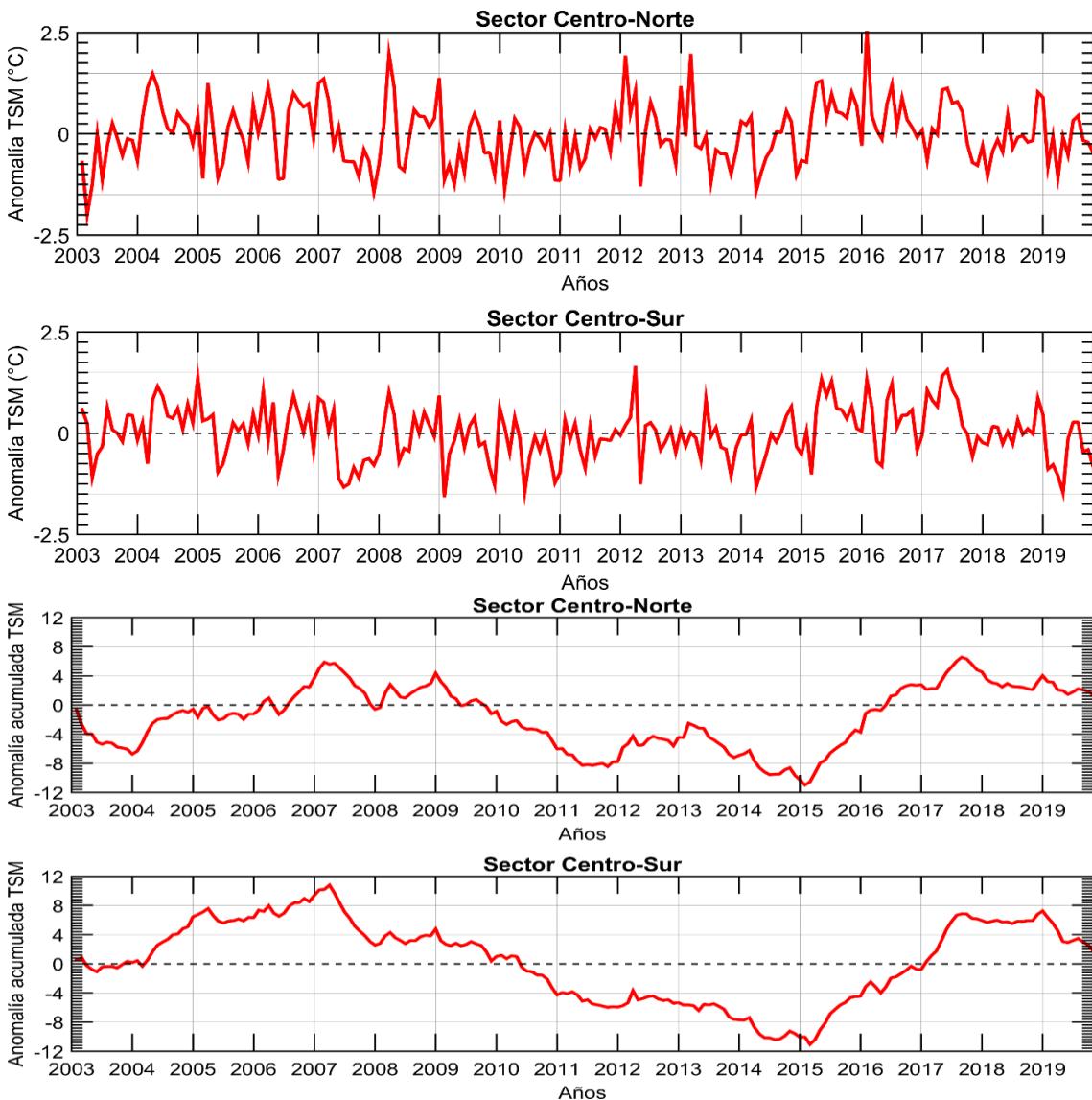


Figura 53. Series temporales de la anomalía de la temperatura superficial del mar y su anomalía acumulada en los sectores centro norte y centro sur, entre los años 2003 y 2019.

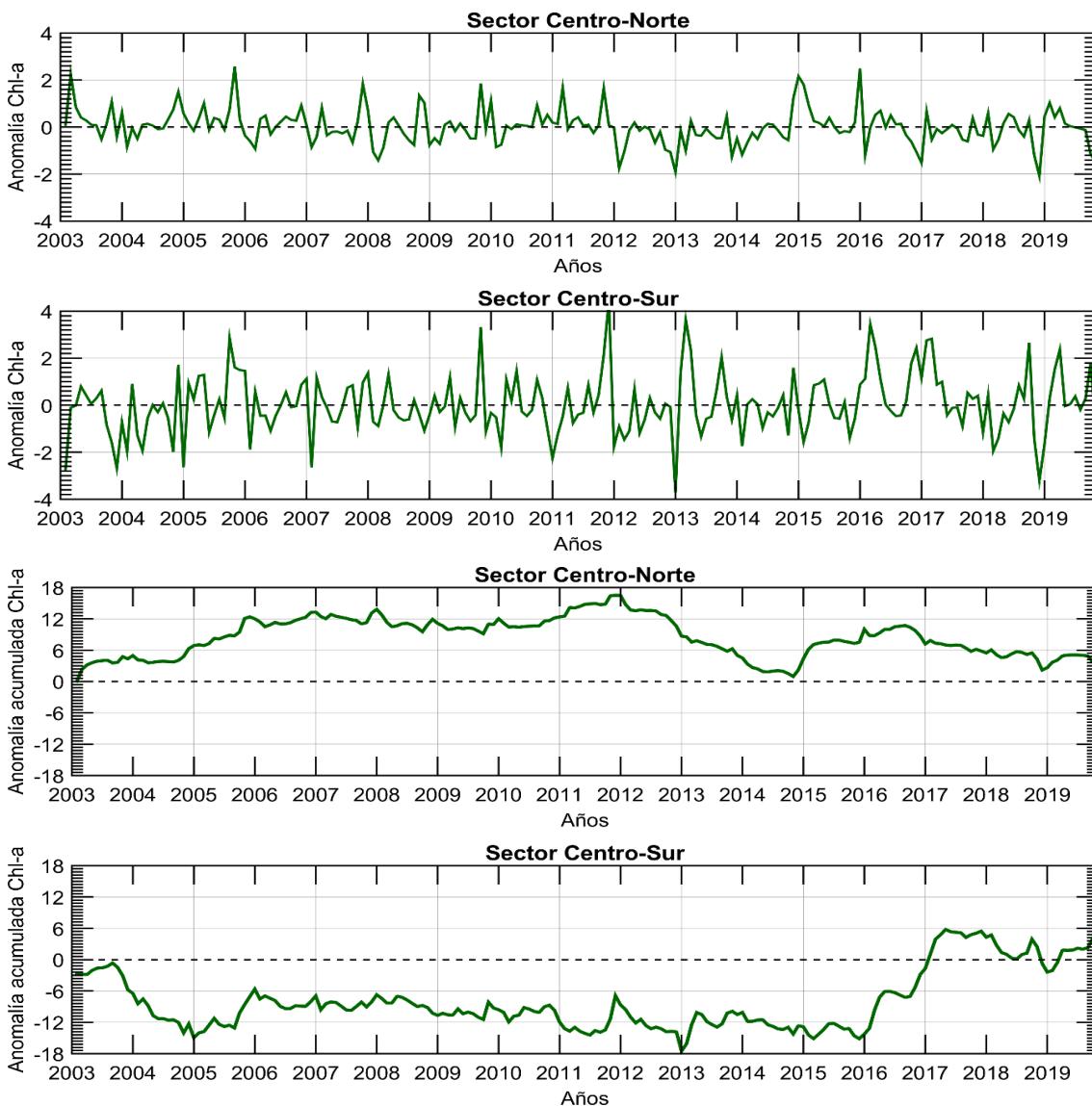


Figura 54. Series temporales de la anomalía de clorofila-a y su anomalía acumulada -a en los sectores centro norte y centro sur, entre los años 2003 y 2019.



4.1.5. Índice de abundancia de huevos

El índice de densidad de huevos fue analizado según factores fijos: a) periodo: 2002 al 2019, excepto los años 2006 y 2017 sin crucero MPDH; b) en los tres sectores: norte (34°S - 35°S); centro ($34^{\circ}\text{30}'\text{S}$ - $37^{\circ}10'\text{S}$) y sur ($37^{\circ}30'\text{S}$ - $41^{\circ}20'\text{S}$) y c) se consideraron tres estratos de profundidad: 0-100 m, 100-200 m y >200 m. Los modelos que se ajustaron incluyeron los tres factores y se diferenciaron entre sí solamente en la condición elegida para el error aleatorio (**Figura 55**). El criterio de información Akaike (AIC) favoreció al modelo con estructura de error binomial negativa (**Tabla 41**), se resume el índice de huevos estandarizado, según el modelo binomial negativo para el estrato de profundidad somero y zona sur (**Tabla 42**).

Tabla 41. Desempeño estadístico de los modelos utilizados para estandarizar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (parámetros = 18 coeficientes). Abreviaciones: g.l. (grados de libertad), Dev. Nula (devianza nula), Dev. Res. (devianza residual), Dev. Expl (desvianza explicada), AIC (criterio de información de Akaike)

Modelo	Especie	g. l.	Dev. Nula	Dev. Res.	Dev. Expl (%)	AIC
Binomial negativo	Anchoveta	6.083	4.957,9	3.627,6	26,8	20.869
	Sardina	6.086	3.270,7	2.452,0	25,0	14.186
Poisson	Anchoveta	6.083	438.352	323.995	26,1	331.272,5
	Sardina	6.086	362.732	293.165	19,2	297.650,7
Tweedie	Anchoveta	6.083	91.636	65.703	28,3	22.426,2
	Sardina	6.086	90.622	67.721	25,3	16.380,2

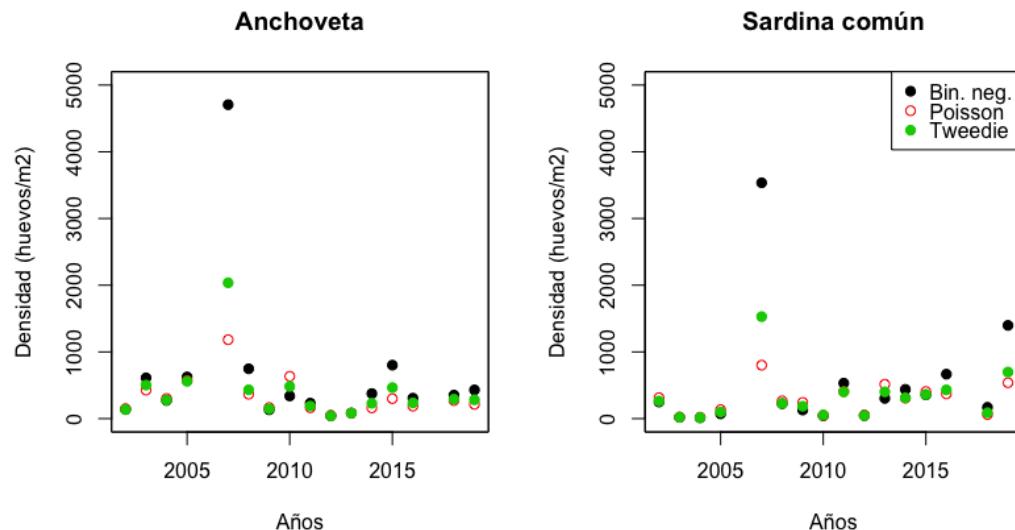


Figura 55. Índice de densidad de huevos de anchoveta y sardina común, en el periodo 2002-2019, según diferente distribución de densidad de huevos.



Tabla 42. Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG, familia binomial negativo.

Años	Anchoveta			Sardina común		
	Densidad (huevo/m ²)	Error Estándar	CV	Densidad (huevo/m ²)	Error Estándar	CV
2002	137	19,3	0,141	249	45,8	0,184
2003	611	104,2	0,171	20	4,9	0,245
2004	272	56,9	0,210	13	4,4	0,330
2005	625	130,2	0,208	72	21,1	0,293
2007	4.706	838,2	0,178	3.535	834,5	0,236
2008	747	137,0	0,183	223	55,0	0,246
2009	133	25,1	0,189	129	32,0	0,248
2010	340	121,2	0,356	43	23,1	0,540
2011	232	44,6	0,192	532	133,0	0,250
2012	42	8,7	0,208	45	12,0	0,267
2013	84	16,6	0,198	303	75,5	0,249
2014	375	70,1	0,187	438	108,3	0,247
2015	802	147,8	0,184	356	88,1	0,247
2016	306	54,1	0,177	666	154,1	0,231
2018	353	64,9	0,184	170	42,0	0,248
2019	430	78,7	0,183	1.398	335,9	0,240

4.2. Indicadores Físicos propuestos por el Instituto de Fomento Pesquero

4.2.1. Indicador de la posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS)

Las migraciones zonales pueden estar asociadas a la expansión o contracción del APS, mientras que la migración meridional (**Figura 56a**) se relacionaría con tendencias a largo plazo, como el efecto del cambio climático. La climatología anual, indicó que la presión del centro del APS presentó una componente estacional y presenta calores mínimos ~1025 hPa entre los meses de diciembre a mayo (verano), cuando migra hacia el centro sur de Chile en 36°S y los máximos ~1028 hPa se presentan entre los meses de julio a septiembre (invierno), cuando migra hacia la zona centro norte de Chile en 35°S (**Tabla 43**). De enero a abril el APS se desplaza hacia el sur, entre los 36,25°S y 37,5°S. La posición zonal varió desde 95°W de mayo a septiembre hasta 102,5°W en enero. El centro del APS fue más austral durante septiembre 1994 y estuvo más al norte durante junio 2003, mientras que su intensidad aumentó en junio 2007 y junio 2010, coincidente con condiciones frías de La Niña (**Figura 56b**). Por el contrario, el APS fue más débil con anomalías negativas (<4 hPa), durante eventos cálidos de El Niño (2015-2016). Adicionalmente, se calculó la anomalía acumulada, lo que evidenció un marcado cambio de régimen en la intensidad del APS (año 2000). Un primer periodo, de enero 1990 a junio 2000 se caracterizó por presiones menos intensas que su climatología (anomalías acumuladas negativas), mientras que en un segundo periodo de julio 2000 a diciembre 2019, predominaron el APS se fortaleció (anomalías acumuladas positivas).



Durante el año 2016 se identificó la posición más austral del APS, con un distanciamiento de unos 500 km al sur de su centro, mientras que el último periodo de tiempo entre el 2016 y 2019, se mantuvo con anomalías negativas en la componente meridional, en invierno del 2019 estuvo a ~250 km al sur de su centro. La posición zonal del APS se mantuvo variable en todo el periodo analizado, con anomalías que variaron entre 600 km al oeste y 900 km al oeste del centro.

La intensidad del APS a escala interanual, fluctuó entre -3 hPa en verano de 1993 y +3,5 hPa en otoño-invierno de 2007, destacando un máximo secundario en otoño-invierno 2010 (**Figura 56b**). Durante el último periodo en la serie, entre los años 2013 y 2016 el APS presentó menor variación en su intensidad (anomalías $< \pm 1$ hPa) y a partir del 2017 se mantuvieron valores positivos, con máximos relativos de +2 hPa en invierno de 2017 y de +1 hPa en otoño de 2019. Entre los meses de agosto-octubre correspondiente a los cruceros MPDH, la variación fue de -3,89 hPa en agosto 2009 hasta 6,01 hPa en agosto 2007.

La anomalía acumulada de la presión evidenció la predominancia de valores negativos en el primer periodo de la serie (antes del 2000) y valores positivos posterior a este año (**Figura 56b**). Posterior al 2000, la anomalía acumulada incrementó gradualmente hasta alcanzar el máximo absoluto al final de la serie analizada, en diciembre 2019, con valores de 160 hPa.

Tabla 43. Climatología mensual de la posición y magnitud del centro de alta presión: Anticiclón del Pacífico Sureste (APS).

Climatología mensual	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Presión (hPa)
Enero	36,25	102,5	1025,32
Febrero	37,5	100	1025,14
Marzo	37,5	100	1025,2
Abril	37,5	97,5	1025,85
Mayo	35	95	1025,76
Junio	35	95	1027,66
Julio	35	95	1028,24
Agosto	35	95	1028,61
Septiembre	35	95	1028,53
Octubre	35	97,5	1027,65
Noviembre	35	98,75	1026,45
Diciembre	35	100	1025,65

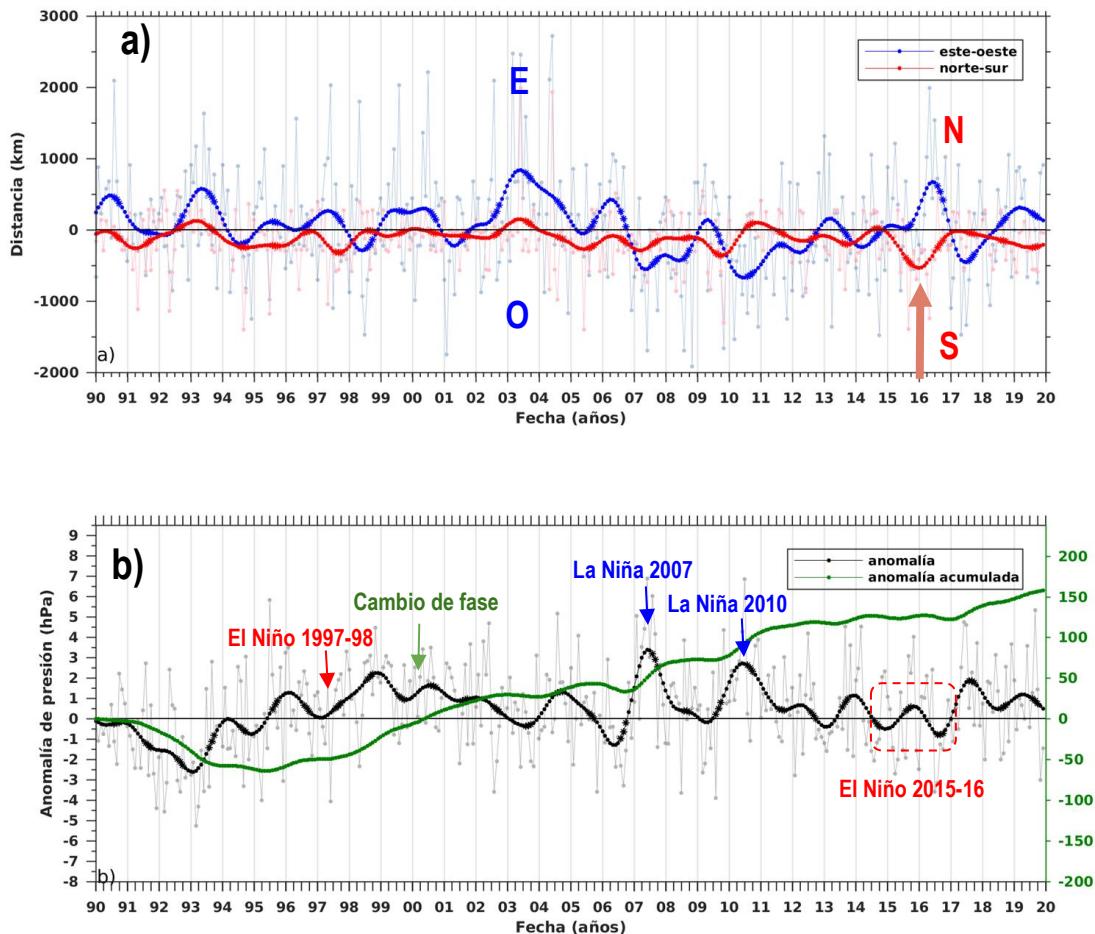


Figura 56. a) Posición zonal, este-oeste (línea azul) y meridional, norte-sur (línea roja) del centro de presión del APS en función de la climatología anual. b) Anomalía mensual del centro de presión (línea negra) del Anticiclón del Pacífico Sur y su anomalía acumulada (línea verde). Las líneas de color más suave (azul, rojo y negro) indican la información mensual y líneas de color más intenso (azul, rojo y negro) indican el comportamiento interanual (filtro pasa-baja de 18 meses). Las flechas sugieren un comportamiento de respuesta de la serie a eventos interanuales cálidos/fríos del ENOS y la flecha verde sugiere un cambio de fase a escala interdecadal.



4.2.2. Indicador de amplitud y fase de ciclo anual de la temperatura superficial del mar

El indicador de amplitud y fase del ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM) mostró diferencias entre las distintas estaciones costeras analizadas (**Tabla 44**). La serie costera de TSM en Iquique mostró los mayores atrasos/adelantos de las estaciones analizadas, de hasta 60 días en el 2017. Las demás localidades mostraron variaciones de fase con menores retrasos <30 días. Entre el 2000 y 2008 se presentaron los mayores adelantos en el ciclo anual al norte de 23°S (>30 días), que podrían indicar cambio de fase o regimen. Mas tarde, adelantos se presentaron con menor número de días en Iquique (30 días) durante el 2013 y en Coquimbo (30 días), junto con San Antonio (40 días) en el 2016. Por otra parte, atrasos >60 días se presentaron en Iquique en el 2014, 2015 y 2017, además en Talcahuano con 30 días durante el 2001 y con menor cantidad de días en Valparaíso en el 2014.

Las mayores amplitudes del ciclo anual coincidieron con eventos interanuales de ENOS intensos. Durante La Niña 2007-08, los veranos (inviernos) fueron más cálidos (más fríos) a lo largo de la costa, mientras que durante La Niña 2010-11 este efecto se vio reflejado solo en Arica e Iquique y más tarde durante el 2018 vemos anomalías negativas entre Mejillones y Coquimbo. La mayor amplitud del ciclo anual en El Niño 2015-16 también se observó en gran parte de Chile, a excepción de Mejillones, Antofagasta y Caldera.



Tabla 44. Anomalía de Temperatura Superficial del Mar del ciclo anual en verano (ATSM-verano) e invierno (ATSM-invierno) y rezago en días, por localidad y año.

	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Arica	ATSM – verano	-0,37	-0,11	0,24	-0,02	-0,54	-0,37	0,27	0,30	0,29	-0,18	0,64	-0,13	-0,56	-0,13	0,12	0,33	0,46	-0,21	0,05	0,00	
	Rezago – verano	-14	-16	-2	-3	-14	3	-21	4	-11	12	14	1	30	-5	-16	21	3	13	-1	-3	
	ATSM – invierno	0,23	0,09	-0,03	0,25	0,50	-0,31	0,31	-0,54	0,36	-0,12	-0,65	0,44	0,24	-0,15	0,00	-0,41	-0,14	-0,06	-0,10	0,06	
	Rezago – invierno	-7	2	-8	-21	-2	9	-3	-6	-12	9	-2	22	18	-10	20	15	-16	15	-14	-9	
Iquique	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
	ATSM – verano	0,10	-0,09	-0,01	0,04	0,03	0,09	-0,33	0,22	0,13	-0,48	0,50	-0,01	-0,24	0,02	-0,18	-0,07	0,62	-0,33	-0,28	0,21	
	Rezago – verano	-38	-44	-9	-26	-43	-42	-32	-17	-36	38	12	-7	47	-4	81	63	-19	80	11	-16	
	ATSM – invierno	0,13	0,23	0,02	0,01	-0,21	0,09	0,33	-0,31	0,52	-0,01	-0,50	0,11	0,13	0,02	0,14	-0,37	-0,27	0,17	-0,04	-0,13	
Mejillones	Rezago – invierno	-54	-4	-10	-46	-25	16	23	-23	-56	30	-6	37	34	-34	37	19	9	69	-8	-11	
	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
	ATSM – verano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,40	0,03	-0,30	-0,05	0,25	0,15	0,00	0,30
	Rezago – verano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	2	-30	26	2	-8	8	-9
Antofagasta	ATSM – invierno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	-0,01	0,09	-0,01	-0,10	0,19	-0,16	-0,18
	Rezago – invierno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-23	38	25	-23	-14	-12	-20
Caldera	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
	ATSM – verano	0,13	0,36	0,27	0,19	-0,10	-0,02	0,16	0,45	0,50	-0,49	-0,41	-0,20	-0,19	0,17	0,28	-0,03	-0,13	-	-0,83	-0,15	
	Rezago – verano	-7	-5	5	0	-5	-7	-6	0	-8	0	6	-3	7	-2	0	2	9	-	10	2	
	ATSM – invierno	-0,26	-0,18	-0,36	-0,13	-0,01	0,05	0,00	-0,57	0,11	0,36	0,03	0,10	0,13	-0,15	-0,23	0,24	0,35	-	0,18	0,32	
Rezago – invierno	-7	-5	4	-1	-1	5	-1	2	-17	0	6	14	19	-7	4	11	-13	-	-5	-6		
	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
	ATSM – verano	0,14	0,29	0,13	0,27	-0,46	0,09	0,42	0,11	0,23	0,04	-0,16	-0,08	0,21	-0,01	0,09	-0,26	0,23	-	-0,64	0,09	
	Rezago – verano	-11	-8	-8	-5	-6	-2	-9	6	-16	26	2	-8	5	-1	-14	9	11	-	3	0	
ATSM – invierno	-0,08	-0,16	-0,12	-0,05	0,15	-0,24	0,07	-0,42	0,18	-0,23	0,04	0,04	0,06	-0,08	0,24	0,22	-0,07	-	0,22	0,03		



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

	Rezago - invierno	-5	-6	2	-14	14	6	-16	-5	-12	9	8	19	5	-3	-3	26	-19	-	-2	-12
Coquimbo	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	ATSM - verano	0,09	-0,52	0,35	-0,19	0,05	-0,01	0,13	0,30	0,55	-0,16	0,03	-0,03	0,10	0,20	-0,14	-0,14	-0,17	-	-0,68	0,29
	Rezago - verano	-13	-11	8	0	-2	-3	-3	5	1	-6	-1	5	5	2	2	11	-4	-	9	-3
	ATSM - invierno	0,00	-0,05	-0,27	0,04	-0,06	0,12	0,09	-0,60	-0,27	-0,01	0,08	-0,01	-0,13	0,02	0,24	-0,14	1,12	-	-0,16	0,03
	Rezago - invierno	-33	9	5	9	3	10	-7	8	-3	5	6	9	12	0	-2	10	-33	-	-1	-7
Valparaíso	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	ATSM - verano	-0,52	-0,07	0,19	-0,18	-0,16	-0,05	-	0,34	0,27	-0,04	0,01	-0,02	-0,15	0,00	0,05	0,53	0,23	-0,05	-0,28	0,41
	Rezago - verano	-12	0	2	0	-5	-3	-	10	-8	-1	15	9	3	-11	-15	13	8	-5	1	-3
	ATSM - invierno	0,38	0,01	-0,11	0,13	0,16	0,23	-	-0,57	-0,13	0,11	-0,03	0,07	-0,09	-0,12	0,03	-0,25	-0,29	0,34	-0,17	-0,06
	Rezago - invierno	2	-2	-11	0	-5	2	-	-14	-7	13	16	8	6	3	36	-13	-3	-7	3	-13
San Antonio	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	ATSM - verano	-0,48	-0,12	0,09	-0,43	0,15	-0,08	-	0,18	0,44	-0,24	-0,34	0,01	-0,19	0,20	0,22	0,51	0,06	-	-0,43	0,53
	Rezago - verano	-12	4	8	-4	5	-2	-	13	-1	-12	11	6	-3	-11	-11	11	0	-	6	-8
	ATSM - invierno	0,30	0,08	-0,06	0,16	-0,08	0,42	-	-0,55	-0,14	0,37	0,09	0,03	-0,14	-0,20	0,05	-0,51	0,65	-	-0,42	-0,12
	Rezago - invierno	10	9	-7	18	-5	-4	-	7	-10	-1	26	-1	11	0	8	-3	-43	-	-2	-14
Talcahuano	Años	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	ATSM - verano	-0,48	-0,52	-0,11	-0,58	0,11	-0,27	-0,08	0,33	0,56	-0,36	-	-0,24	0,49	0,60	-0,11	-0,04	0,40	0,02	0,03	0,16
	Rezago - verano	-6	27	20	32	17	-12	-19	2	1	0	-	12	-23	-13	-16	17	-4	-4	-1	-29
	ATSM - invierno	0,57	0,58	0,13	0,27	-0,03	0,33	0,19	-0,50	-0,09	0,55	-	-0,27	-0,45	-0,39	0,47	-0,40	-0,52	-0,01	-0,48	0,13
	Rezago - invierno	-12	51	-16	31	0	4	-24	5	-11	-15	-	3	5	-5	-13	2	1	1	-6	-4

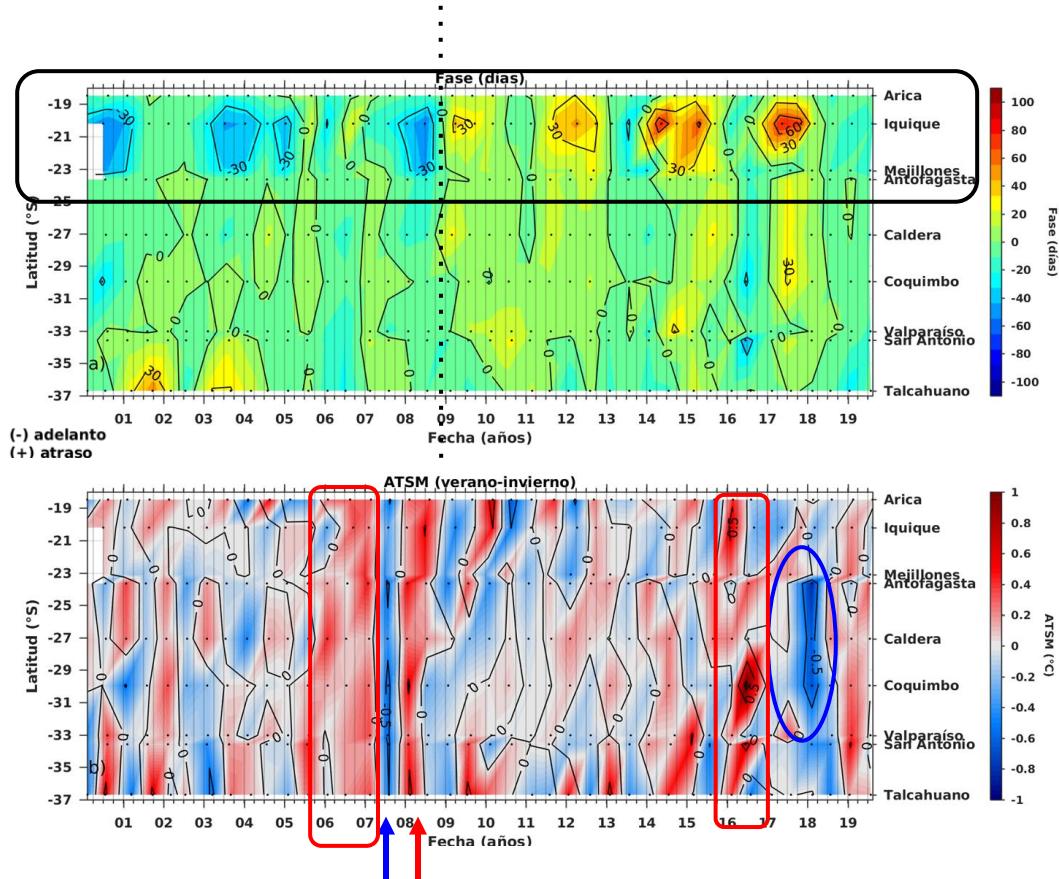


Figura 57. Diagramas latitud v/s tiempo (Hovmöller) de: a) desfase en días del ciclo anual de TSM en la costa a lo largo de Chile, en azul se representan los días de Adelanto y en rojo-amarillo los atrasos, b) anomalías de TSM, asociadas al ciclo anual de temperatura.



5. Objetivo incremental: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta usando modelamiento biofísico. Fase III: Proponer un modelo conceptual del ciclo de vida de la sardina común y anchoveta en base a la información histórica

En este objetivo, se detallan algunos aspectos biológicos de cada etapa de desarrollo de vida de la anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomera bentincki*), de huevo a larva y adulto, desde su sistemática (**Tabla 45**), morfología, distribución espacial, alimentación, tasas de crecimiento y reproducción entre otras características.

5.1. Etapa de adultos

5.1.1. Antecedentes biológicos.

Anchoveta *Engraulis ringens* (Jenys, 1842)

Las anchovetas son pequeños peces plateados de 10 a 16 cm de longitud total, con cuerpos fusiforme, comprimido lateralmente, con ojos de gran tamaño (**Figura 58, Tabla 45**). Tienen el rostro prominente y puntiagudo de modo que la boca es subterminal y ventral. Esta última aparece de gran tamaño, donde la maxila se proyecta bien por detrás del borde posterior del ojo, alcanzando casi el borde del preopérculo. El dorso es de color azul oscuro fuertemente diferenciado de los costados del cuerpo y del vientre que son de un color plateado brillante. Presenta una aleta caudal de color oscuro siendo las restantes aletas de color claro. Tienen aletas sólo con radios, sin espinas. Una sola aleta dorsal corta, ubicada en la mitad del dorso. Las aletas pectorales se encuentran próximas al borde ventral; aleta anal corta; aletas pélvicas en la región ventral media entre las aletas pectoral y anal, por delante de la proyección del inicio de la aleta dorsal; aleta caudal ahorquillada. No tienen línea lateral visible a los lados del cuerpo (Catálogo *Strangomera*, 2002).



Figura 58. Anchoveta *Engraulis ringens*, Jenys, 1842 (<http://tumi.lamolina.edu.pe/infopes/>)

Distinción de las especies más similares presentes en el área: *Strangomera bentincki*: Cuerpo de color plateado sin manchas; rostro no prominente; los maxilares llegan hasta la proyección de la parte media del ojo; escamas ventrales aquilladas poco desarrolladas; origen de la aleta pélvica situada a la altura de la proyección del comienzo de la aleta dorsal (Catálogo *Strangomera*, 2002).

Distribución geográfica

En el Pacífico suroriental, la anchoveta *Engraulis ringens*, se presenta una amplia distribución latitudinal, desde Perú hasta Chiloé en el sur de Chile (4°30'S - 42°30'S) (Serra et al., 1979; Gatica et al., 2007; Bustos et al., 2008; Cerna & Plaza, 2015). Se distinguen tres poblaciones de esta especie, norte-centro del Perú entre 4°30'S-16°S (Ñiquen et al., 2000), al sur del Perú y norte de Chile entre 16°S-24°S (Pauly & Tsukayama 1987; Bakun & Weeks, 2008; Aranda, 2009; Barange et al., 2009; Schreiber & Halliday, 2013) y centro sur de Chile (33°-42°30'S) (Alheit & Ñiquen, 2004; Canales & Leal, 2009; Cerna et al., 2015). Más tarde, se ha considerado otra unidad poblacional independiente, en la zona centro norte de Chile, entre 25°S-32°S, en la cual la anchoveta recluta, crece y se reproduce en el área (Canales & Leal, 2009).

La anchoveta es un pez de tamaño pequeño, de hábito pelágico, forma grandes y densos cardúmenes superficiales, también presentan amplia distribución longitudinal, principalmente desde la costa, hasta los 160 km mar afuera (Alheit et al., 1984; FAO, 1985; Cubillos & Arancibia, 1993a, 1993b, 1993c).

**Sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936)**

La sardina común posee un cuerpo más o menos comprimido lateralmente, con escamas cicloides. El dorso es de color verde azulado, flancos de color plateado (**Figura 59, Tabla 45**). La mandíbula inferior protruye. Las aletas pélvicas situadas a la altura del comienzo de la aleta dorsal, bajo el primer tercio de ella (Catálogo Engraulidae, 2002).

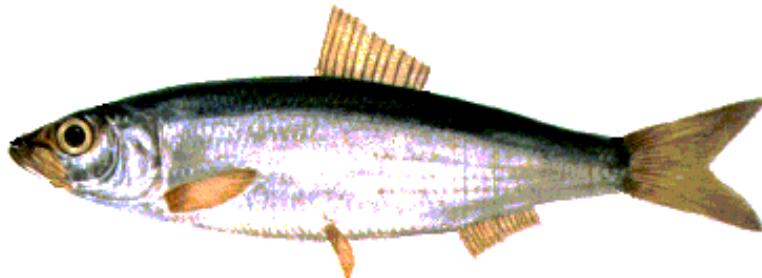


Figura 59. Sardina común *Strangomera bentincki*, Norman, 1936 (Catálogo Strangomera, 2002)

Distinción de las especies más similares presentes en el área: *Engraulis ringens*: El hocico puntiagudo y prominente; sin quillas en el borde ventral; los maxilares llegan más atrás del borde posterior del ojo (Catálogo Engraulidae, 2002).

Distribución geográfica

La sardina común (*Strangomera bentincki*), en Chile se distribuye desde Coquimbo hasta la península del Taitao (29°S-46°S) (Serra et al., 1979; Arrizaga, 1981; Serra, 1983; Barange et al., 2009; Vásquez et al., 2010). Esta especie se distribuye de preferencia entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos (33°-42°30'S), a profundidades <50 m (en el día) y entre 5 y 15 m (en la noche). Longitudinalmente, se encuentra desde la línea base media de la costa hasta las 30-40 mn, no obstante, en general la sardina común se ubica en áreas más cercanas a la costa que la anchoveta, asociada a focos de surgencia costera y desembocadura de los ríos principales de la zona centro sur de Chile (Serra 1978; Aguayo & Soto 1978; Arrizaga & Veloso 1982; Yáñez et al., 1990; Cubillos & Arancibia 1993a, b; Cubillos et al., 1994).



Tabla 45. Sistemática de ambas especies.

Característica	Anchoveta	Sardina común
Phylum	Chordata	Chordata
Subphylum	Vertebrata	Vertebrata
Clase	Actinopterygii	Actinopterygii
Orden	Clupeiformes	Clupeiformes
Sub orden	Clupeoidei	Clupeoidei
Familia	Engraulidae (Anchovies)	Engraulidae (Anchovies)
Género	<i>Engraulis</i>	<i>Strangomera</i>
Nombre científico	<i>Engraulis ringens</i> (Jenys, 1842)	<i>Strangomera bentincki</i> (Norman, 1936)
Nombre común	anchoveta, anchoa, sardina bocona, chicoria	sardina común, sardina del sur, sardina de invierno, sardina anchoa Chilean herring
Nombre en inglés	Anchovy, Peruvian anchovy	
Estado de conservación (IUCN 3.1)	LC (last concern): preocupación menor	NE (not evaluated): no evaluado

5.1.2. Alimentación de ambas especies

La anchoveta y sardina común se alimentan de plancton (fitoplancton y zooplancton) y juegan un papel importante en redes alimentarias marinas, cumpliendo el rol de intermediario en el traspaso de energía desde los primeros niveles tróficos hacia los superiores, donde es aprovechada por diversos depredadores topo como peces, mamíferos y aves marinas (Pauly & Tsukayama, 1987; Pauly *et al.*, 1989; Neira *et al.*, 2004; Fréon *et al.*, 2005; Thiel *et al.*, 2007; Espinoza & Bertrand, 2008; Medina *et al.*, 2015; Politikos *et al.*, 2015) (**Tablas 46 y 47**).

En la zona centro sur de Chile, la disponibilidad de alimento para anchoveta y sardina común varía en abundancia y composición de manera intraestacional con procesos meteorológicos (viento) y oceanográficos (surgencia) como lo señalan González *et al.* (2009). Generalmente, en la época de invierno hay un predominio de la trama trófica microbiana y en la época de primavera el predominio de la trama trófica clásica (González *et al.*, 1989; 2010; Iriarte *et al.*, 2012). Estas diferencias en la trama trófica de fitoplancton o zooplancton, entre el inicio y el final del ciclo reproductivo de estas especies, también podrían representar una fuente de variación en la dieta tanto para adultos como para las larvas que comienzan su alimentación (exógena). En este sentido, la anchoveta varía su alimentación en función de su tamaño (al crecer va consumiendo presas de mayor tamaño), distribución espacial y por supuesto según la disponibilidad de alimento del ambiente (Espinoza *et al.*, 1999; Espinoza & Blaskovic, 2000).



Tabla 46. Alimento de anchovetas y sardina común en términos de abundancia numérica (%N) e índice de importancia relativa (%IIR), recopilado de varias fuentes de información.

Abundancia (%)		Abundancia (%)		Autores
Fitoplancton	99	Zooplancton	1	Arrizaga <i>et al.</i> , 1993; Castillo <i>et al.</i> , 2002; Espinoza & Bertrand, 2008
diatomeas	<i>Rhizosolenia</i>	copépodos	77,5	Arrizaga <i>et al.</i> , 1993; Castillo <i>et al.</i> , 2002; Espinoza & Bertrand, 2008
	<i>Chaetoceros</i>	93,4 eufáusidos		Arrizaga <i>et al.</i> , 1993; Castillo <i>et al.</i> , 2002; Espinoza & Bertrand, 2008
flagelados		6,6		Arrizaga <i>et al.</i> , 1993; Castillo <i>et al.</i> , 2002; Espinoza & Bertrand, 2008
diatomeas	<i>Skeletonema</i>	>80 copépodos		Castillo <i>et al.</i> , 2002; Rebolledo & Cubillos, 2003

Pauly & Tsukayama (1987) y Pauly *et al.* (1989) recopilaron numerosos estudios sobre alimentación de anchoveta desde 1950, por años se pensó que la anchoveta era filtradora y se alimentaba principalmente de fitoplancton (Rojas, 1953; Rojas de Mendiola, 1971), pero que también consumía zooplancton por lo que cambió a omnívora (Pauly *et al.*, 1989; Rojas de Mendiola, 1989). En relación a este punto, Espinoza & Bertrand (2008) mediante la estimación del contenido de carbono de las presas, demostraron que la dieta de la anchoveta recibe el mayor aporte de nutrientes procedente de presas zoopláncticas por eufáusidos y copépodos (Medina *et al.*, 2015). Algunos ítems de presas dominantes, de acuerdo a lo señalado por diferentes autores, podemos ver resumidos en **Tabla 47**.

Espinoza & Bertrand (2014) analizaron las variaciones en su dieta desde 1954 (método del contenido de carbono), sus resultados revelaron que juveniles y adultos fueron en gran parte zooplánctívoros, donde destacan eufáusidos y copépodos calanoideos, mientras que el fitoplancton aporta ≤4,4% al contenido de carbono y los eufáusidos desde 25% en ejemplares de 4 a 6 cm hasta >80% en aquellos de mayor tamaño de 18 a 20 cm LT.

**Tabla 47.** Ítems de presas dominantes, de acuerdo a lo señalado por diferentes autores en la dieta de la anchoveta (zonan norte).

	Fitoplancton	Autores	Zooplancton	Autores
diatomeas	<i>Coscinodiscus</i>			<i>Calanoida</i> (<i>Eucalanus</i> , <i>Calanus</i> y <i>Centropages</i>)
	<i>Ditylum</i>	Pauly <i>et al.</i> , 1989; Álamo & Espinoza, 1998; 2000;	copépodos	<i>Cyclopoida</i> (<i>Corycaeus</i>)
	<i>Thalassiosira</i>	Espinoza <i>et al.</i> , 1999; Espinoza & Bertrand, 2008;	eufáusidos	<i>Euphausia</i> <i>macronata</i>
	<i>Chatoceros</i>		anfípodos	
	<i>Rhizosolenia</i>	Medina <i>et al.</i> , 2015	huevos de anchoveta	2000; Espinoza & Bertrand, 2008; Medina <i>et al.</i> , 2015
dinoflagelados	<i>Protoperidinium</i>		peces	<i>Vinciguerria sp</i>
	<i>Ceratium</i>			<i>Myctophidae</i>

Medina *et al.* (2015) señalan que la similitud en la dieta de la anchoveta entre pre reclutas, reclutas y adultos, permitió determinar la conformación tres grupos que depredaron de forma diferente sobre fito y zooplancton, con predominio de fitoplancton en todos los tamaños, no obstante, se registraron diferencias en términos de las preferencias por ciertos ítems según su tamaño (longitud), se destacaron eufáusidos y teleósteos ≥ 8 cm. Medina *et al.* (2015) encontraron una ventaja energética en la anchoveta del norte, donde aumentó el consumo de eufáusidos y disminuyó proporcionalmente el de copépodos, al igual que los estudios de Espinoza (2010) y Espinoza & Bertrand (2014). Los eufáusidos constituyen uno de los grupos dominantes del zooplancton marino, especialmente en áreas de alta productividad, donde se caracterizan por su elevada abundancia y baja diversidad (Gibbons *et al.*, 1999; Medina *et al.*, 2015) y en las costas de Chile están representados principalmente por *Euphausia mucronata* que tiene un rol clave en la trama trófica planctónica como herbívoros, constituyendo una de las principales vías de transferencia de la producción primaria hacia los niveles tróficos superiores (Antezana, 1970, 2010; Medina *et al.*, 2015).

Cambios ambientales que inciden en las comunidades planctónicas como oferta alimenticia de la anchoveta (Álamo *et al.*, 1996; Álamo & Espinoza, 1998; Blaskovic *et al.*, 1998; Espinoza *et al.*, 1999; Espinoza & Blascovik, 2000; Blanco *et al.*, 2002; Medina *et al.*, 2015), son clave en el estudio de la dinámica de esta especie. En este sentido, durante eventos cálidos El Niño la anchoveta puede consumir una componente planctónica propia de aguas cálidas (Sánchez de Benites *et al.*, 1985) y el gasto metabólico en estos períodos es mayor, debido al aumento de la temperatura y a la reducción de alimentos, lo que se traduce en una mayor mortalidad, menor biomasa y disminución del reclutamiento (Yañez *et al.*, 2008; Medina *et al.*, 2015). Por otra parte, el cambio en los tamaños y composición del plancton, genera una reducción en la disponibilidad y calidad de presas alimenticias que puedan ser consumidas por larvas y juveniles, lo que podría causar mortalidad en sus primeros estadios (Ulloa *et al.*, 2001; Medina *et al.*, 2015).



5.1.3. Determinación de la fecha de nacimiento

Cerna & Plaza (2015) trabajaron en determinar la fecha de nacimiento en ambas especies, mediante la microestructura de los otolitos sagitales de juveniles y sus resultados concluyeron que la fecha de nacimiento coincidió con la época del desove (Cerna et al. 2015). Se basaron en el supuesto que la mayoría de larvas y juveniles de peces del orden clupeiformes presentan micro incrementos de otolitos a diario (**Figura 60**). El análisis de la micro estructura de los otolitos, permite mediante los micro incrementos reconstruir los patrones de crecimiento a través de una técnica llamada retro cálculo (Chugunova, 1963; Francis, 1990).

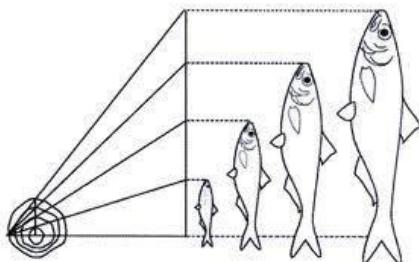


Figura 60. Relación lineal entre el crecimiento del pez y el crecimiento del otolito, es el principio de dependencia lineal, es base para la utilización del método retro cálculo (Chugunova, 1963; Francis, 1990), presentado por Cerna & Plaza, (2015).

La época del desove para la anchoveta es extensa: invierno – verano. Mientras que la época del desove de la sardina común es más acotada: invierno – primavera (Cerna & Plaza, 2015).

En un estudio de Cerna & Plaza (2015), las anchovetas que presentaron un largo total (LT) entre 7 y 11,5 cm y fueron capturadas en enero, son peces nacidos entre julio-octubre del año anterior. Anchovetas con LT entre 3,5 y 7 cm y capturadas en mayo, son peces nacidos entre enero - marzo del mismo año. Los ejemplares de sardina común, con LT entre 7 y 11 cm, que corresponden a edades de 150 a 256 días del proceso de reclutamiento, provienen del pulso del desove 5 a 6 meses previos. Ejemplares de sardina común, con LT entre 3 y 12 cm, que corresponden a edades de 47 a 256 días, tuvieron una taza crecimiento de 0,62 mm/d mediante el modelo Laird-Gomperts (Gompertz 1825; Laird et al., 1965). Las anchovetas con LT entre 3,5 y 7 cm y edades entre 57 a 173 días por el modelo, se determinó que tuvieron coeficiente de crecimiento (k) de 0,011 d⁻¹.

En las siguientes **Tablas 48 y 49** de Cerna & Plaza (2015), se puede apreciar que la edad de reclutamiento de anchoveta varía mensualmente entre el día 57 (2º mes) y 173 (6º mes) desde la eclosión. Las anchovetas capturadas durante el reclutamiento en el mes de enero, correspondieron a peces nacidos principalmente entre julio y octubre del año anterior, mientras que las anchovetas capturadas durante el reclutamiento en el mes de mayo correspondieron a peces nacidos entre enero y marzo del mismo año (**Figura 61**).



Tabla 48. Determinación de fecha de nacimiento y edad en juveniles de anchoveta y sardina común (Cerna & Plaza, 2015).

Anchovetas			Sardina común					tasa crecimiento (mm/d)
LT	Mes de captura	Nacimiento	edad (días)	LT	Captura	Nacimiento	edad (días)	
7 y 11,5	enero	julio - octubre del año anterior enero-marzo del mismo año	107 a 177	7 y 11	reclutamiento reclutamiento junio-diciembre	5 a 6 meses año previo	150 a 256	
3,5 y 7	mayo		57 a 138	3 y 12		47 a 200	0,62	

Tabla 49. Estadísticas generales de los ejemplares de anchoveta, agrupados por cohorte mensual de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento de anchoveta, recolectados en la zona centro sur de Chile (Cerna & Plaza, 2015).

Mes	Longitud Total (cm)			Peso Total (g)			Edad (días)			
	Media ± DE	Rango	CV	Media ± DE	Rango	CV	Media ± DE	Rango	CV	n
Ene	5,8 ± 0,56	5,0 - 6,7	9,6	1,1 ± 0,33	0,6 - 1,7	29,4	119,3 ± 5,5	110 - 130	4,6	12
Feb	4,8 ± 0,45	3,6 - 5,6	9,4	0,7 ± 0,74	0,2 - 5,0	111,8	89,5 ± 6,8	78 - 103	7,6	38
Mar	4,0 ± 0,39	3,3 - 4,8	9,7	0,3 ± 0,10	0,1 - 0,5	37,7	70,4 ± 5,6	57 - 80	7,9	37
Abr	11,5 ± 0,71	11,0 - 12,0	6,1	8,8 ± 2,33	7,1 - 10,4	26,7	108,0 ± 19,8	94 - 122	18,3	2
May	12,0 ± 0,00	12,0 - 12,0	0,0	8,3 ± 0,00	8,3 - 8,3	0,0	92,0 ± 0,0	92 - 92	0,0	1
Jul	9,5 ± 1,41	8,5 - 10,5	14,9	5,6 ± 2,83	3,6 - 7,6	50,5	173,0 ± 0,0	173 - 173	0,0	2
Ago	9,3 ± 1,15	7,5 - 11,5	12,4	5,4 ± 2,40	2,7 - 11,6	44,6	147,7 ± 10,6	135 - 171	7,2	15
Sept	8,7 ± 0,77	7,0 - 10,0	8,9	4,3 ± 1,20	2,1 - 6,7	28,2	121,6 ± 7,1	109 - 135	5,9	16
Oct	8,9 ± 1,07	8,0 - 11,0	12,1	4,7 ± 1,97	3,6 - 8,9	42,0	95,7 ± 9,5	81 - 107	9,9	7
Total	8,3 ± 0,7	3,3 - 12,0	8,7	4,3 ± 1,3	0,1 - 11,6	30,5	113,0 ± 7,2	57 - 18,3	6,4	130

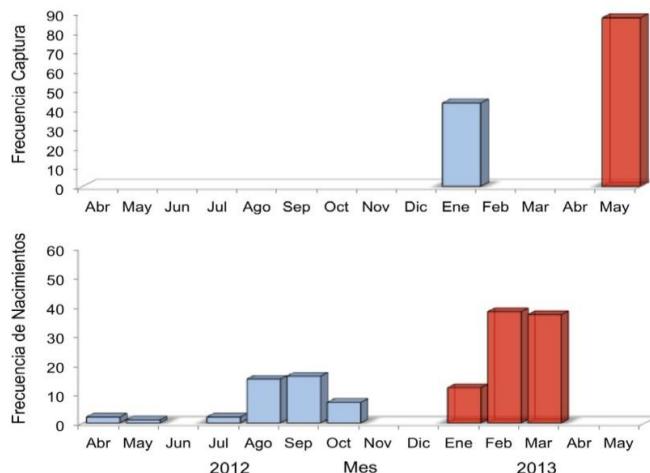


Figura 61. Frecuencia mensual de captura de anchoveta en los Cruceros Hidroacústicos de Reclutamiento de IFOP (en un año específico) en los meses de verano e invierno y su frecuencia de nacimiento mensual estimada a través de análisis de la microestructura de otolitos sagitales de la anchoveta en la zona centro-sur de Chile, publicada en Cerna & Plaza (2015).



Cerna & Plaza, (2015), encontraron en el caso de la sardina común, que la distribución de fechas de nacimiento, se extendió de junio a diciembre, donde la mayoría de los ejemplares recolectados en enero provinieron del desove de primavera y los recolectados en mayo fueron producto de ejemplares que desovaron principalmente en la época de invierno (**Figura 62**). La edad de reclutamiento de sardina común entre junio y diciembre varió entre el día 47 (2º mes) y 200 (7º mes) desde la eclosión (**Tabla 50**).

Tabla 50. Estadísticas generales de los ejemplares agrupados, por cohorte de nacimiento, utilizados para estimación de fechas de nacimiento y determinación la relación talla-edad de sardina común, recolectados en la zona centro sur de Chile (Cerna & Plaza, 2015).

Mes	Longitud Total (cm)			Peso Total (g)			Edad (días)					
	Media ± DE	Rango	CV	n	Media ± DE	Rango	CV	n	Media ± DE	Rango	CV	n
Jun	10,38 ± 0,25	10,00 - 10,5	2,41	4	9,4 ± 0,424	9- 10,0	4,51	4	206 ± 8	193 - 210	3,98	4
Jul	10,14 ± 0,46	9,00 - 10,5	4,51	14	8,829 ± 1,595	4,7 - 10,7	18,07	14	181 ± 6	168 - 190	3,51	14
Ago	9,40 ± 0,74	8,50 - 10,5	7,89	5	7,00 ± 2,106	4,70 - 9,9	30,08	5	148 ± 7	140 - 153	4,95	5
Sep	11,85 ± 0,21	11,70 - 12	1,79	2	13,75 ± 1,061	13,00 - 14,5	7,71	2	254 ± 4	251 - 256	1,44	2
Oct	10,37 ± 0,38	10,00 - 11,1	3,64	6	8,33 ± 1,922	7,00 - 12,2	23,07	6	206 ± 7	200 - 220	3,56	6
Nov	5,67 ± 2,69	3,50 - 11,5	47,38	78	2,46 ± 3,567	0,20 - 13,7	145,21	78	90 ± 57	50 - 202	63,54	78
Dic	6,65 ± 2,95	3,00 - 11	44,44	24	3,42 ± 3,487	0,1 - 10,5	102,06	24	103 ± 56	47 - 172	53,84	24
Total	6,90 ± 3,05	3,00 - 12	44,22	133	4,12 ± 4,186	0,1 - 14,5	101,73	133	116 ± 65	47 - 256	56,62	133

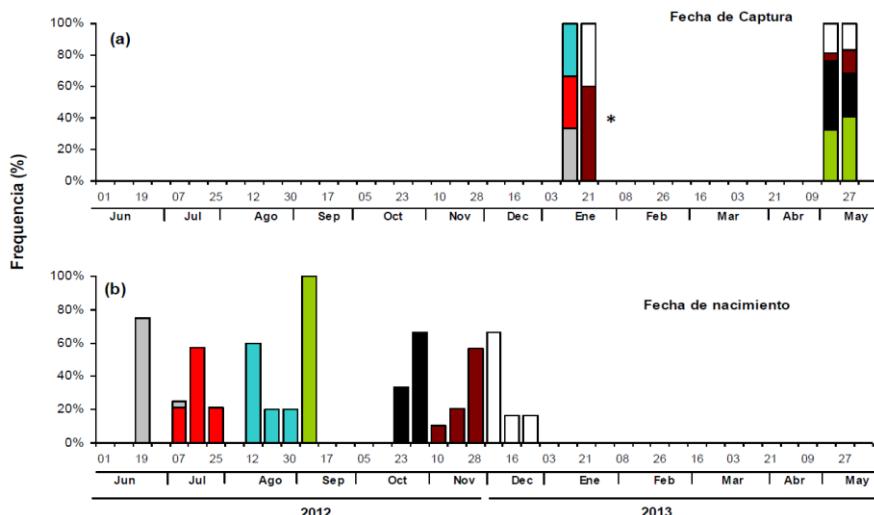


Figura 62. Distribución de fechas de nacimiento para juveniles de sardina común, calculadas sustrayendo la edad total de la fecha de captura. (*) representa ejemplares <6 cm LT (Cerna & Plaza, 2015).



5.1.4. Las tasas de crecimiento globales (TCG)

La TCG se puede estimar mediante la siguiente expresión: $TCG = \frac{LT - L_{ECLO}}{DT}$ en Cerna & Plaza (2015), donde L_{ECLO} es la longitud media de la eclosión y fue determinada en 2,5 mm LT para la anchoveta y sardina común por Llanos-Rivera & Castro (2004, 2006), el término DT correspondió al número de días transcurridos desde la fecha de eclosión hasta la fecha de captura. Los resultados de Cerna & Plaza (2015) mostraron que juveniles de anchoveta nacidos en verano presentaron menor crecimiento que los nacidos en invierno (microestructura de otolitos). TCG (invierno): $0,72 \pm 0,18$ mm/d invierno. TCG (verano): $0,59 \pm 0,15$ mm/d verano (esto evidenció un desove principal en invierno). Ambas especies, anchoveta y sardina común son especies estrategia r, de vida corta y crecimiento rápido, en este sentido, los juveniles de sardina común nacidos en verano presentaron mayor crecimiento TCG (verano): 0,62 mm/d.

A partir de datos de otolitos (longitud y edad), Canales & Leal (2009) determinaron los parámetros de crecimiento a partir de la ecuación de Bertalanffy, con una longitud de eclosión larval (L_0 , L_{ECLO}) de anchoveta (en 23°S) de 2,5 mm LT a una temperatura de 15°C (Llanos-Rivera & Castro, 2006).

Plaza *et al.* (2012), con un modelo de crecimiento estacional estimaron una talla promedio de 16,23 cm LT a los 365 días de edad, implicando que ejemplares de 3 años, con los nuevos parámetros de crecimiento estimados en realidad tienen sólo un año de vida (**Tabla 51**). Las anchovetas juveniles presentaron una tasa diaria de crecimiento individual rápida con un rango entre $0,65 \pm 1,02$ mm/día, la cual empieza a disminuir en la etapa juvenil tardía (**Tabla 51**).

Tabla 51. Determinación de la tasa de crecimiento global (TCG) para juveniles en milímetros por día (mm/d), por varios autores.

Tasa crecimiento global, TCG (mm/d)						
	Anchoveta Centro Sur	Sardina común Centro Sur	Fuente	Anchoveta Centro Norte	Fuente	Anchoveta Norte
Invierno	$0,72 \pm 0,18$		Cerna & Plaza, 2015 Cerna & Plaza, 2015	$0,65 \pm 1,02$	Canales & Leal, 2009	$1,2 \pm 1,3$
Verano	$0,59 \pm 0,15$	0,62	2015			Cerna <i>et al.</i> , 2011
L_{ECLO}	2,5 mm LT	2,5 mm LT	Llanos-Rivera & Castro, 2004, 2006	2,5 mm LT	Canales & Leal, 2009; Llanos-Rivera & Castro, 2004,	
Talla promedio a los 365 días	16,23 cm LT					



En un estudio reciente llevado a cabo por Namiki *et al.* (2010) fue posible determinar la edad de los peces adultos de la anchoveta japonesa (*E. japonicus*) contando los incrementos diarios en ejemplares de 8 a 14 cm longitud estándar (LS) (**Tabla 52**), todos los individuos tuvieron edades <365 días (1 año), donde el ejemplar más longevo alcanzó los 329 días. Otras pruebas de crecimiento rápido provienen de dos estudios recientes utilizando análisis de la micros-estructura en *E. encrasiculus* en el Golfo de Vizcaya (Aldanondo *et al.*, 2011) y en el Mar Adriático (La Mesa *et al.*, 2009; Durovic *et al.*, 2012). Estos estudios han demostrado que los juveniles pueden alcanzar 6-8 cm en aproximadamente 70-90 días. En el estudio de Aldanondo *et al.* (2011) en el golfo de Vizcaya, el pez más grande datado (~14 cm LS) tuvo <1 año de vida. Estos resultados de rápido crecimiento coinciden con los hallazgos en la anchoveta del norte de Chile, donde se reportaron tasas instantáneas de crecimiento diario de 1,2-1,3 mmd-1 para juveniles <12 cm LT, donde los ejemplares alcanzaron 12 cm LT en aproximadamente cuatro meses de la vida (Cerna *et al.*, 2011). En un segundo estudio efectuado por Plaza *et al.* (2012) se pudo datar peces adultos de tamaños que van desde 13 hasta 17,5 cm de longitud total con la misma metodología (**Tabla 52**). De los hallazgos descritos previamente Cerna & Plaza (2015) señalaron que *E. ringens*, parece maximizar todo su potencial para lograr su longitud asintótica en el primer año de vida, para luego reducir drásticamente su crecimiento y maximizar quizás la reproducción.

Cerna & Plaza (2015), señalan qu en un escenario de crecimiento aún más rápido, probablemente una gran fracción de la longitud asintótica podría alcanzarse en sólo unos pocos meses de vida, y la fuerza de la clase anual será resultado de las tasas de supervivencia que ocurren sólo unos pocos meses antes de la época de pesca. En este contexto, Stige *et al.* (2013) en un estudio comparativo de la edad y los patrones de crecimiento utilizando análisis micro estructura de otolitos de los juveniles entre especies, señalaron que fue altamente relevante ya que, bajo un escenario de crecimiento rápido, reclutamiento variable y vida corta, sería muy difícil evaluar la dinámica del reclutamiento y anticiparse a predecir la fuerza de las clases anuales. En este punto, es importante señalar que el crecimiento parece estar ligado a la supervivencia en los estadios tempranos de estos peces (Anderson, 1988; Leggett & DeBlois, 1994; Hare & Cowen, 1994; Takasuka *et al.*, 2008; Cerna & Plaza, 2015).

Tabla 52. Estudios publicados en peces pelágicos pequeños, donde se ha validado la periodicidad de formación de los incrementos de los otolitos, utilizando experimentos de laboratorio, publicada en Cerna & Plaza (2015). LS: longitud estándar, LT: longitud total.

Familia	Especie	Etapa ontogénica	Rango de tamaño (mm)	Fuente
Engraulidae	<i>Anchoa mitchilli</i>	Larva	37-42 LS	Fives & Warlen, 1986
	<i>Engraulis mordax</i>	Larva	0-100 días *	Brothers <i>et al.</i> , 1976
	<i>Engraulis anchoita</i>	Larva	5-25 LS	Castello & Castello, 2003
	<i>Engraulis japonicus</i>	Larva		
		Adulto	8-14 LS	Namiki <i>et al.</i> , 2010
		Larva	3-25 LS	Tsuji & Aoyama, 1984



		Juvenil	73,6-78,4 LS	Namiki <i>et al.</i> , 2010
		Adulto	109-114 LS	Namiki <i>et al.</i> , 2010
<i>Engraulis encrasicolus</i>		Larva	2,5-20 LS	Aldanondo <i>et al.</i> , 2008
		Juvenil	82 ± 1,2 TL	Cermeño <i>et al.</i> , 2003
		Adulto	133,8 ± 7,7 TL	Cermeño <i>et al.</i> , 2003
<i>Engraulis ringens</i>		Juvenil	120 LT	Cerna <i>et al.</i> , 2011, Plaza <i>et al.</i> , 2012
		Adulto	130-175 LT	Plaza <i>et al.</i> , 2012
Clupeidae	<i>Sardinops melanostictus</i>	Larva		Hayashi <i>et al.</i> , 1989
	<i>Clupea harengus</i>	Larva		Geffen, 1982
	<i>Opisthonema oglinum</i>	Juvenil & Adulto		Lessa <i>et al.</i> , 2008

(*) No se proporcionó rango

En estudios de campo (**Tabla 53**) la temperatura fue medida en el momento de la captura de peces y su edad de crecimiento se determinó mediante análisis de otolitos. La edad (días después de la eclosión, dph) puede diferir unos días entre los estudios (Peck *et al.*, 2013).

El calendario de maduración estacional y las características espacio y temporales del desove surgen del grado de adaptación fisiológica o tolerancia térmica y a las señales fototérmicas (como desencadenantes), junto con la disponibilidad de alimento (fito y zooplancton). Las diferencias en la tolerancia ya sea de temperatura, salinidad y factores abióticos entre especies son respuestas a los cambios ambientales que presenta su hábitat (Dovel, 1971; Oozeki *et al.*, 2007) (**Tabla 53**). La temperatura, se ha visto que impacta de igual manera a los distintos estados de crecimiento (del ciclo de vida), por ejemplo en la duración de etapas larvales en peces (Llanos-Rivera & Castro, 2006; Claramunt *et al.*, 2013) y en la sobrevivencia de estadios tempranos de peces, que se refleja después en el éxito del reclutamiento (Cubillos & Arcos, 2002; Gómez *et al.*, 2012; Cubillos *et al.*, 2001).

Tabla 53. Tasas de crecimiento (mm/d) reportadas a diferentes temperaturas (°C) para otras especies de clupeidos como el espadín europeo, anchovetas y sardinas europeas y anchovetas y sardinas japonesas en etapas tempranas (Peck *et al.*, 2013). Np: no presentado; dph: días después de la eclosión.

Especie/región	Estudio	Largo (mm)		Edad (dph)	T (°C)	Crecimiento (mm/d)	Referencias
		Mín	Máx				
Sardina europea							
Mar de Liguria	Campo	20	45		13	0,36	Romanelli <i>et al.</i> , 2002
Mediterráneo noroccidental	Campo	3,7	15,3	4	17	0,74	Catalán <i>et al.</i> , 2006
Mediterráneo noroccidental	Campo	2,9	19,4	4	23	0,55	Catalán <i>et al.</i> , 2006



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Mediterráneo noroccidental	Campo	17,8	22,6	18	33	15	0,38	García <i>et al.</i> , 2006
Portugal	Campo	8	26				0,49	Ré, 1984
Mar de Alborán del norte	Campo	11,4	28,3	6	61	15	0,31–0,51	Ramírez <i>et al.</i> , 2001
Mediterráneo oriental (Israel)	Campo	4,9	22	2	29	18–19,5	0,67	Walline, 1987
Anchoveta europea								
Atlántico norte	Campo					16–19	0,40	Ré, 1987
Mar Catalán	Campo	3,9	23,4	2	19	20	0,89	Palomera <i>et al.</i> , 1988
Golfo de Leones	Campo	4	22,5	1	21	16,5	0,61	García <i>et al.</i> , 1998
Mar Catalán	Campo	5,5	19	1	19	18	0,49	García <i>et al.</i> , 1998
Mar Catalán del norte	Campo	3,4	22	1	23	19	0,56	Sabatés <i>et al.</i> , 2007
Mar Catalán del sur	Campo	4,8	13,7	3	17	20	0,68	Palomera <i>et al.</i> , 2007
Mar Catalán del sur	Campo	7,4	20,1	4	19	23	0,86	Palomera <i>et al.</i> , 2007
Mar Catalán del sur	Campo	8,1	22,7	6	29	25	0,59	Palomera <i>et al.</i> , 2007
Mar Adriático norte	Campo	2,8	35,4	1	36	23	0,94	Dulcic, 1997
Mediterráneo oriental (Israel)	Campo	3	28	1	45	18–27,5	0,55	Walline, 1987
Mar Adriático	Campo		<25			>25	0,42–0,54	Coombs <i>et al.</i> , 1997
Mar Egeo del norte	Campo	2,5	18	0	24	21,5–23,6, 22–25,5, 21–23,7, 19,3–22	0,49	Somarakis & Nikolioudakis, 2007
Mar Egeo noroccidental	Campo	2,2	8,9	0	10	24,3	0,41	Catalán <i>et al.</i> , 2010
Mar Egeo noroccidental	Campo	2,4	13,7	0	20	23,9	0,53	Catalán <i>et al.</i> , 2010
Mar Egeo noroccidental	Campo	2,3	9,4	0	15	23,1	0,43	Catalán <i>et al.</i> , 2010
Mar Egeo noroccidental	Campo	2,4	12,9	0	10	22,3	0,75	Catalán <i>et al.</i> , 2010
Bahía Biscay	Campo	2,4	20,9	0	30	16,2–21,9	0,40–1,00	Cotano <i>et al.</i> , 2008
Mar Adriático	Lab.	2,3	15,1	0	15	19,0, 21,3, 24,1	0,60, 0,80, 0,70	Regner, 1980
Bahía Biscay_lab.	Lab.	2,5	20	0	45	17,6, 19,3, 20,8, 22,3	0,15, 0,26, 0,33, 0,29	Aldanondo <i>et al.</i> , 2008
Espadín (Sprat)								
Mar del Norte	Campo	2,5				11–13,5	0,36–0,40	Valenzuela & Vargas, 2002



Mar del Norte	Campo	6,8	20,1	0	31	11,3–13,3	0,41	Ré and Gonçalves, 1993
Mar del Norte (mixto)	Campo	5	27	2	75	np	0,43–0,47	Munk, 1993
Mar del Norte (estratificado)	Campo	5	27	2	75	np	0,13–0,35	Munk, 1993
Mar del Norte (sur)	Campo	3,9	16,5	0	28	11–14,4	0,39–0,48	Huwer, 2004
Mar de Irlanda	Campo	7,5	25	4	40	11–14,5	0,37 to 0,49	Shields, 1989
Mar Adriático	Campo	6,5	22,5	0	37	10–11,5	0,40–0,42	Dulcic, 1998
Mar del Norte	Lab.	4	15	0	20	15	0,31–0,37	Alshuth, 1988
Mar Báltico (superficie)	Campo	5	22	np	np	14,4	0,66	Daenhardt et al., 2007
Mar Báltico (profundo)	Campo	5	18	np	np	7,2	0,59	Daenhardt et al., 2007
Mar de Irlanda	Campo	10	26	0	46	9,6–13,4	0,30–0,47	Lee et al., 2006
Anchoveta japonesa								
Kuroshio–Oyashio	Lab.	2	38	0	32	22,0–24	0,43	Fukuhara, 1983
Kuroshio–Oyashio	Lab.	2	36	0	60	18,5–27,6	0,37–0,64	Fukuhara & Takao, 1988
Kuroshio–Oyashio	Campo	20	35	30	np	13,9–19,7	0,46–0,62	Takahashi et al., 2001
Kuroshio–Oyashio	Campo	20,3	35	41	np	13,4–17,9	0,4–0,62	Takahashi et al., 2001
Kuroshio–Oyashio	Campo	20	45	20	100	15,0–19	0,47–0,82	Takahashi & Watanabe, 2004
Kuroshio–Oyashio	Campo	30	34	32	78	13,2–21,5	0,30–1,09	Takahashi et al., 2009
Sardina japonesa								
Extensión Kuroshio y Kuroshio	Campo	8	33,4	np	np	11,8–20,2	np	Takasuka et al., 2007
Kuroshio–Oyashio	Campo	45	55	51	90	14–19,6	0,60–1,41	Takahashi et al., 2009
Aguas de Miyazaki (costero) y Kuroshio (oceánico)	Campo	5,4	33,7	4	69	17,7–20,1	0,41–0,81	Watanabe & Kuroki, 1997
Aguas japonesas	Lab.	4,8	22,5		15	18	0,67	Hayashi et al., 1989
Aguas japonesas	Lab.	np	np		15	20	0,86	Nakamura et al., 1991

5.1.5. Mortalidad natural (M)

Canales & Leal (2009) estimaron la mortalidad natural en la anchoveta en la zona centro norte de Chile, con los valores más altos, obtenidos con la aproximación de Pauly (1980), en $1,46 \text{ año}^{-1}$ y la más baja según el método de Rikhter & Efanov (1976) en $1,16 \text{ año}^{-1}$. El valor promedio entre los cinco métodos fue de $1,30 \text{ año}^{-1}$ (**Tabla 54**).



Tabla 54. Mortalidad natural (año^{-1}) de *E. ringens* en las zonas: centro norte (Canales & Leal, 2009) y centro sur de Chile (Cubillos *et al.*, 1998) estimada a partir de cuatro modelos empíricos.

Método	M (año^{-1})		M (año^{-1})	
Rikhter & Efanov (1976)	1,16	Canales & Leal, 2009	0,93	Cubillos <i>et al.</i> , 1998
Pauly (1980)	1,46	Canales & Leal, 2009	0,68	Cubillos <i>et al.</i> , 1998
Hoening (1983)	1,3	Canales & Leal, 2009	0,73	Cubillos <i>et al.</i> , 1998
Hewitt & Hoening (2005)	1,27	Canales & Leal, 2009	-	-
Promedio	1,3	Canales & Leal, 2009	0,7	Cubillos <i>et al.</i> , 1998

Otros parámetros de crecimiento son L_0 : talla al nacimiento; T_0 : talla cero; K : constante de crecimiento en año^{-1} ; L_∞ : talla asintótica teórica y $L_{m50\%}$: longitud de la madurez (**Tabla 55**). La talla media de madurez ($L_{m50\%}$) se define cuando la función logística alcanza el 50% de probabilidad de observar individuos maduros (Canales & Leal, 2009).

**Tabla 55.** Parámetros de crecimiento para la anchoveta y sardina común en las zonas norte, centro norte y centro sur, establecidos por distintos autores.

Parámetro	Unidad	Anchoveta				Sardina común			
		Zona centro norte		Zona norte		Zona centro sur			
		Valor	Autor	Valor	Autor	Valor	Autor	Valor	Autor
K	año ⁻¹	0,91	Canales & Leal, 2009	prom. 1,49	Cerna & Plaza, 2016	0,44	Cubillos <i>et al.</i> , 2002; Parada <i>et al.</i> , 2013	0,79	Cubillos <i>et al.</i> , 2002; Parada <i>et al.</i> , 2013
						0,73	Cerna, 2012	0,73	Cerna, 2012
						0,72	Aguayo, 1976		
						0,46	Gili en Barría <i>et al.</i> , 1998		
						0,51	Cubillos <i>et al.</i> , 2001		
						0,73	Cerna, 2011		
T ₀	años	-0,091	Canales & Leal, 2009	prom. -0,245	Cerna & Plaza, 2016	0,392	Cubillos <i>et al.</i> , 2002; Parada <i>et al.</i> , 2013	0,35	Cubillos <i>et al.</i> , 2002; Parada <i>et al.</i> , 2013
						-0,68	Aguayo, 1976		
						-1,43	Gili en Barría <i>et al.</i> , 1998		
						-0,04	Cubillos <i>et al.</i> , 2001		
						-0,92	Cerna, 2011		
L [∞]	cm	18,72	Canales & Leal, 2009	prom. 19,7	Cerna & Plaza, 2016	20,8	Cubillos <i>et al.</i> , 2002; Parada <i>et al.</i> , 2013	17,7	Cubillos <i>et al.</i> , 2002; Parada <i>et al.</i> , 2013
						18,05	Cerna, 2012	18,05	Cerna, 2012
						19,1	Aguayo, 1976		
						19,6	Gili en Barría <i>et al.</i> , 1998		
						20,1	Cubillos <i>et al.</i> , 2001		
						18	Cerna, 2011		
L _{m50%}	cm	12,5	Canales & Leal, 2009	12**	Cubillos <i>et al.</i> , 1999	11,5	Cubillos <i>et al.</i> , 1999	10	Cubillos <i>et al.</i> , 1999
M	año ⁻¹	1,3	Canales & Leal, 2009	1,2	Cubillos, 1991	0,7	Cubillos <i>et al.</i> , 1998; Cubillos <i>et al.</i> , 2002	0,7	Cubillos <i>et al.</i> , 2002

(**) a la edad de 120 días



5.1.6. Madurez sexual y reproducción

De acuerdo con la curva de crecimiento de *E. ringens* (Cubillos et al., 1998b), la talla media de primera madurez sexual es alcanzada entre enero y febrero, al año y medio de vida aproximadamente tomando en cuenta el primero de julio como fecha de cumpleaños arbitraria (**Tablas 56 y 57**).

Tabla 56. Edad y talla en la anchoveta y sardina común al alcanzar su madurez sexual, estimada sobre la base del máximo incremento porcentual del índice gonadosomático promedio por clases de tallas, por diversos autores.

Anchoveta			Sardina común		
Talla (cm)	Edad (años)	Autor	Talla (cm)	Edad (años)	Autor
12	1-1,5	Cubillos y Arancibia, 1993b; Cubillos et al., 1999, Claramunt et al., 2014	11,5	1	Claramunt et al., 2014, Cubillos et al., 2014
			11		Arrizaga, 1981; Arancibia et al., 1994

En términos reproductivos, ambas especies son ovípara, tiene sexos separados, presentan fecundación externa y desove fraccionado a lo largo del año, con un período máximo reproductivo alrededor de los meses de agosto-septiembre y otro de menor intensidad cerca de enero-febrero (**Tabla 57**).

Tabla 57. Fechas (meses) cuando la anchoveta y sardina común alcanzan la máxima actividad reproductiva, reportada por distintos autores.

Máxima actividad reproductiva			
Anchoveta		Sardina común	
Meses	Autores	Meses	Autores
Julio-diciembre	Cubillos y Arancibia, 1993 a, b, c; Cubillos et al., 1999; Canales & Leal, 2009	Julio-septiembre	Arrizaga, 1981; Cubillos y Arancibia, 1993 a, b; Arancibia et al., 1994
Agosto-septiembre y secundario entre enero-febrero	Cubillos et al., 1998b	Agosto-septiembre	Bustos & Cubillos 2016
Mayor de julio a diciembre y máxima de Agosto-octubre	Cubillos, 1990; Cubillos et al., 1999; Canales & Leal, 2009	Máximo IGS en Agosto	Cubillos et al., 1999

Cubillos et al. (1999), han postulado en sus estudios que la mayor actividad reproductiva poblacional de ambas especies, centrada en agosto, es una respuesta adaptativa de las poblaciones al sistema de surgencia costera estacional de la zona centro sur de Chile. La mayor productividad asociada al período de surgencias que comienza a mediados de septiembre y que se extiende hasta fines de marzo, sería favorable tanto para la sobrevivencia y crecimiento de estados larvales y juveniles como



para el almacenamiento de energía de los adultos para ser utilizada en la reproducción durante el período invernal.

La época reproductiva se determina según la evolución mensual del índice gonadosomático promedio (IGS) de las hembras (Claramunt *et al.*, 2012). Se reconoce actividad reproductiva cuando estos índices alcanzan valores >5% dentro de un ciclo anual.

Entre otros indicadores reproductivos, se encuentra el indicador reproductivo de la proporción de hembras activas (PHA), que corresponde a la fracción de hembras en estado de madurez (EMM 3 y 4) sobre el total de hembras muestreadas y permite conocer la incidencia de hembras con madurez sexual, que estén participando del evento reproductivo. El índice de actividad de desove (IAD) es un indicador histológico de la actividad de desove que requiere de la observación sistemática del ovario para identificar la presencia de folículos post ovulatorios (FPO) y de ovocitos hidratados para estimar la proporción de individuos que alcanzaron esta condición en el stock parental (componente de la fracción adulta en actividad de desove inminente y reciente). Finalmente, el indicador histológico de la atresia ovocitaria (IAO), permite visualizar la atresia ovocitaria masiva como indicador de la finalización del evento reproductivo, o de algún factor perturbador del proceso de maduración gonadal y de desove, su cálculo requiere conocer la incidencia de hembras con atresia ovocitaria masiva ($\geq 50\%$ ovocitos atresicos).

Cerna & Plaza (2015) en el centro sur, determinaron el periodo de hembras activas (PHA) en la sardina común: Inicio: semana 28 (6 julio), IGS ≥ 6 , PHA $\geq 5\%$ (IGS ~PHA). Fin: semana 44 IGS < 6 y PHA $< 5\%$ (31 octubre).

Castro *et al.* (2000), señalan que la reproducción de la anchoveta y sardina no estaría asociada a una sola característica biológica y ambiental, sino que a un conjunto de variables que cambian dependiendo del periodo y ubicación del desove, con el fin de aumentar las posibilidades de supervivencia de sus huevos y larvas. Se ha descrito que la temporada de desove puede variar de acuerdo a factores ambientales y factores biológicos. En el caso de lo ambiental, Claramunt *et al.* (2012), señalaron para las anchovetas la importancia que tendrían las concentraciones de clorofila-a como indicador de la biomasa fitoplanctónica que más tarde se traduciría en disponibilidad de alimento durante el desove, más que la temperatura del agua. En este sentido, Mori *et al.*, (2011) propusieron que el desove invernal de anchoveta sería detonado por la alimentación durante procesos de surgencia (intensificación estacional) y que el desove estival podría estar dado por la temperatura superficial del mar. Cubillos *et al.* (2014), encontraron que la temperatura del agua es determinante para el desove de la sardina y junto con la disponibilidad de alimento, pueden afectar el rendimiento reproductivo como lo menciona Llanos-Rivera & Castro (2004). Para otras especies de pequeños pelágicos se han determinado rangos límites de temperaturas durante el proceso del desove (**Tabla 58**).

En ambas especies la influencia maternal por edad y tamaño, podría tener un rol importante en el desove, ya que hembras más grandes que tienen mayor energía (lípidos) producirían huevos más grandes, con mayor probabilidad de sobrevivir (Castro *et al.*, 2009; Contreras-Reyes *et al.*, 2016).



Tabla 58. Rangos de temperatura del agua durante el desove de especies de sardina y anchoveta europeas, reportado en varios estudios y/o regiones (Peck *et al.*, 2013). Y rangos preferentes durante el desove de anchoveta y sardina común en la zona centro sur de Chile, con información histórica (2014-2019) de los cruceros MPDH.

Especies/región	Temp. agua desove (°C)		Referencias
	Mín	Máx	
Sardina europea			
bahía Biscay	12,5	15	Planque <i>et al.</i> , 2007
canal de la Mancha a Portugal	14	15	Coombs <i>et al.</i> , 2006
Atlántico Nororiental	11,5	18	Ibaibarriaga <i>et al.</i> , 2007
Noroeste Africano	16	18	Coombs <i>et al.</i> , 2006
Mediterráneo Noroccidental	12	19	Palomera <i>et al.</i> , 2007
península Ibérica	12	19	Stratoudakis <i>et al.</i> , 2007
África del norte	15,5	20	Mata <i>et al.</i> (1997) en Stratoudakis <i>et al.</i> (2007)
Golfo de Tunes	13	21,8	Zarrad <i>et al.</i> , 2008
Anchoveta europea			
bahía Biscay	14	18	Motos <i>et al.</i> , 1996
Atlántico Nororiental	14	19	Ibaibarriaga <i>et al.</i> , 2007
bahía Biscay	14,5	19	Planque <i>et al.</i> , 2007
estuario de Mira (Portugal)	15,5	19,5	Ré, 1996
Mediterráneo Noroccidental	15,5	24	Palomera <i>et al.</i> , 2007
Mediterráneo Noroccidental (a)	17	19	Palomera <i>et al.</i> , 2007
Mediterráneo Noroccidental	15	22	García & Palomera, 1996
golfo de Cádiz	14	22	Ruiz <i>et al.</i> , 2006
Mar de Alborán	19	23	Rodríguez & Rubín, 1986 y Rodríguez, 1990
Mediterráneo Noroccidental	16	24	Palomera <i>et al.</i> , 2007
golfo de Tunes	16	25	Zarrad <i>et al.</i> , 2006
Adriático del sur	13,1	27,3	Regner, 1996 y referencias en el mismo
Adriático del norte	11,6	27,5	Regner, 1996 y referencias en el mismo
Benguela del sur (a)	18,5	23	Twatwa <i>et al.</i> , 2005
Benguela del sur	14,5	24,5	Twatwa <i>et al.</i> , 2005



Anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>) y Sardina común (<i>Strangomera bentincki</i>)	9,5	14,51	Análisis histórico MPDH centro sur de Chile (2002-2019) y otros estudios (Castro <i>et al.</i> , 1997, 2000; Escribano <i>et al.</i> , 2004; Daneri <i>et al.</i> , 2005; Soto 2009; Soto-Mendoza <i>et al.</i> , 2010; Zúñiga, 2011)
--	-----	-------	---

(a): Valores de análisis de cociente preferidos >1

5.1.7. Área del desove

En la zona centro sur, el área de desove de anchoveta y sardina común se ubica fundamentalmente dentro de las primeras 20 mn al sur de Lebu en la Región del Biobío (Isla Mocha) hasta el puerto de Corral en la Región de Los Ríos (38°30'S y 39°30'S), la cual correspondería a una zona de pre reclutamiento y desove con un alto nivel de retención (Parada *et al.*, 2012, Soto-Mendoza *et al.*, 2012; Cubillos *et al.*, 2015), producto de una alternancia entre convergencias costeras producidas por vientos norte que favorecerían la concentración y retención en la costa y vientos sur que promoverían el enriquecimiento de aguas costeras con eventos de surgencia de moderada intensidad (Cubillos *et al.*, 2001). El área principal de desove de la sardina común es al sur de punta Nugurne (35°5'S), en el golfo de Arauco (37°10'S) y en el sector sur (37°30'-41°20'S), el desove de anchoveta presenta núcleos de mayor densidad entre la desembocadura del río Toltén y en Corral (Cubillos *et al.*, 2015).

5.1.8. Reclutamiento

Los reclutas son los individuos que ingresan por primera vez a la fase explotable del stock y comienzan a tener un efecto decisivo en la dinámica de su población (Csirke, 1989). La respuesta a los cambios ambientales puede modificar la estacionalidad del reclutamiento, ya sea por el desplazamiento de los momentos de máximo desove o la ampliación de éstos ante cambios repentinos, como respuesta a cambios ambientales interanuales como el fenómeno El Niño o variaciones interdecadales en la productividad del ecosistema (Ñiquen *et al.*, 1999, Alheit y Ñiquen 2004; Ñiquen y Bouchon, 2004; Oliveros-Ramos & Peña, 2011). En general; la variabilidad del reclutamiento sucede como una respuesta más o menos inmediata a las condiciones ambientales durante o inmediatamente después del desove (Csirke, 1980; Oliveros-Ramos & Peña, 2011).

El reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro sur, se presenta en forma masiva desde noviembre hasta marzo, siendo máximo a la mitad del verano en febrero, con ejemplares en torno a una talla promedio entre 5 y 9 cm, se registran pulsos menores durante el invierno, provocados por la amplia extensión en el tiempo del desove de invierno de anchoveta (Castillo *et al.*, 2013). Entre abril y junio, los juveniles originados durante el desove del año anterior comienzan a ser pre adultos y los adultos comienzan una migración activa para formar agregaciones pre reproductivas (Cubillos *et al.*, 2001). Las anchovetas pre reclutas y reclutas <6 meses de edad crecen y se desarrollan en el sistema de bahías de la zona centro sur, al norte de la Isla Mocha (Cerna & Plaza, 2015), que han sido caracterizadas como zonas de reclutamiento y crecimiento entre las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y de la Araucanía (Zúñiga *et al.*, 2016).

5.2. Etapa de huevos

La anchoveta *Engraulis ringens* y la sardina común *Strangomera bentincki*, desovan huevos planctónicos en la zona centro sur (33°S - 36°S) durante la estación reproductiva que comienza en julio y que se extiende hasta diciembre-enero (Cubillos et al., 1999). Los huevos de ambas especies se distribuyen en los primeros 20 m de la columna de agua, incrementando su abundancia hacia la superficie (Giraud, 2011). En la anchoveta se ha descrito una disminución en la calidad bioquímica del huevo a medida que la estación reproductiva avanza (Castro et al., 2002), por lo tanto, los embriones presentan una menor calidad al finalizar el periodo reproductivo. Dado que la anchoveta y la sardina común comparten similitudes en las características reproductivas se podría esperar lo mismo para esta última.

5.2.1. Estadios de desarrollo embrionario

Los estadios de desarrollo de los huevos de anchoveta (*Engraulis ringens*) se basan en los cambios morfológicos y de tamaño que se producen en el transcurso de la embriogénesis contabilizando 11 etapas de desarrollo (Santander et al., 1984; Fisher, 1958; Soto, 2001) (**Figura 63**). El desarrollo morfológico de los estadios de huevos para la sardina común (*Strommerra bentincki*) fueron adaptados a los establecidos para la anchoveta (Herrera et al., 1987; Sepúlveda et al., 2000; Cubillos et al., 2007).

Q2

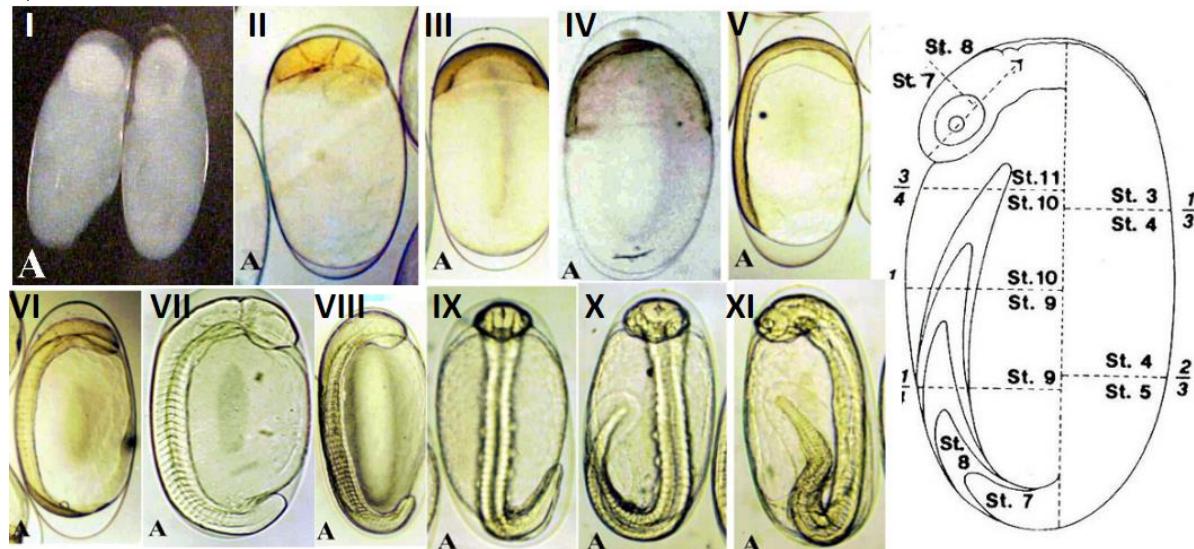


Figura 63. Huevo de anchoveta (*Engraulis ringens*) según estadios de desarrollo (del 1 al 11), de Soto (2001) y un esquema propuesto de Moser & Ahlstrom (1985).

5.2.2. Modelo de desarrollo de huevos en función de la temperatura

El desarrollo embrionario de los peces es posible modelarlo en función de la temperatura y su estadio, como lo realizado para la anchoveta *Engraulis mordax* (Lo, 1985). La tasa de desarrollo de esta especie junto con *Engraulis ringens* no son significativamente diferentes (Soto, 2001), por lo que solo se realiza un ajuste de los parámetros utilizados por Lo (1985) (**Figura 64**). Mejoras en el ajuste de la información obtenida por Soto (2001) fueron realizadas por Claramunt *et al.* (2007) al utilizar el modelo Multinomial, el cual incorpora ventajas estadísticas y biológicas, de esta forma, asume que el proceso de desove es sincrónico, al interpretar adecuadamente la información de entrada y el proceso de desarrollo del huevo, ya que contrasta directamente la proporción observada de un estadio con la estimada a una edad dada, que se establece entre la hora de colecta y el pico de desove. El modelo Multinomial predice que el estadio 4 es de menor duración que los continuos y que los últimos tres estadios del 9 al 11, los cuales son muy rápidos, por lo que tienen baja probabilidad de ser encontrados durante los cruceros MPDH (Claramunt *et al.*, 2007).

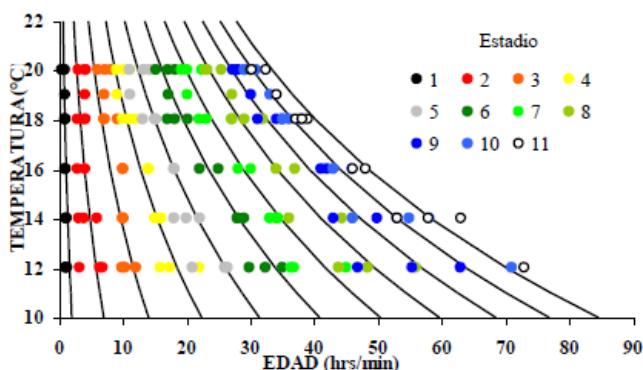


Figura 64. Modelo de desarrollo del huevo de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en función del estadio y la temperatura (Soto, 2001).

El tiempo de desarrollo del huevo de anchoveta, desde el desove a la eclosión depende de la temperatura, sin embargo, no se encuentran diferencias en la tasa de desarrollo a una misma temperatura entre zonas norte y centro sur (Claramunt *et al.*, 2007, Tarifeño *et al.*, 2008). Algunos experimentos de incubación, indican que el desarrollo embrionario se acelera en los niveles superiores de temperatura del rango óptimo, que comprende entre 12°C y 15°C en Talcahuano y entre 15° y 18°C en Antofagasta, además en esta última localidad a temperaturas <10°C el desarrollo embrionario no ocurre o presenta alguna anormalidad (Tarifeño *et al.*, 2008). Soto *et al.* (2004) encontraron que la tasa de desarrollo del huevo de anchoveta en la zona norte varía de 1,4 a 3 días para un desarrollo completo (estadios del 1 al 11) a 20°C y 12°C, respectivamente. Claramunt *et al.*, (2007) encontraron que la anchoveta en la zona centro-sur varió de 2,5 a 5 días para el desarrollo (estadios del 1 al 11) a 16°C y 10°C. Otros parámetros de la ecuación de Lo (1985) para la anchoveta y sardina común en la zona centro-sur han sido propuestos por Cubillos *et al.* (2005, 2007).



Además, de características hidrográficas naturales del ambiente en el que se produjo el desove, como la temperatura y salinidad que puedan alterar el desarrollo embrionario en los huevos, observado en la sardina común (Vásquez *et al.*, 2010), también pueden ocurrir alteraciones por factores internos, como el tiempo de desarrollo por el tamaño inicial del huevo en ambas especies, el que a mayor tamaño se genera menor tasa de desarrollo, como lo que podría ocurrir en la zona centro sur de Chile (Llanos-Rivera & Castro, 2004, Tarifeño *et al.*, 2008).

5.2.3. Mortalidad de los huevos

La agregación espacial es uno de los factores secundarios que explican la variación en la mortalidad de huevos y larvas en estadio temprano de los peces pelágicos (McGurk, 1986, 1987). En un sentido ecológico, estos estadios son más vulnerables a los predadores cuando se encuentran agregadas en parches que cuando están dispersos. Bustos (2018) encontró que la mortalidad del huevo es más alta en la zona norte que en la zona centro sur y con diferencias más significativas debido a la distribución espacial, entre los años analizados (2002-2014), estas diferencias estarían asociadas a las tácticas reproductivas de las hembras adultas de anchoveta. En experimentos de terreno realizados por Fuenzalida *et al.* (2009), encontraron que las tasas de mortalidad fueron del 43% en el 2008 y 69% en el 2009, los cuales tuvieron mejor asociación con la abundancia de predadores gelatinosos ($>10/m^3$) que con la presencia de la capa de mínimo oxígeno. En este trabajo, concluyeron que las bajas concentraciones de oxígeno no tienen un efecto apreciable en la sobrevivencia de los huevos de anchoveta, lo que atribuyen al bajo consumo de oxígeno a nivel de embrión y a posibles mecanismos bioquímicos que aún no han sido estudiados (eg. características de la hemoglobina embrionaria).

Cubillos *et al.* (2007) estimaron la mortalidad del huevo entre 0,22 y 0,47 huevos/día en la anchoveta de la zona norte y centro sur de Chile, respectivamente, mientras que en la sardina común se estimó una mortalidad entre 0,98 y 0,80 huevos/día en las mismas zonas.

5.2.4. Características del huevo

El huevo de anchoveta es regularmente ovalado, carente de gota oleosa, con cápsula totalmente lisa y vitelo vesiculado, es decir, dividido en numerosos alvéolos claramente visibles (Fisher, 1958). Los huevos de *S. común* (*Strangomera bentincki*), además de ser transparentes, poseen características tales como un coiron delgado, frágil y sin ornamentación, un espacio perivitelino muy reducido, vitelo segmentado, ausencia de gota oleosa y un diámetro de 0,96 mm aproximadamente (Herrera *et al.*, 1987; Vásquez *et al.*, 2010).

Las características del huevo pueden variar según el factor estacional de las características del medioambiente y fuente alimenticia de la anchoveta de la zona norte y de la zona centro sur de Chile (Castro *et al.*, 2009, 2010, 2020). Por lo tanto, es esperable que se apliquen diferentes tácticas reproductivas donde la anchoveta se acomode a las condiciones predominantes del medio ambiente



(tamaño del huevo, fecundidad), con una respuesta que sería en la escala de la frecuencia de desove, en semanas (Claramunt *et al.*, 2012).

Las características dimensionales de los huevos de anchoveta en cuatro zonas a lo largo de Chile y sus diferencias, para cruceros de invierno entre los años 1995 y 1997 las describe Llanos-Rivera & Castro (2004) (**Tabla 59**). En el caso de la sardina común (*Strangomera bentincki*), Soto-Mendoza *et al.* (2010) reportaron tamaños de huevos entre 0,98 y 1,02 mm en la zona centro sur de Chile, en las proximidades del río Itata. En especies de la misma familia, como la sardina fueguina (*Sprattus fueguensis*), Landaeta *et al.* (2011) reportaron en la zona austral de Chile, tamaños mayores, entre 0,922 y 1,361 mm, con los huevos de mayor tamaño (>1,25 mm) en aguas menos densas asociadas a zonas de deshielos (densidad en *sigma-t* entre 16-17 kg/m³).

Tabla 59. Características de los huevos de anchoveta (ancho, largo y volumen) recolectados en diferentes latitudes a lo largo de la costa de Chile, durante los meses de máxima actividad reproductiva. D.S.: desviación estándar; n: número de muestras (Llanos-Rivera & Castro, 2004).

Latitud (Sur)	Área	Ancho (mm)		Largo (mm)		Volumen (mm ³)		
		Promedio	D.S.	Promedio	D.S.	Promedio	D.S.	n
20°S	Iquique	0,563	0,032	1,201	0,076	0,201	0,031	1670
23°S	Antofagasta	0,597	0,030	1,293	0,083	0,243	0,034	425
33°S	Valparaíso	0,643	0,023	1,373	0,064	0,298	0,026	62
36°S	Talcahuano	0,657	0,027	1,377	0,063	0,312	0,030	1833

5.2.5. Composición y calidad bioquímica del huevo

La composición bioquímica de los huevos junto con su tamaño, representan un factor importante para el éxito de la eclosión y sobrevivencia de las larvas (Castro *et al.*, 2009, 2010). Los huevos más grandes contienen concentraciones más altas de lípidos totales, colesterol y proteínas, y por lo tanto presentan mayor posibilidad de sobrevivencia en condiciones medioambientales adversas (Castro *et al.*, 2009). Determinado por el sistema reproductivo de la hembra, los huevos en Talcahuano contienen mayor cantidad de lípidos y triglicéridos que los de Iquique, por lo que parecen estar mejor preparados a las condiciones turbulentas de invierno durante la temporada del desove en esta zona (Castro *et al.*, 2009). Castro *et al.* (2009) estudiaron la composición bioquímica del huevo, que también varía a través de la temporada de desove, con lípidos más altos en la época temprana del desove, de julio a agosto.

La calidad del huevo asociado a su composición bioquímica, además se correlaciona a la calidad de alimento consumido por la hembra adulta de anchoveta (Castro *et al.*, 2010). Analizando la comida de las larvas, se ha encontrado que niveles más altos de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) se asocian al consumo de copépodos calanoides herbívoros, típico de zonas de surgencia, mientras que niveles más altos de la proporción de ácidos DHA/EPA indican mayor consumo de diatomeas (Castro *et al.*, 2009). También hay cambios que ocurren entre estas especies durante condiciones frías, como las



encontradas en el año 2007, comparado con otro año más cálido en el 2005, donde los niveles de PUFA fueron más altos y los de DHA/EPA disminuyeron, lo que sugiere mejores condiciones para el desove durante el 2007 (Castro *et al.*, 2010), lo que también se traduce en un aumento de volumen en el huevo para enfrentar el medio ambiente predominante asociado a la plasticidad fenotípica (Claramunt *et al.*, 2012).

5.2.6. Volumen o tamaño del huevo

El tamaño del huevo se correlaciona con características larvales como la longitud de la larva en la eclosión, el tiempo hasta la primera alimentación y el tiempo antes de la etapa cuando empiezan a alimentarse, como lo han señalado Llanos-Rivera & Castro (2004) y Castro *et al.* (2009). Además, el volumen del huevo varía ampliamente en especies y en poblaciones de la misma especie, y también puede depender de la condición reproductiva de la hembra (factor de condición materna).

El tamaño del huevo tiende a decrecer con el progreso de la temporada de desove y se incrementa en forma meridional, como lo han estudiado Llanos-Rivera & Castro (2004) y Castro *et al.* (2009). Los huevos de anchoveta en la zona centro-sur de Chile son más grandes que en la zona norte de Chile, mientras que los huevos de sardina común son similares a los de *Engraulis ringens* en otras áreas de surgencia (Cubillos *et al.*, 2007). Claramunt *et al.* (2012) señalaron que el volumen de los huevos de anchoveta en la zona norte tuvieron una relación negativa con la temperatura del agua a 10 m profundidad, confirmando que los huevos de mayor volumen (tamaño) se encontraron a menores temperaturas (**Figura 65**).

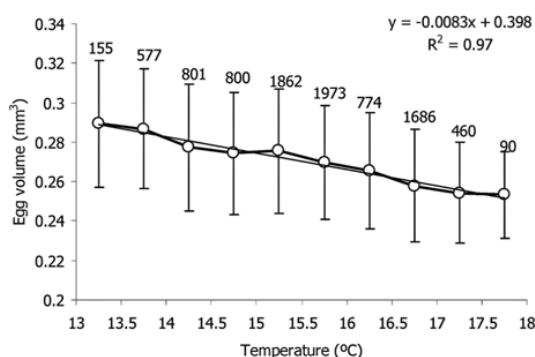


Figura 65. Volumen medio de los huevos (mm^3) a intervalos de temperatura de $0,5^\circ\text{C}$ para todos los años agrupados (2000-2003, 2007). El número de muestras está indicado en cada intervalo. Líneas verticales: intervalos de desviación estándar/volumen medio de los huevos (mm^3) (Claramunt *et al.*, 2012).

Durante el periodo del máximo de desove de anchoveta, Llanos-Rivera & Castro (2004) encontraron que el huevo en la zona norte (20°S) fue 55% más pequeño que el huevo de la zona centro sur (36°S), mientras que los menores tamaños medidos en Iquique ($<0,19 \text{ mm}^3$) no se encontraron en

Talcahuano, tampoco los mayores tamaños medidos en Talcahuano ($>0,30 \text{ mm}^3$) se encontraron en Iquique. Se ha visto que al inicio del invierno el tamaño del huevo tiene una alta correlación con la larva en la eclosión (Castro *et al.*, 2009). En el caso de la *S. común* (*S. bentincki*) los volúmenes del huevo en la zona centro-sur de Chile varían normalmente entre 0,42 y 0,48 mm^3 (Figura 66).

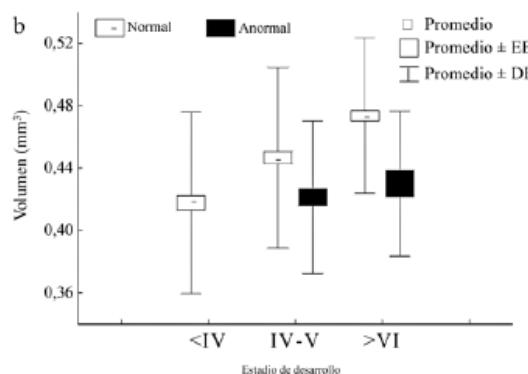


Figura 66. Variación en los volúmenes de huevo normales y anormales de *Strangomera bentincki* agrupados por estadios de desarrollo (Vásquez *et al.*, 2010).

5.2.7. Densidad del huevo

Modelos de ajuste para estimar la densidad y asentamiento del huevo en pequeños pelágicos, asumen que ésta tiene forma de esferoide prolato, que su densidad varía en función de su desarrollo y que depende de las características oceanográficas que influyen en su desarrollo fisicoquímico (Bernal *et al.*, 2001, Coombes *et al.*, 2004, Ospina-Álvarez *et al.*, 2012). Coombs *et al.* (2004) identificaron que en huevos de anchoveta (*E. encrasicolus*) y sardina (*S. pilchardus*), éstos tienden a tener una leve boyantes positiva en casi todas sus fases de desarrollo hasta antes de eclosionar, luego, cuando la osmo regulación del citoplasma comienza, la densidad se incrementa y la boyantes se vuelve neutra o negativa. Ospina-Álvarez *et al.* (2012, 2013) y Parada *et al.* (2003) demostraron a través de modelación IBM (Individual-Based Model), las diferencias en el transporte, y consecuentemente, en el éxito del reclutamiento en función de la densidad del huevo de la anchoveta en Europa (*E. encrasicolus*) y Sudáfrica (*E. capensis*).

Otros estudios del transporte de huevos de anchoveta, realizados con modelación (IBM) en la zona de surgencia Chile-Perú han utilizado las funciones de boyantes del huevo para *E. capensis* (Brochier *et al.*, 2008, Parada *et al.*, 2012) o valores de densidad fijos de 1.00, 1.025 y 1.05 g/cm^3 (Soto-Mendoza *et al.*, 2012) o un rango de 1.023-1.027 g/cm^3 (Brochier *et al.*, 2008).



5.3. Etapa de larvas

Mediante trabajos de laboratorio de Fischer (1958) demostró que las larvas de anchoveta miden entre 2,9 y 3,1 mm de longitud las primeras horas después de su nacimiento (Muck *et al.*, 1984). En esta etapa de su ciclo de vida se les conoce como crías y pueden durar de 4,4 días (Ware *et al.*, 1981) hasta 5 días, a temperaturas entre 11,5°C y 13°C (Fischer, 1958). Su cuerpo es largo y cilíndrico y su cabeza más ancha (Einarsson & Rojas de Mendiola, 1963; Fischer, 1958). Sus ojos son grandes y carecen de pigmento, su boca no es funcional y se comportan prácticamente como partículas pasivas (Fischer, 1958), es decir, su transporte está determinado mayormente por la dirección y magnitud de las corrientes oceánicas.

Las anchovetas en estado larval, poseen un saco vitelino piriforme, que abarca el 60% de la longitud total de cuerpo, el que es un poco alargado y termina en punta en el extremo posterior del intestino, así lo demostraron los trabajos de Einarsson & Rojas de Mendiola (1963) y Fischer (1958). Su saco vitelino le permite sobrevivir durante un periodo determinado de 2 a 8 días (Llanos-Rivera & Castro, 2006), ya que al no tener una boca funcional no pueden alimentarse por sí solas. Mediante experimentos de laboratorio de crianza de huevos de anchoveta colectados en distintas poblaciones o unidades de stock en el norte (Antofagasta) y centro sur (Talcahuano), Llanos-Rivera & Castro (2006) demostraron que el periodo de duración del saco vitelino de las larvas depende de la temperatura del agua. En ambas poblaciones, se vio una disminución del saco vitelino al incrementarse la temperatura (Llanos-Rivera & Castro, 2006), la mayor diferencia entre el consumo del saco vitelino ocurrió entre el rango de temperaturas 10°C - 12°C, y una menor variación de temperatura se observó entre el rango 18°C - 20°C.

A medida que se reabsorbe el vitelo, las larvas de anchoveta alcanzan una talla aproximada de 4,5 mm luego de 7 días de haber nacido y pasan a la fase de pre larva (Fischer, 1958). En esta etapa las larvas comienzan a desarrollar las estructuras necesarias para ver, nadar, capturar a sus presas y alimentarse, es decir tienen la mandíbula bien formada y los ojos han completado su pigmentación. Orellana & Balbontín (1983), encontraron que el saco vitelino estuvo totalmente absorbido en larvas de sardina común que midieron 4,6 mm y de anchoveta que midieron 3,8 mm. Es en este periodo requieren las mayores concentraciones de alimento (Hunter, 1972), de lo contrario podrían morir por inanición (Lasker *et al.*, 1970). Se ha demostrado en estudios de laboratorio que las larvas de *E. mordax* mueren de inanición después de un día y medio sin alimentarse (Lasker *et al.*, 1970) y que la densidad de alimento que requieren sus larvas, justo después de agotar su saco vitelino, puede ser hasta 37 veces mayor que la requerida por larvas más viejas (Hunter, 1972).

El proceso de flexión de la notocorda en la anchoveta, se inicia en larvas entre 4,9 a 5,4 mm de longitud mientras que para la sardina común se inicia entre 7,4 a 7,7 mm y finaliza entre los 12 y 12,6 mm (Orellana & Balbontín, 1983). Este proceso de flexión, está asociado con cambios en las capacidades de desplazamiento de las larvas a lo largo de su desarrollo (Somarakis & Nikolioudakis, 2010). Para la anchoveta, así como para otros clupeidos, la migración vertical diurna se comienza a observar en larvas en post flexión (Landaeta & Castro, 2013; Somarakis & Nikolioudakis, 2010). Este



comportamiento les permite controlar su distribución vertical durante el día, lo cual determina su transporte horizontal. Dado que las larvas tienen una natación débil en comparación con las corrientes oceánicas horizontales, su transporte va a depender de la dirección y magnitud de las corrientes, lo que varía con la profundidad.

En la zona centro sur, Landaeta & Castro (2013) observaron que las larvas de anchoveta en post flexión, con tamaño >10 mm, inflan su vejiga natatoria durante la noche y la desinflan durante el día, después de las 20 h, $>50\%$ de estas larvas tenían la vejiga natatoria inflada, lo que fue disminuyendo al amanecer. Este mecanismo estuvo asociado con la distribución vertical diurna de las larvas, ya que las larvas con la vejiga inflada estuvieron localizadas cerca de la superficie. Cambios en la distribución vertical de las larvas >10 mm de longitud también ha sido observado en especies de anchoveta de otras partes del mundo, tales como *Engraulis encrasicolus* (Palomera, 1991; Stenevik *et al.*, 2007) y *Engraulis mordax* (Hunter & Sanchez, 1976).

Estudios de la alimentación de estos Clupeiformes durante el estado larval mencionan que la dieta consistiría en zooplancton (estadios de copépodos: huevos, nauplii, copepoditos) en sardina común (Rojas de Mendiola, 1974; Valenzuela *et al.*, 1995; Llanos *et al.*, 1996; Llanos-Rivera *et al.*, 2004), y principalmente y casi exclusivamente fitoplancton (diatomeas y dinoflagelados) en anchoveta (Ware *et al.*, 1981). A medida que se va desarrollando la larva de anchoveta, su alimentación cambiaría a presas zooplanctónicas como nauplii o copepoditos (Muck *et al.*, 1989; Yáñez-Rubio *et al.*, 2011), mientras que las larvas de sardina común mantendrían su preferencia por el zooplancton. Análisis desarrollados en la bahía de Concepción sobre la dieta de larvas de *Sardinops sagax*, *S. bentincki* y *E. ringens*, muestran un alto nivel de solapamiento dietario entre las especies (a excepción de *E. maculatum*) (Llanos-Rivera *et al.*, 1996, 2004). Además, la composición de la dieta depende del tamaño de la boca de las larvas. En un estudio de Llanos *et al.* (1996) se determinó la talla de las presas al iniciarse la alimentación de larvas de clupeiformes en la zona centro sur, durante la primera alimentación la boca de las larvas de sardina común tiene un ancho de 220 μm , lo que les permite capturar presas desde 50 a 100 μm . Mientras que, las larvas de anchoveta comienzan a capturar a sus presas con un ancho de boca más pequeño (170 μm), lo cual les permite alimentarse de presas entre 40 y 80 μm (Llanos *et al.*, 1996). Así mismo, se ha determinado que en ambas especies el tamaño de las presas va aumentando a medida que las larvas van creciendo (Llanos-Rivera *et al.*, 2004; Llanos *et al.*, 1996).

En Chile, la posición trófica y descripción de la dieta de las especies de peces han sido realizadas tradicionalmente en base al método de análisis de contenido gástrico, método que presenta algunas limitaciones especialmente en cuanto a reflejar la alimentación en períodos prolongados, ya que los contenidos gástricos solo muestran la alimentación reciente. En ocasiones, no se encuentran presentes todas las presas que componen su dieta; éstos no pueden ser identificados por que las presas se encuentran muy digeridas o, producto del estrés, se ha regurgitado o defecado el material (Fortier & Harris, 1989). Por otro lado, el número de larvas que generalmente se encuentra con contenido gástrico es bajo (Muck *et al.*, 1989), por lo que la contribución relativa de los diferentes ítems presa puede no discernirse claramente (Hunter, 1981).



Las larvas de sardina común y anchoveta presentan una tasa de crecimiento rápida, entre 0,13 y 0,98 mm/d (Molina-Valdivia, 2018), que puede variar de acuerdo al lugar, a la estación del año e incluso entre cohortes larvales (Contreras et al., 2017; Hernández-Miranda & Castro, 2000; Molina-Valdivia et al., 2020; Rodríguez-Valentino et al., 2018) y que puede variar entre estas especies (Molina-Valdivia, 2018) (**Tabla 60**). Dado que ambas especies presentan distintas tácticas durante el desarrollo larval. *Strangomera bentincki* es una especie endémica con tasas de crecimiento más lentas, pero constantes, incluso cuando la mortalidad instantánea aumentó; por otro lado, *Engraulis ringens* presentó tasas de crecimiento larvales más rápidas que la sardina, pero amplias variaciones temporales a escala corta, que podrían estar afectando la mortalidad larval. Se ha demostrado que cambios en la temperatura del agua afecta la tasa de crecimiento de las larvas de anchoveta. Un trabajo que compara las tasas de crecimiento de larvas de anchoveta, mediante experimentos de laboratorio con huevos colectados en Antofagasta y Talcahuano (Llanos-Rivera & Castro, 2006), mostró que en ambas poblaciones la tasa de crecimiento se incrementa con la temperatura. Otros factores, como el cuidado parental de la hembra, también afecta las tasas de crecimiento de su progenie (Contreras et al., 2017).

Tabla 60. Crecimiento larval de varias especies que habitan el ecosistema de la Corriente de Humboldt (Molina-Valdivia, 2018).

Especie	TC (mm/d)	Referencias
<i>Strangomera bentincki</i>	0,13-0,43	Molina-Valdivia, 2018
<i>Strangomera bentincki</i>	0,31-0,42	Rodríguez-Valentino, 2016
<i>Engraulis ringens</i>	0,34-0,98	Molina-Valdivia, 2018
<i>Engraulis ringens</i>	0,50-0,85	Contreras et al., 2017
<i>Engraulis ringens</i>	0,45-0,47	Herrera et al., 1985; Hernández & Castro, 2000
<i>Sardinops sagax</i>	0,40-0,65	Castillo et al., 1985
<i>Sardinops sagax</i> (Australia)	0,58-0,82	Strong & Ward, 2009

Ambas especies tienen una elevada tasa de mortalidad natural (Cubillos et al., 1999) la que podría aumentar si los embriones son expuestos a niveles de radiación UVB que para otras especies son dañinos, especialmente si se considera que ambas especies carecen de pigmentos hasta la organogénesis temprana y que sus huevos son de corion transparente (Herrera et al., 1987, Artuz 1999). La tasa de mortalidad de las larvas es alta y variable, según el estudio de Molina-Valdivia (2018) con una tasa de mortalidad diaria de larvas de anchoveta que varió entre 3,5% y 23,3%, mientras que para la sardina común varió entre 9,6% y 23,3%. Por otro lado un estudio de Castro & Hernandez (2000), estimaron en Talcahuano una mortalidad diaria de 4,4% y 6,8% durante la temporada de desove (años 1995 y 1996).

Finalmente, los parámetros del ciclo de vida de anchoveta y sardina común, recopilados de la literatura, mostraron características bastante similares en las etapas de huevo, larva y adultos, como se presenta en el siguiente esquema propuesto (**Figura 67**).

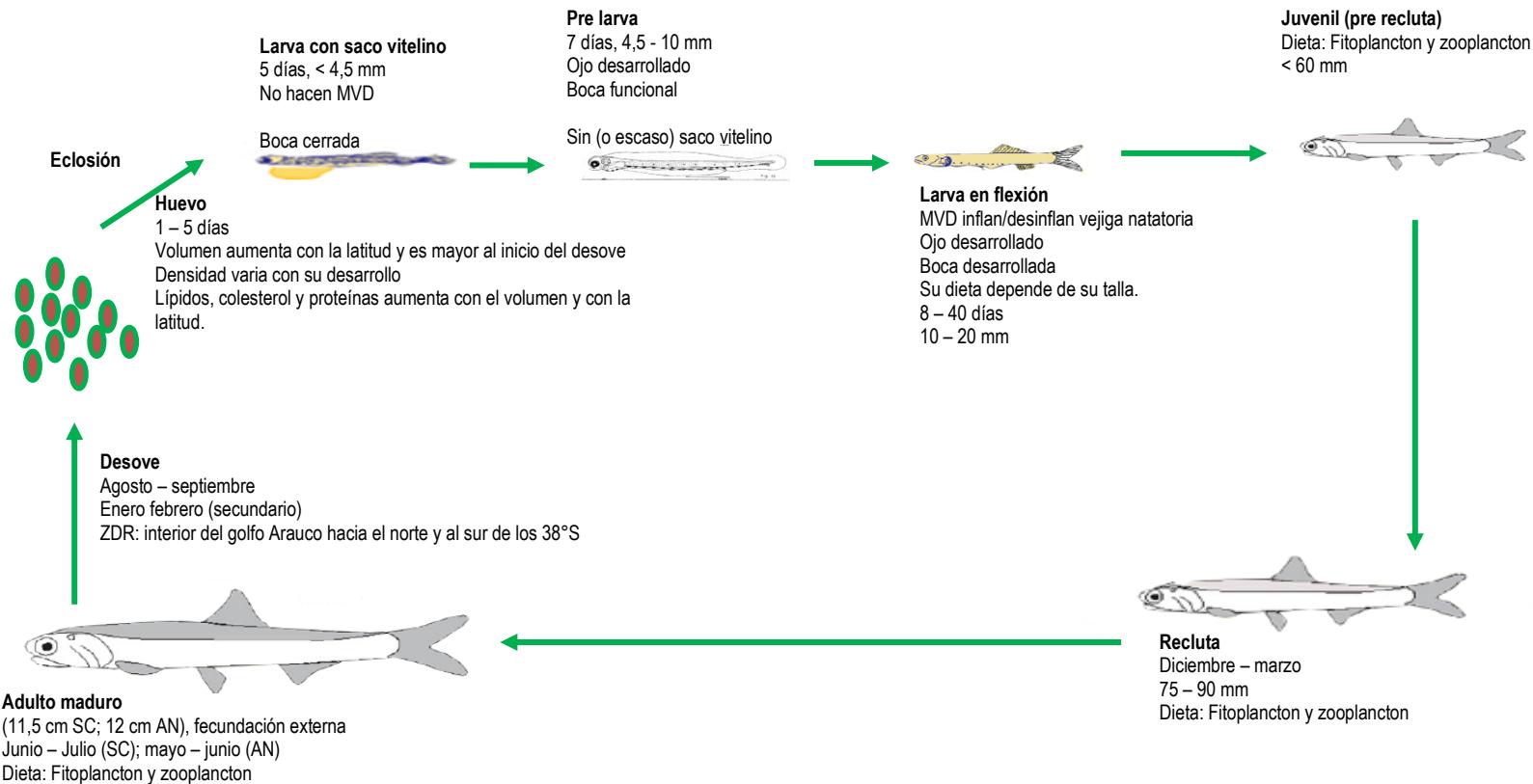


Figura 67. Esquema propuesto del ciclo de vida de anchoveta y sardina común en la zona centro sur de Chile (SC: sardina común; AN: anchoveta; ZDR: zona de desove recurrente; MVD: movimiento diurno).



VIII. DISCUSIÓN

El crucero de evaluación del stock desovante se desarrolló entre los meses de agosto y octubre 2019, en consecuencia, el periodo cubierto fue similar al de los últimos 5 años, durante el periodo de máxima actividad reproductiva. En este contexto, los resultados son comparables con el desempeño del desove realizado en años previos. En el sector sur, la anchoveta mostró mayor cobertura espacial hacia el norte del río Imperial, respecto de años previos y la sardina común aumentó la abundancia de huevos respecto de 2018, tanto en el sector central como en el sur.

Los huevos de anchoveta fueron recolectados en los tres sectores, principalmente en las estaciones costeras. En el sector norte se encontraron en baja abundancia y se asociaron a las desembocaduras de los ríos Aconcagua y Maipo. En el sector central presentaron mayor frecuencia en las localidades que históricamente han presentado huevos, es decir, frente a punta Nugurne ($35^{\circ}30'S$), al sur de la desembocadura del río Itata ($36^{\circ}25'S$) y en el golfo de Arauco ($37^{\circ}S$). En el sector sur, los huevos se distribuyeron entre Isla Mocha ($38^{\circ}20'S$) y Corral ($39^{\circ}50'S$), con mayores valores entre Isla Mocha y río Imperial ($38^{\circ}45'S$). Los huevos de sardina común se encontraron en el sector central y sur. En el sector central, se presentaron principalmente en el golfo de Arauco y en el sur en la franja costera entre Isla Mocha y Corral, con mayor abundancia entre Corral y río Imperial.

Las masas de agua en los sectores centro y sur fueron similares a lo reportado durante el crucero 2018 (Bonicelli *et al.*, 2019), con PPMA >90% de AEES y PPMA <5% de ASAA en las profundidades máximas del muestreo (100 m), como se ha descrito en la zona, respecto a una mayor participación del ASAA y baja ocurrencia de AEES en los niveles más superficiales (<50 m) (Llanillo *et al.*, 2012 y Vergara *et al.*, 2016).

En el análisis histórico de la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común (2002-2018) en los sectores centro y sur, se observó una alta variabilidad, con 32 a 56 huevos/0,05 m², asociados a un rango de temperatura entre 9,5°C y 14,51°C; salinidades entre 29,5 y 34,6 y densidades (σ_t) entre 21,1 kg/m³ y 26,6 kg/m³. Resultados similares se reportaron en la variabilidad temporal y espacial de los estadios tempranos de anchoveta y sardina común, en la misma área de estudio y durante la misma temporalidad en meses (Castro *et al.*, 1997, 2000; Escribano *et al.*, 2004; Daneri *et al.*, 2005; Soto 2009; Soto-Mendoza *et al.*, 2010; Zúñiga, 2011).

En los sectores centro y sur, la serie histórica de huevos de anchoveta y sardina común (2002 y 2019), mostró que las mayores abundancias se localizaron en la banda costera (<40 km), asociadas a baja temperatura (10°C) y baja salinidad (31) respecto de las aguas oceanicas adyacentes . Estas observaciones se asociaron a condiciones ambientales de convergencia, las cuales concentran y retienen los huevos en la costa a fines de invierno (agosto) e inicios de primavera, evitando de esta forma, el transporte hacia el océano observado en la época estival (Castro *et al.*, 2000; Cubillos *et al.*, 2001). Los resultados de este estudio se asemejan a lo reportado por Castro *et al.* (1997, 2000), Sepúlveda *et al.* (2000) y Pedraza (2006), quienes reportan que las mayores agrupaciones de huevos de ambas especies presentaron una distribución costera.



Los centros de masa de huevos de anchoveta y sardina común, exhibieron importantes diferencias latitudinales en la zona de estudio desde los años 2002 al 2019. En el sector norte (33°S-34°S), la posición de los centroides de huevos de sardina común en el 2019, estuvo levemente más al norte que los centroides de huevos de anchoveta y se asociaron a temperaturas de 12,8°C, salinidades de 34,4 y a una alta variabilidad de la fluorescencia, entre 1 y 28 mg/m³. Se destacan estos resultados en el sector norte, por ser un sector de carácter exploratorio, dado que históricamente se ha encontrado un bajo número de estaciones con huevos de sardina común (Cubillos *et al.*, 2005). Mientras que, en los sectores centro y sur, los centroides de huevos de sardina común se distribuyeron en latitudes mayores, asociados a menores temperaturas y salinidades, como también mayores valores de fluorescencia en comparación a lo observado en la anchoveta. Se desconocen las causas de tales diferencias; sin embargo, podría relacionarse con preferencias de los adultos al momento de desovar, esto considerando que existiría una coincidencia con las condiciones ambientales en distintos períodos del año, cuando la sardina común tiende a desovar a mediados de invierno, en condiciones de mayor pluviosidad y la anchoveta desova principalmente a fines de invierno o comienzos de primavera. Las diferencias podrían también estar asociadas con la utilización en ambas especies de distintos mecanismos de retención o transporte de huevos y larvas (eg. profundidades de desove), que a su vez se podrían relacionar con los distintos factores atmosféricos (viento), oceanográficos (surgencia), geográficos (configuración de la costa y la generación de remolinos) y con el aporte de agua dulce de grandes ríos (Cubillos *et al.*, 2001; Parada *et al.*, 2001; Atkinson *et al.*, 2002; Armstrong *et al.*, 2003; Cubillos *et al.*, 2006; Soto-Mendoza *et al.*, 2010; Soto-Mendoza *et al.*, 2012; Giesecke *et al.*, 2017).

La serie de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (2002-2019), mostró una constante presencia de huevos asociados a los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia. Estos resultados, concuerdan con lo reportado Castro *et al.* (1997), Sepúlveda *et al.* (2000), Soto (2009) y Soto-Mendoza *et al.* (2010) en el área de estudio. La presencia de huevos de estos peces pelágicos, se puede atribuir a la formación de plumas y estructuras de mesoesacala que generan frentes halinos concentradores de partículas alimenticias para las larvas y que son capaces de retener o transportar organismos planctónicos fuera de la zona costera (Drinkwater y Frank, 1994). La abundancia de huevos de ambas especies, presentó fluctuaciones en las áreas adyacentes a los ríos (Itata, Biobío, y Valdivia) y se correlacionó con los caudales de estos ríos, concordando con lo observado en otras especies de *Engraulidos*, como la anchoveta del norte (*E. mordax*), con la cual algunos autores han reportado que las mayores concentraciones de huevos en la zona norte de la corriente de California se distribuyen sobre la pluma de agua dulce del río Columbia y su abundancia depende de sus características (Richardson, 1981).

La agregación espacial del cluster de huevos, mostró que a medida que aumenta el umbral de densidad de huevos, disminuye la probabilidad de agregación, lo cual podría reflejar la existencia del proceso de desestructuración para anchoveta y sardina común en el sector sur, y en la sardina común en el sector centro. Esto queda en evidencia al diminuir el rango del variograma a medida que aumenta el umbral de densidad de huevos e implica que el tamaño de los “hot-spot” de huevos es del orden de 6,5 a 13,2 km en la sardina común y del orden de 20 km para la anchoveta en el sector sur. En tanto



que las áreas de desove tienen un tamaño promedio del orden de 29,3 y 45,7 km en la anchoveta y entre 33 y 39,7 km en la sardina común. La similitud en la estructuración espacial de ambas especies demuestra podría estar asociada al mismo uso del hábitat de desove.

El número mínimo de lances de pesca de 25, se cumplió para la sardina común, con 26 lances de pesca efectivos en el sector central y 30 lances de pesca en el sector sur. En el sector central se realizaron 29 lances de pesca efectivos de anchoveta, mientras que en el sector sur se logró realizar 4 lances, debido a la menor disponibilidad del recurso que, según la distribución de huevos, los adultos se distribuyeron al norte del río Imperial (~38°45'S). La anchoveta mostró una estructura de tallas caracterizadas por ejemplares de mayor tamaño en el sector central.

La sardina común (*Strangomerabentincki*), como especie dominante en la zona centro sur de Chile, se distribuye preferentemente en áreas cercanas a la costa (Serra 1978; Aguayo & Soto 1978; Arizaga & Veloso 1982; Cubillos & Arancibia 1993a, b; Cubillos *et al.*, 1994). Esta especie presentó altos valores del índice gonadosomático >5% desde mediados de junio, los que tuvieron mayor cobertura temporal durante el crucero respecto a los de anchoveta (septiembre). El máximo del desove de sardina común observado en los IGS >6% a mediados de agosto, fue cubierto por el crucero, dado que presenta un periodo de máxima actividad reproductiva más acotado que el de anchoveta (Arrizaga, 1981; Cubillos y Arancibia, 1993a, 1993b; Arancibia *et al.*, 1994; Cubillos *et al.*, 1999; Bustos & Cubillos 2016), que lo alcanzó después y se extendió hasta finales de noviembre, tal como los señalan distintos estudios, que se podría extender incluso hasta el mes de enero (Castro *et al.*, 1997, Cubillos *et al.*, 1999; Castillo *et al.*, 2007; Cubillos *et al.*, 2007). Por otra parte, valores de IGS <5% en la anchoveta, al inicio del crucero, podría estar explicado por la componente espacial, donde se encontraron ejemplares más pequeños en el sector sur y que estarían aportando bajos IGS al monitoreo reproductivo. No obstante, los resultados de histología mostraron que los estadios de madurez, proporción de hembras con folículos, los vitelados, hembras a punto de desovar y las hembras por desovar presentaron valores de acuerdo con la información histórica y muy similares al año 2018 (G. Claramunt, com. pers., 30 junio de 2020).

En la anchoveta, la proporción de estadios de madurez estuvo dentro de los rangos de la serie histórica (2002-2018) de aplicaciones del MPDH en la zona centro sur. La proporción de vitelados promedio de la serie fue de un 89% y correspondió a los marcadores ováricos más estable interanualmente. La presencia de Folículos Post Ovulatorios (FPO) en la serie indicó un rango amplio entre 8% (n=384) y 65% (n=171), con un bajo número de hembras (n). Por el contrario, los estadios núcleo migrante e hidratadas presentaron la mayor variación, probablemente debido a su corta duración y dependencia de la hora de captura. En los 14 años de desarrollo del MPDH, el promedio de largo plazo en la proporción de FPO totales fue de 37%. Las fluctuaciones en la proporción de FPO totales y de fracción desovante son explicadas mayoritariamente por las variaciones en el peso medio de las hembras (Claramunt *et al.*, 2019).

En la sardina común, la proporción de estadios de madurez estuvo dentro de los rangos de la serie histórica de aplicaciones del MPDH en el área de estudio. Los estadios núcleo migrante e hidratadas



presentaron la mayor variación, probablemente debido a su corta duración y por tanto muy dependientes de la hora de captura.

La producción diaria de huevos se estimó dentro de los valores registrados en la serie histórica, no obstante, se registró una disminución de la densidad de huevos de anchoveta en el sector centro, y un fortalecimiento en el sector sur. La fracción diaria de hembras desovantes y la producción diaria de huevos son los parámetros que más incidieron en las estimaciones de biomasa desovante de ambas especies. Las estimaciones de producción diaria de huevos incorporaron una ponderación por el índice de agregación de Lloyd de las cohortes de huevos diarias. El procedimiento no afectó al valor esperado de las estimaciones, más bien ponderó la distribución de la varianza de las cohortes diarias, que en parte se explica por los procesos de dispersión o agregación de los huevos en las áreas de desove. Las bases teóricas se basan en MacGurk (1986, 1987), quien demuestra que la mortalidad de huevos puede ser explicada por el índice de agregación de Lloyd.

La biomasa desovante de los peces pelágicos pequeños fue comparable a los estimados del 2018, y se observó por segundo año consecutivo una mayor biomasa de anchoveta que de sardina común . La magnitud de la biomasa fue menor a las estimaciones acústicas, debido a que mediante el Método de la Producción Diaria de Huevos se mide la biomasa que está desovando por día, mientras que el método acústico mide la biomasa total presente en un área dada. En enero de 2019, el método acústico evalúo 606 mil toneladas de anchoveta, de las cuales 563 mil toneladas fueron adultos (Saavedra *et al.*, 2019). Esta cifra fue comparable con la biomasa desovante de 137 mil toneladas evaluadas mediante MPDH en septiembre-octubre de 2019. Esto difiere con la sardina común, que en enero de 2019 se evaluaron 2,3 millones de toneladas, de las cuales cerca de 2 millones de toneladas fueron adultos (Saavedra *et al.*, 2019) y la biomasa desovante en el MPDH 2019 fue estimada en 103 mil toneladas.

El índice de abundancia de huevos, mostró una mayor densidad de huevos de sardina que de anchoveta. Al parecer, el desove de sardina común fue más agregado que el de anchoveta. Es probable que, si bien la distribución binomial negativa explicó la densidad de huevos, tal vez una binomial negativa cero-inflada podría resultar más satisfactoria para dar cuenta de los procesos de agregación espacial del desove o bien una estimación espacio-temporal integrada, ya que en este estudio se demuestra el fuerte efecto espacial en la distribución del desove. En este contexto, se debe avanzar en la evaluación del desove y de la producción diaria de huevos considerando que son el resultado de un proceso espacial autocorrelacionado. Por lo tanto, un índice estandarizado que tome en cuenta simultáneamente cambios temporales, espaciales y espacio-temporales puede ser de utilidad para los evaluadores de stocks; antes de contar con la estimación puntual de la biomasa desovante año tras año como si fueran estimaciones independientes.

La intensidad y migración meridional del Anticiclón mostró una componente estacional, modulando la surgencia costera, en verano se debilita y se desplaza hacia menores latitudes (36°S - 37°S) (favorece la surgencia), mientras que en invierno se fortalece y se desplaza a menores latitudes (35°S), dando paso a que en la zona centro sur se registre viento norte favoreciendo procesos de hundimiento en la costa. Entre el 2016 y 2019 el indicador de la posición e intensidad del APS mostró anomalías



negativas en la componente meridional, durante el 2016 estuvo a 500 km desplazado al sur de su centro y en el invierno del 2019 a ~250 km. Estos desplazamientos del APS hacia el sur han sido reportados por Schneider *et al.* (2017) en otros períodos de tiempo (2007-2013), asociados a cambios de largo plazo como el cambio climático y habrían traído consigo un aumento de la surgencia en la zona centro-sur, con aguas más frías y disminución de la precipitación. En este sentido Escribano *et al.* (2012) señalan que un incremento de la surgencia podría impactar negativamente la alta productividad del ecosistema marino, produciendo cambios en la composición del zooplancton y en dieta de anchoveta y sardina común. Este indicador también reveló algunas respuestas a eventos interanuales ENOS, donde las anomalías del APS aumentaron con condiciones frías La Niña y disminuyeron con condiciones cálidas El Niño. Finalmente, las anomalías acumuladas permitieron identificar un cambio de fase en el año 2000, a partir del cual el APS se ha estado fortificando paulatinamente y que podría vincularse con la hipótesis de Bakun (1990) que en respuesta del cambio climático global (antropogénico), se intensificarían los vientos favorables a la surgencia.

La anchoveta y la sardina común tienen características comunes, una vida útil corta, rápido crecimiento, elevada tasa de mortalidad natural, son iterópatas o con múltiples eventos reproductivos, tienen desarrollo ovocitario asincrónico, presentan alta fecundidad y una estrategia de desove parcial que proporcionan múltiples cohortes que reclutan (Ribeiro *et al.*, 1996; Richardson *et al.*, 1998; Funamoto *et al.*, 2004; Cubillos *et al.*, 2011; Claramunt *et al.*, 2012) y altas tasas de mortalidad en estadios larvales y etapas juveniles (Anderson, 1988; Cubillos *et al.*, 2001; Castillo *et al.*, 2007). Estas especies, además, forman cardúmenes altamente densos y al alimentarse de las cadenas alimentarias a base de plancton, principalmente euphausidos y copépodos (Espinoza & Bertrand, 2008; Espinoza *et al.*, 2017), son muy sensibles a los cambios en las condiciones del océano y responden rápidamente en cualquiera de las etapas de su ciclo de vida que sean afectadas (Arrizaga, 1981, 1983; Alheit *et al.*, 1984; 2009; Santander *et al.*, 1984; Veloso y Arrizaga, 1985; Yáñez *et al.*, 1990, 1992; Cubillos y Arancibia 1993a, 1993b; Cubillos *et al.*, 1999, 2001; Cubillos & Arcos, 2002). De este modo, son extremadamente variables en su abundancia en ambas escalas espacial y temporal (Shannon *et al.*, 1996; Borja *et al.*, 1998; Alheit *et al.*, 2009; Cahuín *et al.*, 2009; Cochrane *et al.*, 1998; Oliveros-Ramos & Peña 2011). Debido a sus características de población y su papel trofo dinámico, estas especies son excelentes bioindicadoras de los cambios climáticos en los sistemas marinos de todo el mundo, como lo ha estudiado Peck, *et al.* (2015) en otras especies del orden de los Clupeiformes.

Algunas características similares se observaron entre poblaciones o unidades de stock de una misma especie, como en el caso de la anchoveta en las zonas norte, centro norte y centro sur, por lo que es adecuado abordar el ciclo de vida de manera generalizada, más que por zonas separadas. De igual forma, algunos rasgos biológicos presentan cierta variabilidad entre estas unidades de stock, como en el tamaño del huevo que aumenta meridionalmente (junto con la latitud) y el tamaño en el momento de la eclosión en relación con las reservas de energía (contenido graso) (Castro *et al.*, 2009; Leal *et al.*, 2009; Plaza & Cerna, 2015; Plaza *et al.*, 2018).



IX CONCLUSIONES

1. Las condiciones oceanográficas en la zona centro sur de Chile mostraron condiciones normales, con un patrón habitual de temperatura superficial del mar, mayores concentraciones de clorofila-a en la banda costera y un campo de viento que mostró predominio de viento sur al norte del golfo de Arauco y alta variabilidad espacio temporal al sur.
2. El área de desove de ambas especies fue cubierta por el crucero de huevos y se concluyó que las estaciones positivas de huevos de anchoveta se han mantenido superiores a las de huevos de sardina común. Posterior al 2007, se han presentado menores estaciones con huevos de anchoveta que en el periodo inicial 2002-2005, sin embargo, desde el 2012 ha habido un aumento en las estaciones positivas de anchoveta. Respecto a los huevos de sardina común, también se observó un cambio a partir del 2008, con mayor porcentaje de estaciones positivas que en el periodo inicial entre los años 2002 y 2005.
3. El desove de sardina común aumentó en abundancia respecto del 2018, con áreas de desove más discretas y abundantes que la anchoveta, cuyo desove fue ligeramente más continuo en las mismas áreas de desove habitual.
4. El desove de anchoveta se distribuyó asociado a las desembocaduras de los ríos Aconcagua y Maipo en el sector norte (33° - 34° S), a lo largo de toda la franja costera y con mayor densidad en localidades frente a punta Nugurne ($35^{\circ}30' S$), al sur de la desembocadura del río Itata ($36^{\circ}25' S$) y en el golfo de Arauco ($37^{\circ}S$). En el sector sur, la distribución de huevos de anchoveta fue costera y se distribuyó entre Isla Mocha ($38^{\circ}20' S$) y Corral ($39^{\circ}50' S$), con mayores valores entre Isla Mocha y desembocadura del río Imperial ($38^{\circ}45' S$).
5. El desove de sardina común fue detectable en los sectores centro y sur, en el sector centro ocurrió principalmente en el golfo de Arauco y en el sur en la franja costera entre Isla Mocha y Corral, con mayor abundancia entre Corral y río Imperial.
6. La estructura espacial del desove evidenció desestructuración, lo que implicó que el tamaño de las agregaciones de huevos con más de 50 huevos por $0,05\text{ m}^2$ fueron más pequeñas al interior del área de desove, de 6,5 a 13,2 km en la sardina común y de 20 km para la anchoveta en el sector sur. En tanto que las áreas de desove de anchoveta fueron entre 29,3 y 45,7 km superiores que la sardina común que estuvo entre 33 y 39,7 km.
7. Los centros de masa mostraron que los desplazamientos latitudinales de las distribuciones de huevos por sector en ambas especies mostraron similitud, aunque la sardina común normalmente se ha ubicado en sectores mas al sur que anchoveta.
8. Las zonas de agregación de anchoveta presentaron características hidrográficas diferentes entre los sectores central y sur (mayor abundancia de huevos en sector sur asociado a baja salinidad, mientras que en el sector central se asociaron a salinidades mayores). Para la sardina común se presentaron características hidrográficas parecidas entre los sectores central y sur (las mayores abundancias se localizaron en sectores con baja salinidad).
9. El hábitat del desove de anchoveta y sardina común se ha caracterizado con rangos de: temperaturas entre $9,5^{\circ}\text{C}$ - $14,5^{\circ}\text{C}$; salinidades entre 29,5-34,6, densidades (σ_t) entre 21,1-26,6 kg/m³.



10. La estructura de tallas de ambos recursos mostró diferencias entre los sectores centro y el sur, con ejemplares de anchoveta de mayor tamaño en el sector centro.
11. La anchoveta tuvo una producción diaria de huevos mayor en el sector sur con 1.159,5 huevos/m²/día, que en el sector centro con 136,5 huevos/m²/día, mientras que la sardina común mostró una producción diaria de huevos similar entre sectores (centro: 564,1 huevos/m²/día y sur: 509,1 huevos/m²/día).
12. El máximo del desove de sardina común observado en los IGS >6% a mediados de septiembre, fue cubierto por el crucero, dado que esta especie presenta un periodo de máximo reproductivo más acotado que el de anchoveta, que lo alcanzó después.
13. El análisis histológico de los ovarios indicó que el 98,5% de las hembras de anchoveta y el 98,6% de las hembras de sardina común se encontraron activas en el área total, lo cual indicó que el crucero se desarrolló en un periodo de alta actividad reproductiva.
14. La biomasa desovante de anchoveta fue de 136.588 toneladas y la de sardina común fue de 103.333 toneladas, con una recuperación en la biomasa desovante de anchoveta.
15. La componente meridional del indicador del Anticiclón del Pacífico Sur reveló que en el último periodo entre 2016 y 2019, se ha desplazado hacia el sur, lo que favorece la intensificación de la surgencia costera.
16. Se registraron algunas respuestas a los eventos interanuales ENOS, donde anomalías positivas del APS aumentaron con condiciones frías La Niña y disminuyeron a valores negativos con condiciones cálidas El Niño.
17. A partir del año 2000 ha ocurrido un cambio de fase, donde el APS se ha ido fortaleciendo paulatinamente en el tiempo.
18. La fase del ciclo anual en todas las estaciones, mostró una tendencia a retrasarse o a coincidir con lo esperado en el ciclo anual promedio, con los mayores cambios (atraso/adelanto) en la zona norte de Chile y algunos indicios en la zona centro sur (Talcahuano, Valparaíso y San Antonio).
19. Los parámetros recopilados de la literatura para el ciclo de vida de anchoveta y sardina, mostraron características bastante similares entre ellas en las tres etapas de desarrollo, huevo, larva y adulto. Incluso entre poblaciones o stocks de una misma especie (eg. anchoveta en las zonas norte, centro norte y centro sur).
20. En el ciclo de vida de ambas especies se observó: (i) una tendencia a maximizar el crecimiento durante los primeros meses de vida, alcanzando una gran fracción de la longitud asintótica durante dicho período; (ii) un reclutamiento muy variable en ambas escalas temporal y espacial, (iii) una temporada reproductiva prolongada asociada a una estrategia de desove parcial que proporcionan múltiples cohortes que reclutan, y (iv) altas tasas de mortalidad en estadios larvales y etapas juveniles, ya sea por causas internas como condiciones adversas del ambiente.
21. En el ciclo de vida de anchoveta y sardina común, se ha evidenciado que estas especies responden rápidamente a los cambios en las condiciones del océano, por lo que se les puede considerar como buenos indicadores de cambios ambientales.



X. REFERENCIAS

- Aguayo, M & S. Soto. 1978. Edad y crecimiento de la sardina común (*Clupea Strangomera bentincki*) en Coquimbo y Talcahuano. Serv. Invest. Pesq., IFOP, Santiago (Chile), 28:1-31.
- Aguirre, C., Pizarro, O., Strub, P. T., Garreaud, R. y Barth, J.A. 2012. Seasonal dynamics of the near-surface alongshore flow off central Chile. Journal of Geophysical Research: Oceans, 117(1): 1 - 17. <https://doi.org/10.1029/2011JC007379>.
- Aguirre, C., García-Loyola, S., Testa, G., Silva, D., & Farías, L. 2018. Insight into anthropogenic forcing on coastal upwelling off south-central Chile. Elementa Science of the Anthropocene, 6(59). <https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.1525/elementa.31>
- Akima, H. 1996a. Algorithm 760: Rectangular-Grid-Data Surface Fitting that Has the Accuracy of a Bicubic Polynomial. ACM TOMS, 22(3): 357 - 361.
- Akima, H. 1996b. Algorithm 761: Scattered-Data Surface Fitting that Has the Accuracy of a Cubic Polynomial. ACM TOMS, 22(3): 362 - 371.
- Akima, H. 1970. A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures. Journal of the ACM, Vol. 17(4): 589 - 602.
- Álamo, A., I. Navarro, P. Espinoza & P. Zubiate. 1996. Espectro alimentario y ración de alimento de *Engraulis ringens* y de *Sardinops sagax*, y mortalidad de huevos de la anchoveta peruana por predación. Inf. Inst. Mar Perú, 119: 34-42.
- Álamo, A. & P. Espinoza. 1998. Variaciones alimentarias en *Engraulis ringens* y otros recursos pelágicos durante invierno-primavera de 1997. Inf. Inst. Mar Perú, 130: 45-52.
- Aldanondo, N., Cotano, U., Etxebeste, E., Urigorien, X., Álvarez, P., Martínez de Murguía, A., Herrero, D.L. 2008. Validation of daily increments deposition in the otoliths of European anchovy larvae (*Engraulis encrasicolus* L.) reared under different temperature conditions. Fisheries Research, 93: 257-264.
- Aldanondo, N., Cotano U. & E. Etxebeste. 2011. Growth of young-of-the-year European anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) in the Bay of Biscay. Sci. Mar. 75: 227-235.
- Alday, A., Uriarte, A., Santos, M., Martín, I., Martínez de Murguía, A. y Motos, L. 2008. Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). Scientia Marina, 72(3): 565 - 575.
- 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. & M. Ñiquen. 2004. Regime shift in the Humboldt Current ecosystem. Progress in Oceanography 60: 201- 202.
- Alheit, J., Roy, C. & Kifani, S. 2009. Decadal-scale variability in populations, in Climate Change and Small Pelagic Fish, Eds. D. Checkley, J. Alheit, Y. Oozeki & C. Roy. Cambridge: Cambridge University Press.
- Alshuth, S. 1988. Daily growth increments on otoliths of laboratory reared sprat, *Sprattus sprattus* L., larvae. Meeresforsch, 32: 23-29.
- Anderson, J. 1988. A Review of Size Dependent Survival During Pre-Recruit Stages of Fishes in Relation to Recruitment. J. Northw. Atl. Fish. SCI. 8: 55-66.



- Antezana, T. 1970. Eufáusidos de la costa de Chile. Su rol en la economía del mar. Rev. Biol. Mar., 14(2): 19-27.
- Antezana, T. 2010. *Euphausia mucronata*: a key herbivore and prey of the Humboldt Current System. Deep-Sea Res. II, 57: 652-662.
- Arancibia, H., L. Cubillos, J. Remmaggi & R. Alarcón. 1994. Determinación de la talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936) del área de Talcahuano, Chile. Biología Pesquera 23: 11-17.
- Aranís, A., Gómez, A., Mora S., Muñoz G., Ossa L., Caballero L., Cerna F., Valero C., López A., Machuca C., Muñoz L., Vera C., Valdebenito V., Eisele G. & Ramírez M. 2013. Informe Final, Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur, 2012. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 188p + Anexos.
- Arcos, D., Navarro, N. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37° S). Investigación Pesquera 33: 91-98.
- Armstrong, D.A., Rooper, C. y Gunderson, D. 2003. Estuarine production of juvenile Dungeness crab (*Cancer magister*) and contribution to the Oregon-Washington coastal fishery. Estuaries 26: 1174 - 1188.
- Arrizaga, A. 1981. Nuevos antecedentes biológicos para la sardina común, *Clupea* (*Strangomera bentincki*, Norman 1936). Bol. Soc. Biol. Concepción (52): 5-66.
- Arrizaga, A. y C. Veloso. 1982. Estimación de mortalidades (M, F y Z) y del coeficiente de capturabilidad (q) en la sardina común, *Clupea* (*Strangomera bentincki*, Norman 1936), de Talcahuano-Chile. Monogr. Biol., 2: 39-49.
- Arrizaga, A., M. Fuentealba, C. Espinoza, J. Chong & C. Oyarzun. 1993. Hábitos tróficos de dos especies de peces pelágicos, la sardina *Strangomera bentincki* y la anchoveta *Engraulis ringens*, en el litoral de la Región del Bío-Bío, Chile. Bol. Soc. Biol. Concepción, 64: 27-35
- Arteaga, M., B. Ernst, S. Vásquez & C. Gatica. Bases conceptuales para la aplicación de una evaluación de estrategias de manejo (EEM) en sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona centro-sur de Chile. Lat. Am. J. Aquat. Res., 42(3): 445-467, 2014. DOI: 10.3856/vol42-issue3-fulltext-6
- Artüz, M. 1999. The egg and larval growth stages of Black Sea Anchovy, *Engraulis encrasicholus ponticus* (Majorowa, 1934). Fisheries Advisory Comission Technical Paper 11: 1-5.
- Atkinson, L.P., Valle-Levinson, A., Figueroa, D., De Pol-Holz, R., Gallardo, V.A., Schneider, W., Blanco, J.L. y Schmidt, M. 2002. Oceanographic observations in Chilean coastal waters between Valdivia and Concepción. Journal of Geophysical Research. 107(C7-18): 1 - 13
- Bakun, A. 1975. Daily and weekly upwelling indices, west coast of north America, 1946-71. US Department of Commerce, NOAA Technical Report, NMFS-SSRS-693, 113 p.
- Bakun, A., 1990. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. Science, 247-B (4939): 198-201.
- Barange, M., M. Bernal, M.C. Cergole, L.A. Cubillos, G.M. Daskalov, C.L. de Moor, J.A. De Oliveira, M. Dickey-Collas, D.J. Gaughan, K. Hill, L.D. Jacobson, F.W. Köster, J. Massé, M. Ñiquen, H. Nishida, Y. Oozeki, I. Palomera, S.A. Saccardo, A. Santojanni, R. Serra, S. Somarakis, Y. Stratoudakis, A. Uriarte, C.D. Van der Lingen & Akihiko Yatsu. 2009. Current trends in the assessment and management of stocks. In: Climate Change and Small Pelagic Fish. D.



- Checkley, J. Alheit, Y. Oozeki & C. Roy (eds.). Published by Cambridge University Press, 65 pp.
- Barría, P., A. Zuleta & R. Gili. 1998. Bases biológicas para prevenir la sobreexplotación de sardina común y anchoveta. Informe Final, FIP-IT/96/12: 84 pp.
- Barth, A., Alvera-Azcárate, A., Troupin, C., Ouberdoos, M. y Beckers, J.M. 2010. A web interface for gridding arbitrarily distributed in situ data based on Data-Interpolating Variational Analysis (DIVA). Advances in Geosciences. 28, 29 - 37.
- Bellier E., Planque B. y Petitgas P. 2007. Historical fluctuations in spawning location of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in the Bay of Biscay during 1967-73 and 2000-2004. Fish. Oceanogr. 16: 1 - 15.
- Bernal, P., Robles, L. y Rojas, O. 1982. Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes Chile-Perú. Mon. Biol., Pontificia Universidad Católica de Chile, 2: 75 - 102.
- Bernal, M., Borchers, D.L., Valdez, L., Lanzós, A.L. y 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.
- Bertrand, A., Segura, M., Gutiérrez, M., & Vásquez, L. 2004. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Perú. Fish and fisheries, 5(4): 296-316.
- Blanco, J.L., M.E. Carr, A.C. Thomas & P.T. Strub. 2002. Hydrographic conditions off northern Chile during the 1996-1998 La Niña and El Niño events. J. Geophys. Res., 107(C3): 1-19.
- Blanco, J.L. 2004. Inter-Annual to Inter-Decadal Variability of Upwelling and Anchovy Population off Northern Chile. A Dissertation submitted to the Faculty of Old Dominion University as Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy in Oceanography. Old Dominion University, December 2004.
- Blaskovic, V., F. Torriani & I. Navarro. 1998. Características tróficas de las principales especies pelágicas durante el otoño 1998. Crucero BIC José Olaya Balandra 9805-06 de Tacna a Máncora. Inf. Inst. Mar Perú, 137: 72-79.
- Bonicelli, J., Angulo, J., Saavedra, J.C., Cubillos, L.A., Castro, L., Soto, S. y 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, 150 p.
- Borja, A., Uriarte, A., Egaña, J., Motos, L. & Valencia, V. 1998. Relationships between anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment and environment in the Bay of Biscay (1967–1996). Fisheries Oceanography, 7: 375-380. doi:10.1046/j.1365-2419.1998.00064.x
- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D. y Wright, J. 2001. Ocean Circulation. In Chapter 6.4: Oceanic mixing and temperature-salinity diagrams. Prepared Open University Oceanography Course Team. 250 pp.
- Brochier, T., Lett, C., Tam, J., Fréon, P., Colas, F., & Ayón, P. 2008. An individual-based model study of anchovy early life history in the northern Humboldt Current system. Progress in Oceanography, 79(2–4), 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.004>
- Brothers, E.B., Mathews, C.P. & Lasker, R. 1976. Daily growth increments in otoliths from larval and adults fishes. Fish. Bull., 74: 1-8.



- Bustos, C.A., M.F. Landaeta & F. Balbontín. 2008. Efectos ambientales sobre la variabilidad espacial del ictioplancton de Chile austral durante noviembre de 2005. Revista Chilena de Historia Natural 81(2): 205-219
- Bustos, B. & L. Cubillos. 2016. Cambios interanuales en la talla de madurez de sardina común *Strangomerina bentincki*, en la zona centro sur de Chile (2007-2012). Revista de Biología Marina y Oceanografía, 51(2): 317-325. DOI 10.4067/S0718-19572016000200009
- Bustos, B. 2018. Análisis comparativo de la mortalidad instantánea diaria de huevos de anchoveta (*Engraulis ringens*) en su distribución a lo largo de Chile. Disponible en <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/3447>
- Bustos, B., Cubillos, L.A., Claramunt, G., & Castro, L.R. 2020. Daily anchovy (*Engraulis ringens*) egg mortality rates in different spawning zones along the Chilean coast. Regional Studies in Marine Science, 35, 101200. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101200>
- Canales, T.M. & Leal, E. 2009. Parámetros de historia de vida de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, en la zona centro norte de Chile. Revista de biología marina y oceanografía, 44(1): 173-179. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100017>
- Casanova, J.F. y A. Figueroa. 2015. Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico. Luna Azul, 40: 5-24.
- Castello, L. & Castello, J.P. 2003. Anchovy stocks (*Engraulis anchoita*) and larval growth in the S.W. Atlantic. Fisheries Research, 59: 409-421
- Castillo, G., E. Aguilera, G. Herrera, P.A. Bernal, J.L. Butler, J. Chong, C. Oyarzún & C. Veloso. 1985. Larval growth rates of the Pacific sardine *Sardinops sagax* off central Chile, determined by daily ring counts in otoliths. Biología Pesquera 14: 3–10.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M. y Catasti, V. 2000. Evaluación de la biomasa y distribución espacial de anchoveta y sardina común. Primavera (1999). En: Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile. Informes Técnicos FIP: 99-13pp.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M. y Catasti, V. 2001. Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2000. FIP 2000-09, 151 p.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A. Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barría, P. Arriagada, G., Braun, M. y Galindo, G. 2002a. Evaluación Hidroacústica del stock desovante de anchoveta y sardina común, Centro-Sur, 2001. FIP 2001-14.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A. Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barría, P. Arriagada, G., Braun, M. y Galindo, G. 2002b. Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común, centro-Sur, 2001-2002. FIP 2001-13.
- Castillo, J., Saavedra, A., Gálvez, P., Barría, P., Espejo, M. y Barbieri, M.A. 2004. Evaluación acústica biomasa, abundancia, distribución espacial y caracterización de cardúmenes. En: Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2003. FIP 2003-08.
- Castillo J., Cubillos L. y Paramo J. 2007. The spawning spatial structure of two co-occurring small pelagic fish off central southern Chile in 2005. Aquat. Living Resour. 20, 77-84.
- Castillo, J., A. Saavedra, V. Catasti, F. Leiva, C. Lang, R. Vargas, H. Reyes, M. Pizarro, E. Molina, F. Cerna, A. López, S. Núñez, L. Valenzuela y J. Silva. 2013. Evaluación hidroacústica



- reclutamiento anchoveta sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Final FIP 2012-12. Inst. de Fomento Pesquero, Chile. 307 pp + Figuras y Tablas.
- Castro, L., Roa, R., Figueroa, D., Arancibia, H., Sobarzo, M., Quiñones, R. y Retamal, M. 1997. Áreas de desove de anchoveta y sardina común. Proyecto FIP 96-11. Áreas de desove de la anchoveta y sardina común en Chile central. Universidad de Concepción. Chile.
- Castro, L.R. y Hernández, E. 2000. Early Life Survival of the Anchoveta *Engraulis ringens* Off Central Chile during the 1995 and 1996 Winter Spawning Seasons. Transactions of the American Fisheries Society 129:1107 – 1117
- Castro, L.R., Claramunt, G., Krautz, M.C., Llanos-Rivera, A., & Moreno, P. 2009. Egg trait variation in anchoveta *Engraulis ringens*: A maternal response to changing environmental conditions in contrasting spawning habitats. Marine Ecology Progress Series, 381, 237–248. <https://doi.org/10.3354/meps07922>
- Castro, L.R., Claramunt, G., González, H.E., Krautz, M.C., Llanos-rivera, A., Méndez, J., Schneider, W., et al. 2010. Fatty acids in eggs of anchoveta *Engraulis ringens* during two contrasting winter spawning seasons. Marine Ecology, 420, 193–205. <https://doi.org/10.3354/meps08819>
- Castro, L., Soto - Mendoza, S. y González - Saldías, F. 2018. Ontogenetic and short-term fluctuations in the residence depth of young pelagic stages of *Munida gregaria* in different zones of northern Patagonia. *Progress in Oceanography*. doi: 10.1016/j.pocean.2018.09.018
- Castro, L.R., González, V., Claramunt, G., Barrientos, P., & Soto, S. 2020. Stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) seasonal changes in particulate organic matter and in different life stages of anchoveta (*Engraulis ringens*) in response to local and large scale oceanographic variations in north and central Chile. *Progress in Oceanography*, 186, 102342. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102342>
- Catalán, I.A., Olivar, M.P., Palomera, I. & Berdalet, E. 2006. Link between environmental anomalies, growth and condition of pilchard *Sardina pilchardus* larvae in the northwestern Mediterranean. Marine Ecology Progress Series 307, 219–231.
- Catalán, I.A., Folkvord, A., Palomera, I., Quílez-Badía, G., Kallianoti, F., Tselepidis, A., Kallianotis, A., 2010. Growth and feeding patterns of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) early life stages in the Aegean Sea (NE Mediterranean). Estuarine Coastal and Shelf Science, 86: 299–312
- Catálogo Strangomera. 2002. Catálogo de especies, sardina común. Universidad de Concepción. Recuperado de: <http://www2.udec.cl/~coyarzun/catalogo/Strangomera.htm>
- Catálogo Engraulidae, 2002. Catálogo de especies, anchoveta. Universidad de Concepción. Recuperado de: <http://www2.udec.cl/~coyarzun/catalogo/Engraulis.htm>
- Catálogo de especies de la FAO. 1985. Peces clupeoides del mundo. (Suborden Clupeoidei). Un catálogo anotado e ilustrado de arenques, sardinas, sardinillas, espaldinas, anchoas y arenques. Parte 2. *Engraulidae*. Whitehead, P.J.P. 1985. FAO Fish. Sinopsis, 125(7-2): 305-579.
- Cermeño, P., Uriarte, A., Morales-Nin, B., Cotano M. & Álvarez, P. 2008. Setting up interpretation criteria for ageing juvenile European anchovy otoliths. Sci. Mar. 72: 733-742.
- Cermeño, P., Uriarte, A., Murgia D.A.M. & Morales-Nin, B. 2003. Validation of daily increment formation in otoliths of juvenile and adult European anchovy. J. Fish Biol. 62: 679-691.
- Cermeño, P., Morales-Nin B. & Uriarte A. 2006. Juvenile European anchovy otolith microstructure. Sci. Mar. 70: 553-557.



- Cerna, F., Plaza G., López A., Machuca C., Serra R., Gaspar C. & G. Moyano. 2011. Revisión de la asignación por grupo de edad en la anchoveta de la zona norte. Informe Final: FIP 2009-17. 124 pp. + anexos.
- Cerna, F. & G. Plaza. 2015. Caracterización de la historia de vida de anchoveta, sardina común y sardina austral de la zona centro sur. Proyecto FIP 2013-19. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 222 p.
- Checkley, D.M., Dotson, R.C. y Griffith, D.A. 2000. Continuous, underway sampling of eggs of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) in spring 1996 and 1997 off southern and central California. Deep-Sea Research II (47): 1139-1155.
- Chugunova, N.I. 1963. Age and growth studies in fish. National Science Foundation, Washington D.C., Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem. 132 p.
- Claramunt, G., R. Roa & L. Cubillos. 2003. Estimating daily spawning fraction using the gonadosomatic index: application to three stocks of small pelagic fish from Chile. In: O.S. Kjesbu, J.R. Hunter & P.R. Witham (Eds). Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm and cold water fish and squids. IMR series Fisk og Havet, 12: 43-50.
- Claramunt G., Cubillos, L., Braun, M., Serra, R., Canales, M., Sánchez, J., Flores, A., Moreno, P., Riquelme, K., Castillo, C., Valero y C. 2007. Mejoramiento del método de producción diaria de huevos aplicado en pelágicos pequeños. Informe Final FIP N°2006-38, 233 pp.
- Claramunt, G., Castro, L.R., Cubillos, L.A., Hirche, H.J., Pérez, G. y Braun, M. 2012. Inter-annual reproductive trait variation and spawning habitat preferences of *Engraulis ringens* off northern Chile. Revista de biología marina y oceanografía, 47(2): 227-243. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572012000200006>.
- Claramunt, G., Cubillos, L., Herrera, G. y Díaz, E. 2019. Spawning marker patterns of *Engraulis ringens* of northern Chile. Fisheries Reserch 219, 105306 (<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.06.004>)
- Contreras, T., Castro R.L., Montecinos S., Gonzalez H.E., Soto E., Muñoz M.I., & Palma S. 2014. Environmental conditions, early life stages distributions and larval feeding of patagonian sprat *Sprattus fuegensis* and common sardine *Strangomerabentincki* in fjords and channels of the northern Chilean patagonia. Prog. Oceanogr. 129: 136-148.
- Contreras-Reyes, J.E., M. Canales & P. Rojas. 2016. Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. Journal of Marine Systems, 164: 67-75
- Contreras-Reyes, J.E., Rodríguez-Valentino, C., Landaeta, M.F., Plaza, G., Castillo, M.I., & Alvarado-Niño, M. 2017. Growth and mortality of larval anchoveta *Engraulis ringens*, in northern Chile during winter and their relationship with coastal hydrographic conditions. Fisheries Oceanography, 26(6), 603–614. <https://doi.org/10.1111/fog.12219>
- Coombs, S.H., Boyra, G., Rueda, L.D., Uriarte, A., Santos, M., Conway, D.V.P., & Halliday, N.C. 2004. Buoyancy measurements and vertical distribution of eggs of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*). Marine Biology, 145(5), 959-970. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1389-4>
- Correa-Ramírez, M. A., Hormazábal, S. y Yuras, G. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°-39°S). Geophysical Research Letters, 34(12). <https://doi.org/10.1029/2007GL029541>



- Cotano, U., Irigoien, X., Etxeberste, E., Álvarez, P., Zarauz, L., Mader, J., Ferrer, L. 2008. Distribution, growth and survival of anchovy larvae (*Engraulis encrasicolus* L.) in relation to hydrodynamic and trophic environment in the Bay of Biscay. *Journal of Plankton Research*, 30: 467-481.
- Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for Spatial Data, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York. 900 p.
- Csirke, J. 1989. Changes in the catchability coefficient in the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) fishery, pp. 207-219. In Pauly, D., Muck, P., Mendo, J., Tsukayama, I. (Eds.) The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18,438 p. Institute del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschbom, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Managanent (ICLARM), Manila, Philippines.
- Cubillos, L. 1991. Estimación mensual de la biomasa, reclutamiento, y mortalidad por pesca de la anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile en el período 1986-1989. *Biología Pesquera* 20: 49-59.
- Cubillos, L. y Arancibia, H. 1993a. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. *Rev. Biol. Mar. (Valparaíso)*, 28(1): 43 - 49.
- Cubillos, L. y Arancibia, H. 1993b. Análisis de la pesquería de sardina común y anchoveta del área de Talcahuano, Chile. *Invest. Mar., Valparaíso*, 21:3-21
- Cubillos, L. H. Arancibia, R. Alarcón, S. Núñez, G. Valenzuela, L. Vilugrón y D. Arcos. 1994. Evaluación indirecta del stock de sardina común en la VIII Región. Fondo de Investigación Pesquera - Instituto de Investigación Pesquera.
- Cubillos, L., Canales, M., Hernández, A., Bucarey, D., Vilugrón, L. y Miranda, L. 1998. Poder de pesca, esfuerzo de pesca y cambios estacionales e interanuales en la abundancia relativa de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el área frente a Talcahuano, Chile (1990-97). *Investigaciones Marinas Valparaíso*, 26: 3 - 14.
- Cubillos, L., T.M. Canales, D. Bucarey, A. Rojas & R. Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez de *Strangomera bentincki*, y *Engraulis ringens* en el período 1993-1997 en la zona centro sur de Chile. *Investigaciones Marinas* 27: 73-85.
- Cubillos, L.A., Arcos, D.F., Canales, M. y Bucarey, D. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano (37°S-73°W), Chile: a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? *Aquatic Living Resources*, 14, 115 - 124.
- Cubillos, L.A. y Arcos, D.F. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) in the 1990s, and impact of the 1997-98 El Niño. *Aquat. Living Resour.* 15: 87-94.
- Cubillos, L.A., Bucarey, D.A., Canales, M. 2002. Monthly abundance estimation for common sardine *Strangomera bentincki* and anchovy *Engraulis ringens* in the central-south Chile (34°-40°S). *Fisheries Research* 57: 117-130.
- Cubillos, L., Núñez, S., Ruiz, P., Véjar, F., Oliva, J., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Muñoz, Y., Díaz, E., Oyarzún, C., Gacitúa, S., Aedo, G., González, P., Valero, C., Daza, E., Leal, E., Castro, L., Roa, R., Veas, R., Rebolledo, H., Pino, C., Sepúlveda, A. y Alarcón, C. 2003. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2002. Informe Final FIP 2002-14, 127 p.



- Cubillos, L., Castro, L. y Oyarzún, C. 2005. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informe Final, FIP 2004-03, 136 pp.
- Cubillos, L.A., Ruiz, P., Claramunt, G., Gacitúa, S., Núñez, S., Castro, L.R., Riquelme, K., Alarcón, C., Oyarzún, C. y Sepúlveda, A. 2007. Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. *Fisheries Research*, 86: 228 - 240.
- Cubillos, L., Castro L. y Claramunt, G. 2009. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008. Informe Técnico, FIP 2008-09.
- Cubillos, L., Castro L. y Claramunt, G. 2011. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010. Informe Técnico, FIP 2010-02
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G. y Navarro, E., 2015a. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Técnico FIP 2013-07.
- 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.
- Daenhardt, A., Peck, M.A., Clemmesen, C. & Temming, A. 2007. Depth-dependent nutritional condition of sprat larvae in the central Bornholm Basin, Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 341: 217-228.
- Daneri, G., Castro, L., Escribano, R., Farías, L., González, H., Morales, C., Pizarro, O. y Rosales, S. 2005. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la VIII Región, año 2005. Informe Final. FIP N°2005-01. 104pp.
- Drinkwater, K.F. y Frank, K.T. 1994. Effects of river regulation and diversion on marine fish and invertebrates. *Aquatic Conservation: Freshwater and Marine Ecosystem*. 4: 135-151.
- Dovel, W.L., 1971. Fish eggs and larvae of the upper Chesapeake Bay. University of Maryland Natural Resources Institute Special Report 4, 71 pp.
- Dulcic, J. 1998. Larval growth of sprat, *Sprattus sprattus phalericus*, larvae in the northern Adriatic. *Fisheries Research*, 36: 117-126.
- Durović, M., Pesić A., Regner S., Joksimović, A., Mandić M., Kasalica O., Ikica Z. & Krpo-ćetković J. 2012. Daily otolith increments and growth rate of juvenile anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), in the south-eastern Adriatic Sea. *Acta Adriat.* 53: 331-340.
- Einarsson, H. & Rojas de Mendiola, B. 1963. Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). Boletín, Instituto de investigaciones de los recursos marinos. Callao, 1(1): 1-23.
- Emery, W.J., Thomas, A.C., Collins, M. J., Crawford W.R. y Mackas, D.L. 1986. An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images, *Journal of Geophysical Research.*, 91: 12865.



- Escribano, R., Castro, L., Daneri, G., González, H., Morales, C., Pizarro, O. y Rosales, S. 2004. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la VIII Región, año 2004. Informe Final. FIP N°2004-20. 154pp.
- Escribano, R., Hidalgo, P., Fuentes, M. y Donoso, K. 2012. Zooplankton time series in the coastal zone off Chile: variation in upwelling and responses of the copepod community. *Prog. Oceanogr.*, 97-100: 174-186.
- Espinoza, P., V. Blaskovic, F. Torriani & I. Navarro. 1999. Dieta de la anchoveta *Engraulis ringens* según intervalos de talla. Crucero BIC José Olaya Balandra y BIC Humboldt 9906. Inf. Inst. Mar. Perú, 149: 41- 84.
- Espinoza, P. & V. Blaskovic. 2000. Cambios en la dieta de la anchoveta *Engraulis ringens* y su influencia en la dinámica de alimentación. *Inf. Inst. Mar. Perú*, 19: 21- 27.
- Espinoza, P., I. Navarro & F. Torriani. 2000. Variaciones espaciales en la dieta de la anchoveta a finales de la primavera 1999. Crucero BICs José Olaya Balandra y SNP-2 9911-12. *Inf. Inst. Mar Perú*, 157: 72-76.
- Espinoza, P. & A. Bertrand. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current System. *Prog. Oceanogr.*, 79: 215-227.
- Espinoza, P., & Bertrand, A. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Progress in Oceanography*, 79(2–4), 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.022>
- Espinoza, P. 2010. Dinámica espacio-temporal en la ecología trófica de la anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842; Pisces: Engraulidae) en el mar peruano. Tesis de Magister en Recursos Acuáticos con mención en Ecología Acuática. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 73 pp.
- Espinoza, P. & A. Bertrand. 2014. Ontogenetic and spatiotemporal variability in anchoveta *Engraulis ringens* diet off Peru. *J. Fish Biol.*, 84: 422-435.
- Espinoza, P., Lorrain, A., Ménard, F., Cherel, Y., Tremblay-Boyer, L., Argüelles, J. & Bertrand, A. 2017. Trophic structure in the northern Humboldt Current system: New perspectives from stable isotope analysis. *Marine Biology*, 164(4), 86. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3119-8>
- Ficha pesquera N°2. 2002. Sardina común (*Strangomera bentincki*). Subpesca, Chile, 3 pp. Recuperado de: http://www.subpesca.cl/portal/618/articles-7738_documento.pdf
- Ficha pesquera. 2008a. Sardina común V-X regiones (*Strangomera bentincki* Whitehead, 1965). Subpesca, Chile, 8 p. Recuperado de: http://www.subpesca.cl/portal/618/articles-9179_documento.pdf
- Ficha pesquera. 2008b. Anchoveta III-IV regiones (*Engraulis ringens*). Subpesca, Chile, 10 p. Recuperado de: http://www.subpesca.cl/portal/618/articles-9170_documento.pdf
- Finucane, J.H. y L.A. Collins. 1984. Reproductive biology of cero, *Scomberomorus regalis*, from the coastal waters of south Florida. *Northeast Gulf Sci.*, 7(1): 101-107.
- Fischer, W. 1958. Huevos, crías y primeras prelarvas de anchoveta (*Engraulis ringens*) Jenyns. *Revista de Biología Marina*, 8(1–3), 111–124.
- Fitzhugh, G.R. y Hettler, W.F. 1995. Temperature influence on postovulatory follicle degeneration in Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. *Fish. Bull.*, 93: 568 - 572.
- Fives, J.M., Warlen S.M. & D.E. Hoss. 1986. Aging and growth of larval bay anchovy, *Anchoa mitchilli*, from the Newport River Estuary, North Carolina. *Estuaries* 9:362-367.



- Food and Agriculture Organization (FAO). 1985. Clupeoid fishes of the world (Suborder *Clupeoidei*). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and herrings. Part 2. *Engraulidae*. P.J.P. Whitehead, FAO Fish. Synop., 125(7): 305-579.
- Fortier, L. & Harris R.P. 1989. Optimal foraging and density-dependent competition in marine fish larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 51:19-33
- Francis, R. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *J. Fish Biol.* 36: 883-902.
- Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., Claude & Roy C. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science* 76: 385-462.
- Fuenzalida, R., Escribano, R., Oliva, M., Garcés-Vargas, J., Rosales, S., Claramunt, G., Morales, C., et al., 2009. Efectos de la variabilidad de la capa de mínimo de oxígeno (CMO) en la distribución y la abundancia de los principales recursos pesqueros de la zona norte. Universidad Arturo Prat, Iquique. Informe Final. Proyecto FIP N°2007-45, 222 pp.
- Fukuhara, O. 1983. Development and growth of laboratory reared *Engraulis japonica* (Houttuyn) larvae. *Journal of Fish Biology*, 22: 641-652.
- Fukuhara, O., Takao, K. 1988. Growth and larval behaviour of *Engraulis japonica* in captivity. *Journal of Applied Ichthyology*, 4: 158-167.
- Ganias, K., Somarakis, S., Machias, A. y Theodorou, A.J., 2003. Evaluation of spawning frequency in a Mediterranean sardine population (*Sardina pilchardus sardina*). *Mar. Biol.*, 142: 1169 - 1179.
- Garcés-Vargas J., Ruíz, M., Pardo L. M., Núñez S., Pérez-Santos, I. 2013. Hydrographic features of Valdivia river estuary south-central Chile. *Latin American Journal of Aquatic Res.*, 41(1): 113-125
- García, A., Cortés, D., Ramírez, T., 1998. Daily larval growth and RNA and DNA contents of the NW Mediterranean anchovy *Engraulis encrasicolus* and their relations to the environment. *Marine Ecology Progress Series* 166: 237-245.
- García, A., Cortes, D., Ramírez, T., Guisande, C., Quintanilla, J., Alemany, F., Rodríguez, J.M., Álvarez, J.P., Carpeta, A., 2006. Field comparison of sardine post-flexion larval growth and biochemical composition from three sites in the W Mediterranean (Ebro river coast, bays of Almeria and Malaga). *Scientia Marina*, 70: 79-91.
- Galleguillos, R., L. Troncoso, J. Monsalves & C. Oyarzun. 1997. Diferenciación poblacional en la sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936), I. Análisis genético de variabilidad proteínica (Pisces: *Clupeidae*). *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 345-355.
- Gatica, C., M. Arteaga, J. Giacaman & P. Ruiz. 2007. Tendencias en la biomasa de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona centro-sur de Chile, entre 1991 y 2005. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 35(1): 13-24.
- Geffen, A.J. 1982. Otolith ring deposition in relation to growth rate in herring (*Clupea harengus*) and turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae. *Mar. Biol.* 71: 317-326.
- Gibbons, M.J., V. Spiridonov & G. Tarling. 1999. Euphausiacea. In: D. Boltovskoy (Ed.). South Atlantic zooplankton. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 1241-1279.
- Giesecke, R., Vallejos, T., Sanchez, M. y Teiguel, K. 2017. Plankton dynamics and zooplankton carcasses in a mid-latitude estuary and their contributions to the local particulate organic carbon pool. *Continental Shelf Research* 132: 58-68.



- Giraud, N. 2011. Distribución vertical de huevos de *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842) en el fiordo de Reloncaví, X Región, Chile. Tesis de grado, Univ. de Concepción, Concepción.
- Gómez, F., A. Montecinos, S. Hormazábal, L.A. Cubillos, M. Correa-Ramírez & F.P. Chávez. 2012. Impact of spring upwelling variability off southern-central Chile on common sardine (*Strangomera bentincki*) recruitment. Fish. Oceanogr., 21(6): 405-41
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of contingencies. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 115: 515-585.
- González, H.E., Pantoja, S., Iriarte, J.L., Bernal, P.A. 1989. Winter-spring variability of size-fractioned autotrophic biomass in Concepción Bay, Chile. Journal of Plankton Research, 11: 1157–1167.
- González, H.E., Daneri, G., Iriarte, J.L., Yannicelli, B., Menschel, E., Barría, C., Pantoja, S., Lizárraga, L. 2009. Carbon fluxes within the epipelagic zone of the Humboldt Current System off Chile: The significance of euphausiids and diatoms as key functional groups for the biological pump. Progress in Oceanography, 83: 217–227.
- González, H.E., Calderón, M.J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L.A., Daneri, G., Iriarte, J.L., Lizárraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C.A., Molinet, C. 2010. Primary production and its fate in the pelagic food web of the Reloncaví Fjord and plankton dynamics of the Interior Sea of Chiloé, Northern Patagonia, Chile. Marine Ecology Progress Series, 402:13–30.
- Graham, W.M. 1993. Spatio-Temporal Scale Assessment of an “Upwelling Shadow” in Northern Monterey Bay, California. Estuaries, 16(1), 83. <https://doi.org/10.2307/1352766>
- Hare, J.A. & Cowen R.K. 1994. Ontogeny and otolith microstructure of bluefish *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). Mar. Biol. 118:541-550.
- Hare, J.A. & Cowen, K.C. 1997. Size, growth, development. And survival of the planktonic larvae of *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). Ecology. 78: 2415-2431.
- Hayashi, A., Yamashita, Y., Kawaguchi, K. & Ishii, T. 1989. Rearing method and daily otolith ring of Japanese sardine larvae. Nippon Suisan Gakk. 55: 997-1000
- Henley, B.J., Gergis, J., Karoly, D.J., Power, S.B., Kennedy, J. y Folland, C.K. 2015. A Tripole Index for the Interdecadal Pacific Oscillation. Climate Dynamics 45(11-12): 3077-3090. <https://www.doi.org/10.1007/s00382-015-2525-1>
- Hernández-Miranda, E. & Castro, L. 2000. Larval growth of the anchovy *Engraulis ringens* during the winter spawning season off central Chile. Fisheries Bulletin, 98, 704–710. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/237290768>
- Hernández-Santoro, C., Landaeta, M.F., & Castillo Pizarro, J. 2018. Effect of ENSO on the distribution and concentration of catches and reproductive activity of anchovy *Engraulis ringens* in northern Chile. Fisheries Oceanography, (December 2017), 1–15. <https://doi.org/10.1111/fog.12405>
- Hernández-Santoro, C., Contreras-Reyes, J.E., & Landaeta, M.F. 2019. Intra-seasonal variability of sea surface temperature influences phenological decoupling in anchovy (*Engraulis ringens*). Journal of Sea Research, 152(July), 101765. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.101765>
- Herrera, G., E. Aguilera, G. Castillo & P. Bernal. 1985. Growth of anchovy larvae *Engraulis ringens* in central Chile, determined by daily increment counts in otoliths. Biología Pesquera 14: 11–15.
- Herrera, G., Tarifeño, E. y Orellana, M.C. 1987. Descripción de huevos y primeras fases larvales de la sardina común (*Strangomera bentincki*) y del machuelo (*Ethmidium maculatum*).



- Herrera, G. y G. Claramunt. 1990. Estimaciones de la fecundidad parcial y frecuencia de desove de *Sardinops sagax* durante 1987-88, en el norte de Chile. Invest. Cient. y Tec., Serie Ciencias del Mar, 1: 55-68.
- Hewitt, D. & J.M. Hoenig. 2005. Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity. Fishery Bulletin 103: 433-437.
- Hoenig, J.M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. Fishery Bulletin 82: 898-903
- Hunter, J.R. 1972. Swimming and feeding behavior of larval anchovy *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin, 70(3), 821–838.
- Hunter, J.R. & Sanchez, C. 1976. Diel changes in swim bladder inflation of the larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fisheries Bulletin, 74, 847–855.
- Hunter, J.R. y Goldberg, S.R. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin, 77: 641 - 652.
- Hunter, J.R. 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: R. Lasker (Ed), Marine fish larvae: Morphology, ecology and relation to fisheries. Washington Sea Grant Program, Seattle, pp 34-77.
- Hunter, J.R. y Macewicz, B.J. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin, 83(2): 119 - 136.
- Hunter, J. y Lo, N.C.H. 1993. Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. Bulletin of Marine Science, 53: 723 - 727.
- Hunter, J. y Lo, N.C.H. 1997. The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. Ozeanografika, 2: 41-69.
- Huwer, B., 2004. Larval Growth of *Sardina pilchardus* and *Sprattus sprattus* in relation to frontal systems in the German Bight. Diploma Thesis. Institut für Meereskunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 108 p.
- Hyman, J. 1983. Accurate Monotonicity Preserving Cubic Interpolation. SIAM J. Sci. Stat. Comput., Vol. 4(4), pp. 645-654.
- Iriarte, J.L., Vargas, C.A., Tapia, F.J., Bermúdez, R., Urrutia, R.E. 2012. Primary production and plankton carbon biomass in a river-influenced upwelling area off Concepción, Chile. Progress in Oceanography, 92-95: 97–109.
- Laird, A.K., Tyler S.A. & Barton A.D. 1965. Dynamics of normal growth. Growth. 29: 233-248
- La Mesa, M., Donato F., Giannetti G. & E. Arneri. 2009. Growth and mortality rates of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Adriatic Sea during the transition from larval to juvenile stages. Fish. Res. 96: 275-280.
- Landaeta, M.F., Bustos, C.A., Palacios, P., Rojas, P., & Balbontín, F. 2011. Distribución del ictioplancton en la Patagonia austral de Chile: Potenciales efectos del deshielo de Campos de Hielo Sur. Latin American Journal of Aquatic Research, 39(2): 236–249. <https://doi.org/10.3856/vol39-issue2-fulltext-5>
- Landaeta, M. & Castro, L. 2013. Vertical distribution and gas bladder inflation/deflation in postlarval anchoveta *Engraulis ringens* during upwelling events. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 93(2): 321–331. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0025315411001767>



- Lanillo, P.J., Pelegrí, J.L., Duarte, C.M., Emelianov, M., Gasser, M., Gourrión, J. y Rodríguez - Santana, A. 2012. Meridional and zonal changes in water properties along the continental slope off central and northern Chile. Ciencias Marinas, 38(1B): 307 - 332.
- Lasker, R., Feder, H.M., Theilacker, G.H., & May, R.C. 1970. Feeding, growth, and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. Marine Biology, 5: 345-353.
- 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., Castro, L. R., & Claramunt, G. 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.
- Lee, O., Danilowicz, B.S. & Dickey-Collas, M. 2006. Temporal and spatial variability in growth and condition of dab (*Limanda limanda*) and sprat (*Sprattus sprattus*) larvae in the Irish Sea. Fisheries Oceanography, 15: 490-507.
- Leggett, W.C. & DeBlois, E. 1994. Recruitment in marine fishes: is it regulated by starvation and predation in the egg and larval stage. Nether. J. Sea Res. 32: 119-134.
- Leible, M. & P. Miranda. 1989. El otolito sagitta en el reconocimiento de diferentes especies de teleósteos de la costa central de Chile. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción 60: 149-160.
- Lessa, R., Duarte-Neto, N., Morize, E. & Maciel, R. 2008. Otolith microstructure analysis with OTC validation confirms age overestimation in Atlantic thread herring *Opisthonema oglinum* from north-eastern Brazil. J. Fish Biol. 73: 1690-1700.
- Letelier, J., Pizarro, O. y Nuñez, S. 2009. Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front of central Chile. Journal of Geophysical Research: Oceans, 114 (12).
- Llanos, A., Herrera, G., & Bernal, P. 1996. Análisis del tamaño de las presas en la dieta de las larvas de cuatro clupeiformes en un área costera de Chile central. Scientia Marina, 60(4), 435-442.
- Llanos-Rivera, A. & Castro, L.R. 2004. Latitudinal and seasonal egg-size variation of the anchoveta (*Engraulis ringens*) off the Chilean coast. Fishery Bulletin, 102(1), 207–212.
- Llanos-Rivera, A., Herrera, G., & Bernal, P. 2004. Food size selectivity and diet overlap in larvae of Clupeiform species from central Chile. Cahiers de Biologie Marine, 45(1): 1-8.
- Llanos-Rivera, A. & Castro, L.R. 2006. Inter-population differences in temperature effects on *Engraulis ringens* yolk-sac larvae. Marine Ecology Progress Series, 312: 245-253. <https://doi.org/10.3354/meps31224>
- Lo, N. 1985. A model for temperature-dependent northern anchovy egg development and an automated procedure for the assignment of age to staged eggs. En R. Lasker (Ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax* (pp. 43–50). Washington, DC: NOAA Tech. Rep. NMFS 36. U.S. Dep. Commer. Recuperado de <https://swfsc.noaa.gov/publications/cr/1985/8557.pdf>
- Lo, N.C.H., Hunter, J.R. y Carter, R. 2001. Use of a continues 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.
- 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.



- McGurk, M.D. 1986. Natural mortality of marine pelagic fish eggs and larvae: role of spatial patchiness. *Marine Ecology Progress Series*, 34, 227–242. <https://doi.org/10.3354/meps034227>
- McGurk, M.D. 1987. Natural mortality and spatial patchiness: reply to Gulland. *Marine Ecology Progress Series*. 39: 201 - 206.
- Medina, M., L. Herrera, J. Castillo, J. Jaque & N. Pizarro. 2015. Alimentación de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el norte de Chile (18°25'-25°40'S) en diciembre de 2010. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 43(1): 46-58, 2015 Alimentación de la anchoveta en el norte de Chile 1 DOI: 10.3856/vol43-issue1-fulltext-5
- Millero, F. y Poisson, A. 1981. International one-atmosphere equation of state of seawater. *Deep-Sea Res.*, 28A (6): 625-629.
- 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.
- Molina-Valdivia, V. 2018. Crecimiento y sobrevivencia larval de la sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936) y de la anchoveta *Engraulis ringens* (Jenyns, 1942) durante el ciclo lunar en la bahía El Quisco, Chile Central. Tesis para obtener el título de Biólogo Marino, Universidad de Valparaíso, Chile, 77 pp.
- Molina-Valdivia, V., Landaeta, M.F., Castillo, M.I., Alarcón, D. & Plaza, G. 2020. Short-term variations in the early life history traits of common sardine *Strangomera bentincki* and anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Fisheries Research*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105460>
- Montecinos, A. & Gómez, F. 2010. ENSO modulation of the upwelling season off southern-central Chile. *Geophysical Research Letters*, 37(2), 37-40. <https://doi.org/10.1029/2009GL041739>
- Morales, C.E., Hormazábal, S., Correa - Ramírez, M., Pizarro, O., Silva, N., Fernández, C. y Torreblanca, M. L. 2012. Mesoscale variability and nutrient-phytoplankton distributions off central-southern Chile during the upwelling season: The influence of mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, 104: 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2012.04.015>
- Mori, J., B. Buitrón, A. Perea, C. Peña & C. Espinoza. 2011. Interannual variability of the reproductive strategy of the Peruvian anchovy off northern-central Perú. *Ciencias Marinas* 37(4B): 513-523.
- Moser, H.G. y Ahlstrom, E.H. 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*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 37-41.
- 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.
- Muck, P., Rojas de Mendiola, B. & Antonietti, E. 1984. Comparative studies on feeding in larval anchoveta (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*). Book of Abstracts: Early life history of larval fish.
- Muck, P., Rojas de Mendiola, B. & Antonietti, E. 1989. Comparative studies on feeding in larval anchoveta (*Engraulis ringens*) and Sardine (*Sardinops sagax*), p. 86-96. In: Pauly D, Muck P, Mendo J & Tsukayama I (eds.) The Peruvian upwelling ecosystems; dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18, 438 p.



- Munk, P. 1993. Differential growth of larval sprat *Sprattus sprattus* across a tidal front in the eastern North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 99: 17-27.
- Nakamura, M., Takii, K., Takaoka, O., Furuta, S. & Kumai, H. 1991. Rearing of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) from hatching through juveniles. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 57 (2): 345 pp.
- Namiki, S., Tanaka H., Katayama S., Funaki O., Aoki I. & Oozeki Y. 2010. Validation of daily increment formation in otoliths of immature and adult Japanese anchovy *Engraulis japonicus*. *Fis. Nakamura I.* 1986. Important fishes trawled off Patagonia, 369 pp. JAMARC, Tokyo Sci. 76: 951-959.
- Navarro, E., Schneider, W. y Letelier., J. 2004. Estimation of onshore-offshore transport off central Chile by means of Maximum Cross-Correlation using satellite derived SST. *Pan Ocean Remote Sensing Conference-2004. Tomo II, Gayana*, 68(2): 427 - 431
- Ñiquén, M., M. Bouchon, S. Cahuín y J. Valdez. 1999. Efectos del fenómeno El Niño 1997-98 sobre los principales recursos pelágicos en la costa peruana. *Revista Peruana de Biología* 6 (3): 85 - 96. <https://doi.org/10.15381/rpb.v6i3.8434>.
- Ñiquén, M., Bouchon, M., Cahuín S. & Díaz, E. 2000. Pesquería de anchoveta en la costa peruana. *Bol. Inf. Inst. Mar Perú*, 19 (1 y 2): 117-124.
- Ñiquén, M. & Bouchon, M., 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Res. II* 51, 563–574.
- Oliva, J., Braun, M., Cordova, Castillo, J., Valenzuela, V., Catasti, V., Blanco, J. y Martínez, C., 2000. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, 1999. Informe Técnico FIP 99-10, 97 p.
- Oliva, J., Montenegro, C., Braun, M., Rojas, O., Díaz, E., Catasti, V., Reyes, H., Barría, P., Serra, R., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Escribano, R. y Oliva, M., 2001. Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Informe Técnico FIP 2000-06, 116 p.
- Oliveros-Ramos, R. & C. Peña. 2011. Modelado y análisis del reclutamiento de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) entre 1961 y 2009. *Ciencias Marinas*, 37(4B): 659-674
- Oozeki, Y., Takasuka, A., Kubota, H. 2007. Characterizing spawning habitats of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*), and Pacific round herring (*Etrumeus teres*) in the Northwestern Pacific. *California Cooperative Oceanic Fisheries Invesitgations Annual Conference Reports* 48, 191–203.
- Orellana, M.C. & Balbontín, F. 1983. Estudio Comprativo de las Larvas de Clupeiformes de la Costa de Chile. *Revista de Biología Marina*, 19(1): 1-46.
- Ospina-álvarez, A., Palomera, I., & Parada, C. 2012. Changes in egg buoyancy during development and its effects on the vertical distribution of anchovy eggs. *Fisheries Research*, 117-118: 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.030>
- Ospina-Álvarez, A., Bernal, M., Catalán, I.A., Roos, D., Bigot, J.L., & Palomera, I. 2013. Modeling Fish Egg Production and Spatial Distribution from Acoustic Data: A Step Forward into the Analysis of Recruitment. *PLoS ONE*, 8(9): 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073687>
- Ottersen, G., Kim, S., Huse, G., Polovina, J.J. & Stenseth N.C. 2010. Major pathways by which climate may force marine fish populations, *Journal of Marine Systems*, 79 (3-4): 343-360. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.013>.



- Palomera, I., Morales-Nin, B., Lleonart, J. 1988. Larval growth of anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the Western Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 99: 283-291.
- Palomera, I. 1991. Vertical distribution of eggs and larvae of *Engraulis encrasicolus* in stratified waters of the western Mediterranean. *Marine Biology*, 111: 37-44. <https://doi.org/10.1007/BF01986343>
- Palomera, I., Olivar, M.P., Salat, J., Sabates, A., Coll, M., Garcia, A., Morales-Nin, B. 2007. Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An ecological review. *Progress in Oceanography* 74: 377-396.
- Parada, C., Sobarzo, M., Figueroa, D. y Castro, L. 2001. Circulación del Golfo de Arauco en un periodo de transición estacional: Un nuevo enfoque. *Investigaciones Marinas*. 29(1):11-24.
- Parada, C., Van Der Lingen, C.D., Mullon, C., & Penven, P. 2003. Modelling the effect of buoyancy on the transport of anchovy (*Engraulis capensis*) eggs from spawning to nursery grounds in the southern Benguela: An IBM approach. *Fisheries Oceanography*, 12(3): 170-184. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2003.00235.x>
- Parada, C., Colas, F., Soto-Mendoza, S., & Castro, L. 2012. Effects of seasonal variability in across- and alongshore transport of anchoveta (*Engraulis ringens*) larvae on model-based pre-recruitment indices off central Chile. *Progress in Oceanography*, 92–95, 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.07.015>
- Parada, C., Fulton, E., Vásquez, S., Soto, S., Hormazábal, S., Núñez, S., González, M., et al. 2013a. Estimación de índices de reclutamiento basados en variables y modelos biofísicos de pelágicos pequeños de la zona centro-sur de Chile: Fase I. Informe Final ID: 2012-56-DAP-17. Subpesca-Instituto de Investigación Pesquera.
- Parada, C., Yannicelli, B., Hormazábal, S., Vásquez, S., Porobić, J., Ernst, B., Gatica, C., Arteaga, M., Montecinos, A., Núñez, S. y Gretchina, A. 2013b. 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.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 39(3): 175-192.
- Pauly, D. & I. Tsukayama. 1987. The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. *ICLARM Stud. Rev.* 15: 351.
- Pauly, D., P. Muck, J. Mendo & I. Tsukayama. 1989. The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. *ICLARM Conference Proceedings* 18, IMARPE, Callao, Perú, GTZ, Federal Republic of Germany; and ICLARM, Manila, Philippines, 438 pp
- Peck, M.A., Reglero, P., Takahashi, M., Catalán, I.A. 2013. Life cycle ecophysiology of small pelagic fish and climate-driven changes in populations. *Prog. Oceanogr.*, 116: 220-245.
- Pedraza, M. 2006. Dinámica poblacional de sardina común y anchoveta en Chile centro-sur: Estructura de retroalimentación, interacción biológica y estocásticidad ambiental. Tesis de Magister en Ciencias Mención Pesquería. Universidad de Concepción. 69pp
- Pepin, P. 1991. Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48: 503-518.



- Pérez, C.A., DeGrandpre, M.D., Lagos, N.A., Saldías, G.S., Cascales, E.K. y Vargas, C.A. 2015. Influence of climate and land use in carbon biogeochemistry in lower reaches of rivers in central southern Chile: Implications for the carbonate system in river-influenced rocky shore environments. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 120(4): 673-692.
- Petitgas P. 1993. Use of disjunctive kriging to model areas of high pelagic fish density in acoustic fisheries surveys. *Aquatic Living Resources*. 6: 201-209.
- Picquelle, S.J. y Stauffer, G. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assesment. 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.
- Plaza, G., F. Cerna & J. Legua. 2012. Validación de formación de anillos primarios y macro-anillos de crecimiento en otolitos de anchoveta de la zona norte. Informe Final. Proy. Subpesca ID Nº4728-31LP11, 130 pp.
- Plaza, G., & Cerna, F. 2015. Validation of daily microincrement deposition in otoliths of juvenile and adult Peruvian anchovy *Engraulis ringens*. *Journal of Fish Biology*, 86(1): 203-216. <https://doi.org/10.1111/jfb.12561>
- Plaza, G., Cerna, F., Landaeta, M., Hernández, A., & Contreras, J.E. 2018. Daily growth patterns and age-at-recruitment of the ancho-veta *Engraulis ringens* as indicated by a multi-annual analysis of otolith microstructure across developmental stages. *Journal of Fish Biology*, 93, 370–381
- Politikos, D., Somarakis, S., Tsiaras, K.P., Giannoulaki, M., Petihakis, G. & Machias, A. 2015. Simulating anchovy's full life cycle in the northern Aegean Sea (Eastern Mediterranean): A coupled hydro-biogeochemical-IBM model. *Progress in Oceanography* 138 (2015): 399-416
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de: <https://www.R-project.org/>
- Rahn, D.A., Rosenblüth, B., & Ruttlant, J.A. 2015. Detecting Subtle Seasonal Transitions of Upwelling in North-Central Chile. *Journal of Physical Oceanography*, 45(3), 854–867. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-14-0073.1>
- Ramírez, T., Cortes, D., García, A. 2001. Growth of North Alboran Sea sardine larvae estimated by otolith microstructure, nucleic acids and protein content. *Journal of Fish Biology* 59: 403-415
- Ré, P. 1984. Evidence of daily and hourly growth in pilchard larvae based on otolith growth increments, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792). *Cybium* 8: 33-38.
- Ré, P. 1987. Ecology of the planktonic phase of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* (L.) within Mira estuary (Portugal). *Investigaciones pesqueras* (Spain) 51: 581-598.
- Ré, P. & E. Gonçalves. 1993. Growth of sprat *Sprattus sprattus* larvae in the German Bight (North Sea) as inferred by otolith microstructure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 96: 139-145.
- Rebolledo, H. & L. Cubillos. 2003. Ítems alimentarios de la anchoveta y sardina común en la zona centro-sur durante el verano del 2003. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2002. Informe Final Proyecto FIP 2002-13: 203 pp.
- Regner, S. 1980. On semigraphic estimation of Gompertz function and its application on fish growth. *Acta Adriatica*, 21: 227–236.



- Renault, L., Dewitte, B., Falvey, M., Garreaud, R., Echevin, V. y Bonjean, F. 2009. Impact of atmospheric coastal jet off central Chile on sea surface temperature from satellite observations (2000-2007). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(8): 1-22. <https://doi.org/10.1029/2008JC005083>
- Richardson, S.L. 1981. Spawning biomass and early life of northern anchovy, *Engraulis mordax*, in the northern subpopulation off Oregon and Washington. *Fishery Bulletin*. 78(4): 855-875.
- Rickhter, V.A. & V.N. Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. International Commission for the Northwest Atlantic. *Fisheries Research Document 76/VI/8*: 1-12
- Rojas de Mendiola, B. 1974. Food of the larval anchoveta *Engraulis ringens* J.S. In: J.H.S. Blaxter (ed.): *The Early Life History of Fish*. Springer Verlag, Berlin. pp 277-285.
- Rojas, P.M., Landaeta, M.F., & Ulloa, R. (2011). Eggs and larvae of anchoveta *Engraulis ringens* off northern Chile during the 1997-1998 El Niño event. *Revista de biología marina y oceanografía*, 46(3), 405-419. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572011000300010>
- Rodríguez-Valentino, C. 2016. Crecimiento larval de la sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936) de la zona central de Chile: Variabilidad 2010-2013. Tesis para obtener el título de Biólogo Marino, Universidad de Valparaíso, Chile, 60 pp.
- Rojas de Mendiola, B. 1953. Estudios preliminares del contenido estomacal de las anchovetas. *Bol. Cient. Cía. Adm. Guano*, 1: 33-42. Rojas de Mendiola, B. 1969. The food of the Peruvian anchovy. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 32(3): 433-434.
- Rojas de Mendiola, B. 1971. Some observations on the feeding of the Peruvian anchoveta *Engraulis ringens* J. in two regions of the Peruvian coast. In: J.D. Costlow (ed.). *Fertility of the sea*. Gordon and Breach Science Publisher, New York, pp. 17-440.
- Rojas de Mendiola, B. 1974. Food of the larval anchoveta *Engraulis ringens* J. In J.J.S. Blaxter, (ed), *The early life history of fish*, SpringerVerlag, Berlin, 765 p
- Rojas de Mendiola, B. 1989. Stomach contents of anchoveta (*Engraulis ringens*), 1953-1974. In: D. Pauly, P. Muck, J. Mendo & I. Tsukayama (eds.). *The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions*. ICLARM Conference Proceedings, 18: 97-104.
- Romanelli, M., Colloca, F. & Giovanardi, O. 2002. Growth and mortality of exploited *Sardina pilchardus* (Walbaum) larvae along the western coast of Italy. *Fish. Res.*, 55: 205-218
- Rodríguez-Valentino, C., Landaeta, M.F., Plaza, G., Cubillos, L.A., & Castillo, M.I. 2018. Early life history traits of common sardine, *Strangomera bentincki* (Osteichthyes: Clupeidae) estimated by otolith microstructure analysis. *Journal of Sea Research*, 142: 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.09.009>
- Saavedra, A., Vargas, R., Catasti, V., Lang, C., Grendi, C., Cifuentes, U. et al., 2019. Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2019. Informe Final, Instituto de Fomento Pesquero, 300 pp.
- Sabatés, A., Olivar, M.P., Salat, J., Palomera, I., Alemany, F. 2007. Physical and biological processes controlling the distribution of fish larvae in the NW Mediterranean. *Progress in Oceanography*, 74: 355-376.
- Saldías, G. 2011. Variabilidad espacio-temporal de plumas fluviales en Chile central a partir de mediciones satelitales de alta resolución. Tesis de Magíster en Ciencias con mención en Oceanografía. Universidad de Concepción. pp 90.



- Saldías, G.S., Largier, J.L., Mendes, R., Pérez - Santos, I., Vargas, C.A. y Sobarzo, M. 2016. Satellite-measured interannual variability of turbid river plumes off central-southern Chile: Spatial patterns and the influence of climate variability. *Progress in Oceanography* 146: 212–222.
- Sánchez de Benites G., A. Álamo & H. Fuentes. 1985. Alteraciones en la dieta alimentaria de algunos peces comerciales por efecto del Fenómeno El Niño. In: W. Arntz, A. Landa & J. Tarazona (Eds.). *El Niño, su impacto en la fauna marina*. Bol. Inst. Mar Perú-Callao, 135-142 pp.
- Santander, H., Alheit, J. y Smith, P.E. 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, 209 - 250.
- Schneider, W., Donoso, D., Garcés-Vargas, J. & Escribano R. 2017. Water-column cooling and sea surface salinity increase in the upwelling region off central-south Chile driven by poleward displacement of the South Pacific High. *Progress in Oceanography*, 151: 38-48
- Selman, K. y Wallace, R. 1989. Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. *Zoological Science*, 6, 211 - 231.
- 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.
- Sepúlveda, A., Ruiz, P., Alarcón, R., Núñez, S., Bahamonde, R., Córdova, J., Chong, J., Rebollo, R., Aguayo, M. y Bustos, L. 2009. Condición biológica de jurel en alta mar, año 2006. Informe Técnico FIP 2006-05, 291pp.
- Serra, R. 1978. La pesquería de sardina común Culpea (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de Talcahuano: análisis de su desarrollo y situación actual. *Invest. Pesq. (Chile)*, 29: 21 pp.
- Serra, R., M Aguayo, O. Rojas, J. Cañón & F. Inostroza. 1979. Anchoveta *Engraulis ringens* (Jenyns) Teleostomi Clupeiformes Engraulidae. En: CORFO-IFOP (eds.). Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para un desarrollo pesquero: I Peces. AP 79/18: 1-52.
- Serra, R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. En: Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. G.D. Sharp y J. Csirke (Eds). FAO Fish Rep., 291(2): 255-284
- Schreiber, M. & A. Halliday. 2013. Uncommon among the commons? Disentangling the sustainability of the Peruvian anchovy fishery. *Ecology and Society*, 18(2): 12. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05319-180212>
- Shields, R.J. 1989. Studies of growth and nutritional status in 0-group Sprat, *Sprattus sprattus* (Clupeidae), using otolith microstructure and lipid analytical techniques. PhD Thesis, University of Wales, Bangor. School of Ocean Sciences, Menai Bridge, Gwynedd.
- Siegel, S. & Castellan Jr., N.J. 1988. Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. 2nd Edition, McGrawHill, New York. McGraw-Hill, 399 pp.
- Silva, N. y Konow, D. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Crucero 3-4. Julio-agosto 1974. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 3, 63 - 75.



- 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.
- Smith, P.E., Flerx, W. y Hewitt, R.P. 1985. The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. 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: 27 - 32.
- Sobarzo, M., Bravo, L., Donoso, D., Garcés - Vargas, J. y Schneider, W. 2007. Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile Progress in Oceanography. 75: 363–382.
- 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. y Motos, L. 2004. Daily egg production of anchovy in European waters. ICES Journal of Marine Science, 61: 944 - 958.
- Somarakis, S. & Nikolioudakis, N. 2007. Oceanographic habitat, growth and mortality of larval anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the northern Aegean Sea (eastern Mediterranean). Marine Biology 152: 1143-1158.
- Somarakis, S. & Nikolioudakis, N. 2010. What makes a late anchovy larva? the development of the caudal fin seen as a milestone in fish ontogeny. Journal of Plankton Research, 32(3): 317–326. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp132>
- Soto, S. 2001. Tasa de desarrollo de huevos de *Engraulis ringens* Jenyns en función de la temperatura. Tesis para optar al título de Biólogo Pesquero. Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Soto, S., Claramunt, G., & Escribano, R. 2004. Temperature- dependent development rate of eggs of the southern anchoveta *Engraulis ringens*. GLOBEC Report, 21, 51–53. Recuperado de <http://www.globec.org/index.php?act=downloads&view=item&did=77>
- Soto, S. 2009. Modelación de procesos biofísicos y el transporte-retención de los estados tempranos de vida de *Engraulis ringens* desde las zonas de desove a zonas de crianza en la zona centro-sur de Chile. Tesis de Magíster en Ciencias Mención Pesquería. Universidad de Concepción. 159pp.
- Soto-Mendoza, S., Castro, L.R. y Llanos-Rivera, A. 2010. Variabilidad espacial y temporal de huevos y larvas de *Strangomeria bentincki* y *Engraulis ringens*, asociados a la desembocadura del río Itata, Chile. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 45(3): 471-487.
- Soto-Mendoza, S., Parada, C., Castro, L., Colas, F. y Schneider, W. 2012. Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk sac larvae in the coastal zone off central-south Chile: assessing spatial and temporal spawning parameters. Progress in Oceanography (92-95): 178-191.
- Stauffer, G. D, y Picquelle, S. J. 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.
- Stenevik, E.K., Sundby, S. & Cloete, R. 2007. Diel vertical migration of anchovy *Engraulis encrasicolus* larvae in the northern Benguela. African Journal of Marine Science, 29(1): 127- 136



- Stige, L.C., Hunsicker M., Bailey K., Yaragina N. & Hunt G. 2013. Predicting fish recruitment from juvenile abundance and environmental indices. *Mar. Ecol-Prog. Ser.* 480: 245-261.
- Storch, H. Von & Zwiers, F.W. 1984. Statistical Analysis in Climate Research. *Statistical Analysis in Climate Research.* <https://doi.org/10.1017/cbo9780511612336>
- Strong N.J. & T.M. Ward. 2009. Growth rates of larval sardine, *Sardinops sagax*, in upwelling areas of the eastern Great Australian Bight. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 133(2): 307-317.
- early juvenile Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in the Kuroshio–Oyashio transition region. *Fisheries Oceanography*, 10: 235-247.
- Takahashi, M. & Watanabe, Y. 2004. Growth rate-dependent recruitment of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the Kuroshio–Oyashio transitional waters. *Marine Ecology Progress Series* 266, 227–238.
- Takahashi, M., Watanabe, Y., Yatsu, A. & Nishida, H. 2009. Contrasting responses in larval and juvenile growth to a climate-ocean regime shift between anchovy and sardine. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66: 972- 982.
- Takasuka, A., Oozeki, Y., Kubota, H. & Lluch-Cota, S.E. 2008. Contrasting spawning temperature optima: Why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific? *Progr. Oceanogr.* 77: 225-232.
- Tarifeño, E., Carmona, M., Llanos-Rivera, A., & Castro, L.R. (2008). Temperature effects on the anchoveta *Engraulis ringens* egg development: Do latitudinal differences occur? *Environmental Biology of Fishes*, 81(4), 387–395. <https://doi.org/10.1007/s10641-007-9208-7>
- Thiel, M., Macaya, E.C., Acuña, E., Arntz, W.E., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P.A., Castilla, J.C., Castro, L.R., Cortés, M., Dumont, C.P., Escribano, R., Fernández, M., Gajardo, J.A., Gaymer, C.F., Gomez, I., González, A.E., González, H.E., Haye, P.A., Illanes, J.-E., Iriarte, J.L., Lancellotti, D.A., Luna-Jorquera, G., Luxoro, C., Manríquez, P.H., Marín, V., Muñoz, P., Navarrete, S.A., Perez, E., Poulin, E., Sellanes, J., Sepúlveda, H.H., Stotz, W., Tala, F., Thomas, A., Vargas, C.A., Vásquez, J.A. y Vega, J.M.A. 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile - Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology*, 45, pp. 195-344.
- Torrence, C. & G.P. Compo, 1998. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79: 61-78, [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)
- Troupin, C., Machín, F., Ouberrous, M., Sirjacobs, D., Barth, A. y Beckers, J.M. 2010. High-resolution Climatology of the North-East Atlantic using Data-Interpolating Variational Analysis (DIVA). *Journal of Geophysical Research*. 115, C08005. doi: 10.1029/2009JC005512.
- Tyberghein, L., Verbruggen, H., Klaas, P., Troupin, C., Mineur, F. y Clerck, O.D. 2011. ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modeling. *Global Ecology and Biogeography*. doi: 10.1111/j.1466-8238.2011.00656.x.
- Ulloa, O., R. Escribano, S. Hormazábal, R.A. Quiñones, M. Ramos & R.R. González. 2001. Evolution and biological effects of the 19971998 El Niño in northern Chile. *Geophys. Res. Lett.*, 28(8): 1591-594.



- Valenzuela, V., Balbontín, F. & Llanos, A. 1995. Composición de la dieta y tamaño de las presas de los estadios larvales de ocho especies de peces de la costa central de Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 30(2):275-291.
- Valenzuela, G.S. & Vargas, C.A. 2002. Comparative growth rate of *Sprattus sprattus* in relation to physical and oceanographic features in the North Sea. Archives of Fisheries and Marine Research, 49: 213-230.
- Valle-Levinson, A. 2003. Flow induced by upwelling winds in an equatorward facing bay: gulf of Arauco, Chile. Journal of Geophysical Research, 108(C2): 1-14. <https://doi.org/10.1029/2001JC001272>
- Van der Lingen, C.D., Castro, L., Drapeau, L., Checkley, D.M.J. 2005. Report of a GLOBEC-SPACC workshop on characterizing and comparing the spawning habitats of small pelagic fish. GLOBEC Rep. 21: 107 p.
- Vásquez, P., Llanos-Rivera, A. & Castro, L. 2010. Anormalidades durante el desarrollo embrionario de sardina común *Strangomera Bentincki* en el ambiente natural. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 45(1): 177-185
- Veloso, C. & A. Arrizaga. 1985. El Niño y la pesquería de sardina común Clupea (*Strangomera Bentincki*) de Talcahuano. Ivest. Pesq. (Chile), 32: 185-190 (número especial) Venables, W.N. y Ripley, B.D. 2002. Modern Applied Statistics with S, 4th ed. Springer-Verlag, New York.
- Vergara, O., Echevín, V., Sepúlveda, H.H., Colas, F. y Quiñones, R.A. 2016. Modelling the seasonal dynamics of physical variables and the Peru-Chile Undercurrent off Central Chile (30°–40°S). Continental Shelf Research, 123: 61 - 79.
- Wallace, R. y Selman, K. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Amer. Zool. 21, 325 - 343.
- Walline, P., 1987. Growth and ingestion rates of larval fish populations in the coastal waters of Israel. Journal of Plankton Research 9: 91-102.
- Ware, D., Rojas de Mendiola, B. & Newhouse, D. 1981. Behavior of first feeding Peruvian anchoveta larvae, *Engraulis ringens* Rapport et Procès-Verbaux des Réunions Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 178: 467-474.
- Watanabe, Y. & Kuroki, T. 1997. Asymptotic growth trajectories of larval sardine *Sardinops melanostictus* in the coastal waters off western Japan. Marine Biology, 127: 369-378.
- Wood, S.N. 2003. Thin plate regression splines. Journal of the Royal Statistical Society (B), 62, 95 - 114.
- Yáñez, E., Barbieri, M.A. y Santillán, L. 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. In: Payne, A.I., Brink, L., Mann, K.H., Hilborn, R. (Eds.), Benguela Trophic Functioning. S. Afr. J. Mar. Sci., 12, 175 - 188.
- Yáñez, R.A. 1994. Determinación del estado de madurez sexual de la sardina común *Strangomera bentincki* (Norman, 1936). Seminario Biología Marina, Facultad de Ciencia, Universidad Católica de la Santísima Concepción, 28 p.
- Yáñez, E., S. Hormazábal, C. Silva, A. Montecinos, M.A. Barbieri, A. Valdenegro, A. Órdenes & F. Gómez. 2008. Coupling between the environment and the pelagic resources exploited off northern Chile: ecosystem indicators and a conceptual model. Lat. Am. J. Aquat. Res., 36(2): 159-181.



- Yañez, R.A., Llanos-Rivera, A., Castro, L., Claramunt, G. & Herrera, L. 2011. Variations in type, width, volume and carbon content of anchoveta *Engraulis ringens* food items during the early larval stages. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 91: 1207–1213.
- Zúñiga, M.J. 2011. Patrón espacio-temporal de hábitat de desove realizado de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomerina bentincki*) en la zona centro-sur de Chile. Tesis Magister en Ciencias con mención Pesquerías. Universidad de Concepción.
- Zúñiga, M.J., C. Canales, A. Aranís, A. Gómez & A. Saavedra. 2016. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2016. Convenio de desempeño 2015. Documento técnico. Instituto de Fomento Pesquero, 94 pp. Recuperado de: http://legacy.fishsource.org/system/resource/data_path/22951/CD2015_Estatus_Anchoveta_V-X_2016.pdf



ANEXO I: DETERMINACIÓN DE EDAD

a) Método convencional: procedimiento automatizado de Lo

Para asignar la edad a los huevos, se utilizó el procedimiento automatizado de Lo (1985) con los modelos temperatura-estadio-dependiente descritos por Cubillos *et al.* (2007) y que permiten calcular la edad en función de la temperatura y el estadio de desarrollo. En el caso de la sardina común, se tiene:

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

y para el caso de la anchoveta:

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

donde $Y_{D,T}$ es la edad promedio estimada de los huevos para cada estadio y temperatura; T es la temperatura, y D es el estadio de desarrollo. Se usó la metodología de Lo (1985) 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. La hora del desove se calculó mediante el análisis de la incidencia del Estadio I de los huevos de ambas especie (sin división celular), determinándose que en la anchoveta y sardina común ocurre a la 24,6 h (DS = 3.817 h) y 23,1 h (DS = 1.788 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 decisiones de corrección según la hora de colecta son:

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

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



b) Método Multinomial

La estimación de 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 y Stauffer, 1985). Sin embargo, sólo los estadios de desarrollo son variables verdaderamente observadas y no la edad, al respecto en la literatura se puede encontrar varios procedimientos para estadios de huevos (Lo, 1985, Bernal *et al.* 2001). Bernal *et al.* (2001), quienes desarrollaron un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad, el cual fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas del MPDH para el programa 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. En el nuevo 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 (conocida y dada 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.*

$$f_t(a | \tau)$$

La mortalidad debería ser utilizada para asignar una edad adecuada a los huevos, ya que los huevos más viejos son menos probables de ser encontrados y así, cuando diferentes cohortes diarias pueden ser asignadas a un huevo, es más probable que éste sea más joven que viejo. Al considerar lo argumentado y 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 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.*

Aunque es fácil de implementar, asigna aleatoriedad a las variables equivocadas (edad, la cual es realmente fija y decidida por el investigador).

Está compuesta 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).



ANEXO II: PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

A continuación se presenta el personal participante por actividad más relevante según el objetivo involucrado:

OBJETIVOS	
Objetivo General	Responsable
Evaluación del 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.	Dr. Luis Cubillos

Objetivos Específicos MPH 2019
Objetivos Específicos 1.1 Determinar las condiciones oceanográficas y meteorológicas durante el crucero de huevos de anchoveta y sardina común. 1.2 Estimar la densidad, abundancia y distribución espacial de huevos de anchoveta y sardina común. 1.3 Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común. 1.4 Proponer indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona.

Personal Participante por Actividades

Nombres	Profesión	Objetivo #	Actividades	Fecha Inicio	Fecha Termino	Lugar Actividad
Luis Cubillos Santander	Dr. Oceanografía Biólogo Pesquero	Jefe Proyecto Obj. 3 y 4	1) Producción diaria de huevos 2) Área de desove, biomasa desovante 3) Índice de abundancia de huevos	15-11-2019 15-11-2019 15-11-2019	31-01-2020 22-02-2020 22-02-2020	Univ. de Concepción Univ. de Concepción Univ. de Concepción



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Blanca Bustos Cid	Bióloga Marina	Obj. 3 y 4	4) Área del desove, biomasa del desove	15-11-2019	22-02-2020	Univ. de Concepción
			1) Reportes semanales de los cruceros (enviados a IFOP)	19-08-2019	31-10-2019	Univ. de Concepción
			2) Producción diaria de huevos	15-11-2019	31-01-2020	Univ. de Concepción
			3) Zooplancton			Univ. de Concepción
María José Cuevas Cuevas	Mag. Pesquerías Bióloga Marina	Obj. 3	1) Índice de abundancia de huevos	15-11-2019	22-02-2020	Univ. de Concepción
Germán Vásquez Vallejos	Técnico	Obj. 1 y 3	1) Jefe de Crucero adultos zona norte, centro y sur (embarcaciones Isaac II y Don Julian) 2) Muestreo biológico, tallas, pesos, sexo para anchoveta y sardina común	19-08-2019 19-08-2019	31-10-2019 30-11-2019	Embarcado zonas TTR
Robinson Torres Valenzuela	Técnico	Obj. 1 y 3	1) Apoyo en crucero de adultos zona sur (embarcación Isaac II) 2) Muestreo biológico, tallas, pesos, sexo para anchoveta y sardina común	23-09-2019	31-10-2019	Embarcado zonas TTR
Eduardo Navarro	Biol Mar.	Obj. 1 y 4	1) Análisis satelital de temperatura, clorofila-a, vientos 3) Campo de advección de TSM 4) Anomalías históricas	19-08-2019 15-11-2019 15-11-2019	31-10-2019 31-01-2020 31-01-2020	Univ. de Concepción Univ. de Concepción Univ. de Concepción



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Andrés Cubillos Rivera	Contador Auditor (Adm.)		1) Gestionar Documentos Administrativos para la Ejecución del Proyecto 2) Contabilidad y Presupuestos del Proyecto 3) Control de Gestión Administrativa	14-03-2019 10-06-2019 10-06-2019	30-10-2020 30-11-2020 30-11-2020	Univ. de Concepción Univ. de Concepción Univ. de Concepción
Leonardo Castro Cifuentes	Dr. Ocenaog. Biólogo Marino	Obj. 1 y 4	1) Responsable de secciones ictioplancton e hidrografía, 2) Elaboración de informes ictioplancton e hidrografía 3) Asistencia a talleres del proyecto	1-08-2019 1-08-2019 1-08-2019	31-07-2020 31-07-2020 31-07-2020	Univ. de Concepción Univ. de Concepción Univ. de Concepción
Pamela Barrientos Cereceda	Bióloga Marina	Obj. 1 Obj. 1 Obj. 1	1) Coordinadora de todos los embarques 2) Jefa de Cruceros de Huevos zona centro (embarcación Gimar II) 3) Jefa laboratorio, coordinadora de análisis de muestras	01-08-2019 20-08-2019 1-08-2019	31-10-2019 25-08-2019 31-01-2019	Univ. De Concepción Embarque VIII región Univ de Concepción
Eduardo Escalona Castillo	Biólogo Marino	Obj. 1 Obj. 1	1) Apoyo en cruceros de huevos zona centro y sur, traslado de personal y equipos 1) Determinación de estados de desarrollo de huevos de anchoveta y sardina común	1-08-2019 10-12-2019	31-10-2019 31-01-2020	Univ de Concepción Univ de Concepción
Alejandra Llanos Rivera	Dra. Oceanografía Bióloga Marina	Obj. 1 Obj. 1	1) Análisis estadísticos y diagramación data ictioplancton 2) Elaboración de informes ictioplancton e hidrografía	1-08-2019 1-08-2019	31-07-2020 31-07-2020	Univ de Concepción Univ. De Concepción



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Samuel Soto Mendoza	Mg. Pesquerías Biol. Pesquero	Obj. 1 y 4	1) Análisis estadístico y diagramación de ictioplancton 2) Elaboración de informes ictioplancton e hidrografía	1-10-2019 1-10-2019	31-01-2020 31-01-2020	Univ. De Concepción Univ de Concepción
Valeria González	Biol Mar.	Obj. 1	1) Separación ictioplancton 2) Análisis muestras zooplancton	20-08-2020	25-08-2019	Embarque VIII región
María C. Gaete	Oceanografa	Obj. 1	1) Embarque cruceros ictioplancton	4-09-2019	12-10-2019	Embarques VII, IX y X regiones
Tania Ponce López	Biol Marina	Obj. 1	1) Embarque cruceros ictioplancton	20-08-2019	28-10-2019	Embarques V, VI, VII, VIII, IX, y X regiones
César Henríquez	Biol. Marino	Obj. 1	1) Embarque cruceros ictioplancton	2-10-2019	12-10-2019	Embarque IX y X regiones
Carol González Aspee	Biol. Marina	Obj. 1	1) Embarque cruceros ictioplancton	4-09-2019	28-10-2019	Embarque VII, V y VI regiones



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Eduardo Flores B.	Biol. Marino	Obj. 1	1) Embarque cruceros ictioplancton	4-09-2019	8-09-2019	Embarque VIII región
Rodrigo Matamala	Biol. Marino	Obj. 1	1) Embarque cruceros ictioplancton	4-09-2019	28-10-2019	Embarques VIII, IX, X, V y VI regiones
Pablo Vilugrón	Biol. Marino	Obj. 3	1) Proporción de estadios de madurez sexual por estadio geográfico	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat
		Obj. 3	2) Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat
Gabriel Claramunt Quiñones	Biológico Marino	Obj. 3	1) Medición longitud peso (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
		Obj. 3	2) Extracción de ovario y tejido ovárico (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
		Obj. 3	3) Aplicación de técnicas histológicas e interpretación de ovarios con escala de madurez sexual microscópica	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
		Obj. 3	4) Dotación de folículos postovulatorios	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
Paola Moreno González	Biológico Marino	Obj. 3	1) Medición longitud peso (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
		Obj. 3	2) Extracción de ovario y tejido ovárico (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
		Obj. 3	3) Aplicación de técnicas histológicas e interpretación de ovarios con escala de madurez sexual microscópica	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
		Obj. 3	4) Dotación de folículos postovulatorios	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Gustavo Herrera Urzúa	Biológico Marino	Obj. 2	1) Medición longitud peso (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
		Obj. 2	2) Extracción de ovario y tejido ovárico (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
			3) Aplicación de técnicas histológicas e interpretación de ovarios con escala de madurez sexual microscópica	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
			4) Dotación de folículos postovulatorios	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
Cristian Azocar Santander	Biológico Marino	Obj. 2	1) Medición longitud peso (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)
			2) Extracción de ovario y tejido ovárico (muestreo)	1-11-2019	20-02-2020	Univ. Arturo Prat (lab)



ANEXO III: DESCRIPTORES DE BASES DE DATOS

La estructura de las bases de datos, con toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del crucero correspondiente al proyecto “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2019” se encuentra almacenada en formato Excel. Los archivos y el formato de cada una de las componentes de oceanografía del proyecto se detallan a continuación.

1. Datos oceanográficos

La información oceanográfica de cada una de las estaciones realizadas durante el crucero se encuentra en archivo **DatosCTD_MPDH2019.xlsx**. La información recopilada con el perfilador contínuo CTD/OF (marca y modelo SBE 19 plus), se presenta en las columnas en el siguiente orden.

Número columna	Información
1	Id Proyecto
2	Zona
3	Transecta
4	Estación
5	Fecha (dd-mm-aa)
6	Hora
7	Latitud (°)
8	Longitud (°)
9	Profundidad ecosonda (m)
10	Nivel de profundidad (m)
11	Temperatura (°C)
12	Salinidad
13	Oxígeno disuelto (mL/L)
14	Densidad (Kg/m ³)
15	Densidad (sigma-t)
16	Conductividad (mS/cm)
17	Fluorescencia



A continuación se detallan las estaciones donde se tomaron muestras discretas de agua para calibrar el sensor de fluorescencia y determinar las concentraciones de clorofila-a (sectores centro y sur).

Zona	Transecta	Estación	Lat	Long	Fecha	Profundidad	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	Pheop ($\mu\text{g/L}$)	Cast-CTD SBE 19
Centro	29	152	-36.5	-72.92	22-08-2019	0	1.15	0.88	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0028
Centro	29	152	-36.5	-72.92	22-08-2019	10	4.1	2	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0028
Centro	29	153	-36.5	-73.01	22-08-2019	0	1.5	0.45	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0029
Centro	29	153	-36.5	-73.01	22-08-2019	10	6.18	0.57	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0029
Centro	29	153	-36.5	-73.01	22-08-2019	20	2.9	1.3	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0029
Centro	29	153	-36.5	-73.01	22-08-2019	30	1.32	1.21	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0029
Centro	29	154	-36.5	-73.09	22-08-2019	0	3.84	0.63	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0030
Centro	29	154	-36.5	-73.09	22-08-2019	10	5.8	0.7	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0030
Centro	29	154	-36.5	-73.09	22-08-2019	20	3.42	1.88	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0030
Centro	29	154	-36.5	-73.09	22-08-2019	30	1.62	2.07	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0030
Centro	29	154	-36.5	-73.09	22-08-2019	50	0.3	1.09	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0030
Centro	29	154	-36.5	-73.09	22-08-2019	75	0.35	0.77	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0030
Centro	29	155	-36.5	-73.17	22-08-2019	0	1.43	0.56	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0031
Centro	29	155	-36.5	-73.17	22-08-2019	10	0.92	0.6	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0031
Centro	29	155	-36.5	-73.17	22-08-2019	20	0.34	0.63	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0031
Centro	29	155	-36.5	-73.17	22-08-2019	30	0.17	0.26	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0031
Centro	29	155	-36.5	-73.17	22-08-2019	50	0.1	0.24	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0031
Centro	29	155	-36.5	-73.17	22-08-2019	75	0.1	0.29	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0031
Centro	29	156	-36.5	-73.26	22-08-2019	0	0.39	0.24	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0032
Centro	29	156	-36.5	-73.26	22-08-2019	10	0.49	0.76	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0032
Centro	29	156	-36.5	-73.26	22-08-2019	20	0.27	0.33	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0032
Centro	29	156	-36.5	-73.26	22-08-2019	30	0.26	0.49	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0032



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Centro	29	156	-36.5	-73.26	22-08-2019	50	0.11	0.33	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0032
Centro	29	156	-36.5	-73.26	22-08-2019	75	0.14	0.33	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0032
Centro	29	156	-36.5	-73.26	22-08-2019	100	0.09	0.44	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0032
Centro	29	157	-36.5	-73.34	22-08-2019	0	0.33	0.23	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0033
Centro	29	157	-36.5	-73.34	22-08-2019	10	0.31	0.28	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0033
Centro	29	157	-36.5	-73.34	22-08-2019	20	0.19	0.36	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0033
Centro	29	157	-36.5	-73.34	22-08-2019	30	0.26	0.35	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0033
Centro	29	157	-36.5	-73.34	22-08-2019	50	0.13	0.46	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0033
Centro	29	157	-36.5	-73.34	22-08-2019	70	0.15	0.47	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0033
Centro	29	157	-36.5	-73.34	22-08-2019	100	0.1	0.27	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0033
Centro	29	158	-36.5	-73.42	23-08-2019	0	2.08	0.72	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0034
Centro	29	158	-36.5	-73.42	23-08-2019	10	4.5	1.45	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0034
Centro	29	158	-36.5	-73.42	23-08-2019	20	1.05	1.11	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0034
Centro	29	158	-36.5	-73.42	23-08-2019	30	0.55	0.47	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0034
Centro	29	158	-36.5	-73.42	23-08-2019	50	0.1	0.24	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0034
Centro	29	158	-36.5	-73.42	23-08-2019	75	0.09	0.21	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0034
Centro	29	158	-36.5	-73.42	23-08-2019	100	0.1	0.23	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0034
Centro	29	159	-36.5	-73.5	23-08-2019	0	1.49	0.81	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0035
Centro	29	159	-36.5	-73.5	23-08-2019	10	1.31	1.12	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0035
Centro	29	159	-36.5	-73.5	23-08-2019	20	1.03	1.08	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0035
Centro	29	159	-36.5	-73.5	23-08-2019	30	0.23	0.31	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0035
Centro	29	159	-36.5	-73.5	23-08-2019	50	0.09	0.19	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0035
Centro	29	159	-36.5	-73.5	23-08-2019	75	0.28	0.5	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0035
Centro	29	159	-36.5	-73.5	23-08-2019	100	0.13	0.42	SBE19plus_01906562_2019_08_26_0035
Centro	35	189	-37	-73.2	20-08-2019	0	2.28	0.52	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0009
Centro	35	189	-37	-73.2	20-08-2019	10	4.56	0.15	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0009
Centro	35	189	-37	-73.2	20-08-2019	20	6.96	0.52	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0009



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Centro	35	190	-37	-73.27	20-08-2019	0	1.17	0.15	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0010
Centro	35	190	-37	-73.27	20-08-2019	10	0.89	0.53	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0010
Centro	35	190	-37	-73.27	20-08-2019	20	0.56	0.58	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0010
Centro	35	190	-37	-73.27	20-08-2019	30	0.64	0.4	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0010
Centro	35	191	-37	-73.36	20-08-2019	0	2.05	0.76	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0012
Centro	35	191	-37	-73.36	20-08-2019	10	0.58	0.53	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0012
Centro	35	191	-37	-73.36	20-08-2019	20	0.41	0.47	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0012
Centro	35	191	-37	-73.36	20-08-2019	30	0.38	0.47	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0012
Centro	35	191	-37	-73.36	20-08-2019	50	0.3	0.33	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0012
Centro	35	192	-37	-73.43	21-08-2019	0	0.45	0.41	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0013
Centro	35	192	-37	-73.43	21-08-2019	10	0.68	0.52	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0013
Centro	35	192	-37	-73.43	21-08-2019	20	0.89	0.7	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0013
Centro	35	192	-37	-73.43	21-08-2019	30	0.5	0.54	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0013
Centro	35	192	-37	-73.43	21-08-2019	50	0.05	0.17	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0013
Centro	35	193	-36.99	-73.49	21-08-2019	0	3.19	0.9	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0014
Centro	35	193	-36.99	-73.49	21-08-2019	10	3.61	1.02	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0014
Centro	35	193	-36.99	-73.49	21-08-2019	20	1.57	0.83	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0014
Centro	35	193	-36.99	-73.49	21-08-2019	30	0.59	1.15	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0014
Centro	35	193	-36.99	-73.49	21-08-2019	50	0.45	2.1	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0014
Centro	35	194	-36.99	-73.61	21-08-2019	0	0.46	0.36	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0015
Centro	35	194	-36.99	-73.61	21-08-2019	10	0.47	0.33	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0015
Centro	35	194	-36.99	-73.61	21-08-2019	20	0.57	0.39	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0015
Centro	35	194	-36.99	-73.61	21-08-2019	30	0.69	0.63	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0015
Centro	35	194	-36.99	-73.61	21-08-2019	50	0.1	0.2	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0015
Centro	35	195	-37	-73.71	21-08-2019	0	0.44	0.5	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0016
Centro	35	195	-37	-73.71	21-08-2019	10	0.34	0.32	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0016
Centro	35	195	-37	-73.71	21-08-2019	20	0.37	0.52	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0016



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Centro	35	195	-37	-73.71	21-08-2019	30	0.42	0.42	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0016
Centro	35	195	-37	-73.71	21-08-2019	50	0.09	0.14	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0016
Centro	35	195	-37	-73.71	21-08-2019	75	0.06	0.06	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0016
Centro	35	195	-37	-73.71	21-08-2019	100	0.05	0.14	SBE19plus_01906562_2019_09_13_0016
Sur	53	286	-38.67	-73.51	10-10-2019	0	1.8	1.85	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0173
Sur	53	286	-38.67	-73.51	10-10-2019	10	2.01	1.3	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0173
Sur	53	286	-38.67	-73.51	10-10-2019	20	1.35	5.35	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0173
Sur	53	287	-38.67	-73.59	10-10-2019	0	1.6	4.85	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0174
Sur	53	287	-38.67	-73.59	10-10-2019	10	5.37	0.11	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0174
Sur	53	287	-38.67	-73.59	10-10-2019	20	1.88	0.19	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0174
Sur	53	287	-38.67	-73.59	10-10-2019	30	1.71	0.86	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0174
Sur	53	288	-38.67	-73.67	10-10-2019	0	0.09	1.06	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0175
Sur	53	288	-38.67	-73.67	10-10-2019	10	0.23	1.44	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0175
Sur	53	288	-38.67	-73.67	10-10-2019	20	0.81	1.05	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0175
Sur	53	288	-38.67	-73.67	10-10-2019	30	1.74	0.65	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0175
Sur	53	288	-38.67	-73.67	10-10-2019	50	1.55	0.53	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0175
Sur	53	289	-38.67	-73.75	10-10-2019	0	0.69	3.31	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0176
Sur	53	289	-38.67	-73.75	10-10-2019	10	0.92	0.74	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0176
Sur	53	289	-38.67	-73.75	10-10-2019	20	0.51	1.59	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0176
Sur	53	289	-38.67	-73.75	10-10-2019	30	2.2	0.11	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0176
Sur	53	289	-38.67	-73.75	10-10-2019	50	1.25	0.73	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0176
Sur	53	289	-38.67	-73.75	10-10-2019	75	0.43	0.12	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0176
Sur	53	290	-38.67	-73.84	10-10-2019	0	0.97	2.28	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0177
Sur	53	290	-38.67	-73.84	10-10-2019	10	0.13	1.71	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0177
Sur	53	290	-38.67	-73.84	10-10-2019	20	0.94	1.19	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0177
Sur	53	290	-38.67	-73.84	10-10-2019	30	2.36	0.26	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0177
Sur	53	290	-38.67	-73.84	10-10-2019	50	0.88	0.07	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0177



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Sur	53	290	-38.67	-73.84	10-10-2019	75	0.91	0.66	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0177
Sur	53	290	-38.67	-73.84	10-10-2019	100	0.04	0.22	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0177
Sur	53	291	-38.67	-73.92	10-10-2019	0	0.66	1.6	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0178
Sur	53	291	-38.67	-73.92	10-10-2019	10	0.18	1.06	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0178
Sur	53	291	-38.67	-73.92	10-10-2019	20	0.1	2.1	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0178
Sur	53	291	-38.67	-73.92	10-10-2019	30	2.09	0.07	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0178
Sur	53	291	-38.67	-73.92	10-10-2019	50	1.48	0.42	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0178
Sur	53	291	-38.67	-73.92	10-10-2019	75	0.04	2.06	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0178
Sur	53	291	-38.67	-73.92	10-10-2019	100	1.34	0.02	SBE19plus_01906562_2019_10_11_0178
Sur	65	376	-39.67	-73.39	07-10-2019	0	0.65	11.36	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0132
Sur	65	376	-39.67	-73.39	07-10-2019	10	5.51	0.13	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0132
Sur	65	376	-39.67	-73.39	07-10-2019	20	3.28	1.1	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0132
Sur	65	376	-39.67	-73.39	07-10-2019	30	2.15	3.39	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0132
Sur	65	377	-39.67	-73.48	07-10-2019	0	4.81	2.27	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0134
Sur	65	377	-39.67	-73.48	07-10-2019	10	4.48	2.38	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0134
Sur	65	377	-39.67	-73.48	07-10-2019	20	2.34	1.61	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0134
Sur	65	377	-39.67	-73.48	07-10-2019	30	1.04	2.32	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0134
Sur	65	378	-39.67	-73.56	07-10-2019	0	2.99	2.18	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0135
Sur	65	378	-39.67	-73.56	07-10-2019	10	5.74	3.24	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0135
Sur	65	378	-39.67	-73.56	07-10-2019	20	0.63	0.84	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0135
Sur	65	378	-39.67	-73.56	07-10-2019	30	0.61	1.46	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0135
Sur	65	378	-39.67	-73.56	07-10-2019	50	1.41	4.08	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0135
Sur	65	379	-39.67	-73.64	07-10-2019	0	1.63	0.92	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0136
Sur	65	379	-39.67	-73.64	07-10-2019	10	0.61	0.59	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0136
Sur	65	379	-39.67	-73.64	07-10-2019	20	0.13	0.32	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0136
Sur	65	379	-39.67	-73.64	07-10-2019	30	0.13	0.37	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0136
Sur	65	379	-39.67	-73.64	07-10-2019	50	0.57	1.99	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0136



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Sur	65	380	-39.67	-73.72	07-10-2019	0	0.99	0.77	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0137
Sur	65	380	-39.67	-73.72	07-10-2019	10	2.04	1.48	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0137
Sur	65	380	-39.67	-73.72	07-10-2019	20	0.39	0.33	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0137
Sur	65	380	-39.67	-73.72	07-10-2019	30	0.16	0.18	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0137
Sur	65	380	-39.67	-73.72	07-10-2019	50	0.34	0.53	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0137
Sur	65	381	-39.67	-73.81	07-10-2019	0	1.92	0.9	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0138
Sur	65	381	-39.67	-73.81	07-10-2019	10	0.37	0.3	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0138
Sur	65	381	-39.67	-73.81	07-10-2019	20	0.57	0.49	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0138
Sur	65	381	-39.67	-73.81	07-10-2019	30	0.47	0.61	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0138
Sur	65	381	-39.67	-73.81	07-10-2019	50	0.23	0.28	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0138
Sur	65	381	-39.67	-73.81	07-10-2019	75	0.16	0.58	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0138
Sur	65	382	-39.67	-73.91	07-10-2019	0	2.01	0.76	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0139
Sur	65	382	-39.67	-73.91	07-10-2019	10	1.57	0.69	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0139
Sur	65	382	-39.67	-73.91	07-10-2019	20	2.18	0.88	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0139
Sur	65	382	-39.67	-73.91	07-10-2019	30	1.6	0.67	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0139
Sur	65	382	-39.67	-73.91	07-10-2019	50	0.2	0.43	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0139
Sur	65	382	-39.67	-73.91	07-10-2019	75	0.13	0.47	SBE19plus_01906562_2019_10_08_0139



Intercalibración

El siguiente archivo: **Intercalibracion-SBE19-2019.xlsx**

Contiene información de intercalibración de los sensores de los equipos de CTD/OF empleados, marca Sea Bird, modelos SB19 plus. Además contiene información estadística de la regresión realizada y análisis de sus varianzas. El archivo Excel contiene 8 pestañas o libros, se describen a continuación:

- 1) SBE19 plus – LOPEL. Intercalibración de los sensores de oxígeno (calibrado el 11/06/2019), de temperatura y conductividad (Serie # 6562, calibrado el 15/07/2010) y del fluorómetro (Serie # WS35S-1375, calibrado el 01/06/2016). Equipo CTD/OF del Laboratorio de Oceanografía Física Costera de la Universidad de Concepción.
- 2) SBE19 plus – Marcus. Intercalibración de los sensores de oxígeno (calibrado el 12/11/2013), de temperatura y conductividad (Serie # 7417, calibrado el 09/11/2013) y del fluorómetro (Serie # FLNTURT-3077, calibrado el 03/04/2013). Equipo CTD/OF del Dr. Marcus Sobarzo de la Universidad de Concepción.
- 3) Intercalibración sensor de oxígeno disuelto
- 4) Intercalibración sensor de temperatura
- 5) Intercalibración sensor de conductividad
- 6) Intercalibración sensor de fluorescencia
- 7) Intercalibración sensor de salinidad
- 8) Intercalibración sensor de densidad

2. Datos biológicos

2.1. Huevos

La información de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común de cada estadio de desarrollo en los tres sectores (norte, centro y sur) se encuentra en los archivos **BitacoraEstadio_Anchoveta_MPDH2019.xlsx** y **BitacoraEstadio_SardinaComun_MPDH2019.xlsx**



La información se presenta como se detalla a continuación:

Número de columnas	Información
1	Barco
2	Zona
3	Transecta
4	Estación
5	Fecha
6	Grado
7	Latitud
8	minutos
9	Lat grado
10	Grado
11	Longitude
12	minutos
13	Long grados
14	Hora lance
15	Hora
16	Termino
17	Hora lance
18	Inicio
19	(decimal)
20	Termino
21	Temperatura (°C)
22	Prof. Ecosonda (m)
23	Prof. Requerida (m)
24	ANGULO (°)
25	Cable Arriado (m)
26	V.filtrado(m^3)
27	Conteo Huevos
28	Huevos
29	NºHuevos/m ³
30	NºHuevos 0.05m ⁻²
31	I
32	II
33	III
34	IV
35	V
36	VI
37	VII
	VIII
	IX
	X
	XI
	Des
	TOTAL



2.2.Base de datos de hembras maduras

La información de hembras maduras de anchoveta se encuentra en los siguientes archivos
Anchoveta_HembrasMaduras_MPDH2019.xlsx

Sardina_HembrasMaduras_MPDH2019.xlsx

El orden de esta información se detalla a continuación, al igual que su nomenclatura:

Número de columna	Información
1	Lance correlativo
2	LANCE
3	Hora (fracción)
4	ORDEN
5	LT (cm)
6	PT (g)
7	PE (g)
8	PG (g)
9	EMM
10	FPO
11	FPO 1-7
12	Hora (Entera)
13	FPO 0
14	FPO 1
15	FPO 1
16	Sacar FPO 1
17	IGS
18	ZONA



Nomenclatura

Lance correlativo	Lance correlativo
LANCE	Lance numeración en el muestreo de cada embarcación
Hora (fracción)	Hora del lance en fracción decimal
ORDEN	Numeración de los individuos en la planilla de muestreo biológico específico
LT (cm)	Longitud total del especimen en cm
PT (g)	Peso total del especímen en gramos
PE (g)	Peso eviscerado del especímen en gramos
PG (g)	Peso de la gonada (ovario) en gramos
EMM	Estado de Madurez microscópico por histología
FPO	Presencia del folículo postovulatorio (999=ausencia, 1=día 1; 0=día 0)
FPO 1-7	Características morfohistológicas del FPO (1 a 7)
Hora (Entera)	Hora del lance
FPO 0	Folículo postovulatorio que indica desove inminente (hidratados o nucleo migrante)
FPO 1	Folículo postovulatorio de día 1, que indica desove la noche anterior
FPO 1	Folículo postovulatorio de día 1 corregido
Sacar FPO 1	Indicador para corregir los FPO 1
IGS	Índice gonadosomático
ZONA	Estrato geográfico del muestreo (Centro; Sur)

2.3. Proporción sexual

La información de proporción sexual de anchoveta y sardina común se encuentra en el siguiente archivo **ProporcionSexual_MPDH2019.xlsx**.

El orden de esta información se detalla a continuación, al igual que su nomenclatura:

Número de columna	Nomenclatura
1	Especie
2	Barco
3	Fecha
4	Hora
5	Latitud
6	Longitud
7	Lance
8	Individuo
9	Talla



10	Peso
11	Sexo
12	Zona

Nomenclatura

Especie	Nombre del recurso (Anchoveta o Sardina común)
Barco	Nombre de la embarcación que realizó el muestreo de adultos
Fecha	Fecha en formato (aa-mm-dd)
Hora	Hora del muestreo en formato (HH:MM)
Latitud	Latitud geográfica del lance de pesca formato decimal
Longitud	Longitud geográfica del lance de pesca en formato decimal
Lance	Número del lance de pesca
Individuo	Número de orden del individuo muestreado
Talla	Longitud total del individuo en cm
Peso	Peso total del individuo en gramos
Sexo	Sexo del individuo (M=Macho; H=Hembra)
Zona	Estrato geográfico del muestreo (Centro; Sur)

2.4. Fecundidad

La información de la fecundidad de anchoveta y sardina común se encuentra en los siguientes archivos **LFD_Anchoveta_MPDH2019.xlsx** y **LFD_Scomun_MPDH2019.xlsx**

El orden de esta información se detalla a continuación, al igual que su nomenclatura:

Número de columna	Información
1	PROYECTO
2	ZONA
3	BUQUE
4	FECHA
5	DÍA
6	MES
7	YY (AÑO)
8	ESPECIE
9	LANCE
10	LATITUD
11	LONGITUD
12	HORA



13	CAPTURA
14	REGIÓN
15	FECHA MUESTREO
16	MUESTREADOR
17	LT (cm)
18	MC
19	FRECUENCIA
20	SEXO (H o M)
21	EMS
22	PI8.5
23	N

2.5. Fitoplancton

La información sobre las muestras de fitoplancton se encuentra en detalle en el archivo **BD_Fitoplancton_MPDH2019.xlsx**

El orden de esta información está referida a la abundancia estandarizada de fitoplancton (cel/L): promedio y máxima con su desviación estándar (DS), por sector (norte, centro y sur), a nivel de grupo y especie.

2.6. Zooplancton

La información sobre las muestras de zooplancton se encuentra en detalle en el archivo **BD_Zooplancton_MPDH2019.xlsx**

El orden de esta información está referida a la abundancia estandarizada de zooplancton (ind.m⁻²): promedio y máxima con su desviación estándar (DS), estaciones totales y positivas por sector (norte, centro y sur), a nivel de grupo y especie.



ANEXO IV: TALLERES

1.Taller de Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental en los proyectos MPDH, año 2019

Modalidad y fecha realizado: Video conferencia, Fecha: 23 de junio de 2020

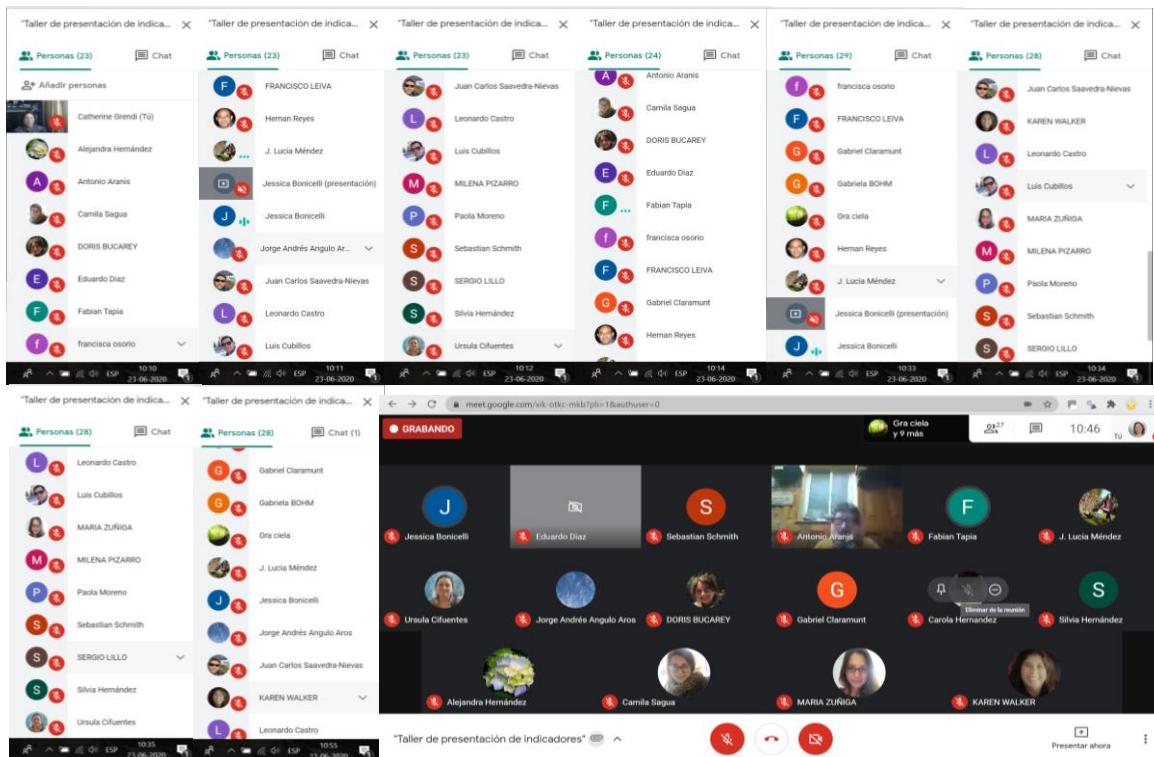


Figura 1: Listado de asistentes conectados al taller, por videoconferencia en la plataforma Meet de Google.



Tabla 1: Listado de asistentes al taller y la institución que representan

Nº	Listado de asistentes	Institución
1	Alejandra Hernández	Subpesca
2	Antonio Aranís	IFOP
3	Camila Sagua	Subpesca
4	Silvia Hernández	Subpesca
5	Carola Hernández	IFOP
6	Doris Bucarey	IFOP
7	Eduardo Díaz	IFOP
8	Fabián Tapia	UdeC
9	Francisca Osorio	IFOP
10	Francisco Leiva	IFOP
11	Gabriel Claramunt	UNAP
12	Gabriela Bohm	IFOP
13	Graciela Pérez	IFOP
14	Joyce Lucia Méndez	Subpesca
15	Jessica Bonicelli	IFOP
16	Jorge Angulo	IFOP
17	Juan Carlos Saavedra	IFOP
18	Karen Walker	IFOP
19	Leonardo Castro	UdeC
20	Luis Cubillos	UdeC
21	María Zúñiga	IFOP
22	Milena Pizarro	IFOP
23	Paola Moreno	IFOP
24	Sebastián Schmith	Particular
25	Sergio Lillo	IFOP
26	Úrsula Cifuentes	IFOP
27	Hernán Reyes	IFOP
28	Catherine Grendi	IFOP



1.2. Presentaciones

1.2.1. Bienvenida y presentación del taller por Catherine Grendi (IFOP)

The slide features a blue header with the text "Taller" and "INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO". Below the header is a large blue square containing the IFOP logo. The main content area has a white background with a faint watermark of the IFOP logo. The title of the presentation is: "Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental en los proyectos MPDH, 2019". Below the title, it says "Instituto de Fomento Pesquero – Universidad de Concepción". In the bottom right corner, there is a small speaker icon followed by the date "Junio, 2020".

Antecedentes

- En la ejecución de los proyectos 2019 de evaluación de stock desovante de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomerina bentincki*) en las zonas norte (18°S-26°S), centro norte (26°S-33°S) y centro sur (33°S-42°S), se desarrolló un objetivo común: “Proponer indicadores físicos y biológicos de escala local y regional que reflejen el estado del medio ambiente del mar de Chile (18°S – 42°00'S)”.
- Se espera que estos indicadores puedan ser utilizados para evaluar el estado de los recursos pesqueros de anchoveta y sardina común, que son sensibles a cambios ambientales en todas las etapas de su ciclo de vida.
- Colaboración científica:
 - ✓ Úrsula Cifuentes, Jessica Bonicelli, Catherine Grendi de IFOP
 - ✓ Luis Cubillos y Leonardo Castro de UdeC
 - ✓ Fabián Gómez, Fabián Tapia y Sebastián Vásquez





Agenda del Taller

Presentación: 09:25 - 09:50

(6) Indicadores propuestos por IFOP

(3) Indicador Biológicos: 09:50 - 10:35 – Jessica Bonicelli
Abundancia y cobertura de depredadores gelatinosos de huevos y larvas de peces
Cobertura espacial de probabilidad de tener concentraciones de clorofila-a > 1 µg/m³
Cambio de fase del ciclo anual de IGS de anchoveta en la zona norte

(3) Indicadores Físicos: 10:35 - 11:20 – Úrsula Cifuentes
Posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sur (APS)
Índice de surgencia potencial
Amplitud y fase del ciclo anual de temperatura superficial del mar

Break 11:20- 11:30

(3) Indicadores propuestos por la UDEC
11:30 - 12:15 - Luis Cubillos – Leonardo Castro

Discusión
12: 15 - 13:00 pm

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Plataforma Meet

Chat: para registrar sus nombres y hacer preguntas por escrito

Grabar la reunión

Cambiar diseño

Pantalla completa

Activar subtítulos

Configuración

Usar un teléfono para hablar y escuchar el audio

Notificar un problema

Notificar uso inadecuado

Ayuda

Barna lateral

Foco

Mosaico

Importante silenciar sus micrófonos mientras exponen los demás

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

1.2.2. Indicadores Biológicos por Jessica Bonicelli (IFOP)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Indicadores biológicos

Taller de indicadores ambientales
Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente
Jessica Bonicelli

Junio, 2020



“Abundancia y cobertura de depredadores gelatinosos de huevos y larvas de peces”

Argumento

- Mide la abundancia y cobertura de potenciales depredadores gelatinosos de huevos y larvas en zonas de desove recurrente (ZDR) de anchoveta.
- La depredación es un factor biológico que tiene una gran influencia sobre la sobrevivencia de huevos y larvas de peces (Bailey & Houde, 1989).
- Los gelatinosos zooplanctónicos son unos de los depredadores más voraces del ambiente pelágico (Pagès *et al.*, 2001).

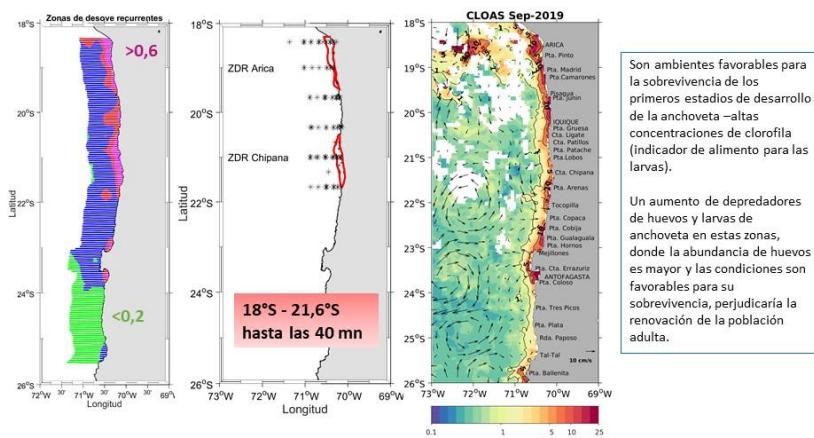
Instituto de Fomento Pesquero



"Abundancia y cobertura de depredadores gelatinosos de huevos y larvas de peces"

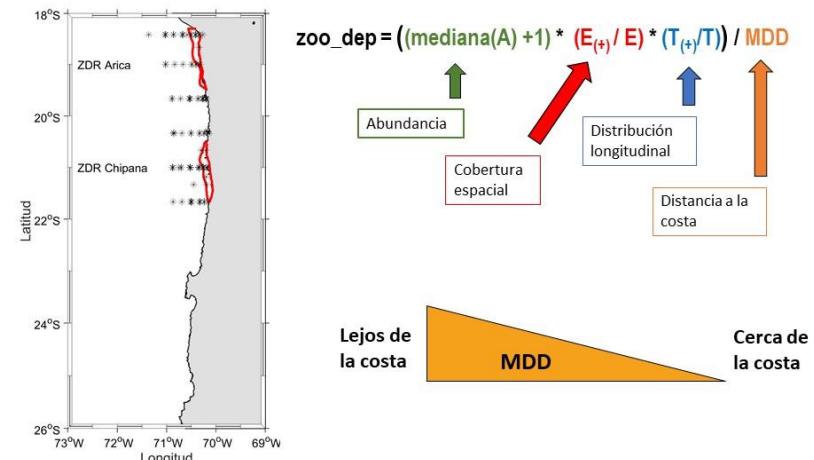
Metodología

Se calculó con la abundancia de 4 grupos de zoopláncton gelatinoso (**Medusas, Ctenoforos, Sifonóforos y Quetognatos**) de las estaciones de muestreo de 7 cruceros oceanográficos (**años 2009, 2014-2019**) del proyecto MOBIO, que se desarrolla durante el período que coincide con la época de máxima actividad de desove de la anchoveta. Se utilizaron las estaciones correspondientes a un área que incluye las zonas de desove recurrentes de anchoveta. (0 – 100 m, red WP2, malla 300 um).



"Abundancia y cobertura de depredadores gelatinosos de huevos y larvas de peces"

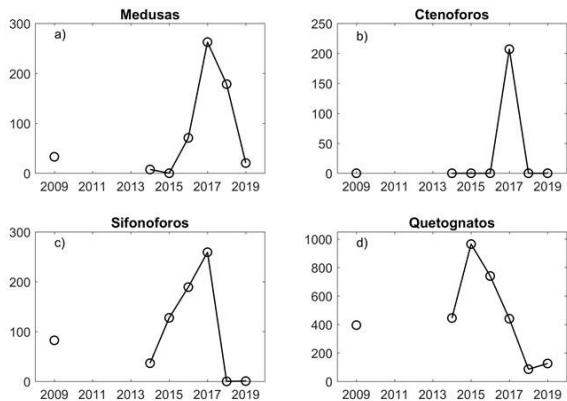
Metodología





"Abundancia y cobertura de depredadores gelatinosos de huevos y larvas de peces"

Resultados



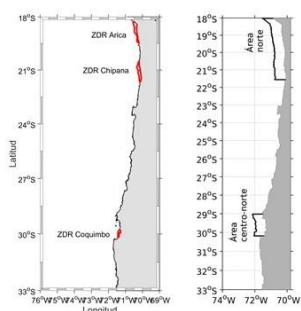
"Cobertura espacial de la probabilidad de tener clorofila por sobre 1 mg/m³"

Argumento

- Este indicador mide la disponibilidad de fitoplancton en zonas de desove recurrente y zonas aledañas.
- El fitoplancton es uno de los componentes de la dieta de las larvas de peces pelágicos (Scura & Jerde, 1977).
- Las larvas, inmediatamente después de haber consumido su saco vitelino, requieren altas concentraciones de alimento (Hunter, 1972) y pueden morir de inanición después de un día y medio sin alimentarse (Lasker *et al.*, 1970). Es por ello que la concentración de alimento en esta etapa de su vida es vital para su sobrevivencia.



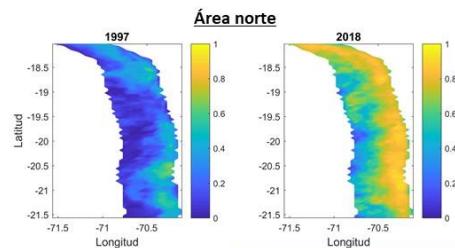
"Cobertura espacial de la probabilidad de tener clorofila por sobre 1 mg/m³" Metodología



Se utilizaron datos diarios de clorofila-a satelital del Producto GlobColour L3 con resolución espacial de 4 km desde 1998 hasta 2018.

A partir de imágenes diarias correspondientes al periodo septiembre-noviembre se calculó la probabilidad de tener una concentración de clorofila > 1 mg/m³ para cada pixel.

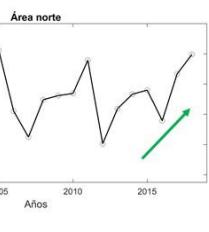
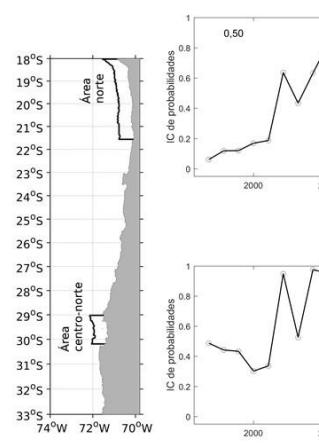
Con ello se produjo un **mapa de probabilidades de tener clorofila > 1 mg/m³** para cada año. A partir de estos mapa se calculó la cobertura espacial de probabilidades por encima de 0,5 para cada año.



Instituto de Fomento Pesquero



"Cobertura espacial de la probabilidad de tener clorofila por sobre 1 mg/m³" Resultados

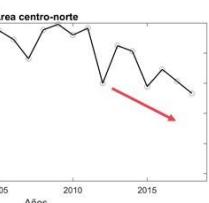


Área norte

Tendencia positiva

Variabilidad de mayor frecuencia que comprende 3 ciclos.

1. (1997 – 2005) y (2005 y 2007).
2. (2007 – 2011) y (2012).
3. (2012 – 2018).



Área centro-norte

Los valores más bajos se evidenciaron en los primeros 5 años. Luego, se incrementaron en el 2002 y se mantuvieron por encima de 0,6 en la mayoría de los años.

En ambas áreas

Decaimiento: 2003, 2007 y 2012

Incremento: 2002, 2004, 2008 y 2013

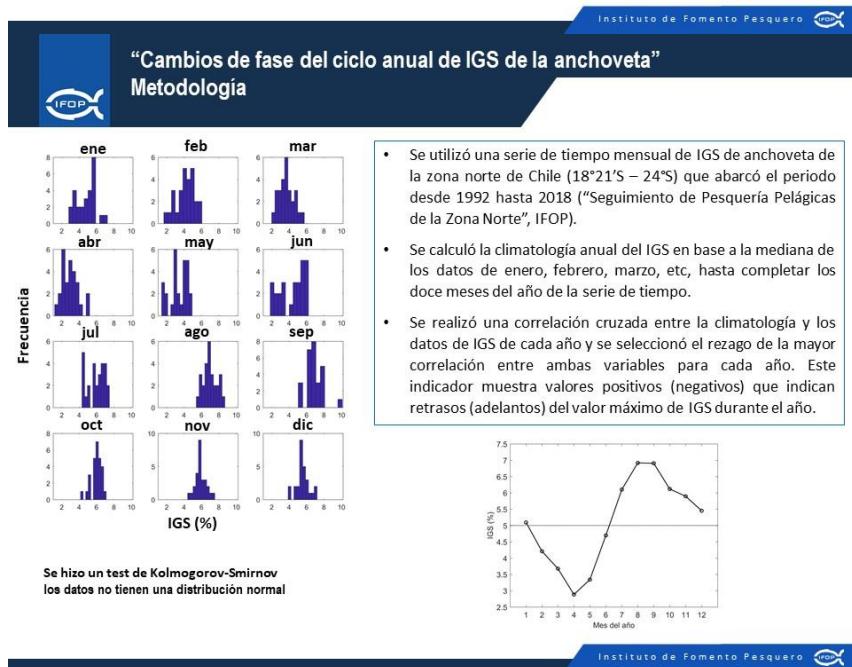
Instituto de Fomento Pesquero



“Cambios de fase del ciclo anual de IGS de la anchoveta”

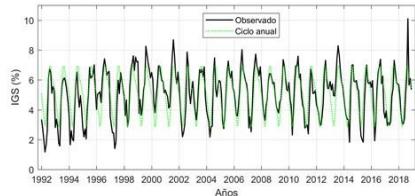
Argumento

- Este indicador mide cambios en la fase del ciclo anual del índice gonadosomático (IGS) de la anchoveta en la zona norte de Chile ($18^{\circ}21'S - 24^{\circ}S$).
- La anchoveta desova de forma parcial durante todo el año.
- La intensidad de su desove varía de forma estacional. Se ha demostrado que esta estacionalidad puede variar de acuerdo a condiciones ambientales (Hernández-Santoro *et al.*, 2019, 2018), lo cual puede llegar a tener un gran impacto en la sobrevivencia de sus primeros estadios larvales y en el éxito del reclutamiento.
- El IGS es un indicador de la actividad reproductiva de los peces que relaciona el peso eviscerado con el peso de la góndola del pez y se utiliza para determinar el periodo de máxima actividad reproductiva de los peces pelágicos tales como la anchoveta (Hernández-Santoro *et al.*, 2013).



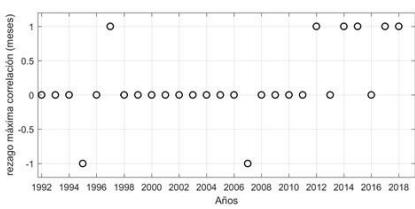


“Cambios de fase del ciclo anual de IGS de la anchoveta”
Resultados



Los resultados muestran una marcada diferencia antes y después del 2011. Entre 1992 y 2011 hubo solo tres años que mostraron cambios en la fase del ciclo anual del IGS, mientras que entre el 2012 y 2018 fueron 5 años los que mostraron ese cambio.

En este último periodo el indicador presentó valores de +1, lo cual significa que durante esos años (2012, 2014, 2015, 2017 y 2018) hubo un retraso de un mes en el valor máximo de IGS.





1.2.3. Indicadores Físicos por Ursula Cifuentes (IFOP)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Proponer indicadores físicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona

Ursula Cifuentes Ojeda

Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente

23 de junio 2020



Posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS) Argumento

- ❖ La señal estacional de la **surgencia** a lo largo de la costa de Chile está asociada con la fluctuación anual en la fortaleza y posición del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS)
- ❖ La intensificación y migración al sur del APS evidencia un enfriamiento y agua más salinas en **Chile-central** a partir del año 2007 (Schneider et al., 2017)
- ❖ En la región **centro-norte** (30°-34°S) se observa un leve incremento de la TSM y disminución en la extensión meridional de la clorofila superficial (Weidberg et al., 2020)
- ❖ Al **norte** de los 30°S se incrementan los vientos favorables a la surgencia, con disminución de la TSM y mayor concentración de clorofila cerca de la costa (Weidberg et al., 2020).

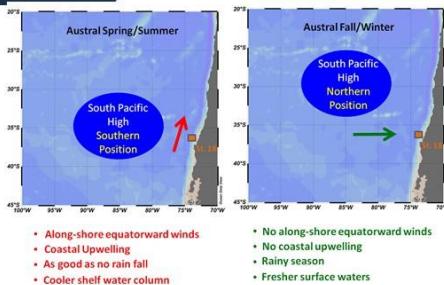


Figura extraída de Schneider et al., 2017

- ❖ El incremento de la surgencia puede impactar negativamente la alta productividad del **ecosistema marino** (Escribano et al., 2012)



Posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS)

Metodología

- Presión (diaria) a NM máxima en área 120°W-70°W; 15°S-50°S.
- Producto de reanálisis NCEP con una resolución espacial de 2,5°/2,5° en latitud/longitud
- Climatología anual con mediana de latitud, longitud y magnitud de APS
- Distancia (mensual) meridional y zonal en función de la climatología.
- Se aplicó un filtro pasa-baja para eliminar los períodos menores a 18 meses
- Cálculo de la anomalía y la anomalía acumulada de APS

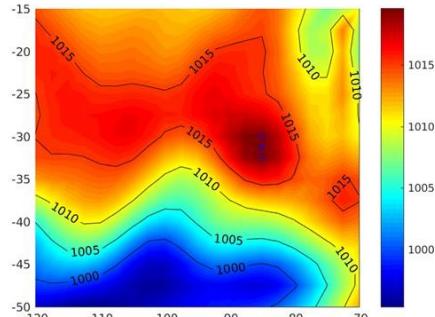


Figura Ejemplo: Presión a NM de un día. Círculos (o), posiciones de presión máxima diaria. Asterisco (*) posición promedio entre ambas posiciones

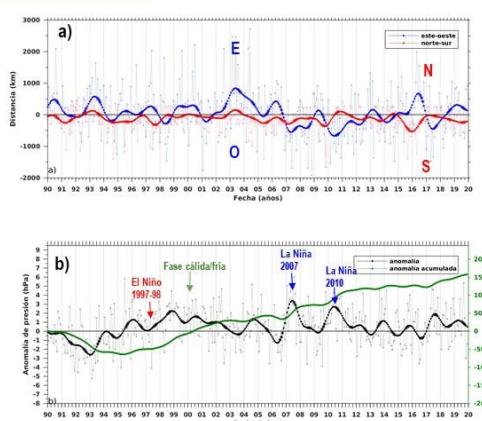


Posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS)

Resultados

Climatología mensual	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Presión (hPa)
Enero	36,25	102,5	1025,32
Febrero	37,5	100	1025,14
Marzo	37,5	100	1025,2
Abril	37,5	97,5	1025,85
Mayo	35	95	1025,76
Junio	35	95	1027,66
Julio	35	95	1028,24
Agosto	35	95	1028,61
Septiembre	35	95	1028,53
Octubre	35	97,5	1027,65
Noviembre	35	98,75	1026,45
Diciembre	35	100	1025,65

Climatología mensual de la posición e intensidad del APS

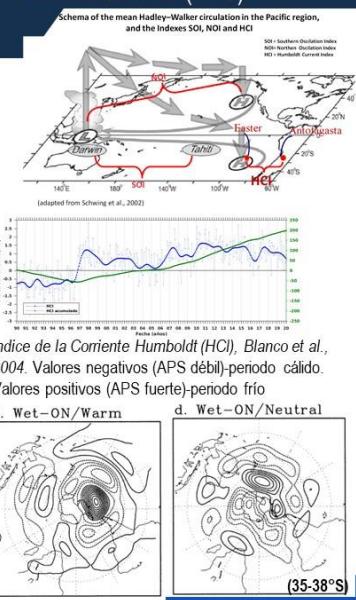


- a) Posición (filtrada) meridional (rojo) y zonal (azul) del APS
- b) Anomalía (negro) y anomalía acumulada (verde) de la presión del APS



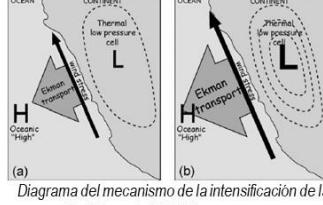
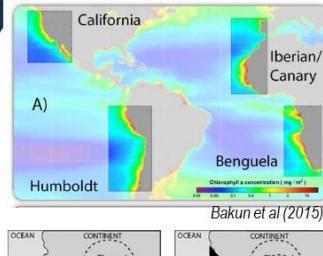
Posición e intensidad del Anticiclón del Pacífico Sureste (APS) Discusión

- El indicador propuesto identifica la migración zonal y meridional del APS y su intensidad, sin embargo, no se evalúa la interacción con otros sistemas de presión que pueden estar determinando su variabilidad
- Por ejemplo, Blanco et al. (2004) propone un indicador con la diferencia de presión en 2 localidades para evaluar la intensidad del APS.
- Montecinos & Aceituno (2003) asociaron la variabilidad de la lluvia con eventos ENOS y el bloqueo de la presión sobre el Mar de Amundsen-Bellinghausen (90°W) en el Pacífico SE
- El ENOS explica el 57% de la varianza interanual del APS, explicado por su intensidad (Ancapichún & Garcés-Vargas, 2015)



Índice de Surgencia potencial Argumento

- ❖ El viento en la costa de Chile es uno de los principales forzantes para generar surgencia costera y consecuentemente generar altos niveles de producción biológica en el Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH).
- ❖ Los procesos ecosistémicos, las componentes biológicas y no-biológicas y las pesquerías en el SCH, pueden ser afectadas a escala multidecadal, interanual, anual e intraestacional (Montecino & Lange, 2009).
- ❖ Gomez et al. (2012) demostraron que la variabilidad interanual de la surgencia (asociada ENOS) tuvo un significante impacto en la abundancia de alimento para los pre-reclutas de sardina común.
- ❖ Cury & Roy (1989) proponen una ventana ambiental óptima para el éxito del reclutamiento de pequeños pelágicos en áreas de Surgencia.





Índice de Surgencia potencial

Metodología

- Se analizó información histórica de magnitud y dirección del viento (horaria), obtenida de estaciones de aeropuerto y recopilados por la Dirección General De Aeronáutica Civil (DGAC)
- Se eliminaron los datos escapados y "vientos calma" (magnitudes <1 m/s)
- Se rotaron las componentes (u, v) al eje de máxima varianza
- Se eliminó la frecuencia diurna con un filtro pasa baja Coseno-Lanczos de 109 pesos (36 horas).
- Se calcularon promedios diarios de las componentes este-oeste (u) y norte-sur (v) del viento,
- El índice de Surgencia instantáneo (IS) se expresó como transporte de Ekman en 1000 de costa, de acuerdo a:

$$IS = \frac{M_x}{\rho_{H2O}} \times 1000$$

$$M_x = \frac{\tau_y}{f}$$

$$f = 2\omega \text{sen}(latitud)$$

$$\tau_y = \rho_a C_d v |w|$$

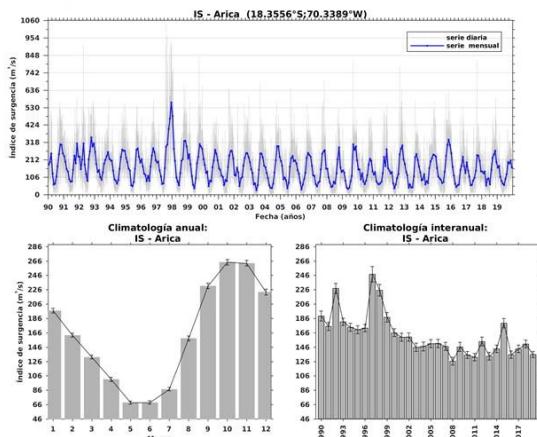
Estación meteorológica	Latitud (°S)	Longitud (°W)	inicio del registro (dd/mm/aaa a)	fin del registro (dd/mm/aaa a)
Aeropuerto Arica (SCAR)	18,35555	70,33889	01/01/1990	31/12/2019
Aeropuerto Iquique (SCDA)	20,54917	70,16944	01/01/1990	31/12/2019
Aeropuerto Antofagasta (SCFA)	23,45361	70,44056	01/01/1990	31/12/2019

Donde:
 M_x = transporte de masa este-oeste ($N \cdot s/m^2$)
 τ_y = esfuerzo del viento sobre la superficie (N/m^2)
 f = parámetro de Coriolis ($1/s$)
 ω = velocidad angular de la tierra ($7,29e-5 \text{ 1/s}$)
 $latitud$ = latitud en grados (ver Tabla 1)
 ρ_a = densidad del aire ($1,25 \text{ kg/m}^3$)
 C_d = coeficiente de arrastre (0,0013)
 v = componente norte-sur del viento (m/s)
 $|w|$ = magnitud del viento (m/s)



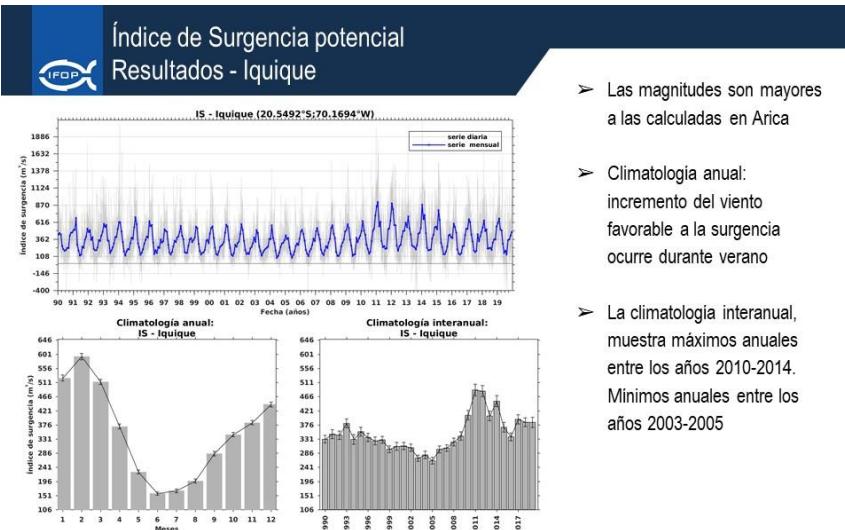
Índice de Surgencia potencial

Resultados - Arica



Panel superior: Serie diaria (gris) y mensual (azul) del Índice de Surgencia potencial ($m^3/s \times 1000$ m de costa). Paneles inferiores: Climatología anual e interanual del IS.

- Aumento del viento favorable a la surgencia durante el ENOS 1997-98 (sólo en Arica)
- Climatología anual: incremento del viento favorable a la surgencia ocurre durante primavera
- La climatología interanual, muestra máximos anuales durante los años 1992, 1997 y 1998. Mínimos durante el 2008, 2010, 2011, 2013.

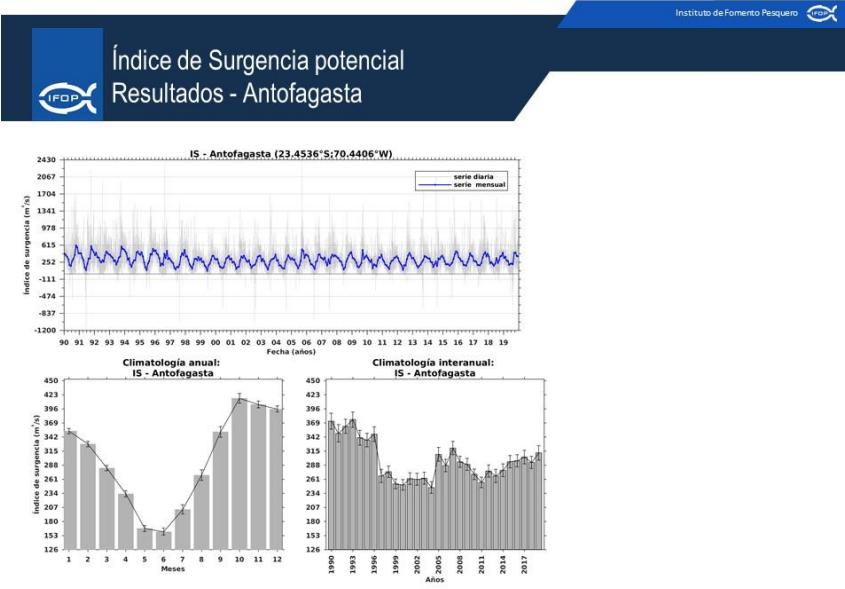


Panel superior: Serie diaria (gris) y mensual (azul) del Índice de Surgencia potencial ($m^3/s \times 1000$ m de costa). Paneles inferiores: Climatología anual e interanual del IS.

➤ Las magnitudes son mayores a las calculadas en Arica

➤ Climatología anual:
incremento del viento
favorable a la surgencia
ocurre durante verano

➤ La climatología interanual,
muestra máximos anuales
entre los años 2010-2014.
Mínimos anuales entre los
años 2003-2005

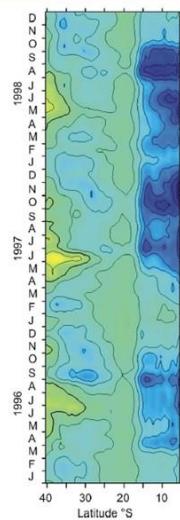




Índice de Surgencia potencial

Discusión

- El indicador de Surgencia potencial permite observar los rangos de intensidad mensual, anual e interanual
- Sin embargo, no permite identificar variaciones asociados al ENOS, ni a escalas espaciales más amplias que lo local
- Escribano et al. (2004) observó que en la zona de Perú, el transporte de Ekman fue favorable a la advección y surgencia costera durante El Niño 1997. Sin embargo, esta parece interactuar fuertemente con ondas ecuatoriales de Kelvin modificando la intensidad y la frecuencia de la surgencia costera.
- García-Reyes et al. (2014) analiza la variabilidad sinóptica de la surgencia para evaluar la intensidad de cada evento de surgencia, la respuesta del océano a la surgencia y la disponibilidad de nitrato en superficie durante cada evento.



Transporte de Ekman hacia afuera de la costa, durante 1996-1998. Entre 5.5°S-41.5°S. Escribano et al. (2004)

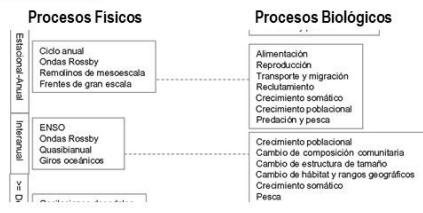
Instituto de Fomento Pesquero



Amplitud y fase del ciclo anual

Argumento

- ❖ La temperatura se vincula a múltiples procesos biológicos y pesqueros (Parada et al., 2013, Ottersen et al., 2010)
- ❖ Los ciclos biológicos de las especies explotadas se encuentran mayoritariamente acoplados al ciclo anual del ambiente físico (Parada et al., 2013).
- ❖ La estacionalidad de la temperatura explica en un 40% la actividad reproductiva de la anchoveta asociada al IGS (Hernandez-Santoro et al. 2019).
- ❖ El ciclo reproductivo estacional de los pequeños pelágicos puede variar 1) interanualmente, debido a factores exógenos, como la temperatura, 2) espacialmente en términos de latitud y otros hábitat, y 3) demográficamente dado el tamaño y edad del stock desovante (Claramunt et al., 2014)

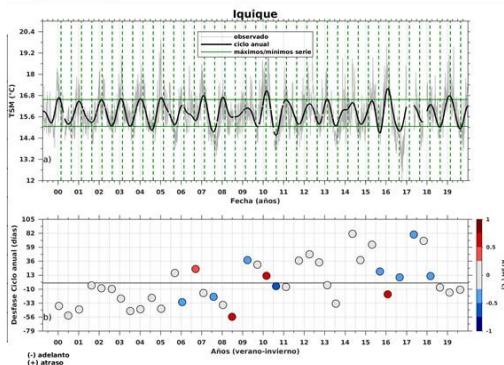


Escala anual e interanual, procesos físicos y biológicos asociados. Extracto de Parada et al., 2013

Instituto de Fomento Pesquero



Amplitud y fase del ciclo anual Metodología



- Un valor **positivo** (**negativo**) de ATSM correspondió a un ciclo anual más **cálido** (**frio**) respecto al ciclo anual promedio
- Un desfase **positivo** (**negativo**) correspondió a un atraso (adelanto) de las épocas de verano/invierno respecto al ciclo anual promedio.

➤ Se analizaron (9) estaciones costeras históricas (horarias) de TSM medidas por el CENDHOC/SHOA, entre Arica y Talcahuano.

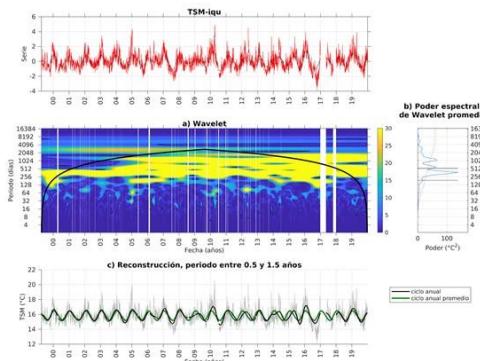
➤ La información de TSM (°C) fue utilizada para determinar la amplitud y la fase del ciclo anual a lo largo de la costa de Chile, en función del ciclo anual promedio esperado para cada localidad

➤ se analizó el ciclo anual de la serie histórica horaria (sin tendencia) con el método de Wavelet (0,5 y 1,5 años)

➤ El ciclo anual promedio se calculó con los máximos/minimos para el verano/invierno climatológico, en tiempo y amplitud



Amplitud y fase del ciclo anual Metodología



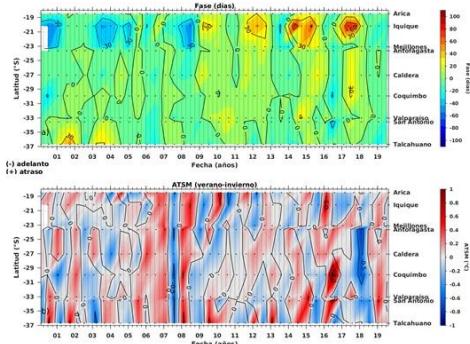
➤ Se analizaron (9) estaciones costeras históricas (horarias) de TSM medidas por el CENDHOC/SHOA, entre Arica y Talcahuano.

➤ La información de TSM (°C) fue utilizada para determinar la amplitud y la fase del ciclo anual a lo largo de la costa de Chile, en función del ciclo anual promedio esperado para cada localidad

➤ se analizó el ciclo anual de la serie histórica horaria (sin tendencia) con el método de Wavelet (0,5 y 1,5 años)



Amplitud y fase del ciclo anual Resultados



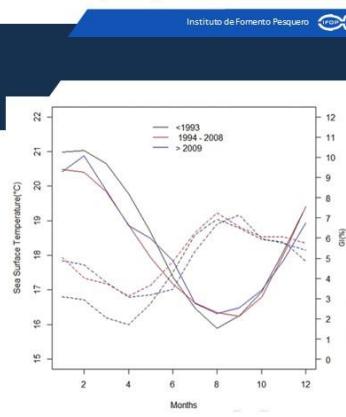
Panel superior: desfase en días del ciclo anual de TSM en la costa a lo largo de Chile. Panel inferior: anomalías de TSM asociadas al ciclo anual de temperatura.

- En general, la serie costera de TSM en Iquique mostró los mayores atrasos/adelantos de las estaciones analizadas
- Entre los años 2000 y 2008, el ciclo anual de la TSM de Iquique fue el único que se adelantó en 30 días, mientras que las demás estaciones tienden a mostrar atrasos del ciclo anual.
- Las mayores ATSM negativas asociadas al ciclo anual se observaron durante La Niña 2007 a lo largo de la costa de Chile.
- Las mayores ATSM positivas ocurrieron durante el 2016 y se focalizaron en Arica-Iquique, Coquimbo y San Antonio



Amplitud y fase del ciclo anual Discusión

- La dinámica reproductiva de la anchoveta, se encuentra afectado por cambios en el medioambiente, asociado a variaciones de largo plazo (Contreras-Reyes et al., 2016) y a la estacionalidad de la temperatura (Hernández-Santoro et al., 2018)
- Claramunt et al. (2012) hipotetiza que la respuesta reproductiva de la anchoveta desovante se acomoda a las características del ambiente, la cual podría ser a escalas de semanas (frecuencia del desove).
- Las fluctuaciones de TSM en la costa norte y centro de Chile se encuentran significativamente explicadas por forzamiento remoto por la acción de ondas atrapadas en la costa (Hormazabal et al., 2001)
- ¿Cómo se comporta este indicador a una escala espacial más amplia? ¿Cómo se relaciona con la intensidad del APS y la anomalía del nivel del mar?



Hernandez-Santoro et al. 2019



1.2.4. Indicadores de la zona Centro sur por Luis Cubillos (UdeC)

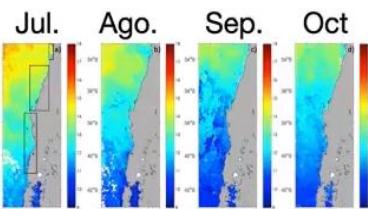
Indicadores ambientales y biológicos

Proyecto “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos, año 2019”

Luis Cubillos - Junio 2020

Anomalías basada en datos satelitales

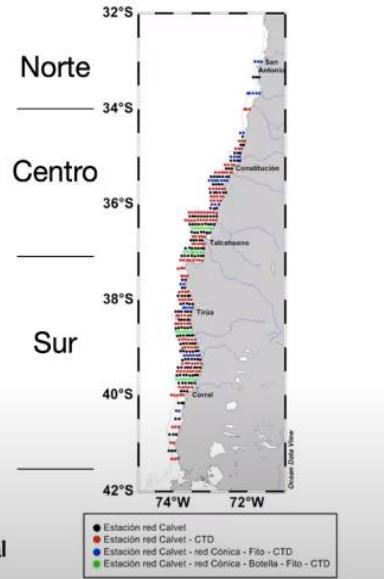
Indicador	Definición	Efectos e impacto potencial en el ambiente y los recursos	Periodo y base de cálculo	Fuente de datos
ATSM	Anomalías de temperatura superficial del mar durante el período reproductivo	Efectos de escala regionales asociados a la variabilidad interanual ENOS, probables impactos en la distribución y densidad de huevos.	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital
AATSM	Anomalías acumuladas de la temperatura superficial del mar	Efecto de escala regional de baja frecuencia, probable impacto en la tendencias en la distribución y densidad de huevos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital
ACloa	Anomalía de biomasa fitoplancónica durante el período reproductivo	Efectos del enriquecimiento trófico en la zona costera, probables efectos en la distribución del desove por preferencia de los adultos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital
AACloa	Anomalía acumulada de biomasa fitoplancónica durante el período reproductivo	Efectos del enriquecimiento trófico de baja frecuencia en la zona costera, probables efectos en la distribución del desove por preferencia de los adultos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital



Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona

**Anomalías temperatura, salinidad a 10 m, y abundancia de huevos**

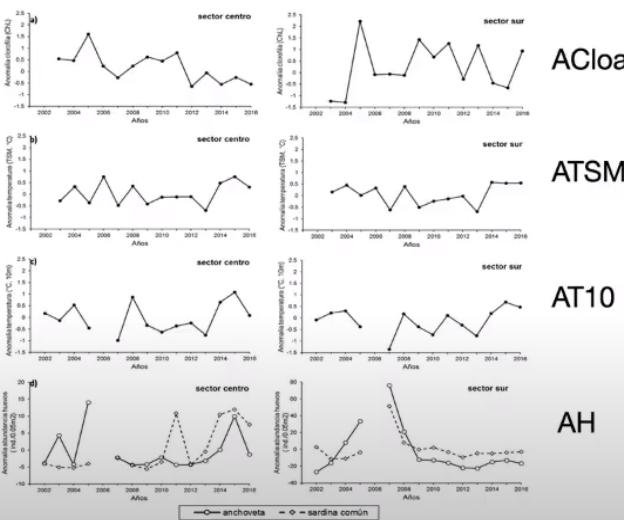
Indicador	Definición	Efectos e impacto potencial en el ambiente y los recursos	Periodo y base de cálculo	Fuente de datos
AT10	Anomalia de la temperatura superficial a 10 m	Efectos locales de cambios de la temperatura superficial en la columna de agua, probables impactos en la tasa de desovado de huevos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	CTD en la grilla de estaciones
AS10	Anomalia de la salinidad superficial a 10 m	Efectos locales de cambios de la salinidad superficial en la columna de agua, probables impactos en la tasa de eclosión y boventos de huevos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	CTD en la grilla de estaciones
AH	Anomalia en la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común	Efectos del ambiente y del stock desovante de anchoveta y sardina común, probable impacto en el desove	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Red Pairovet en la grilla de estaciones



Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona



Anomalías de huevos por especie, relacionadas con anomalías de TSM satelital y temperatura insitu (10 m) y anomalías de cloa satelital, en los sectores centro y sur (2002-2016)

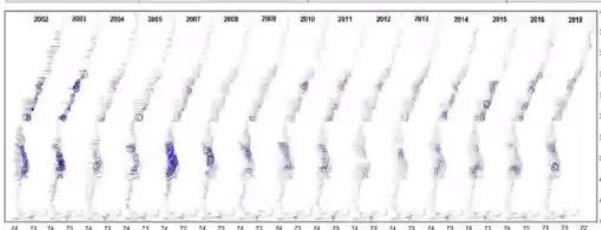


Centro de gravedad

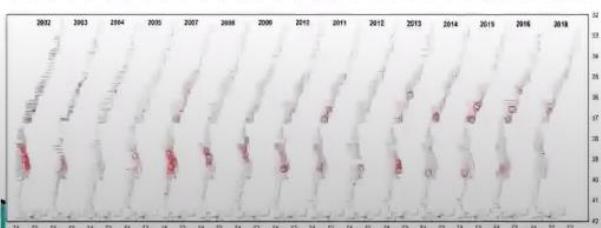
Centroide de latitud (Clat)

$$C_{lat} = \frac{\sum (lat_i w_i)}{\sum w_i}$$

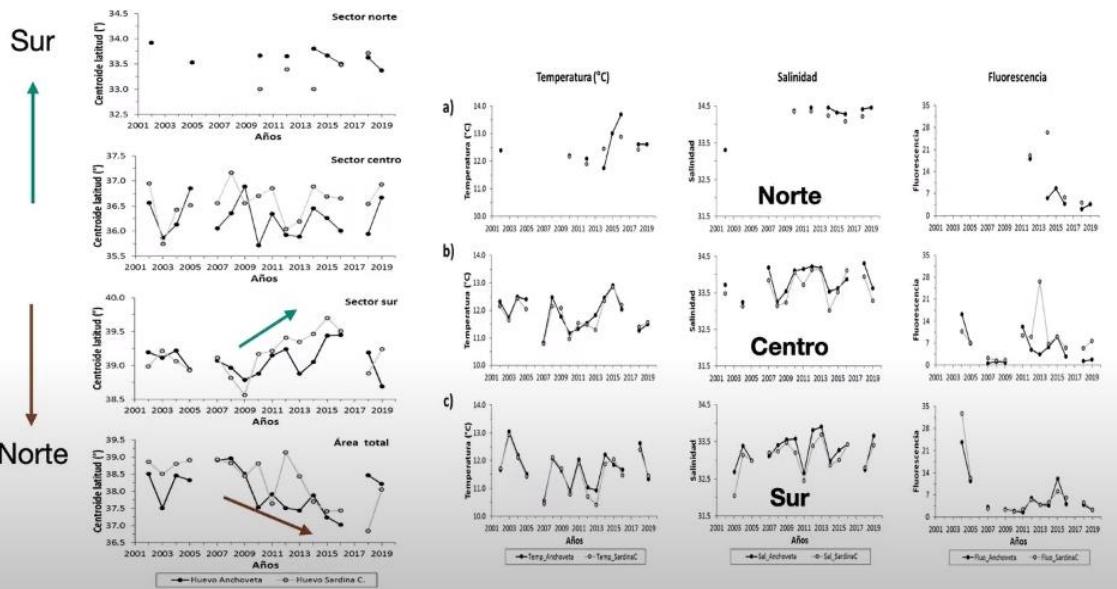
Indicador	Definición	Efectos e impacto potencial en el ambiente y los recursos	Periodo y base de cálculo	Fuente de datos
CGLAT	Centro de masa de la abundancia de huevos	Cambios latitudinales en la distribución del desove de sardina común y anchoveta, probables impactos en el éxito reproductivo	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Red Pairovet en la grilla de estaciones



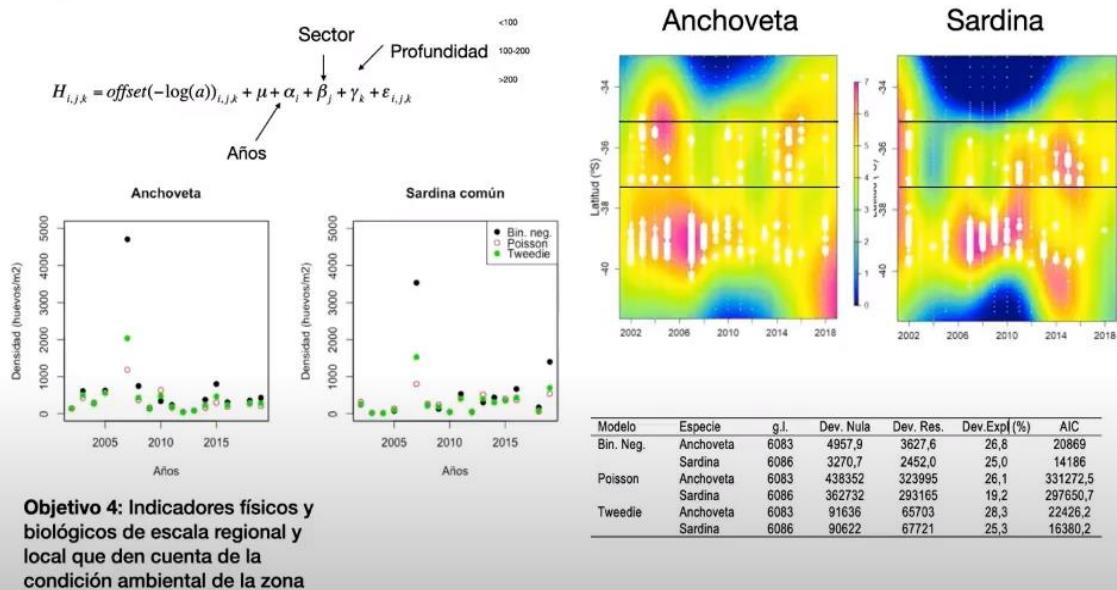
Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona



2. Variabilidad de los centros de masa de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 y 2019 en los sectores geográficos (norte, centro y sur) de la zona centro sur de Chile.



5. Índice de abundancia de huevos

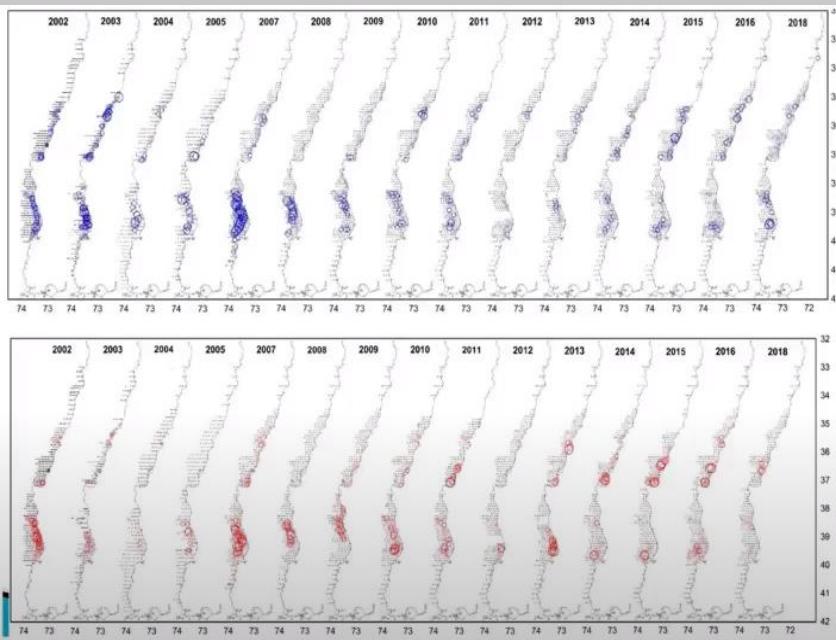




Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG, familia binomial negativo.



Años	Anchoveta			Sardina común		
	Densidad (huevo/m ²)	Error Estándar	CV	Densidad (huevo/m ²)	Error Estándar	CV
2002	137	19.3	0.141	249	45.8	0.184
2003	611	104.2	0.171	20	4.9	0.245
2004	272	56.9	0.210	13	4.4	0.330
2005	625	130.2	0.208	72	21.1	0.293
2007	4706	838.2	0.178	3535	834.5	0.236
2008	747	137.0	0.183	223	55.0	0.246
2009	133	25.1	0.189	129	32.0	0.248
2010	340	121.2	0.356	43	23.1	0.540
2011	232	44.6	0.192	532	133.0	0.250
2012	42	8.7	0.208	45	12.0	0.267
2013	84	16.6	0.198	303	75.5	0.249
2014	375	70.1	0.187	438	108.3	0.247
2015	802	147.8	0.184	356	88.1	0.247
2016	306	54.1	0.177	666	154.1	0.231
2018	353	64.9	0.184	170	42.0	0.248
2019	430	78.7	0.183	1398	335.9	0.240





2.Taller de presentación de resultados del proyecto: Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2019

Modalidad y fecha realizado: Video conferencia, Fecha: 1 de julio de 2020

The screenshot shows a Google Meet session with five separate participant lists and a main video grid. The top row shows five participant lists: 'Taller de Resultados MPDH cent...', and 'Taller de Resultados MPDH cent...'. Each list shows a list of participants with their names and profile pictures. The bottom section shows a video grid with several participants. A large video frame in the center-right shows a man speaking. Other participants are shown in smaller frames around him, some with initials (L, C, A, N) and some with full names (Hernan Reyes). The interface includes a toolbar at the top and a timestamp of 10:54.

Figura 2: Listado de asistentes conectados al taller, por videoconferencia en la plataforma Meet de Google.

**Tabla 2:** Listado de asistentes al taller y la institución que representan

Nº	Nombre y Apellido	Email Address	Institución
1	Alvaro Saavedra	alvaro.saavedra@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
2	Jurgen Betzhold	jbetzhold@subpesca.cl	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
3	Camila Sagua Cepeda	csagua@subpesca.cl	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
4	Joyce Mendez	joyce.mendezs@gmail.com	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
5	Carla Falcón Simonelli	cgfalcon@economia.cl	Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño
6	Leonardo Caballero González	leo.caballero@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
7	Nicolás Alegria L.	nicoalegria1@gmail.com	INPESCA
8	Karen Walker	karen.walker@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
9	Juan Carlos Saavedra	juancarlos.saavedra@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
10	Eduardo Díaz Ramos	eduardo.diaz@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
11	Maximiliano Alarma Carrasco	alarmam@gmail.com	CIAM, asesor externo ORIZON
12	Jessica Bonicelli	jessica.bonicelli@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
13	Ursula Cifuentes	ursula.cifuentes@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
14	Jorge Angulo Aros	jorge.angulo@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
15	Samuel Soto Mendoza	sasoto@udec.cl	Universidad de Concepción
16	Luis Cubillos	lucubilllos@udec.cl	Universidad de Concepción
17	Leonardo Castro	lecastro@oceano.grafia.udec.cl	Universidad de Concepción
18	Bryan Bularz	bryan.bularz@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
19	Cristian Villouta	CRISTIAN.VILLOUTA@IFOP.CL	Instituto de Fomento Pesquero
20	Jorge Oliva López	joliva@ciamchile.cl	CIAM
21	Marianne Lichtenberg Albornoz	marianne.lichtenberg@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
22	Francisca Osorio	francisca.osorio@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
23	Catherine González	catherine.gonzalez@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
24	Catherine Grendi	catherine.grendi@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
25	Hernán Reyes	hernan.reyes@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

26	Gabriel Claramunt	gclaramu@unap.cl	Instituto de Fomento Pesquero
27	Eduardo Navarro	eduardo.navarro@imo-chile.cl	IMO
28	Alejandra Gómez	alejandra.gomez@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
29	Antonio Aranis	antonio.aranis@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
30	Daniel Andrés Moreno Yáñez	daniel.moreno@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
31	Gonzalo Muñoz	gonzalo.muñoz@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
32	Graciela Pérez	graciela.pérez@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
33	Hernán Padilla	hernan.padilla@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
34	Marco Troncoso	marco.troncoso@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
35	Verónica Valdebenito	veronica.valdebenito@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
36	Erik Gaete	erik.gaete@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
37	Mabel Albornoz	mabel.albornoz@ifop.cl	Instituto de Fomento Pesquero
38	Beatriz Ochoa	beaochmar@gmail.com	Particular
39	Paola Reinoso Rodríguez	paola.reinoso@pucv.cl	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
40	Marta Vidal (Atilio Reyes)	martavidalroman@hotmail.com	Particular
41	Gustavo Aedo	gustavo.aedo@gmail.com	Particular
42	Amparo Briceño		Particular
43	Javier Rivera	jrivera@subpesca.cl	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura



2.2. Presentaciones

2.2.1. Bienvenida y presentación del proyecto por Catherine Grendi (IFOP)

The slide features a blue header with the word "Taller" in large white letters. Below it is a photograph of a white building with classical architectural details, including columns and windows. The words "INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO" are written above the entrance, and the IFOP logo is displayed on the facade. The main title of the presentation is centered in a white box: "**Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2019**". Below the title, the author's name "Catherine Grendi" is listed, along with the institution "INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO". A small speaker icon indicates the presentation is audio-enabled. The date "Julio, 2020" is also present.



Agenda del Taller

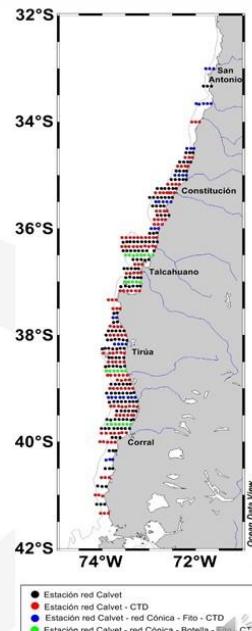
Moderador: Hernán Reyes (IFOP)

- 09:00 **Saludo de bienvenida y presentación del proyecto.** Catherine Grendi (IFOP)
- 09:30 **Biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos.** Luis Cubillos (UdeC)
- 09:50 **Distribución y abundancia de huevos y su relación con las condiciones oceanográficas.** Leonardo Castro (UdeC).
- 10:10 - 10:20 **Receso**
- 10:20 **Modelo conceptual del ciclo de vida de la anchoveta y sardina común.**
Jessica Bonicelli (IFOP)
- 10:40 **Indicadores ambientales propuestos en la zona centro sur.**
Luis Cubillos (UdeC)
- 11:00 - 12:00 **Preguntas / Discusión**



Antecedentes del proyecto

- El Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH), que incorpora la dinámica reproductiva y la producción de huevos, evalúa el stock desovante de peces como la anchoveta y la sardina común, y junto con la evaluación hidroacústica permite determinar la biomasa total.
- En el año 2002, se aplicó por primera vez el MPDH en anchoveta y sardina común de la zona centro sur de Chile (33°00'S-41°30'S), documentado en el proyecto FIP 2002-14 (Cubillos et al. 2003a).
- A partir del año 2014, IFOP administra este proyecto y lleva a cabo el proceso de licitación, el cual ha sido adjudicado por la Universidad de Concepción.



Objetivos del Proyecto

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 la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, y las condiciones oceanográficas asociadas a este proceso.

2. Objetivos específicos

- 2.1. Determinar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y planctónicas asociadas al crucero.
- 2.2. Estimar la biomasa del stock desovante.
- 2.3. Proponer indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona.
- 2.4. Objetivo Incremental: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta usando modelamiento biofísico. Fase III: Proponer un modelo conceptual del ciclo de vida de la sardina común y anchoveta en base a la información histórica





Actividad reproductiva (IGS)

- ✓ La sardina común desde mediados de junio presentó altos valores de IGS (>5%) y la anchoveta a partir de septiembre.
- ✓ El máximo del desove de sardina común (IGS >6%) de mediados de septiembre, fue cubierto por el crucero, mientras que el máximo de anchoveta ocurrió después.



Datos de IGS del "Programa de seguimiento de las pesquerías pelágicas zona centro sur de Chile, de IFOP".

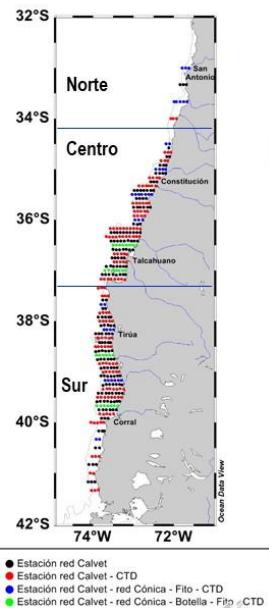
Crucero de huevos

- ✓ Entre el 20 de agosto y el 28 de octubre del 2019
- ✓ 386 estaciones desde las 0,5 mn de la costa hasta el quiebre plataforma continental (isóbata 200 m)

Sector	Localización	Transectas	Nº estaciones
Norte	33°S – 34°S	4 transectas cada 20 mn	14 estaciones (de 14)
Centro	34°30'S – 37°10'S	33 transectas cada 5 mn	178 estaciones (de 215)
Sur	37°30'S – 41°20'S	33 transectas cada 5 mn	192 estaciones (de 215)

386
estaciones

- 383 Huevos (red Calvet)
- 66 Mesozoopláncton (red cónica)
- 66 Fitopláncton (red cónica)
- 26 Muestras de agua para determinar la clorofila-a (botellas Niskin)
- 211 Perfiles oceanográficos en profundidad con CTD/OF (SBE 19 plus v2)





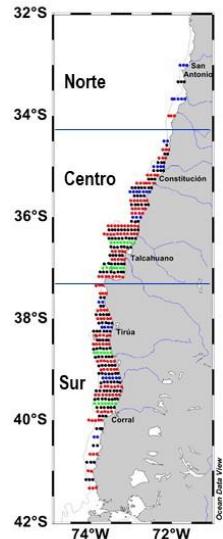
Estaciones positivas

Estaciones positivas con huevos

	Anchoveta	Sardina común
2018	35%	14%
2019	27,6% ↓	22,9% ↑

Abundancia promedio de todas las estaciones positivas de huevos

	Anchoveta	Sardina común
2018	34,8 huevos 0,05 m ²	13,9 huevos 0,05 m ²
2019	34,1 huevos 0,05 m ²	70,6 huevos 0,05 m ² ↑



● Estación red Calvet
● Estación red Calvet - CTD
● Estación red Calvet - red Cónica - Fito - CTD
● Estación red Calvet - red Cónica - Botella - Fito - CTD

Cruceros de adultos

- Cruceros de adultos

Especie	Sector	Lances	Ejemplares	Machos %	Hembras %	Talla cm
Anchoveta	Centro	32	3961	49,6	50,4	15
	Sur	30	545	49,7	50,3	12
Sardina común	Centro	32	4149	51,1	48,9	14,3
	Sur	30	4463	53,3	46,7	14,1

- Parámetros reproductivos

	Anchoveta	Sardina común
Nº Lances	34	40
Nº muestras	1257	1589
Hembras activas (% ovarios*)	98,5	98,6
Hembras virginales (fuera del cálculo)	18	-
Fecundidad promedio por lance (ovocitos)	10000	11081

(*) Análisis histológico de ovarios (E⁺ madurez: 3 al 7)



Condiciones oceanográficas

Derivado de las imágenes satelitales:

- ✓ Un patrón latitudinal habitual de variación de TSM, que disminuyó meridionalmente
- ✓ Bajas concentraciones de cloa en la banda costera, excepto un bloom fitoplanctónico al sur de 40°S
- ✓ El campo de viento también mostró variabilidad espacio-temporal de la dirección y magnitud del viento en comparación con años previos.
- ✓ Las zonas de agregación de huevos de ambas especies presentaron características hidrográficas diferentes entre los sectores central y sur
- ✓ Se observó que las zonas de agregación de huevos no siempre coinciden con las zonas de mayores abundancias de fitoplancton.

Los resultados de los Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) mostraron que:

- ✓ La mayor abundancia de huevos de anchoveta se encontró en los rangos de: temperatura entre 11,3°C-12,3°C, salinidades entre 33,05-34,56, densidades entre 25,36-26,45 kg/m³ (cálido y salado)
- ✓ La mayor abundancia de huevos de sardina común, se encontró en los rangos de: temperatura entre 10,9°C-11,8°C, salinidades entre 32,67-34,06, densidades entre 24,94-25,81 kg/m³ (frio y dulce)

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O

Continuemos con el programa

Es importante solicitarles que silencien el audio de sus computadores mientras los demás exponen para no interrumpir.

Pueden hacer sus preguntas por escrito en el chat de la plataforma meet (extremo superior derecho)

Ahora continuaremos con la presentación del Dr. Luis Cubillos de la Universidad de Concepción sobre “La evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2019”.

Después tendremos 5 minutos para responder preguntas

Continuaremos con el Dr. Leonardo Castro de la Universidad de Concepción sobre “La distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común y su relación con las condiciones oceanográficas”

¡Muchas gracias por su atención!

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

2.2.2.Biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos. Presentado por Luis Cubillos (UdeC)

TALLER DE DIFUSIÓN - IFOP, VALPARAÍSO

EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA Y SARDINA COMUN ENTRE LA REGION DE VALPARAISO Y LA REGION DE LOS LAGOS, AÑO 2019

Cubillos L, Castro L, Claramunt G, Soto S.

COPAS **Sur - Austral**

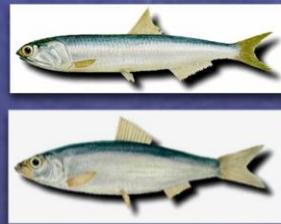
Miércoles 1 julio 2020, 9:30

Expositor: Luis Cubillos, Miércoles 1 junio 2020

3030-0111 ext 3030

Autres

IFOP



Objetivo específico

Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común

Autores: Luis Cubillos, Gabriel Claramunt

SECCIÓN REPRODUCCIÓN Y BIOMASA DESOVANTE
Responsable
Luis Cubillos Santander

Muestreo
Germán Vásquez Vallejos
Roberto Torres Valenzuela

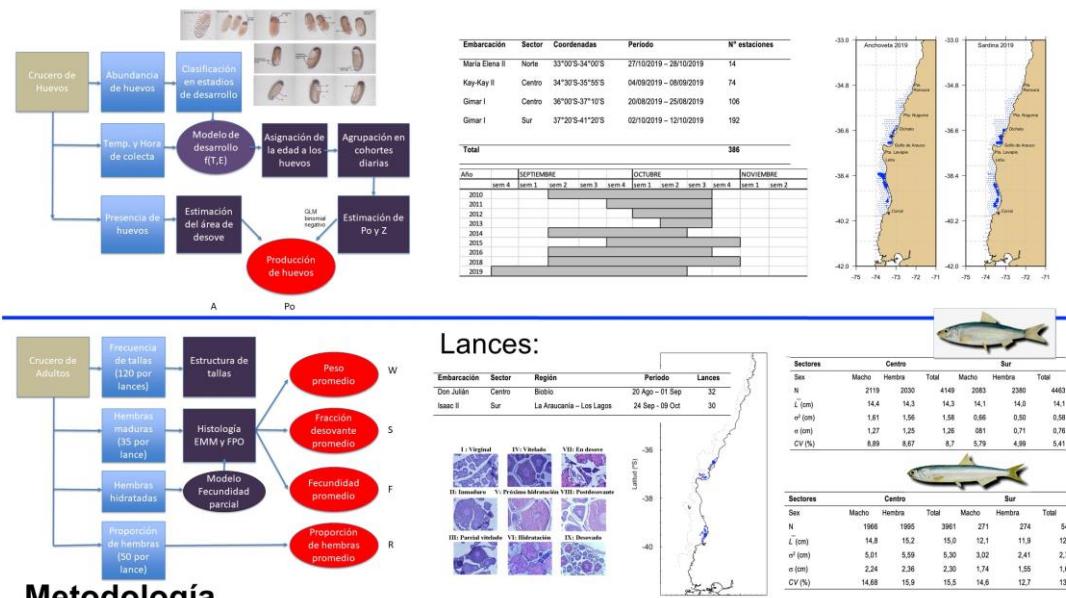
Análisis
Gabriel Claramunt Quiñones
Gustavo Herrera Urzúa
Paola Moreno González
María José Cuevas Cuevas
Daniela Yepsen Durán
Blanca Bustos Cid
Tania Ponce López



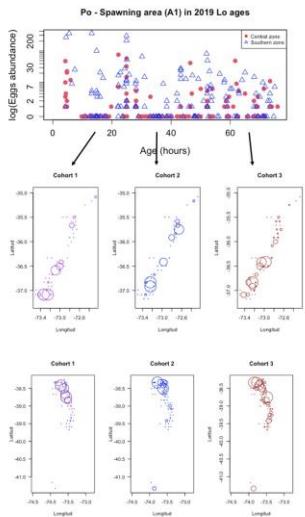
La biomasa desovante se estimó a través de la razón entre la producción de huevos y la fecundidad específica diaria:

$$\text{Biomasa desovante} = \frac{\text{Producción diaria de huevos}}{\text{Fecundidad}} \times \frac{\text{Área desove}}{\text{Fracción desovante}} \times \frac{\text{Peso promedio}}{\text{Proporción hembras}}$$

Metodología

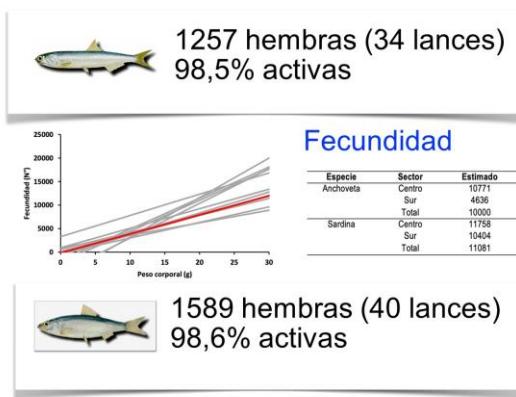


Metodología



	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Área de estudio (A, km ²)	12.271	12.770	12.271	12.770
Área de desove, A ₁ (km ²)	3.002	3.481	2.160	3.552
Número de estaciones	178	191	178	191
Número de estaciones positivas	46	55	33	55
Datación con Lo:				
P ₀ (huevo/0,05 m ² /día)	6.827 (0,159)	57.977 (0,161)	28.253 (0,214)	25.453 (0,174)
Z (día ⁻¹)	0,415 (0,232)	1,024 (0,094)	0,302 (0,426)	0,352 (0,267)
P ₀ (huevo/m ² /día)	136,5 (0,159)	1159,5 (0,161)	565,1 (0,214)	509,1 (0,174)
P (10 ¹¹ huevos/día)	4,1 (0,078)	40,4 (0,084)	12,2 (0,090)	18,1 (0,092)

Producción diaria de huevos



Fracción diaria de hembras desovante

Sector	Estimado	Varianza	CV
Anchoveta			
Centro	FPO 0	0,220	0,000696
	FPO 1	0,190	0,000670
	FPO 0+1	0,210	0,000339
Sur	FPO 0	0,250	0,000660
	FPO 1	0,150	0,000600
	FPO 0+1	0,190	0,000824
Área total	FPO 0	0,230	0,000565
	FPO 1	0,180	0,000540
	FPO 0+1	0,200	0,000273
Centro	FPO 0	0,085	0,00032
	FPO 1	0,187	0,00230
	FPO 0+1	0,136	0,00089
Sur	FPO 0	0,040	0,00012
	FPO 1	0,217	0,00088
	FPO 0+1	0,129	0,00097
Área total	FPO 0	0,063	0,00012
	FPO 1	0,202	0,00153
	FPO 0+1	0,132	0,00045

Peso promedio y proporción de hembras

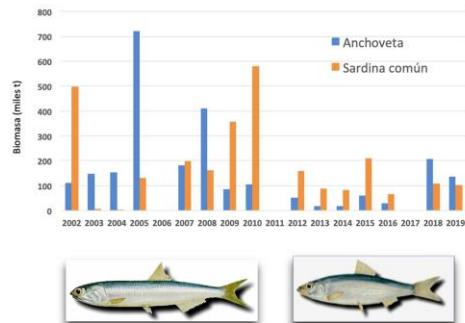
Parámetro	Especie	Sector	Estimado	Varianza	CV
(W)	Anchoveta	Centro	28,9	2,239	0,052
		Sur	12,3	5,182	0,185
		Total	26,8	2,448	0,058
(R)	Sardina Común	Centro	26,47	2,139	0,055
		Sur	23,04	0,117	0,015
		Total	24,76	0,625	0,032
(I)	Proporción hembras	Anchoveta	0,596	0,00069	0,044
		Centro	0,441	0,00053	0,052
		Total	0,579	0,00064	0,044
(R)	Sardina común	Centro	0,452	0,00042	0,046
		Sur	0,529	0,00029	0,032
		Total	0,491	0,00020	0,029

Parámetros reproductivos



Parámetros reproductivos y biomasa desovante 2019

Parámetros	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Fracción desovante, S	0,21 (0,080)	0,19 (0,150)	0,136 (0,218)	0,129 (0,242)
Peso promedio, W (g)	28,9 (0,052)	12,3 (0,185)	26,5 (0,055)	23,0 (0,015)
Proporción de hembras, R	0,598 (0,044)	0,441 (0,052)	0,452 (0,046)	0,529 (0,032)
Fecundidad media, F	10771 (0,052)	4636 (0,178)	11758 (0,056)	10404 (0,020)
Área de estudio, A (km^2)	12.271	12.77	12.271	12.77
Área de desove, A_1 (km^2)	3.002	3.481	2.16	3.552
P_0 (huevo/ $\text{m}^2/\text{día}$)	136,5 (0,159)	1159,5 (0,161)	565,1 (0,214)	509,1 (0,174)
Biomasa desovante, B (t)	8785	127804	44752	58581
Biomasa total, B (t)	136588		103333	



Conclusiones

Objetivo 3

- La estructura de tallas de ambos recursos mostró diferencias entre los sectores centro y el sur, encontrándose ejemplares de mayor tamaño en el sector centro, particularmente en la anchoveta.
- La anchoveta tuvo una producción diaria de huevos mayor en el sector sur (1159,5 huevos/ $\text{m}^2/\text{día}$) que en el sector centro (136,5 huevos/ $\text{m}^2/\text{día}$), mientras que la sardina común mostró una producción diaria de huevos similar entre zonas (zona centro: 564,1 huevos/ $\text{m}^2/\text{día}$; zona sur: 509,1 huevos/ $\text{m}^2/\text{día}$).
- El 98,5% de las hembras de anchoveta y el 98,6% de las hembras de sardina común se encontraban activas en el área total, lo cual indica que el crucero se desarrolló en un periodo de alta actividad reproductiva.
- La biomasa desovante de anchoveta fue de 136.588 toneladas y la de sardina común fue de 103.333 toneladas, con una recuperación en la biomasa desovante de anchoveta.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

2.2.3. Distribución y abundancia de huevos y su relación con las condiciones oceanográficas. Presentado por Leonardo Castro (UdeC).



TALLER
INFORME FINAL



EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE DE LA ANCHOVETA Y SARDINA
COMUN ENTRE LAS REGIONES DE VALPARAISO Y LOS LAGOS, AÑO 2019

DISTRIBUCION Y ABUNDANCIA DE HUEVOS DE ANCHOVETA Y SARDINA COMUN Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

Leonardo Castro C.

Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL)
Departamento de Oceanografía – Centro COPAS SUR-AUSTRAL
Universidad de Concepción



VALPARAISO – JULIO 2020

PERSONAL SECCIÓN ICTIOPLANCTONE HIDROGRAFÍA

Responsable
Leonardo Castro C.

Muestreos ictioplancton e hidrografía:

Pamela Barrientos.
Eduardo Flores.
María C. Gaete
Carol González
César Henríquez
Tania Ponce
Rodrigo Matamala
Pablo Vilagrón

Separación de ictioplancton y grupos zoopláctonicos
Valeria González C.

Identificación estados de desarrollo en huevos
Alejandra Llanos

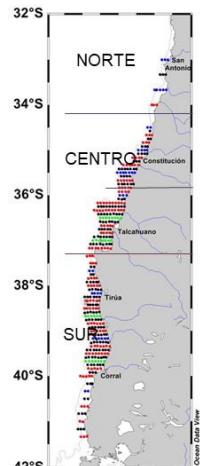
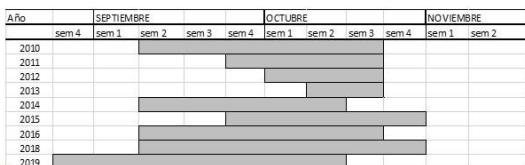
Identificación de fitoplancton y microzooplantcon
Paulina Vásquez

Hidrografía y diagramación
Samuel Soto M.



CRUCERO ICTIOPLANCTON 2019

Embarcación	Sector	Coordinadas	Periodo	Nº Estaciones
Maria Elena II	Norte	33°00' S – 34°00' S	27/10/2019 – 28/10/2019	14
Kay – Kay II	Centro	34°30' S – 35°55' S	04/09/2019 – 08/09/2019	74
Gimarl	Centro	36°00' S – 37°10' S	20/08/2019 – 25/08/2019	106
Gimarl	Sur	37°20' S – 41°20' S	02/10/2019 – 12/10/2019	192
Total				386



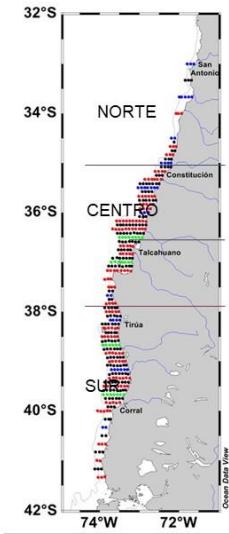
- Estación red Calvet
- Estación red Calvet - CTD
- Estación red Calvet - red Cónica - Fito - CTD
- Estación red Calvet - red Cónica - Botella - Fito - CTD

MUESTREO GRILLA REGULAR MPH-2019

- ❖ Costa (0,5mn) hasta quiebre plataf. continental (isóbata 200m)
- ❖ Transectas separadas cada 5 mn , Estaciones cada 4mn
- ❖ Redes Pairovet (Calvet): 150 um, 0,05 m² área boca, muestreo vertical hasta 70m profundidad
- ❖ CTD Seabird 19+, perfiles hasta 100m prof.
- ❖ Red zooplancton (300um), 60cm diam., oblicuo hasta 70m
- ❖ Red fitoplancton (10um), 50 cm diam., vertical hasta 70 m
- ❖ Botellas Niskin (5 L), clorofila-a.

Estaciones	Estaciones	Estaciones	Estaciones	Estaciones	Estaciones	
					Red Calvet	Red Calvet CTD
Zona	Red Calvet	Red Calvet CTD	Red Calvet, CTD	Red Calvet, CTD	Red Zoo, Red Fito	Red Zoo, Red Fito, Clio-a
Norte	3	3	8	-	-	14
Centro	79	70	14	15 (2)	178	
Sur	93	71	13	14 (1)	191	
Total	175	144	35	29 (3)	383 (3)	

383 red Calvet; 211 CTD; 66 fito + zoo; 28 Clio-a.



- Estación red Calvet
- Estación red Calvet - CTD
- Estación red Calvet - red Cónica - Fito - CTD
- Estación red Calvet - red Cónica - Botella - Fito - CTD



RESULTADOS

Proporción (%) de estaciones con huevos de anchoveta y sardina común por sector

Sector	ANCHOVETA			SARDINA COMÚN	
	Estaciones totales	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
Norte	14	5	36	0	0
Centro	178	46	26	33	19
Sur	191	55	29	55	29
TOTAL	383	106	27,6	88	22,9



- i) Históricamente hay un mayor número de estaciones positivas de huevos de anchoveta sobre los de sardina común,
- ii) Alrededor del 2007, hay un cambio en la proporción de estaciones positivas de ambas especies:
- iii) Desde el 2007 disminuyen las estaciones con huevos de anchoveta, y aumentan ligeramente la proporción de estaciones con huevos de sardina común.

RESULTADOS

Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común por sector
(promedio y desviación estándar)
(huevos x 0,05 m⁻²) año 2019.

	ANCHOVETA					
	Suma	Promedio	SDEV	Suma	Promedio	SDEV
	estaciones	Total	estaciones	Estaciones Positivas	Estaciones Positivas	Máxima abundancia
Norte	144	10	37,5	29	61,6	139
Centro	730	4	14,8	16	26,0	134
Sur	2750	14	55,9	50	95,8	398
	SARDINA COMÚN					
	Suma	Promedio	SDEV	Suma	Promedio	SDEV
	estaciones	Total	estaciones	Estaciones Positivas	Estaciones Positivas	Máxima abundancia
Norte	0	0	0	0	0	0
Centro	3300	19	110,3	100	242,6	1232
Sur	2999	16	74,7	55	132,2	832



Desde el 2008, ha habido un mayor número promedio de huevos por estación de sardina común que de anchoveta

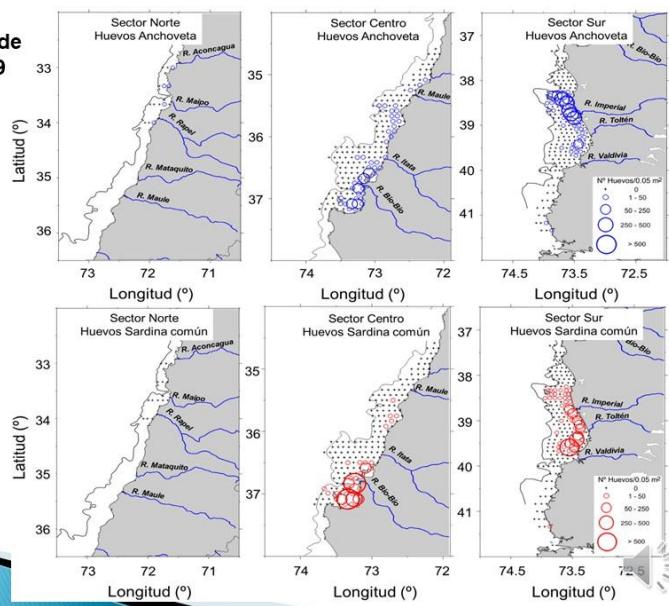
En anchoveta, el número promedio de huevos en las estaciones positivas después del 2007 se ha mantenido menor al promedio 2002-2007 de la misma especie.

En sardina común, el número de huevos promedio en las estaciones positivas ha sido variable en el tiempo con una leve tendencia a mayores valores desde el 2007 en adelante.

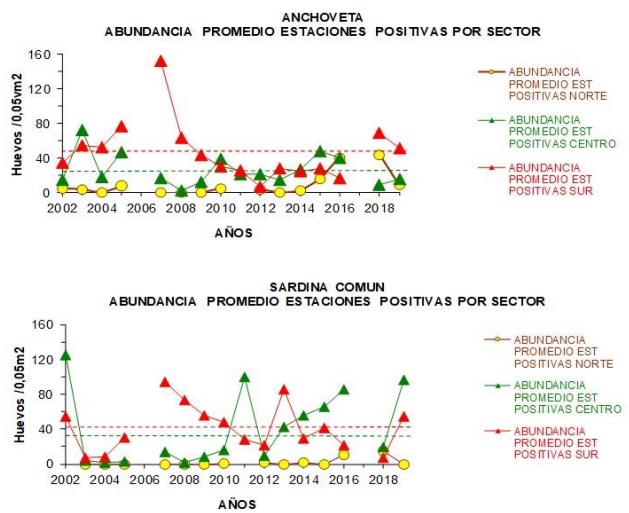
RESULTADOS

Distribución de huevos - 2019

ANCHOVETA

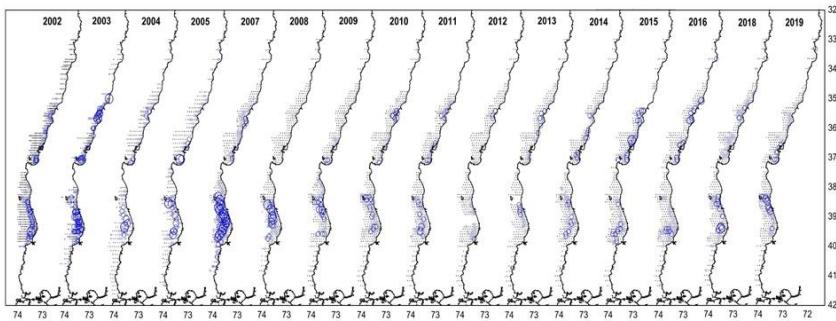


SARDINA COMUN

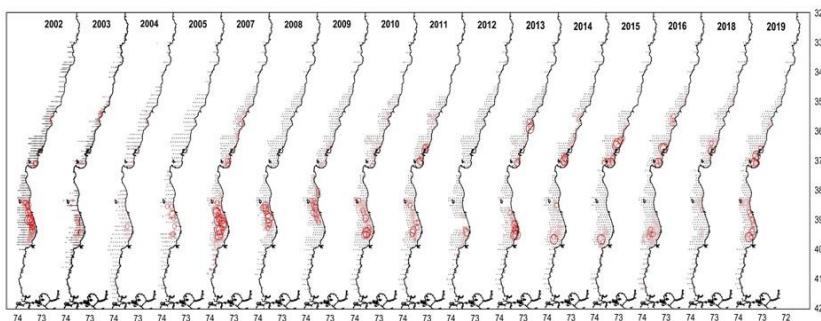




Distribución de huevos de anchoveta en el periodo 2002-2019

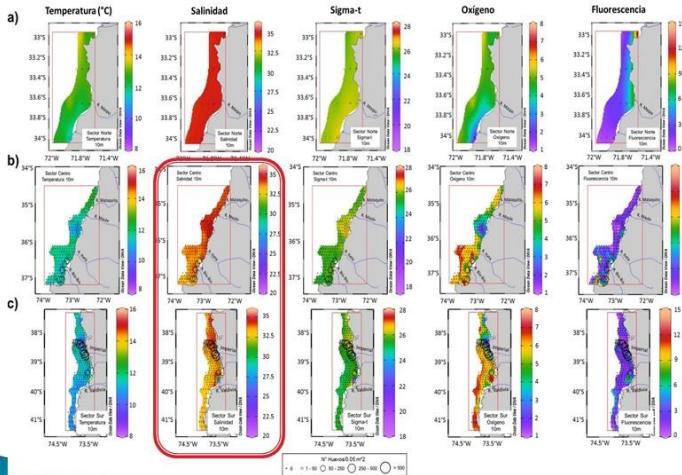


Distribución de huevos de sardina común en el periodo 2002-2019



Relación distribuciones de huevos con variables ambientales

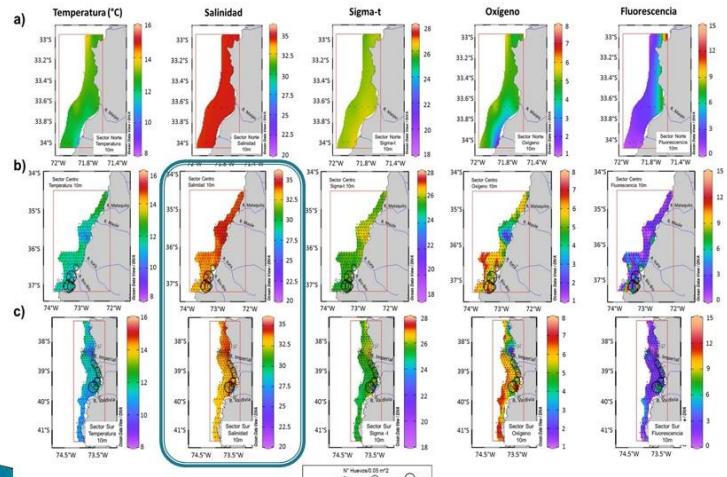
Mapas huevos anchoveta sobre características hidrográficas (prof. 10m)



Zonas de agregación tienen características hidrográficas ligeramente diferentes entre zonas central y sur

Relación distribuciones de huevos con variables ambientales

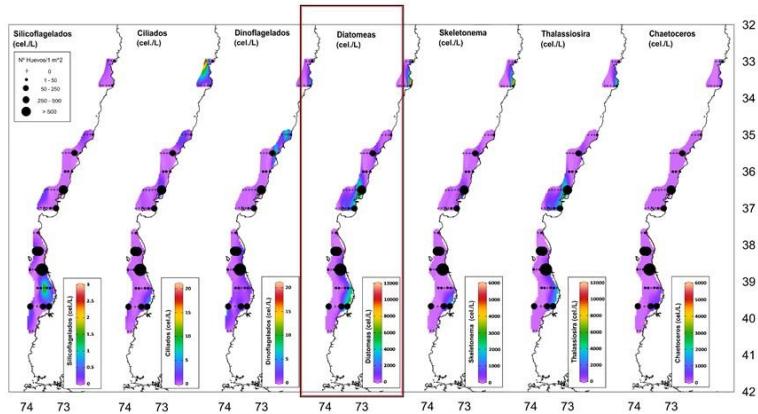
Mapas huevos sardina común sobre características hidrográficas (prof. 10m)



Zonas de agregación tienen características hidrográficas parecidas entre zonas central y sur



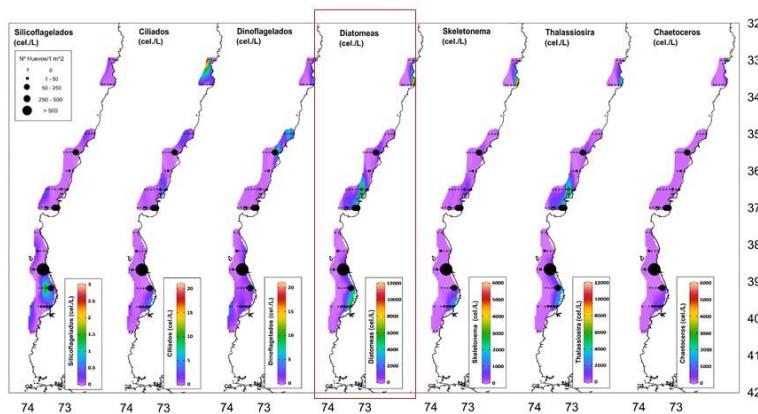
Huevos de anchoveta (huevos/1m³) sobre secciones de microplancton (fitoplancton + microzooplancton)



Zonas de agregación de huevos no siempre coinciden con zonas de mayores abundancias de fitoplancton

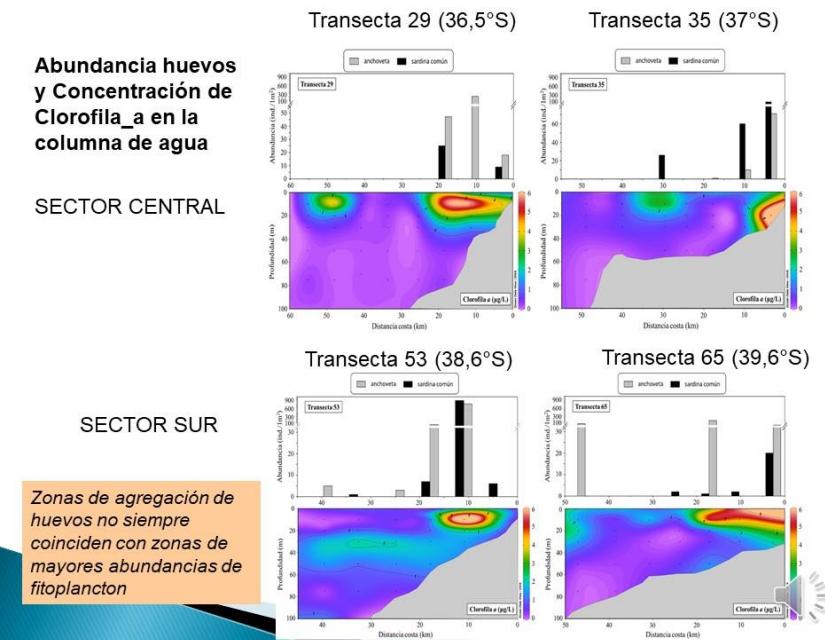


Huevos de sardina común (huevos/1m³) sobre secciones de microplancton (fitoplancton + microzooplancton)



Zonas de agregación de huevos no siempre coinciden con zonas de mayores abundancias de fitoplancton





Correlación entre caudal de los ríos y precipitación y la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común

RÍOS									
	Itata		Bio-Bio		Toltén		Valdivia		
Abundancia (huevo 0.05m ²)	Caudal (m s ⁻¹)	Precipitación (mm)	Caudal (m s ⁻¹)	Precipitación (mm)	Caudal (m s ⁻¹)	Precipitación (mm)	Caudal (m s ⁻¹)	Precipitación (mm)	
Anchoveta	0,39 (0,028)	0,43 (0,011)	0,30 (0,05)	0,4 (0,014)	-0,2 (0,795)	-	-0,33 (0,88)	-0,14 (0,87)	
Sardina común	0,2 (0,067)	0,16 (0,61)	0,32 (0,051)	0,31 (0,027)	-0,3 (0,281)	-	0,54 (0,037)	0,34 (0,021)	

(en negrilla son valores significativos p<0,05).

Correlaciones son significativas pero valores son,
en general, no muy altos.





Relación distribuciones de huevos con variables ambientales

Modelos Aditivos Generalizados (GAMs):

2019

10m				
Especie	Temperatura (°C)	Salinidad	Densidad (sigma-t)	Fluorescencia
anchoveta	11,33 - 12,25	33,05 - 34,56	25,36 - 26,45	0,30 - 0,79 2,08 - 6,98
sardina común	10,98 - 11,76	32,67 - 34,06	24,94 - 25,81	2,05 - 15,71

2018

10m				
Especie	Temperatura (°C)	Salinidad	Densidad (sigma-t)	Fluorescencia
anchoveta	11.6 - 13.41	33.52 - 34.62	25.53 - 26.49	0.55-1.79 5.39-6.97
sardina común	10.31 - 11.70	31.26 - 33.60	23.42 - 25.56	0.2 - 1.80 4.13 - 8.35

GAMS - zonas centro y sur: existirían leves diferencias en los rangos de Temperatura y Salinidad en que se agregan los huevos de ambas especies:
Anchovetas: cálido y salado
Sardinas comunes: frío y dulce



GRACIAS MUCHAS, POR SU ATENCIÓN





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

2.2.4. Modelo conceptual del ciclo de vida de la anchoveta y sardina común. Presentado por Jessica Bonicelli (IFOP)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Proponer un modelo conceptual del ciclo de vida de la anchoveta y sardina común en base a la información histórica disponible en Chile y Perú

Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente

Jessica Bonicelli – Catherine Grendi – Úrsula Cifuentes

Julio, 2020



3^{ra} Fase Objetivo incremental

"Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la anchoveta y sardina común usando modelamiento biofísico"

Modelo conceptual de ciclo de vida de la anchoveta y sardina común (Modelo biológico)

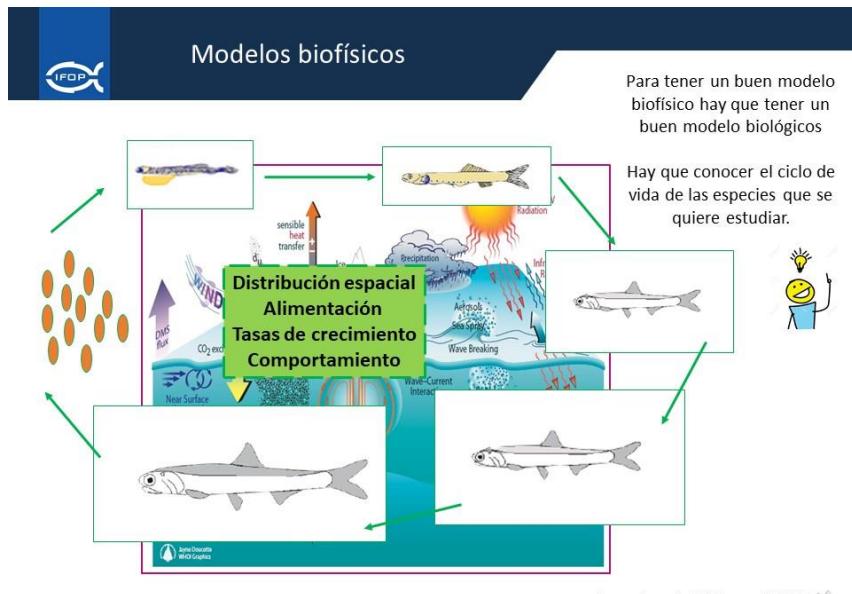
+

Modelo hidrodinámico

=

Modelo Biofísico

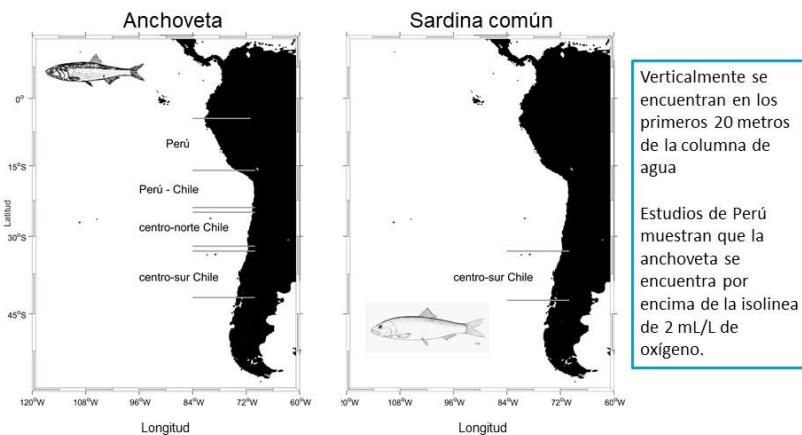




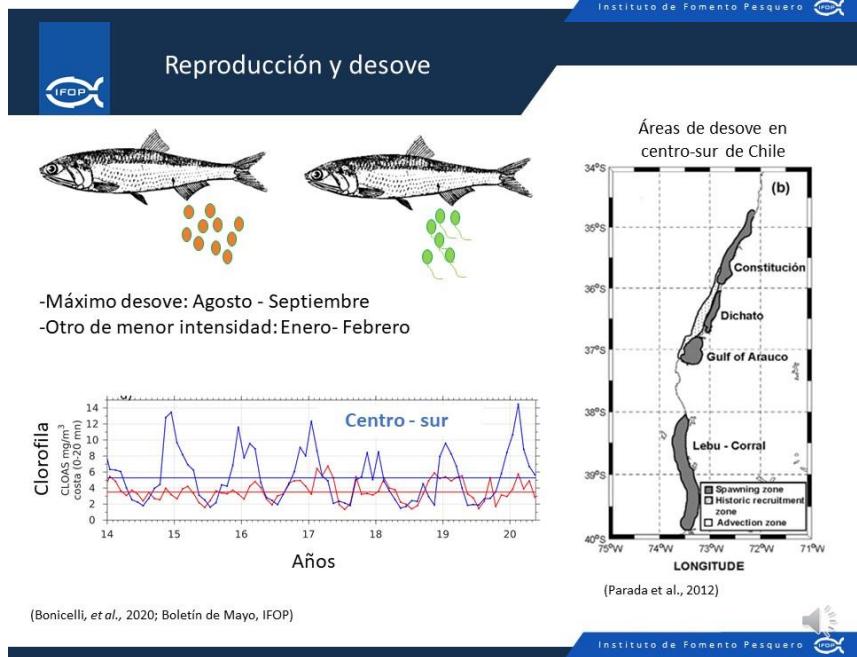
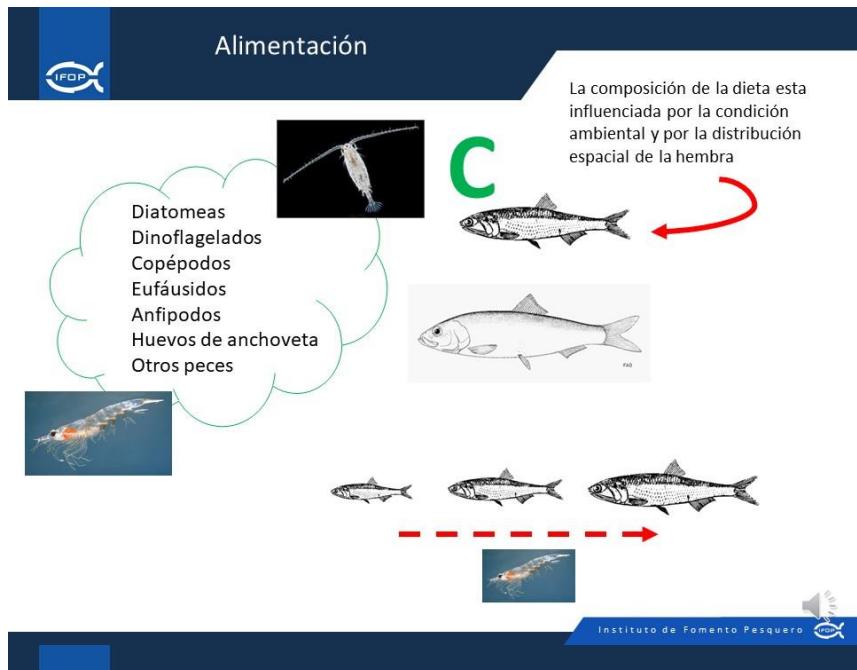
Ilustraciones de Politikos et al., 2015

Instituto de Fomento Pesquero

Distribución espacial de la anchoveta y sardina común

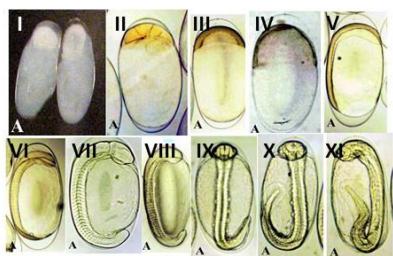


Instituto de Fomento Pesquero





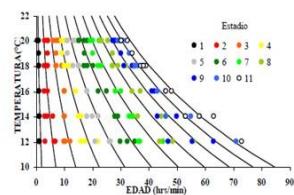
Morfología y desarrollo de los huevos



(Extraído de Soto, 2001)

Antofagasta al norte
1,4 días a 20°C
3 días a 12°C

Talcahuano al norte
2,5 días a 16°C
5 días a 10°C



(Lo, 1985)

Mediante los modelos adaptados para la anchoveta peruana se predice que los estadios < 4 y > 8 tienen una menor duración y por ello es poco común encontrarlos en las muestras



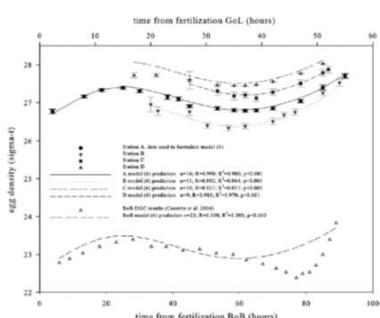
Instituto de Fomento Pesquero



Volumen y densidad del huevo

Table 1						
Valparaíso			Talcahuano			
	June 1995	October 1996	December 1996	August 1996	October 1996	January 1997
Volume (mm ³)	0.298	0.281	0.247	0.312	0.308	0.286
SD	0.026	0.029	0.022	0.030	0.034	0.029
n	62	759	630	1833	718	1999

(Llanos-Rivera & Castro, 2004)



(Ospina et al., 2011; Figura 5)

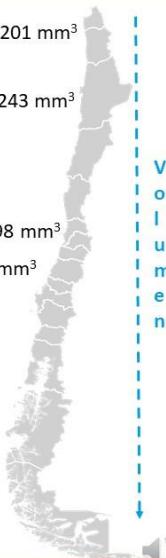
Iquique: 0,201 mm³

Antofagasta: 0,243 mm³

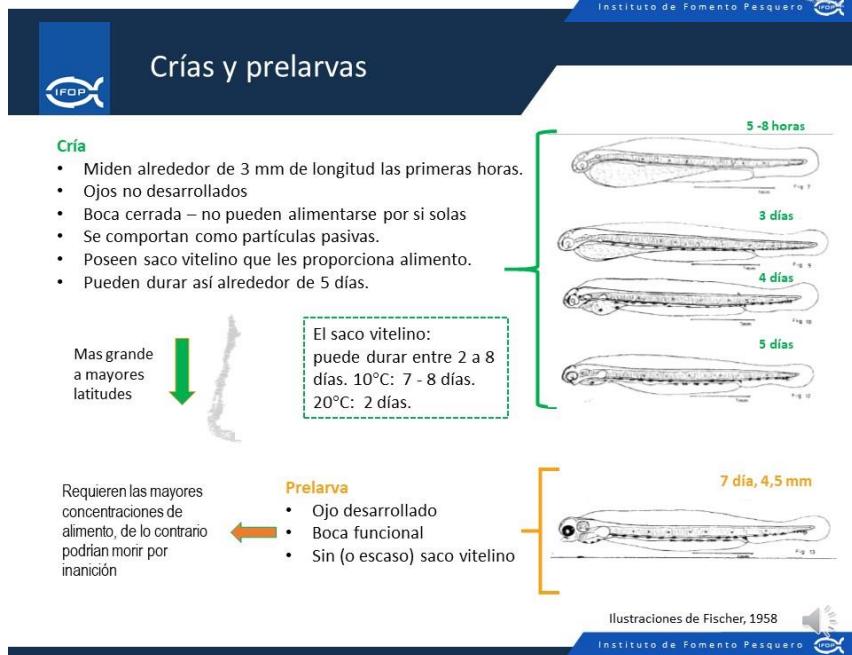
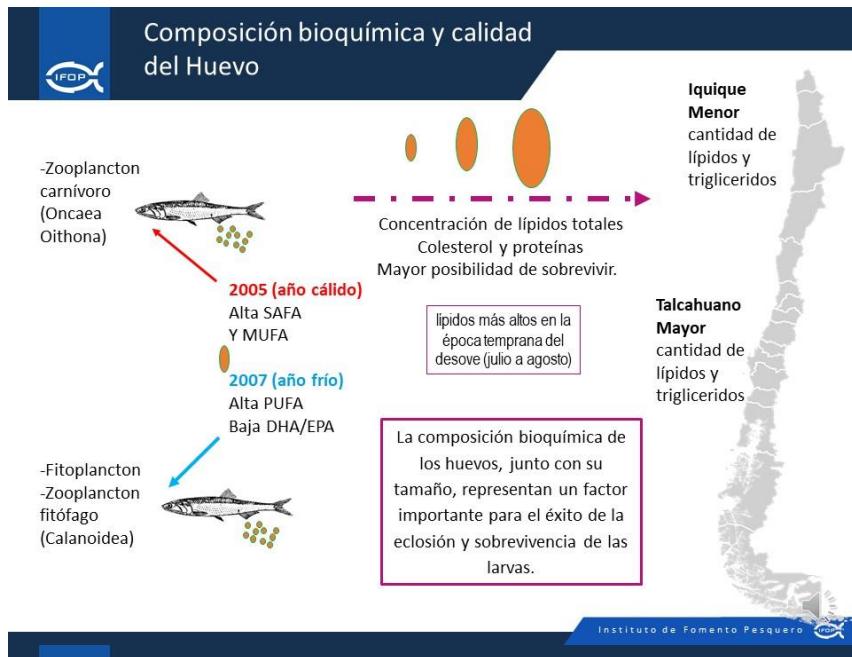
Valparaíso: 0,298 mm³

Talcahuano: 0,312 mm³

El volumen del huevo aumenta de norte a sur

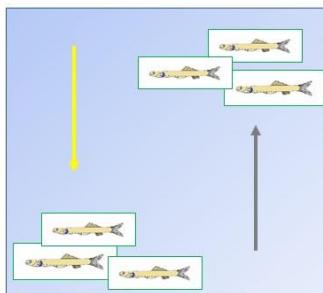
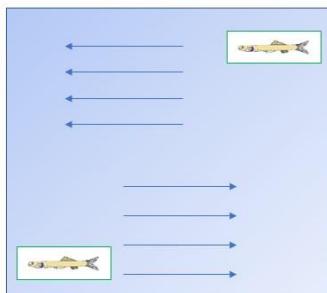


Instituto de Fomento Pesquero





Comportamiento: Distribución vertical



Larvas en flexión > 10 mm



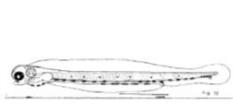
Alimentación y tasas de crecimiento

La composición de la dieta de las larvas depende de su talla.



Antofagasta (mm/d):

10°C: 0,17
12°C: 0,27
15°C: 0,48
18°C: 0,59
20°C : 0,86

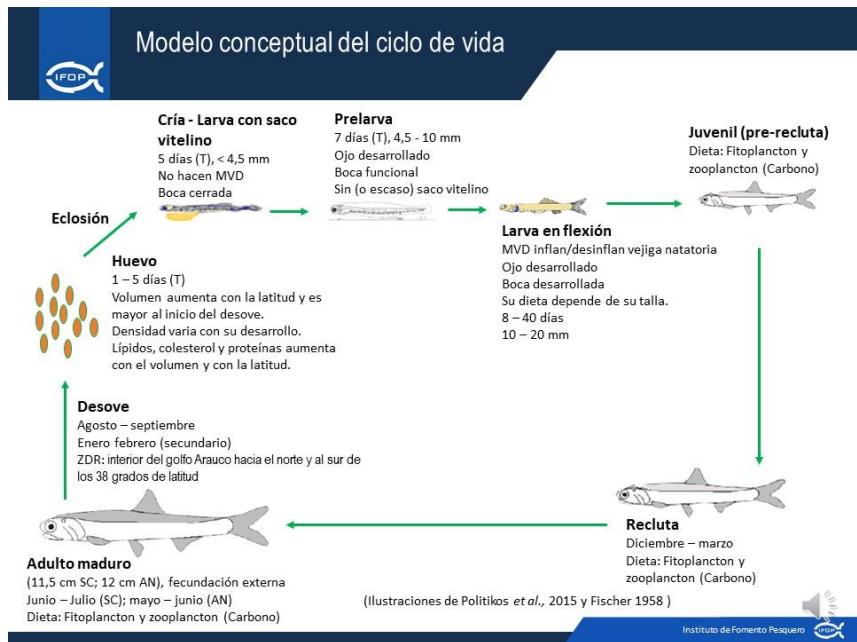


Talcahuano (mm/d):

10°C: 0,22
12°C: 0,33
15°C: 0,47
18°C: 0,54
20°C : 0,73



Cuidado parental





2.2.5. Indicadores ambientales propuestos en la zona centro sur. Presentado por Luis Cubillos (UdeC)

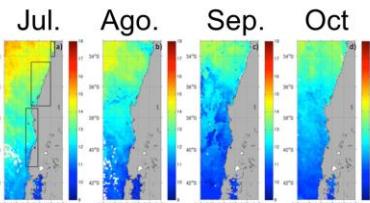
Indicadores ambientales y biológicos

Proyecto “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre las regiones de Valparaíso y de Los Lagos, año 2019”

Luis Cubillos - Junio 2020

Anomalías basada en datos satelitales

Indicador	Definición	Efectos e impacto potencial en el ambiente y los recursos	Periodo y base de cálculo	Fuente de datos
ATSM	Anomalias de temperatura superficial del mar durante el periodo reproductivo	Efectos de escala regionales asociados a la variabilidad interanual ENOS, probables impactos en la distribución y densidad de huevos.	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital
AATSM	Anomalias acumuladas de la temperatura superficial del mar	Efectos de escala regional de baja frecuencia, probable impacto en la tendencias en la distribución y densidad de huevos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital
ACloa	Anomalia de biomasa fitoplancónica durante el periodo reproductivo	Efectos del enriquecimiento trófico en la zona costera, probables efectos en la distribución del desove por preferencia de los adultos desovantes	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital
AACloa	Anomalia acumulada de biomasa fitoplancónica durante el periodo reproductivo	Efectos del enriquecimiento trófico de baja frecuencia en la zona costera, probables efectos en la distribución del desove por preferencia de los adultos desovantes	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Satelital

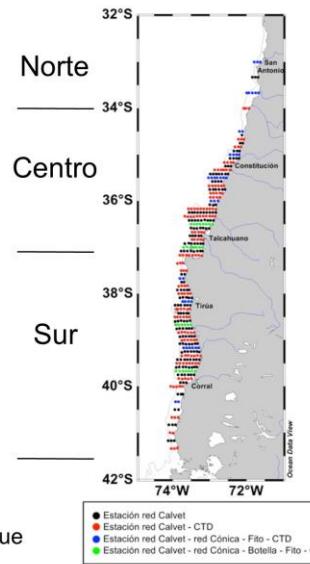


Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona



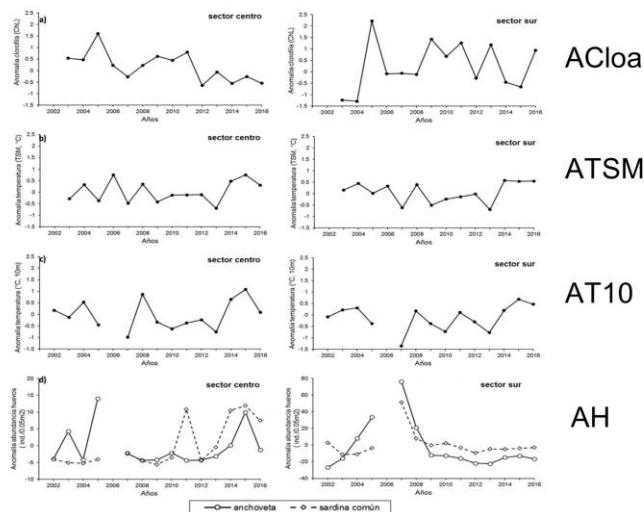
Anomalías temperatura, salinidad a 10 m, y abundancia de huevos

Indicador	Definición	Efectos e impacto potencial en el ambiente y los recursos	Periodo y base de cálculo	Fuente de datos
AT10	Anomalia de la temperatura superficial a 10 m	Efectos locales de cambios de la temperatura superficial en la columna de agua, probables impactos en la tasa de desarrollo de huevos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	CTD en la grilla de estaciones
AS10	Anomalia de la salinidad superficial a 10 m	Efectos locales de cambios de la salinidad superficial en la columna de agua, probables impactos en la tasa de eclosión y boyantes de huevos	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	CTD en la grilla de estaciones
AH	Anomalia en la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común	Efectos del ambiente y del stock desovante de anchoveta y sardina común, probable impacto en el desove	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Red Pairovet en la grilla de estaciones



Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona

Anomalías de huevos por especie, relacionadas con anomalías de TSM satelital y temperatura insitu (10 m) y anomalías de cloa satelital, en los sectores centro y sur (2002-2016)



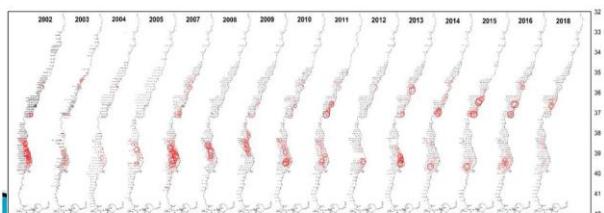
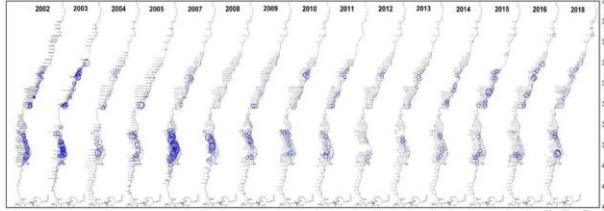


Centro de gravedad

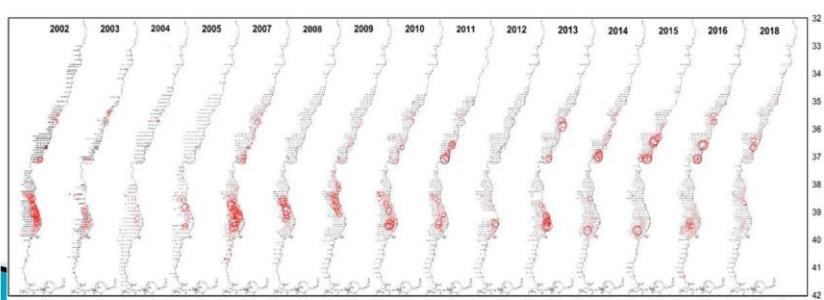
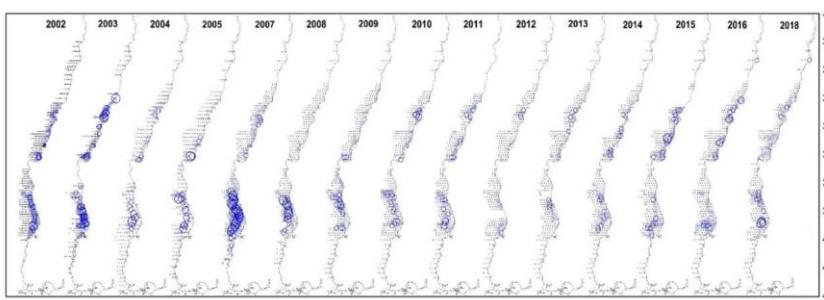
Centroide de latitud (Clat)

$$C_{lat} = \frac{\sum (lat_i w_i)}{\sum w_i}$$

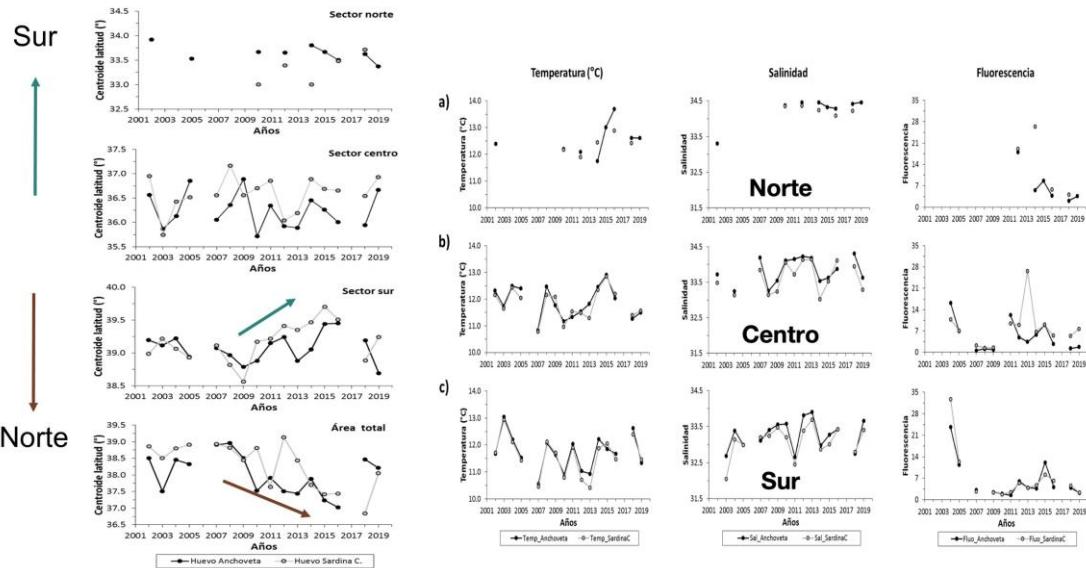
Indicador	Definición	Efectos e impacto potencial en el ambiente y los recursos	Periodo y base de cálculo	Fuente de datos
CGLAT	Centro de masa de la abundancia de huevos	Cambios latitudinales en la distribución del desove de sardina común y anchoveta, probables impactos en el éxito reproductivo	2002-2020 Sectores Centro y Sur del área de estudio	Red Pairovet en la grilla de estaciones



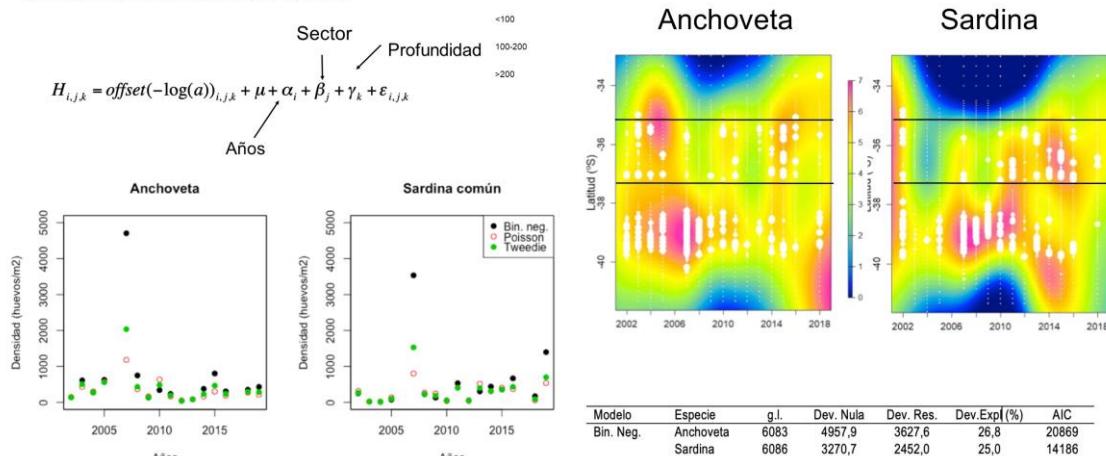
Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona



2. Variabilidad de los centros de masa de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 y 2019 en los sectores geográficos (norte, centro y sur) de la zona centro sur de Chile.



3. Índice de abundancia de huevos



Objetivo 4: Indicadores físicos y biológicos de escala regional y local que den cuenta de la condición ambiental de la zona



Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG, familia binomial negativo.



Años	Anchoveta			Sardina común		
	Densidad (huevo/m ²)	Error Estándar	CV	Densidad (huevo/m ²)	Error Estándar	CV
2002	137	19.3	0.141	249	45.8	0.184
2003	611	104.2	0.171	20	4.9	0.245
2004	272	56.9	0.210	13	4.4	0.330
2005	625	130.2	0.208	72	21.1	0.293
2007	4706	838.2	0.178	3535	834.5	0.236
2008	747	137.0	0.183	223	55.0	0.246
2009	133	25.1	0.189	129	32.0	0.248
2010	340	121.2	0.356	43	23.1	0.540
2011	232	44.6	0.192	532	133.0	0.250
2012	42	8.7	0.208	45	12.0	0.267
2013	84	16.6	0.198	303	75.5	0.249
2014	375	70.1	0.187	438	108.3	0.247
2015	802	147.8	0.184	356	88.1	0.247
2016	306	54.1	0.177	666	154.1	0.231
2018	353	64.9	0.184	170	42.0	0.248
2019	430	78.7	0.183	1398	335.9	0.240

2.2.6. Resumen – conclusiones y cierre del taller por Catherine Grendi (IFOP)

Resumen - Conclusiones



- ✓ Las condiciones oceanográficas mostraron un patrón habitual de temperatura superficial del mar en la zona centro sur de Chile, con bajas concentraciones de cloa en la banda costera, excepto al sur de 40°S y que el campo de viento mostró alta variabilidad espacio temporal.
- ✓ El área de desove de ambas especies fue cubierto por el crucero de huevos y se concluyó en el caso de la anchoveta que: a) las estaciones positivas de huevos de anchoveta, se han mantenido superiores a las de huevos de sardina común, b) posterior al año 2007, se han presentado menores estaciones con huevos de anchoveta que en el periodo inicial 2002-2005, c) sin embargo, desde el 2012 ha habido un leve aumento en las estaciones positivas de anchoveta y d) respecto a los huevos de sardina común, también se observó un cambio a partir del año 2008, con mayor porcentaje de estaciones positivas que en el periodo inicial entre los años 2002 y 2005.
- ✓ El desove de sardina común aumentó en abundancia respecto del 2018, con áreas de desove más discretas y abundantes que la anchoveta, cuyo desove fue ligeramente más continuo en las mismas áreas de desove habitual.





Conclusiones

- ✓ El desove de anchoveta se distribuyó asociado a las desembocaduras de los ríos Aconcagua y Maipo en el sector norte (33° - 34° S), a lo largo de toda la franja costera y con mayor densidad en localidades frente a punta Nugurume ($35^{\circ}30' S$), al sur de la desembocadura del río Itata ($36^{\circ}25' S$) y en el golfo de Arauco ($37^{\circ}S$). En el sector sur, la distribución de huevos de anchoveta fue costera y se distribuyó entre Isla Mocha ($38^{\circ}20' S$) y Corral ($39^{\circ}50' S$), con mayores valores entre Isla Mocha y río Imperial ($38^{\circ}45' S$).
- ✓ No se observó desove de sardina común en el sector norte, mientras que en el sector centro se presentó principalmente en el golfo de Arauco y en el sector sur ocurrió a lo largo de la franja costera entre Isla Mocha y Corral, con mayor abundancia entre Corral y río Imperial.
- ✓ Las zonas de agregación de anchoveta presentaron características hidrográficas levemente diferentes entre los sectores central y sur (mayor abundancia de huevos en sector sur asociado a baja salinidad, mientras que en el sector central se asociaron a salinidades mayores).
- ✓ Las zonas de agregación de huevos de sardina común presentó características hidrográficas parecidas entre los sectores central y sur (las mayores abundancias se localizaron en sectores con baja salinidad)
- ✓ Además, se observó que las zonas de agregación de huevos no siempre coinciden con zonas de mayores abundancias de fitoplancton



Conclusiones

Los resultados de los Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) mostraron que:

- La mayor abundancia de huevos de anchoveta se encontró en el rango $11,3^{\circ}C$ - $12,3^{\circ}C$, salinidades entre $33,1$ - $34,6$ y densidades entre $25,4$ - $26,5$ kg/m³ (caracterizando su ambiente como cálido y salado)
- La mayor abundancia de huevos de sardina común, se encontró en el rango $10,9^{\circ}C$ - $11,8^{\circ}C$, salinidades entre $32,7$ - $34,1$ y densidades entre $24,9$ - $25,8$ kg/m³ (caracterizando su ambiente como frío y dulce)
- Existe, en general, una concordancia en los desplazamientos latitudinales de las distribuciones de huevos por sector en ambas especies, aunque la sardina común normalmente se ubica en sectores más al sur que anchoveta (centros de masa)





Conclusiones

- ✓ La estructura de tallas de ambos recursos mostró diferencias entre los sectores centro y el sur. Los ejemplares de anchoveta de mayor tamaño se presentaron en el sector centro.
- ✓ La anchoveta tuvo una producción diaria de huevos mayor en el sector sur (1159,5 huevos/m²/día) que en el sector centro (136,5 huevos/m²/día), mientras que la sardina común mostró una producción diaria de huevos similar entre los sectores (centro: 564,1 huevos/m²/día; sur: 509,1 huevos/m²/día).
- ✓ El máximo del desove de sardina común observado en los IGS >6% a mediados de septiembre, fue cubierto por el crucero, dado que esta especie presenta un periodo de máximo reproductivo más acotado que el de anchoveta, que lo alcanzó después.
- ✓ Valores de IGS <5% en la anchoveta, al inicio del crucero, podría estar explicado por la componente espacial, donde se encontró ejemplares más pequeños en el sector sur y que estarian aportando bajos IGS al monitoreo reproductivo. No obstante, según la histología, los estados de madurez, proporción de hembras con folículos, los vitelados y hembras a punto de desovar presentaron valores de acuerdo con la información histórica y fue similares al año 2018.

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O

Conclusiones

- ✓ La histología mostró un alto porcentaje de hembras en ambas especies se encontraban activas: 98,5% de anchoveta y el 98,6% de sardina común, confirmando que el crucero se desarrolló en un periodo de alta actividad reproductiva para ambas especies.
- ✓ La biomasa desovante de anchoveta fue de 136.588 toneladas y la de sardina común fue de 103.333 toneladas. En ambas especies disminuyó respecto al 2018 (207.744 ton anchoveta y 161.023 ton sardina común), pero se mantuvo superior a lo reportado entre el 2012 y 2016.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

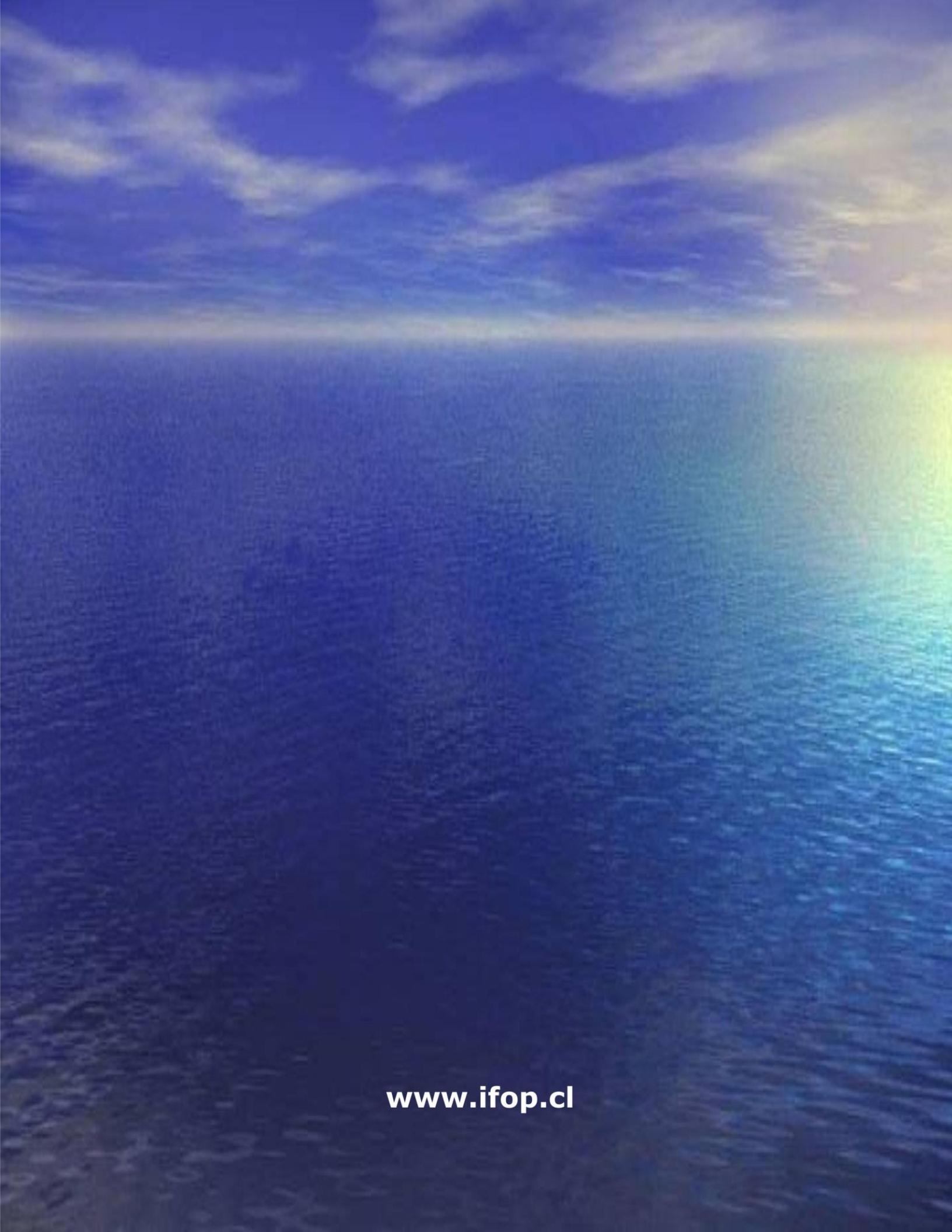
Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl

A wide-angle photograph of a vast ocean meeting a dramatic sky at the horizon. The sky is filled with wispy clouds, transitioning from deep blue to bright yellow and orange near the horizon. A distinct rainbow-like arc is visible on the right side of the frame, extending from the water towards the upper right corner. The ocean's surface is a deep, dark blue, with subtle ripples and reflections of the sky.

www.ifop.cl