UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y

OCEANOGRÁFICAS

Identificación de las zonas de desove del pez *Stromateus stellatus* en zona centro-sur de Chile.

Valeria Paz Palma Alvear

Seminario de Título presentado al

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Para optar al Título de

BIÓLOGA MARINA

Concepción - Chile

2025

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA

Este Seminario de Título ha sido realizado en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor(a) Guía

Dr. Leonardo Castro Cifuentes

Ha sido aprobada por la siguiente Comisión Evaluadora

Dr. Leonardo Castro Cifuentes
Universidad de Concepción

Dr. Luis Cubillos Santander
Universidad de Concepción

M.Sc. Samuel Soto-Mendoza
Universidad de Concepción

Jefe de Carrera

Dr. Ariel Valenzuela Saldías
Universidad de Concepción

Dedicatoria

Dedicada a mis padres,

y a toda la gente que confió plenamente en mi

incluso cuando ni yo conseguía hacerlo.

Agradecimientos

Principalmente quiero agradecer al Dr. Leonardo Castro Cifuentes por ser una guía ejemplar de mi trabajo, por no abandonarme nunca durante este proceso y por motivarme hasta el último momento.

Al centro COPAS- COASTAL por el financiamiento y aporte a esta investigación.

Al equipo completo LOPEL por ser un equipo muy íntegro de trabajo; Carlos, Samuel, Roxana, Bastián, Patricio, Viviana por ayudarme en diferentes momentos durante mi estudio y sobre todo a Pamela por su gran apoyo y ayuda, por siempre recordarme lo inteligente, autosuficiente y capaz que soy para hacer las cosas, por subirme la moral cuando las cosas se me complicaron y por siempre tener una palabra certera.

Al docente Dr. Luis Cubillos por su ayuda en la metodología de este trabajo.

A la docente Dra. Alejandra Llanos Rivera por su aporte en la caracterización de los estadios tempranos de la especie de este estudio.

A mis padres Loreto y Ernesto por su amor y apoyo incondicional, por entregarme todas las oportunidades y herramientas para lograr llegar hasta aquí y nunca cortar mis alas.

A mi hermana Catalina por apoyarme eternamente y por ser mi cable a tierra en todo momento.

A mis destacados profesores y profesoras por su enseñanza y aporte a mi desarrollo intelectual durante este proceso formativo.

Y finalmente, a mis amigos/as por motivarme en todo momento y ayudarme a no perder la cordura en este proceso.

ÍNDICE

Índice de Figuras 6
Índice de Tablas 7
Resumen 8
Introducción 10
Hipótesis 13
Objetivo general 13
Objetivos específicos de la Investigación 13
Materiales y métodos 14
Análisis de datos 14
Resultados 17
Descripción de los huevos de *Stromateus stellatus* 17
Distribución horizontal y abundancia de huevos de *S. stellatus* 19
Secciones horizontales de hidrografía y distribución de huevos de *S. stellatus* 19
Secciones horizontales de hidrografía y distribución de huevos de *S. stellatus* por grupo de desarrollo 21
Cambios en distribución latitudinal 28
Cambios en distribución longitudinal 29
Abundancia de huevos de S. stellatus asociados a temperatura y salinidad (Diagrama T-S) 31
Diagramas T-S por grupo I, II, III 33
Modelos Aditivos Generalizados (GAM) 35
Discusión 36
Conclusiones 39

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Índice de Figuras

Figura 1. Desarrollo larval de *S. stellatus* donde es posible observar su pigmentación característica. 12

Figura 2. Desarrollo de huevos de *S. stellatus* en diferentes grupos de desarrollo. 18

Figura 3. Abundancia y distribución horizontal estandarizada (Ind./1000m³) de la totalidad de huevos junto a variables oceanográficas. 19

Figura 4. Distribución horizontal de huevos clasificados en el grupo I en relación con la temperatura y salinidad 22

Figura 5. Distribución horizontal de huevos clasificados en el grupo I en relación con la salinidad. 23

Figura 6. Distribución horizontal de huevos clasificados en el grupo II en relación con la temperatura y salinidad. 25

Figura 7. Distribución horizontal de huevos clasificados en el grupo III en relación con la temperatura y salinidad……..... 27

Figura 8. Variación en distribución latitudinal de los centroides de los tres grupos de huevos en la zona centro y sur de Chile. 28

Figura 9. Variación en distribución longitudinal de los centroides de los grupos de huevos en la zona centro y sur de Chile. 30

Figura 10. Variación en distribución longitudinal de los centroides por transecta en la zona centro y sur de Chile. 30

Figura 11. Diagrama T-S (Temperatura-Salinidad) de la abundancia de huevos a 2 m y 10 m de profundidad. 32

Figura 12. Diagrama T-S por grupo de desarrollo de huevos a diferentes profundidades. 34

Índice de Tablas

Tabla 1. Resumen de los parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs). 35

Tabla 2. Modelos ajustados a las variables ambientales y su desempeño. 36

Tabla 3. Rango óptimo de variables predictoras obtenidas de los GAMs asociados al conteo de huevos de pampanito. 37

Resumen

Se determinaron las principales zonas de desove del pez marino *Stromateus stellatus* Cuvier, 1829 (Scombriformes, Stromateidae) en la zona centro-sur de Chile (33°00'S-41°00'S). Para ello, se describen los huevos de esta especie, y se caracterizan 3 grupos de distintos estados de desarrollo embrionario. Además se analizó la distribución y abundancia en relación con la temperatura y la salinidad superficial. Para ello, se analizaron 377 estaciones con muestras de ictioplancton recolectadas durante el crucero del Fondo de investigación pesquera FIP 2008-09 que abarcó desde la región de Valparaíso hasta la región de Los Lagos, entre los meses de Septiembre a Octubre del año 2008, complementadas con perfiles hidrográficos con CTD que permitieron caracterizar las condiciones ambientales de la zona de estudio. Para evaluar la influencia de estas variables en la distribución y abundancia de huevos se utilizaron Modelos Aditivos Generalizados (GAMs). Los resultados revelaron que las mayores concentraciones de huevos se registraron en la zona sur del área de estudio, específicamente entre 39°S y 40°S, y en áreas con temperaturas superficiales entre 11,5°C y 13,5°C, y salinidades entre 30 y 34 PSU. En la zona sur, se observó un desplazamiento de los huevos hacia zonas costeras a medida que avanzan en su desarrollo, junto con un leve transporte hacia el norte. Se concluyó que la salinidad es un factor determinante en la distribución de los huevos y que las zonas costeras representan áreas clave para los estadios avanzados de desarrollo. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para la gestión y conservación de la especie en su área de distribución.

Abstract

The main spawning areas of the marine fish *Stromateus stellatus* in the central-southern zone of Chile were determined. Due to the limited available information on the eggs of this species, their description and characterization were carried out, categorizing them into three groups of different developmental stages. Additionally, their distribution and abundance were analyzed in relation to oceanographic variables such as temperature and salinity. To achieve this, 377 stations with ichthyoplankton samples collected during the FIP 2008-09 cruise were analyzed. This survey covered the area from the Valparaíso region to the Los Lagos region between September and October 2008 and was complemented with hydrographic profiles that allowed for the characterization of the environmental conditions of the study area. Subsequently, Generalized Additive Models (GAMs) were applied to assess the influence of these variables on the distribution and abundance of the eggs. The results revealed that the highest egg concentrations were recorded in the southern part of the study area, specifically between latitudes 39°S and 40°S, and in areas with surface temperatures ranging from 11.5°C to 13.5°C and salinities between 30 and 34 PSU. In the southern zone, a displacement of the eggs towards coastal areas was observed as they advanced in their development, along with a slight northward transport. It was concluded that salinity is a determining factor in the distribution of the eggs and that coastal areas represent key habitats for the advanced developmental stages. These findings provide valuable information for the management and conservation of the species within its distribution range.

Introducción

Comprender la biología reproductiva de las especies marinas es crucial para la gestión y su conservación, ya que permite establecer estrategias de manejo sostenible y proteger los ecosistemas marinos. Entre los aspectos reproductivos más estudiados están la madurez sexual, el desarrollo de huevos y larvas, la fecundidad, la frecuencia de desove, la estacionalidad e identificar las áreas donde ocurre el desove, además de la influencia de las condiciones ambientales óptimas para una reproducción exitosa, tales como temperatura, salinidad y disponibilidad de alimento (Lowerre-Barbieri *et al*., 2011; Murua & Saborido-Rey, 2003).

Sin embargo, la información sobre la localización de las áreas de desove y sus características para muchas especies de peces en Chile es escasa o incluso desconocida a pesar de aportar información muy necesaria ya que estas zonas de actividad reproductiva incluyen el hábitat esencial donde ocurren procesos clave para la perpetuación de las especies.

Se entiende por área de desove el lugar específico donde los peces liberan sus ovocitosy esperma para su reproducción. Dependiendo de la especie, el desove puede ocurrir en zonas costeras, oceánicas o continentales, y algunas especies realizan migraciones para llegar a estos lugares (FAO, 2021).

La identificación de estas zonas nos entrega información muy relevante, y a futuro permite implementar regulaciones que aseguren el éxito del reclutamiento de nuevas generaciones de recursos (Grüss *et al*., 2014). Entender las interacciones ecológicas en estas zonas y también la conectividad entre estados de desarrollo de las poblaciones es fundamental para evaluar su adaptabilidad frente a cambios ambientales (Green *et al*., 2015).

Este estudio aborda información biológica-reproductiva sobre el pez *Stromateus stellatus* Cuvier, 1829; conocido comúnmente en Chile como "pampanito”. Esta es una especie que se distribuye en el Océano Pacífico suroriental, específicamente a lo largo de las costas del Perú y Chile. Su rango de profundidad va desde la superficie hasta los 200 metros, y se distribuye en aguas subtropicales desde 12°S hasta 47°S. Su alimentación, cuando está cercano a la costa, es de invertebrados pequeños como crustáceos y poliquetos, también come algas verdes como el luche. Cuando se retira mar adentro su alimentación cambia y comienza a comer pequeños peces, como sardina ¿común? (*Strangomera bentinck*i??), anchoveta (*Engraulis ringens*), y juveniles de 3 a 4 cm de jurel (Reyes & Hüne, 2012).

Si bien no es un recurso apto para consumo humano, su importancia radica en la fabricación de harina y aceite de pescado, ya que se captura como fauna acompañante de la sardina común y anchoveta (Carocca & Chong, 2010). Entre los años 2012-2022 el desembarque de este pez ha sido dede 61.867 toneladas,

alcanzando durante el año 2017 su cifra más alta con 23.034 toneladas (SERNAPESCA, 2022).

Stromateus stellatus alcanza una talla de madurez sexual a los 21,3 cm de longitud total?, y es un desovante parcial o múltiple, ya que presenta dos periodos de puesta o reproducción, uno principal en primavera y uno secundario al final de verano, separados por un periodo de menor actividad al inicio del verano. Este tipo de desove le permite a la especie enfrentar las variaciones ambientales sin arriesgar toda su descendencia en una puesta anual. Una hembra en promedio puede desovar entre 8.340 y 36.210 ovocitos por evento reproductivo. Los huevos de la especie tienden a ser abundantes en lugares asociados a una productividad primaria alta, lo que permite una buena alimentación para las larvas en fiordos y canales de la Patagonia chilena durante la primavera (Carocca & Chong, 2010).

Según Herrera *et al*. (2018), Stromateus stellatus presenta un interesante proceso de desarrollo larval (Figura 1), con un cuerpo que experimenta un marcado aumento en profundidad y longitud pre-anal a medida que aumenta su desarrollo. Además, se destaca la presencia de una pigmentación característica que distingue a las larvas de esta especie de las de otras especies relacionadas. La pigmentación en las larvas incluye 3 grandes melanóforos dendríticos dorsales en el cuerpo, espaciados uniformemente desde el nivel del ano hasta la mitad de la cola. Presenta un pequeño melanóforo (rara vez dos) en la región anterior del neurocráneo, que queda incrustado. La pigmentación se observa temprano durante el desarrollo, con una pigmentación ventral que se extiende desde el ano hasta el final de la notocorda, y está compuesta por una hilera de pequeños melanóforos espaciados irregularmente a lo largo del contorno de la cauda, ya que hay menos melanóforos que miómeros (Herrera *et al*., 2018). (FIGURA 1)

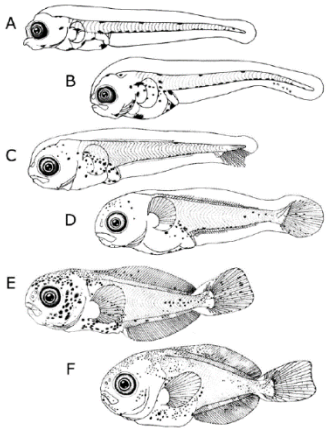

Figura 1. Desarrollo larval de *Stromateus stellatus* dónde es posible observar la pigmentación característica que la diferencia de otras especies, además de los cambios morfométricos que revelan distintas fases larvarias (Fuente: Herrera *et al*., 2018).

La presencia de larvas de *Stromateus stellatus* en aguas cercanas a la costa de Chile central durante la primavera y el verano coincide con la máxima actividad reproductiva de los adultos reportada por Carocca & Chong (2010). Estas larvas se registraron inicialmente en la Bahía de Concepción y fueron la especie más abundante tanto dentro como fuera de la bahía. Sin embargo, las densidades fueron generalmente bajas en otros lugares y épocas, como en invierno lo que indica que el entorno abierto cercano a la costa puede no ser un área de cría significativa para esta especie en comparación con otras especies. Queda por determinar si la especie desova principalmente en embalses más cerrados a lo largo de toda su área de distribución, o en áreas más abiertas sobre la plataforma continental.

La variabilidad espacial del plancton y las asociaciones de larvas de peces están influenciadas por la interacción de la topografía y las corrientes. Landaeta *et al*. (2008), por ejemplo, concluyen que las larvas de otras especies como la anchoveta *Engraulis ringens* evitaban la capa superior altamente advectiva durante la temporada de surgencia, manteniéndose por debajo de los 80 m de profundidad. Respecto de la variabilidad espacial y temporal, huevos y larvas de *Engraulis ringens* se presentan en áreas semi-cerradas como bahías y golfos que podrían aumentar los tiempos de retención de estadios tempranos de invertebrados y peces que se desarrollan en su interior (Landaeta & Castro, 2002), permitiéndole a las larvas crecer en un ambiente de alta concentración de alimento (Soto-Mendoza et al., 2010).

Según Carocca & Chong (2010), la relación entre *Stromateus stellatus* y *Engraulis ringens* está en la coexistencia de estas dos especies en el mismo hábitat marino y periodos reproductivos, pero se desconoce si la distribución espacial de los huevos y larvas de *Stromateus stellatus* siguen el mismo patrón, por lo que, en base a esto, se desea responder a las siguientes interrogantes: A) ¿Es semejante la distribución horizontal de huevos y larvas de *Stromateus stellatus*? B) ¿Es el patrón de distribución espacial de los huevos y larvas de *Stromateus stellatus* similar con la de otras especies pelágicas costeras como *Engraulis ringens*, y C) ¿Es posible que *Stromateus stellatus* presente una distribución más costera y dentro de las bahías para mitigar el transporte mar adentro durante el inicio de la surgencia en primavera?

Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan significativamente a comprender aspectos de la biología reproductiva de esta especie y proporcionen información determinante para el manejo de sus poblaciones.

Hipótesis

La distribución espacial costera y dentro de la bahías de los huevos de *Stromateus stellatus* podría mitigar el transporte mar adentro durante el inicio de la surgencia en primavera.

Objetivo general

Identificar y determinar las principales zonas de desove y crianza larval del pez *Stromateus stellatus* en la zona centro-sur de Chile.

Objetivos específicos de la Investigación

- Describir y caracterizar los huevos de *Stromateus stellatus*
- Identificar las áreas de desove del pez *Stromateus stellatus.* en la zona centro-sur de Chile a inicios de primavera.
- Comparar las distribuciones entre diferentes estadios de huevos *Stromateus stellatus* para determinar si hay dispersión de huevos en la medida que se desarrollan sobre la plataforma continental.
- Identificar posibles variables oceanográficas que estén determinando las zonas de desove de *Stromateus stellatus* más ligado a la costa.

Materiales y métodos

Este estudio comprende tres etapas: I) La identificación, descripción y caracterización de los huevos de *Stromateus stellatus* y su clasificación en tres grupos de desarrollo, II) determinar la distribución espacial de huevos de *Stromateus stellatus* durante primavera; y, III) determinar la distribución de los huevos respectos de condiciones oceanográficas asociadas con la temperatura y salinidad superficial de las estaciones con presencia de huevos (estaciones positivas).

Las muestras de ictioplancton se obtuvieron de la colección que mantiene el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción. El origen de estas muestras provienen de un crucero científico financiado por el proyecto FIP 2008-09 "Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro sur, año 2008" (Cubillos et al. 2009). El crucero se ejecutó en el periodo de septiembre a octubre de 2008, obteniéndose 377 estaciones oceanográficas costeras desde la Región de Valparaíso hasta la Región de Los Lagos (41°S). Las muestras de zooplancton fueron obtenidas mediante red CalVET de 0,05 m^2 de área de boca y 150 µm de trama.

Se analizó el ictiplancton contenido en cada uno de los frascos pertenecientes a las 377 estaciones. Para ello se utilizó una lupa estereoscópica y se identifcaron los huevos considerando el diámetro del huevo y de la gota oleosa. En segunda instancia, se obtuvieron fotografías mediante la cámara de la lupa CMEX-18 PRO USB 3.0, en las que se hicieron las respectivas mediciones de los huevos mediante el programa ImageJ, obteniendo así las medidas del diámetro del huevo, de la gota oleosa y del espacio perivitelino.

La identificación y caracterización de huevos de *Stromateus stellatus* se basó en la descripción disponible en la literatura, así como en una guía disponible en el LOPEL. Además, se consultó al Dr. Mauricio Landaeta dada su experiencia y quien anteriormente realizó una incubación de huevos de esa especie de la zona cercana a Bahía Coliumo.

Análisis de datos

Para la visualización de las distribuciones de huevos y larvas, se realizaron diagramas utilizando el programa Surfer v.16. Se diagramó la abundancia de huevos con círculos de diferentes tamaños en cuatro cortes, sobre mapas en que se presentan los contornos de la línea de costa y líneas de batimetría. Asimismo, se identificaron geográficamente las estaciones positivas para los huevos de

pampanito y la distribución de las zonas de mayor abundancia de huevos y posterior inferencia de sus zonas de desove.

Para determinar la distribución de las condiciones oceanográficas en la zona de estudio, se consideró la temperatura, salinidad y fluorescencia (como proxi de concentración de clorofila-*a*) a dos profundidades, 2 metros y 10 metros, utilizando el software ODV. En las estaciones dónde no fue posible obtener información sobre las condiciones del ambiente se realizó una interpolación. Para completar los datos faltantes en la grilla de muestreo, se utilizó el algoritmo Data Interpolating Variational Análisis (DIVA), el cual consideró las características batimétricas (Barth *et al*., 2010; Troupin *et al*., 2010; Tyberghein *et al*., 2011). Como resultado de este análisis se generó una grilla regular con una resolución espacial de un décimo de grado 0.01° en latitud y longitud (0,06°=1 minuto).

Estas variables fueron graficadas en el ODV y los datos de abundancia de huevos (círculos de distinto tamaño) fueron sobrepuestos en los mapas de estas variables hidrográficas.

Adicionalmente, se construyeron diagrama T-S (Temperatura – Salinidad) en los que se sobrepuso las abundancias de huevos a los puntos que representaban las variables T° y salinidad a 2 y 10m de profundidad de aquellas estaciones positivas con huevos de pampanito. Estos diagramas sirvieron para asociar las abundancias de huevos de pampanito con las condiciones hidrográficas de la zona de muestreo.

Para visualizar posibles desplazamientos de los huevos desde el grupo I al III tanto latitudinalmente como longitudinalmente (costa-océano) se calcularon los centros de masa (centroides) mediante:

Centro de masa en latitud (C_{lat})

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

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

Centro de masa en longitud (C_{long})

$$C_{long_i} = \frac{\sum(long_i w_i)}{\sum w_i}$$

Donde $long_i$ es la longitud de estación i y w_i es la abundancia de organismos encontrados en la estación i de cada transecta.

El análisis estadístico para determinar relaciones entre las abundancias y variables oceanográficas como temperatura y salinidad se realizó usando Modelos Aditivos Generalizados (GAMs). Los modelos aditivos generalizados (GAMs) permiten evaluar las posibles asociaciones entre una lista de factores (predictoras), a nivel

multivariante y una variable respuesta, además incorpora funciones no paramétricas que se adaptan de mejor forma a la estructura no lineal de los datos (Stratoudakis *et al*., 2003; Wood, 2006).

Los modelos aditivos generalizados se expresan de la siguiente manera:

$$y(u_i)=\alpha+f_1X_1+f_2X_2+f_3X_3+....f_nX_n \quad (1)$$

donde y es la función de enlace, u_i es el valor esperado de la variable respuesta, α es el intercepto, fi son las funciones suavizadoras (smooth function) de las variables predictoras Xi.

Los modelos aditivos generalizados se desarrollaron en el programa R (2024.09.1)(http://www.r-project.org) utilizando el paquete mgcv (Wood, 2006). Finalmente, a través de las salidas de los modelos, se obtuvieron los rangos de las variables oceanográficas que presentan el efecto positivo en la abundancia de huevos de pampanito.

Se ajustó un modelo con distribución **quasipoisson** y enlace logarítmico para los datos de conteo ajustados por el volumen filtrado. La fórmula del modelo incluyó términos suavizados para la longitud, latitud, temperatura, y salinidad

conteo~ s(long, lat)+ s(temp_10m) + s(sal_10m) + offset (log(volumen_filtrado_m3))

Los parámetros se optimizaron mediante máxima verosimilitud restringida (REML) y la selección del modelo se basó en métricas como el GCV, la devianza explicada y el R^2 ajustado. La validación del modelo se realizó con la librería DHARMa, confirmando la ausencia de patrones sistemáticos en los residuos, y se evalúo el valor de K (k-index) participante en los spline.

La variable de interés a modelar correspondió al conteo de huevos de Stromateus stellatus, en función de localización (latitud, longitud) y oceanográficas (salinidad, temperatura) a 2 y 10 m de profundidad (**Tabla 1**), las cuales fueron introducidas en el modelo a través de funciones paramétricas de suavizamiento de modelos GAM (e.g., thin plate regression spline) (Wood, 2004). Para el proceso de ajuste de los GAMs, se utilizó la distribución de tipo quasi-Poisson con enlace log (**Tabla 2**), que describe correctamente la alta ocurrencia de datos cero (Sepúlveda *et al*., 2006). Con respecto a la varianza explicada y coeficiente de determinación se consideraron los valores más altos (Silva *et al*., 2003; Vanegas & Vásquez, 2017).

Tabla 1. Resumen de los parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs).

Profundidad (m)	Tipo	Parámetro	Explicación	Unidad
2	Respuesta	N° huevos	Conteo	n
	Predictor	Temperatura		°C
		Salinidad		PSU
10	Respuesta	N° huevos	Conteo	n
	Predictor	Temperatura		°C
		Salinidad		PSU

Resultados

Descripción de los huevos de *Stromateus stellatus*

Los huevos se identificaron con un diámetro promedio (0,68 mm ± 0,03mm) gota oleosa promedio (0,206mm ± 0,2323mm) y un espacio perivitelino promedio (0,098mm ± 0,029mm), lo que según Landaeta (com. Pers.) corresponde a la especie.

Se identificó tres estadios de desarrollo embrionario:

Grupo I: corresponde al estadio más temprano de desarrollo. Se caracteriza por el inicio de la blastomeración; las divisiones celulares han comenzado y es posible distinguir los primeros blastómeros en el polo animal (Fig. 1A).

Grupo II: se observa la formación del blastodermo en el polo animal, y la aparición de la cavidad de segmentación vitelina. Este estadio indica el inicio del proceso de gastrulación que llevará a la formación de las capas germinales (Fig. 1B).

Grupo III: se distingue claramente el embrión con los extremos anteroposterior en proceso de diferenciación, alcanzando una extensión mayor a 2/3 del área del vitelo. Es posible observar algunos somitos en la región media del embrión y la gota oleosa aparentemente fragmentada en dos (Fig. 2C).

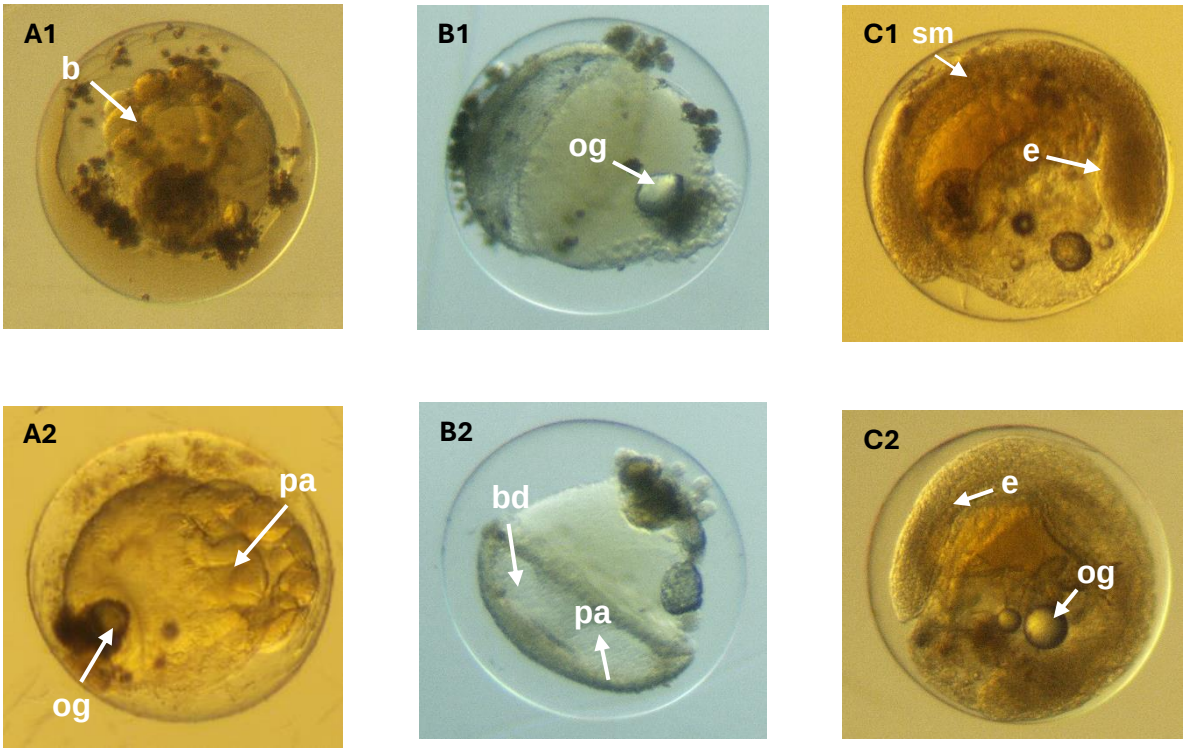

Figura 2.- Desarrollo de huevos de *S.stellatus* **Grupo I (A1, A2):** estadio temprano de desarrollo (blastomerización) las fechas indican blastómeros y gota oleosa. GRUPO II **(B1, B2):** formación de blastodermo, aparición de cavidad de segmentación vitelina. Grupo III **(C1, C2):** diferenciación del embrión. Blastodermo (bd), blastómeros (b), gota oleosa (og), somitos (sm), embrión (e), polo animal (pa).

Distribución horizontal y abundancia de huevos de *Stromateus stellatus*

En el total de las 377 estaciones muestreadas en primavera del 2008, se encontraron solamente 27 estaciones con huevos de Stromateus stellatus. No se identificaron larvas con las características previamente descritas desde la literatura (Herrera et al., 2018).

La distribución de la abundancia de huevos de *Stromateus stellatus*, tanto en la zona centro como en la zona sur de Chile, muestra concentraciones notables en áreas costeras (Figura 3). En la zona centro, entre las latitudes 36°S y 37°S, se observan círculos rojos que indican una abundancia de 500 a 5000 huevos por 1000 m³, principalmente cerca de la costa (Figura 3).

En la zona sur, entre las latitudes 39°S y 40°S, se observan las mayores abundancias, representadas por círculos grandes rojos (5000 a 10000 huevos por 1000 m³) en que el círculo más grande indica una concentración notablemente más alta, de 10,000 a 20,000 huevos por 1000 m³. Estas áreas, ubicadas en las costas de la Región de Los Ríos y Los Lagos, representan los puntos probablemente más importantes para el desove (Figura 3).

Secciones horizontales de hidrografía y distribución de huevos de *S. stellatus*

Los huevos de *Stromateus stellatus* se encuentran en áreas cuyas temperaturas oscilan entre los 12,5° y 13,5 °C, una alta fluorescencia (>2) y salinidades (~32-34 PSU) a 2 metros de profundidad. En la zona sur, donde se encontraron huevos de *Stromateus stellatus*, la temperatura superficial a 2 m oscilaron entre 11° y 12,5 °C, los valores de fluorescencia entre 1,5 y 2, y la salinidad entre 30 y 34 PSU.

A 10 metros de profundidad, la abundancia está asociada a temperaturas de 12,5 °C, fluorescencia más baja en comparación con la superficie, y salinidades bordeando los 34 PSU en la zona centro. En las áreas dónde se encontraron los huevos, en la zona sur, las temperaturas son ligeramente más frías, 11°-12 °C, menor fluorescencia (<1.5), y salinidades más altas que la observada a 2 m.

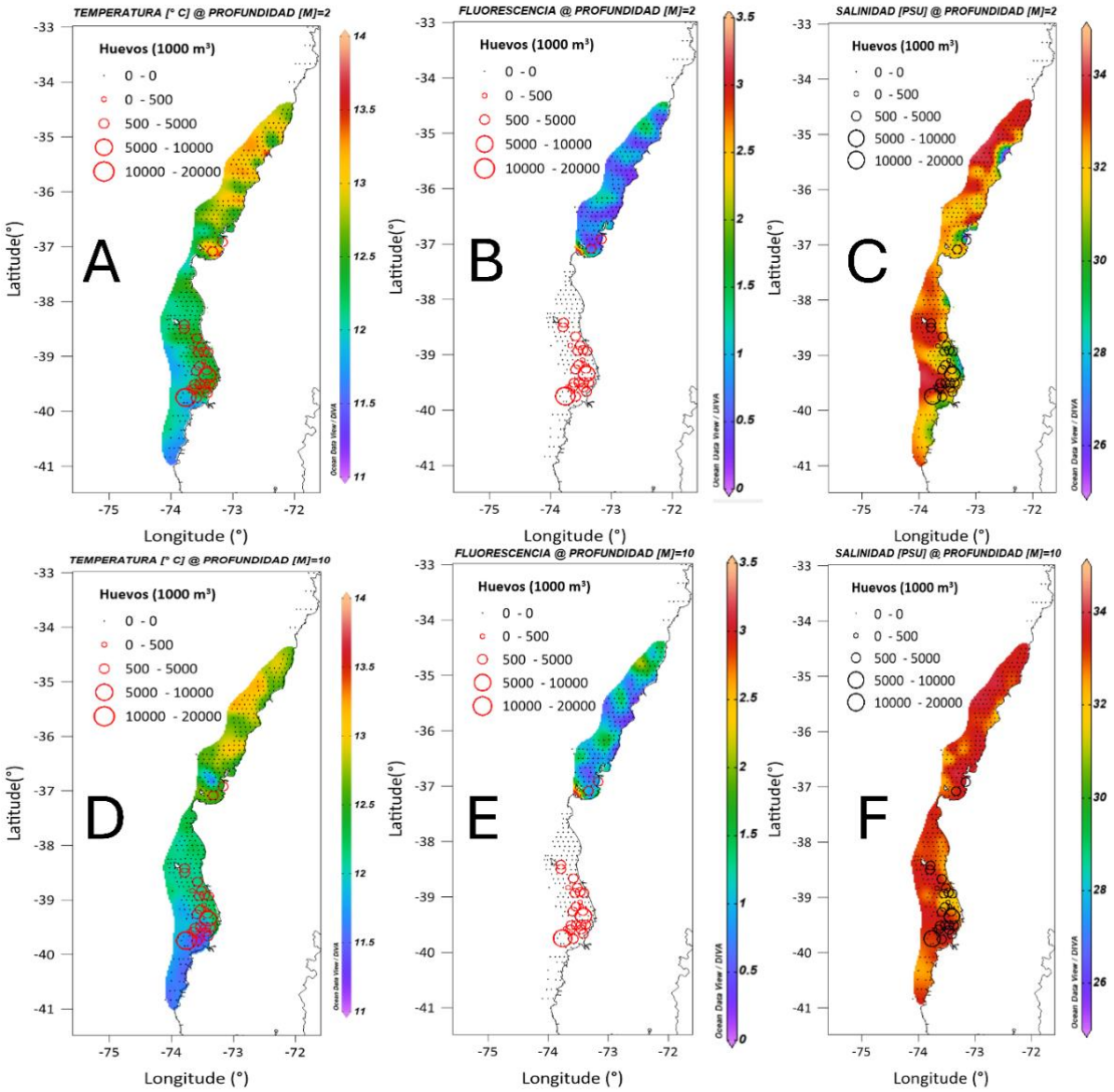

Figura 3.- Abundancia y distribución horizontal estandarizada (Ind. /1000m^3) de la totalidad de huevos (todos los estadios) en conjunto a variables oceanográficas (temperatura, fluorescencia y salinidad) a 2 y 10 m de profundidad en la costa de Chile. Los gráficos muestran la abundancia de huevos (círculos) superpuesta sobre mapas de temperatura (A y D), fluorescencia (B y E), y salinidad (C y F).

Secciones horizontales de hidrografía y distribución de huevos de *Stromateus stellatus* por grupo de desarrollo

Grupo I

El Grupo I de huevos muestra una preferencia por las zonas costeras, más en la zona centro que en la zona sur. En la zona centro, las áreas donde fueron encontrados los huevos de *Stromateus stellatus* están asociadas a temperaturas intermedias de 12,5 -13,5 °C tanto a 2 m como a 10 m. En la zona sur, las mayores concentraciones de huevos se localizan entre 39°S y 40°S, donde las temperaturas son más frías, y oscilan entre 11,5 y 12,5 °C en ambas profundidades.

Estas condiciones indican que los huevos del Grupo I están asociados a zonas con temperaturas más altas en el centro que en la zona sur, pero manteniéndose siempre cerca de la costa.

En la zona centro a 2 m de profundidad, en las áreas donde fueron encontrados los huevos, los valores de salinidad varían entre 30 y 32 PSU, predominando valores más altos 32-34 PSU en áreas costeras, donde se observan las mayores abundancias de huevos. A 10 m en la zona centro la salinidad es más homogénea ~32-34 PSU, y las mayores concentraciones de huevos se mantienen en estas salinidades intermedias. En la zona sur, a 2 m, las salinidades son más bajas 28-32 PSU que en a la zona central, influenciadas por descargas fluviales, y las mayores abundancias de huevos se encuentran en salinidades intermedias 30-32 PSU, especialmente cerca de la costa a 39°S a 40°S. A 10 metros, la salinidad es mayor 32-34 PSU, con las mayores concentraciones de huevos asociadas a valores de 32-33 PSU en áreas costeras.

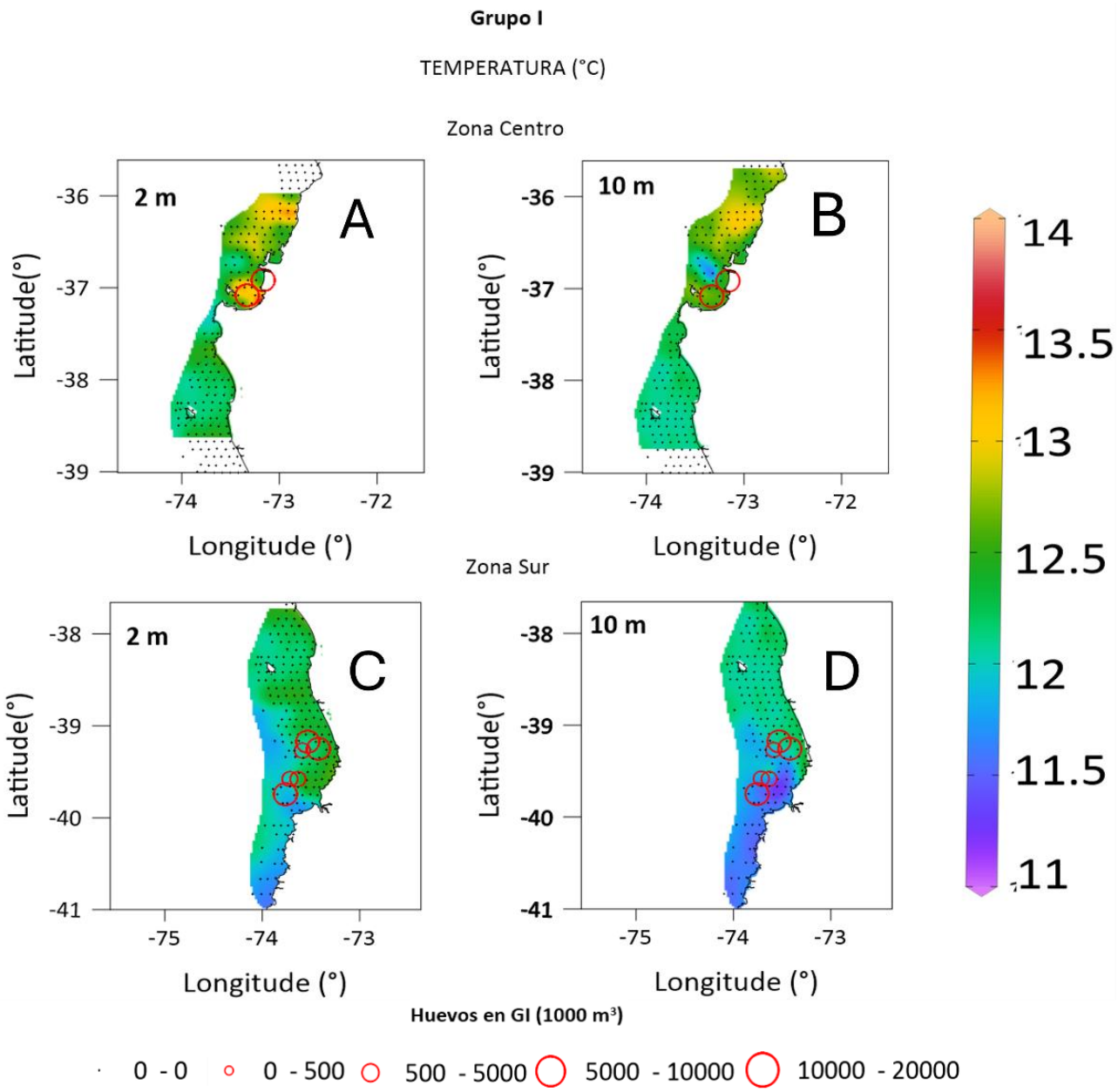

Figura 4.- Distribución horizontal de huevos clasificados en el Grupo I (Ind. /1000m^3) en relación con la temperatura, en dos zonas de Chile: Zona Centro y Zona Sur a profundidades de 2 m y 10 m.

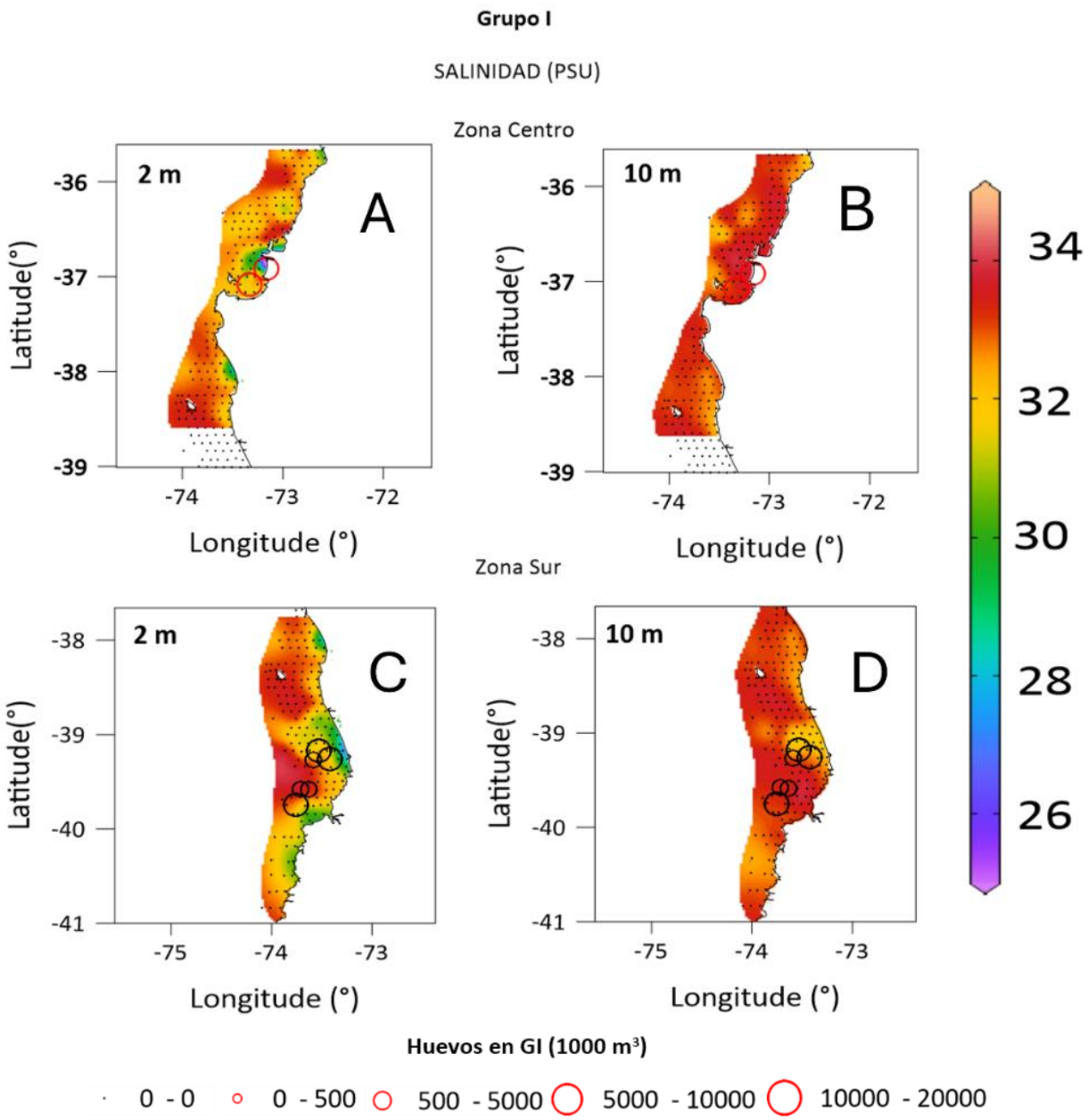

Figura 5.- Distribución horizontal de huevos clasificados en el Grupo I (Ind. /1000m^3) en relación con la salinidad, en dos zonas de Chile: Zona Centro (superior) y Zona Sur, a profundidades de 2 m y 10 m

Grupo II

Los huevos del Grupo II se distribuyen también en zonas costeras de la zona sur, entre las latitudes 39°S y 40°S. En cuanto a la temperatura, en las áreas donde fueron encontrados los huevos, a 2 m de profundidad las mayores concentraciones se encuentran en aguas menos frías, entre 12,5 °C, mientras que a 10 metros, los huevos están asociados a temperaturas más frías entre 11,5 y 12,5 °C. Respecto a la salinidad, a 2 m, las mayores abundancias se observan en salinidades intermedias, entre 30 y 32 PSU, posiblemente influenciadas por descargas de agua dulce, mientras que a 10 m, las áreas positivas para los huevos están en salinidades mayores, entre 33 y 34 PSU.

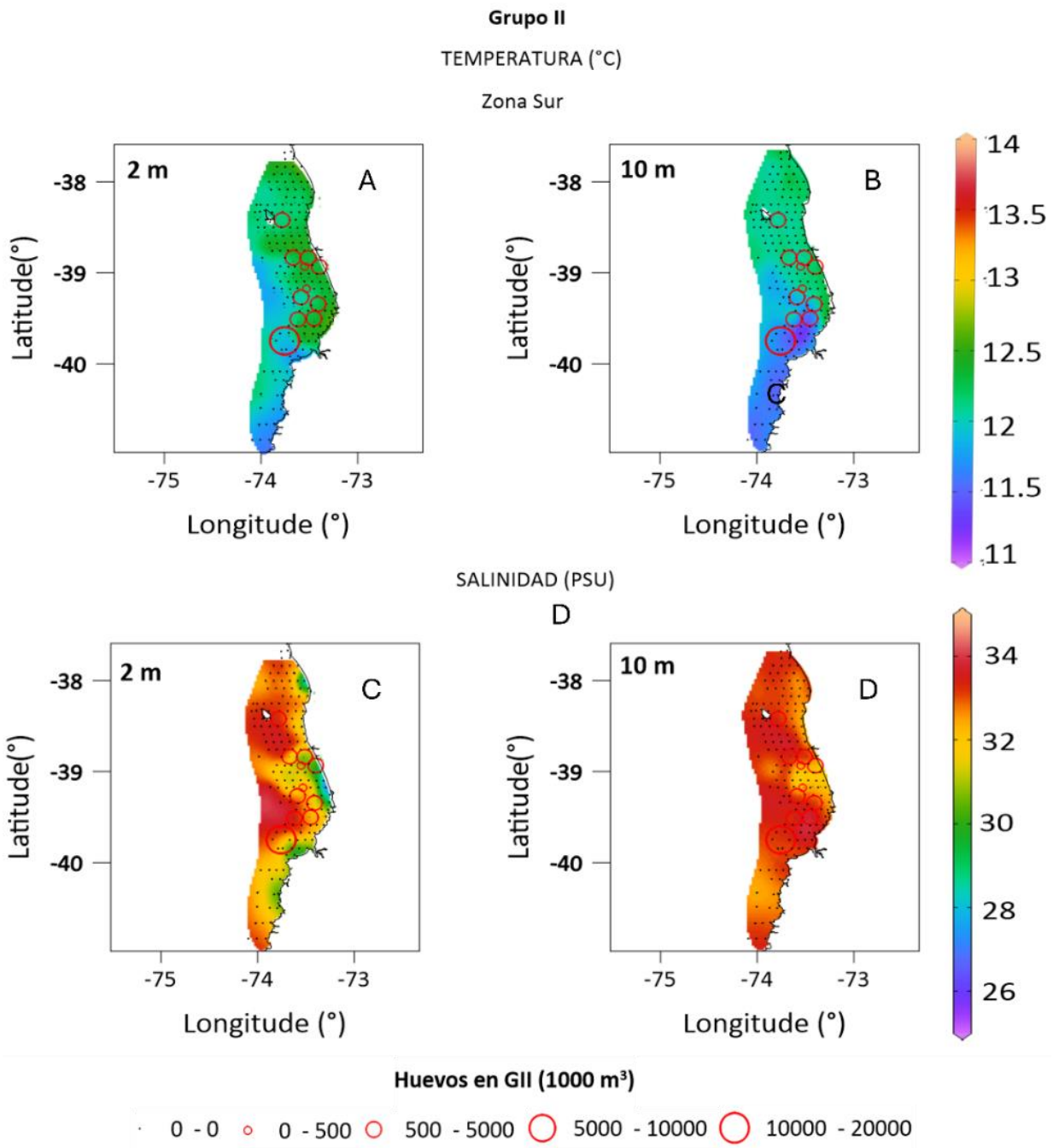

Figura 6.- Distribución horizontal de huevos clasificados en el Grupo II (Ind. /1000m^3) en relación con la temperatura, y salinidad en la zona sur de Chile a profundidades de 2 m y 10 m.

Grupo III

En términos de temperatura, en las zonas positivas para huevos de Stromateus stellatus, a 2 m de profundidad las mayores abundancias de huevos se encuentran en aguas que oscilan entre 12 y 12,5 °C, mientras que a 10 metros estas temperaturas se reducen ligeramente a un rango más bajo entre 11,5° a 12 °C, manteniendo las concentraciones cerca de la costa. Respecto a la salinidad, a 2 m las mayores concentraciones de huevos están asociadas a salinidades más bajas, entre 29 y 32 PSU, y en áreas influenciadas por descargas de agua dulce. A 10 m de profundidad, las salinidades son más homogéneas, oscilando entre 32 y 34 PSU.

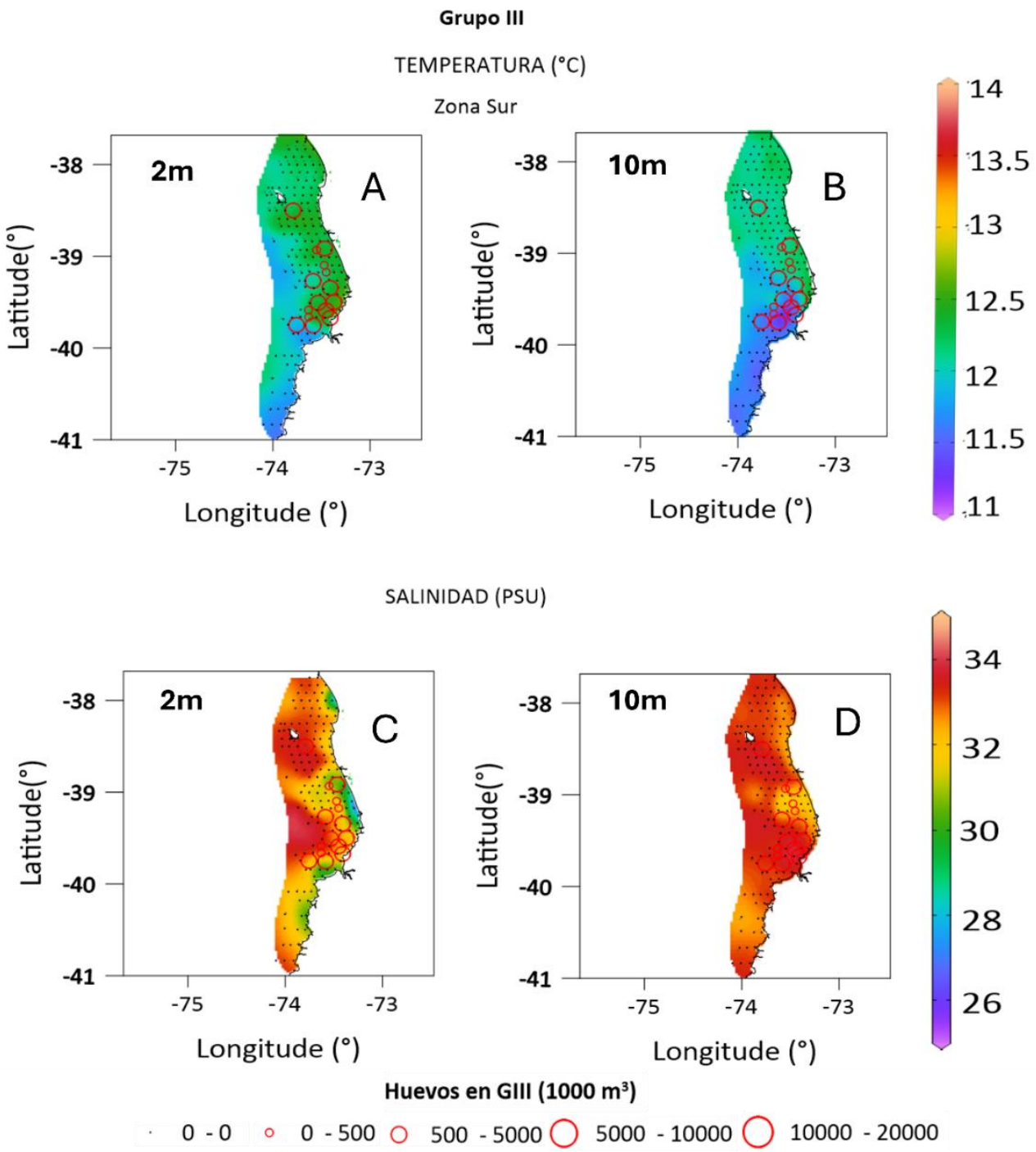

Figura 7.- Distribución horizontal de huevos clasificados en el Grupo III (Ind. /1000m^3) en relación con la temperatura y salinidad en la zona sur de Chile a profundidades de 2 m y 10 m.

Cambios en distribución latitudinal

Zona Centro:

En la zona centro el Grupo I es el único grupo presente, y la distribución del centroide se concentra en torno a la latitud 37°S, cerca de la costa (figura 8). En esta zona los huevos están mayoritariamente en estadios tempranos de desarrollo, sugiriendo que la actividad de desove ocurre aquí, pero con una menor diversidad de estadios en comparación con la zona sur. No se determinaron centroides correspondientes a los Grupos II y III por la ausencia de huevos en esta zona.

Zona Sur:

En la zona sur se calcularon los centroides para los tres grupos de estadios de desarrollo (Figura 8).

El Grupo I se encuentra en una posición más austral que los otros grupos (~39°30'S) los centroides de los Grupos II y III que están ubicados progresivamente más al norte (~39°S), lo que sugiere un desplazamiento hacia latitudes septentrionales a medida que los huevos avanzan en su desarrollo.

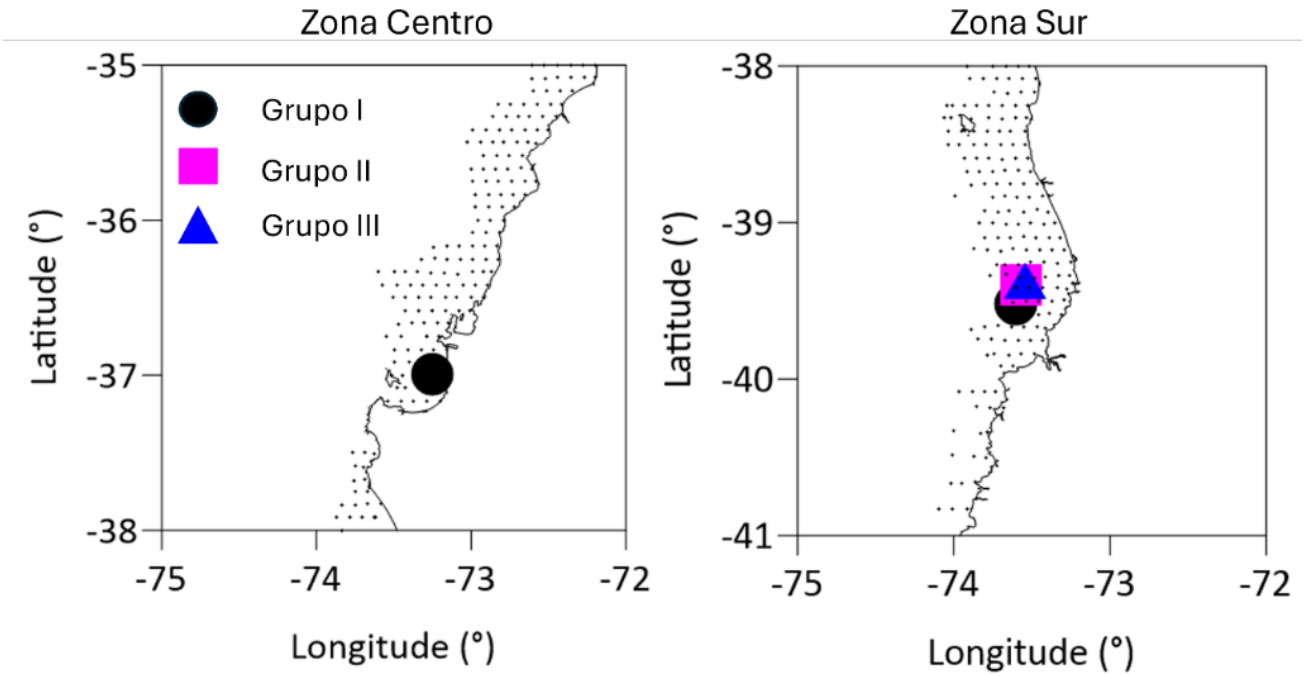

Figura 8. Variación en distribución latitudinal de los centroides de los tres grupos de estadios de huevos del pez *Stromateus stellatus* en la zona centro y zona sur de Chile.

Cambios en distribución longitudinal

Zona Centro

En la zona centro, se observa solo el Grupo I presente (Figura 9). Los centroides están distribuidos en posiciones cercanas a la costa 73°W, mostrando una baja dispersión longitudinal y una concentración en áreas costeras específicas entre las latitudes 36.5°S y 37°S.

La ausencia de los Grupos II y III indica que los estadios más avanzados no permanecen en esta región.

Zona Sur

En la zona sur, están representados los centroides de los tres grupos de estadios de desarrollo (Figura 9).

Grupo I: Los centroides están más dispersos longitudinalmente, con ubicaciones más alejadas de la costa 74°W. Esto sugiere que los huevos en estadios iniciales se distribuyen en aguas más abiertas.

Grupo II: Los centroides comienzan a desplazarse hacia zonas más costeras 73.5°W.

Grupo III: Los centroides están claramente concentrados cerca de la costa 73°W. Este patrón indica que los estadios más avanzados de desarrollo tienden a acumularse en áreas costeras.

La figura 10 muestra la variación en la distribución longitudinal de los centroides por transecta para los tres grupos de trabajo de huevos de *Stromateus stellatus* en la zona centro y zona sur de Chile.

Se observa que a medida que avanza el desarrollo de los huevos, estos se acercan más a la costa.

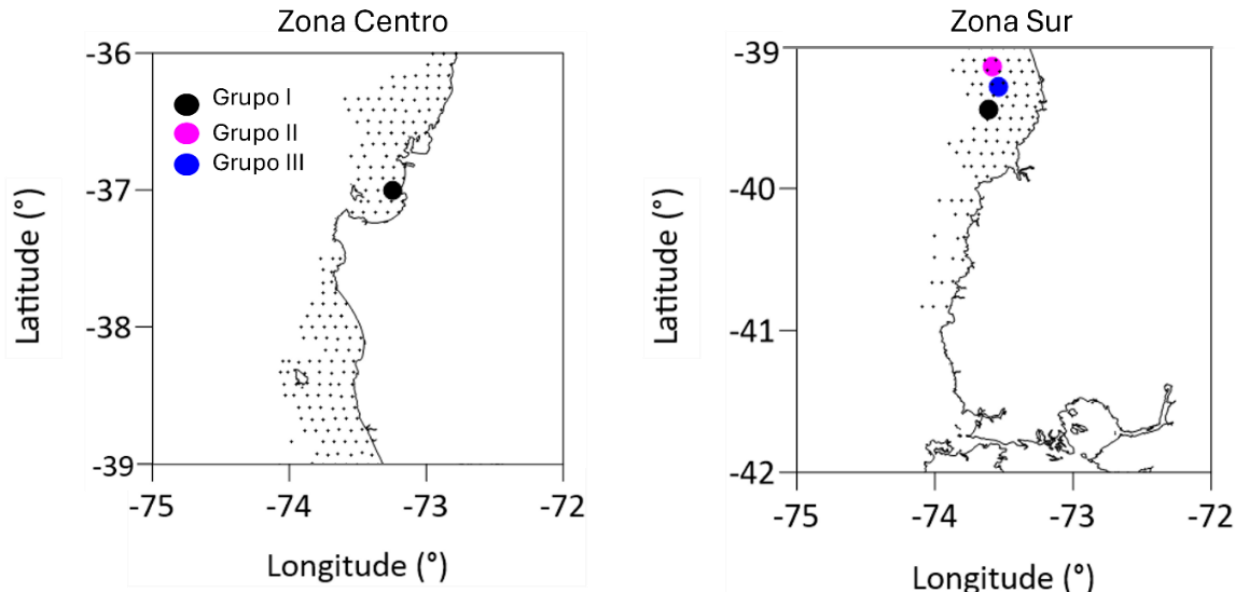

Figura 9. Variación en distribución longitudinal de los centroides de los tres grupos de estadios de huevos del pez *Stromateus stellatus* en la zona centro y zona sur de Chile.

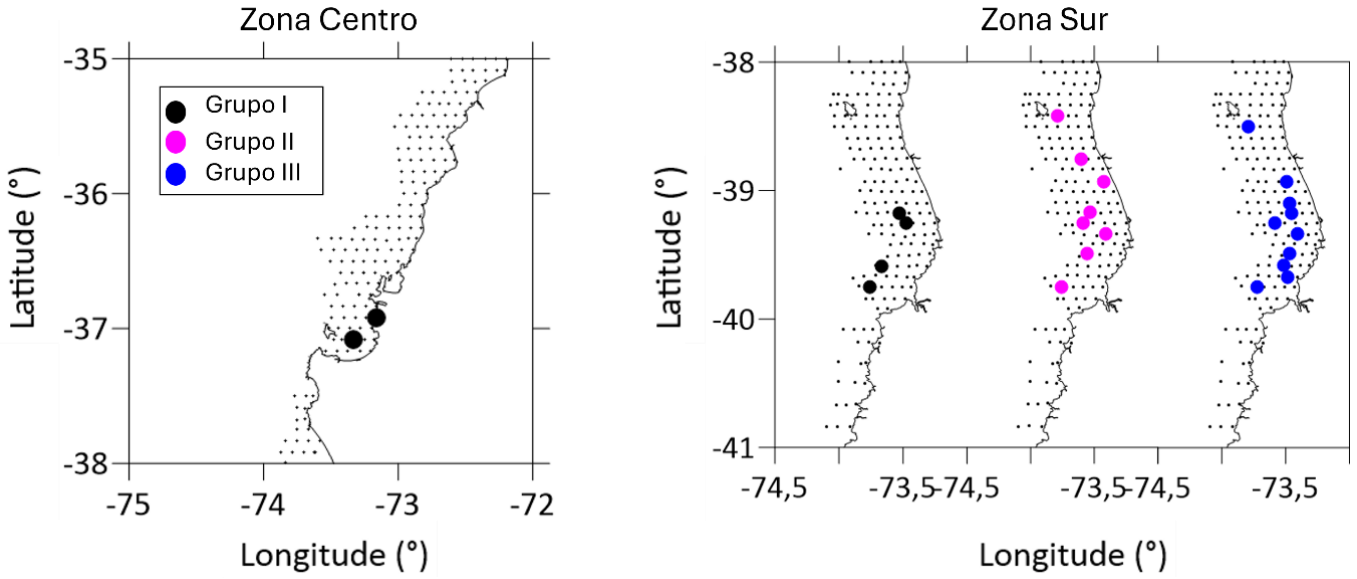

Figura 10. Variación en distribución longitudinal de los centroides por transecta para los tres grupos de trabajo de huevos de *Stromateus stellatus* en la zona centro y zona sur de Chile.

Abundancia de huevos de Stromateus stellatus y Diagrama T-S

Características hidrográficas a 2 m de profundidad

El rango de temperaturas y salinidades del total de estaciones muestreadas fluctuó entre ~11,5 y 14 °C de temperatura y 20 y 34 PSU de salinidad. La mayoría de los huevos se encuentran en un rango de temperatura entre 11,5 y 13,5 °C y salinidad entre 30 y 33 PSU (Figura 11). En este rango se observan las mayores abundancias, representadas por los círculos más grandes (900-16,000 huevos/1000 m^3).

En salinidades menores a 30 PSU y temperaturas más frias (<11,5 °C), no se observan concentraciones importantes de huevos.

Características hidrográficas a 10 m de profundidad

El rango de temperaturas y salinidades del total de estaciones muestreadas fluctuó entre ~11 y 13°C de temperatura y 32 y 34 PSU de salinidad. A esta profundidad, las condiciones hidrográficas son similares, pero ligeramente más homogéneas, con las mayores concentraciones de huevos también dentro del rango de temperatura entre 11,5 y 13,5 °C y salinidad entre 32 y 34 PSU.

Se observa que las mayores abundancias de huevos están concentradas en el mismo rango ambiental que a 2 m, pero con los datos de abundancia de huevos más agrupados entre salinidades 32 y 34 PSU.

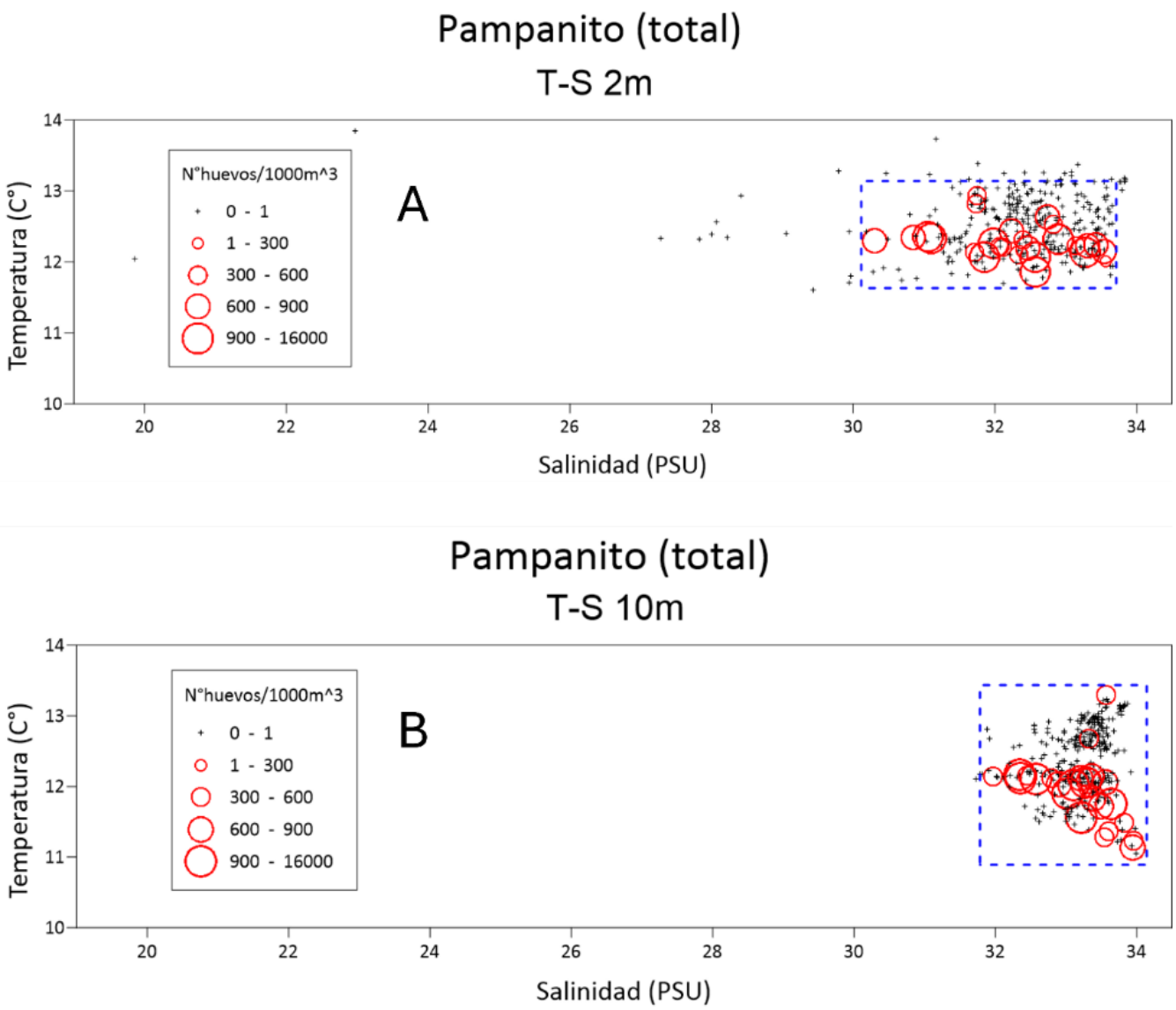

Figura 11. Diagrama T-S (Temperatura-Salinidad) que muestra la relación entre la temperatura, salinidad y la abundancia de huevos a 2 m (A) y 10 m (B) de profundidad.

Diagramas T-S por grupo I, II, III

Características hidrográficas a 2 m

Grupo I: las abundancias se asocian a zonas en las cuales los valores de salinidad están entre 32-34 PSU y temperaturas alrededor de 11,5 - 13 °C. (Figura 12A).

Grupo II: abundancias asociadas a zonas en las cuales los valores de salinidad están entre los 30 y 34 PSU y las temperaturas entre 11,5 – 13 °C. (Figura 12C).

Grupo III: abundancias asociadas a salinidades entre 31-34 PSU y temperaturas entre 11,5 y 12.5°C. (Figura 12E).

Características hidrográficas a 10 m

Grupo I: las abundancias se asocian a zonas en las cuales los valores de salinidad están entre 32-33.5 PSU y temperaturas alrededor de 11–13 °C. (Figura 12B).

Grupo II: abundancias asociadas a zonas en las cuales los valores de salinidad están entre los 32 y 34 PSU y las temperaturas entre 11–12,5 °C. (Figura 12D).

Grupo III: abundancias asociadas a salinidades entre 32-34 PSU y temperaturas entre 11 y 12,5 °C. (Figura 12F).

Los tres grupos de desarrollo (GI, GII y GIII) se encuentran condiciones hidrográficas similares en un rango de temperatura de 11,5 a 13,5 °C y salinidad de 30 a 34 PSU tanto a 2 como a 10 m de profundidad.

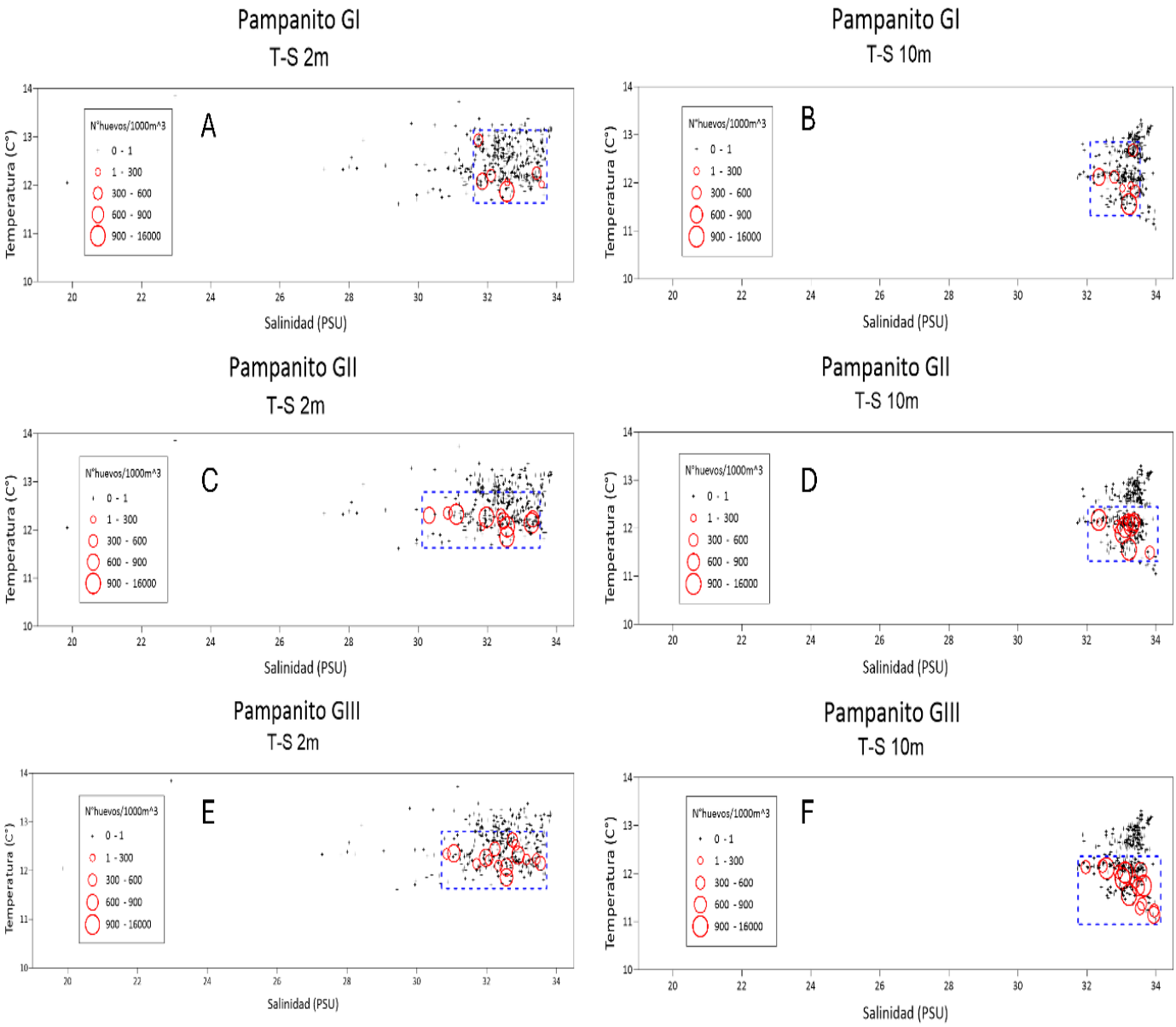

Figura 12. Diagrama T-S (Temperatura-Salinidad) que muestra la relación entre la temperatura, salinidad y la abundancia de huevos en los tres grupos de estudio, a 2 m (A,C,E) y 10 m (B,D,F) de profundidad.

Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

El modelo GAM que utilizó la profundidad de 2 m explicó 81,6% de la devianza y R^2 ajustado de 0,907, GCV de 1.65, y REML de 126,83. Al igual que el modelo a 10 m, los términos de longitud y latitud fueron altamente significativos ($p < 0.001$), pero la salinidad mostró un efecto significativo a 2 m ($p < 0.001$) en comparación con la temperatura ($p > 0.05$).

El modelo GAM que consideró la temperatura a 10 m presentó un mejor ajuste global, explicando 91,9% de la devianza, R^2 ajustado de 0,986, GCV de 0.8, y REML de 51,57. Los términos suavizados de longitud y latitud mostraron efectos significativos ($p < 0.001$), al igual que la salinidad ($p < 0.01$) y la temperatura ($p < 0.05$).

La comparación entre ambos modelos indica que las variables hidrográficas a 10 m de profundidad explican mejor las variaciones en la abundancia observada. La validación de residuos para ambos modelos, realizada con el paquete DHARMa, no presentó patrones sistemáticos, confirmando la validez de los ajustes.

Tabla 2. Modelos ajustados a las variables

Model	Distribución	Variables	R-sq.(adj)	Dev Expl(%)	REML	k-index	GCV
mod2m	Quasipoisson	s(long, lat)***, s(temp_2m) ns, s(sal_2m)***	0,907	81,6	126,83	1,15	0,88
mod10m	**Quasipoisson**	**s(long, lat)***, s(temp_10m)*, s(sal_10m)****	**0,986**	**91,9**	**51,57**	**1,16**	**0,8**

Los rangos óptimos (límite inferior y superior) de las variables evaluadas en relación con los mayores conteos de huevos de pampanitos se muestran en la **Tabla 3**. Se observó que temperaturas a 2 m de profundidad fluctuaron entre 11,86°C - 12,26°C y 12,44°C – 12,81°C, presentando un efecto positivo sobre la presencia de huevos. Los valores de salinidad (2 m de profundidad) entre 30,85 – 32,89 PSU, presentaron una relación positiva con los huevos. En la profundidad de 10 m de profundidad los huevos de pampanito se presentaron en mayo abundancia en valores temperatura menores a 11,89°C, con rangos de salinidad entre 31,97 y 33,31 PSU, los cuales presentaron un efecto positivo en la densidad de huevos.

Tabla 3. Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables predictoras a 2 y 10 m de profundidad obtenidas de los GAM, asociados a al conteo de huevos de pampanito, durante el crucero 2008 (red Calvet).

	Profundidad a 2 m		**Profundidad a 10 m**	
Especie	**Temperatura (°C)**	**Salinidad (PSU)**	**Temperatura (°C)**	**Salinidad (PSU)**
Pampanito	11,86 - 12,26 12,44 - 12,81	30,85 - 32,89	11,13 - 11,89	31,97 - 33,31

Discusión

El objetivo general de este estudio fue identificar y determinar las principales zonas de desove del pez *Stromateus stellatus*. Adicionalmente, describir y caracterizar los huevos de esta especie por la falta de información disponible en la literatura. En la zona centro y sur se encontraron estaciones con presencia de huevos (positivas) de Stromateus stellatus, siento estos más abundantes en la zona sur.

En la zona centro solo se encontraron huevos en estados tempranos de desarrollo (Grupo I), esto indicaría posible mortalidad del grupo II y III, y aunque no se contó con datos de transporte, es posible también la advección de estos grupos fuera de la zona de muestreo y del Golfo de Arauco.

En la zona sur se encontraron los 3 grupos de desarrollo y además se observaron las mayores abundancias (5000 a 10000 huevos por 1000 m³) y (10,000 a 20,000 huevos por 1000 m³). Estos resultados sugieren que estas zonas podrían tener las condiciones apropiadas para el desarrollo y avance del desarrollo embrionario de la especie, con aguas ligeramente más frías que en la zona centro.

La distribución horizontal entre los diferentes grupos de huevos muestra que los huevos se desarrollaban en aguas más oceánicas en primera instancia; y luego, a medida que avanzaba su desarrollo, se desplazaron hacia aguas más costeras. A su vez, a medida que avanza el desarrollo también se observó un leve desplazamiento de sur a norte, tal vez influenciado por la corriente de Humboldt presente en la costa de Chile. Esta corriente ha sido descrita en otros estudios como en el de Soto-Mendoza *et al*. (2012) sobre un modelo de transporte y supervivencia de huevos y larvas de anchoveta en la zona centro-sur costera, también con un transporte hacia el norte. En este estudio se atribuye el transporte de huevos y

larvas a la influencia de la corriente costera**,** una rama de la Corriente de Humboldt, que fluye muy cerca de la costa con velocidades cercanas a 0,3 millas por hora (Thiel *et al*., 2007).

También se estudiaron las relaciones entre las abundancias de huevos y las condiciones hidrográficas de las zonas de muestreo, midiendo las variables de salinidad, temperatura y fluorescencia. La fluorescencia solo se pudo describir para la zona centro ya que para la zona sur no existieron mediciones. Para hacer estas relaciones se trabajaron dos profundidades de muestreo, a 2 metros y a 10 metros. Con estos datos se construyeron los diagramas T-S que además fueron complementados con análisis GAMs. Los análisis GAM determinaron que los rangos de temperatura en el cual se encuentran las mayores abundancias los huevos, a 2 m están entre ~ 11 y 13 °C de temperatura y entre los 30 y 32 PSU de salinidad, y a 10 m entre 11 y 12 °C de temperatura y (~32 y 33 PSU) de salinidad. Estos resultados indican que los huevos prefieren aguas más salinas en estadios más tempranos, es decir aguas más alejadas a la costa y aguas más costeras y menos salinas a medida que avanza su desarrollo. Entre los modelos GAM se escogió el modelo con las variables temperatura y salinidad a 10 m como el modelo mejor ajustado siendo ambas variables significativas. El modelo ajustado a 2 m igualmente arrojó una alta significancia de la salinidad, lo cual indicaría que esta es una variable importante e indicadora para el desarrollo temprano de esta especie, más que la temperatura que no arrojó una mayor significancia.

Los valores de salinidad del área total de muestreo a 2 m de profundidad están entre los rangos 20 y 34 PSU, pero los huevos se presentan entre los 30 y 34 PSU. A 10 m, el rango de salinidad del área total de muestreo está entre los 30 y 34 PSU y los huevos en este mismo rango. De este modo, considerando estos resultados más los obtenidos de los GAMs se sugiere que las condiciones de salinidad adecuadas para el desarrollo temprano de esta especie se encuentran en este último rango de salinidad.

Comparación con especies que co-ocurren en las zonas de estudio

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los hallazgos de Landaeta y Castro (2012) sobre los cambios en distribución horizontal de los huevos de merluza chilena (*Merluccius gayi*), donde se observó que a medida que avanzaba su desarrollo, los huevos se desplazaban desde el quiebre de la plataforma continental hacia la costa. Esto sugiere que factores oceanográficos, como la surgencia costera y las corrientes subsuperficiales hacia la costa, podrían desempeñar un papel clave en el transporte y retención de los huevos, facilitando su acumulación en áreas costeras y de alta productividad.

Por otro lado, los resultados de este estudio sobre la distribución de huevos y larvas de *Stromateus stellatus* en la zona centro-sur de Chile muestran un patrón distinto al observado en el estudio de Soto-Mendoza *et al*. (2010) sobre la distribución de huevos y larvas de *Engraulis ringens* y *Strangomera bentincki*. En el estudio de Soto-Mendoza *et al*. (2010), se encontró que los huevos de anchoveta y sardina común se ubicaban cercanos a la costa, pero las larvas tendían a desplazarse hacia aguas más oceánicas con mayor salinidad. Para el caso de *Stromateus stellatus*, los huevos también se encuentran en zonas costeras, pero a medida que avanza su desarrollo, se acercan aún más a la costa, donde las condiciones son de menor salinidad. Sin embargo, ambas especies coincidieron en su desplazamiento hacia el norte (Soto-Mendoza *et al*., 2012).

Esta diferencia en la distribución sugiere que los estados de desarrollo temprano de *Stromateus stellatus* podrían estar adaptados a utilizar procesos de surgencia costera para el transporte hacia la costa y luego, los estados más avanzados a un ambiente con un mayor aporte de agua dulce, posiblemente proveniente de descargas fluviales o que generan una capa superficial menos salina. Por otro lado, como no se sabe la distribución vertical de los huevos no se puede asegurar que este desplazamiento sea por el transporte subsuperficial. Si los huevos están en superficie, podrían haber sido transportados a la costa en la capa superficial si es que los vientos que impulsan el estrato superficial del mar fueron en sentido noreste. Al respecto, hay que considerar que este estudio corresponde a solo un crucero estacional por lo que los resultados son aplicables solo a este periodo.

La hipótesis en este estudio que planteaba que la distribución espacial costera y dentro de la bahías de los huevos de *Stromateus stellatus* podría mitigar el transporte mar adentro durante el inicio de la surgencia en primavera, no pudo ser comprobada debido a que en la única zona tipo bahía donde fueron encontrados huevos de pampanito fue en las costas del Golfo de Arauco, pero solo se encontraron en dos estaciones y además solo en estadio temprano (Grupo I) lo que

indicaría mortalidad o posible advección fuera de la zona de muestreo de los estadios más avanzados.

Los resultados de este estudio, aunque no concluyentes respecto a los forzantes de los cambios en distribución entre estados de desarrollo de huevos de pampanito, resaltan la importancia de considerar las condiciones oceanográficas locales, como la salinidad y la temperatura, en el estudio de los cambios ontogenéticos de distribución de huevos y larvas de peces.

Conclusiones

Las mayores abundancias de huevos de *Stromateus stellatus* se observaron en la zona sur, entre 38 y 40 °S. En la zona centro alrededor de los 37 °S.

En general, sobre la plataforma continental los huevos de *Stromateus stellatus* se distribuyen cercanos a la costa, y minoritariamente dentro Golfo de Arauco.

En la zona sur, a medida que avanza el desarrollo de los huevos, se acercan aún más hacia la costa, hacia aguas con menor salinidad y con desplazamiento levemente hacia el norte.

Referencias

- Barth, A., Alvera-Azcárate, A., Troupin, C., Ouberdous, M., Beckers, J.M**. (**2010). A web interface for griding arbitrarily distributed in situ data based on Data-Interpolating Variational Analysis (DIVA). Advances in Geosciences. 28: 29-37. doi: 10.5194/adgeo-28-29-2010 http://www.adv-geosci.net/28/29/2010/adgeo-28-29-2010.html .

- Cubillos, L., Castro, L., & Claramunt, G. (2009). *Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008*. Informe final, Proyecto FIP Nº 2008-09. Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.

- Carocca, C., & Chong, J. (2010). Actividad ovárica del pampanito, *Stromateus stellatus* en el litoral de la Región del Biobío, Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, *45*, 751-755.

- FAO (2021). Directrices para la gestión sostenible de recursos pesqueros. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.

- Green, A. L., Maypa, A. P., Almany, G. R., Rhodes, K. L., Weeks, R., Abesamis, R. A., ... & White, A. T. (2015). Larval dispersal and movement patterns of coral reef fishes, and implications for marine reserve network design. *Biological Reviews*, *90*(4), 1215-1247.

- Grüss, A., Kaplan, D. M., & Robinson, J. (2014). Evaluation of the effectiveness of marine reserves for transient spawning aggregations in data-limited situations. *ICES Journal of Marine Science*, *71*(3), 435-449.

- Herrera, G. A., Zavala-Muñoz, F., & Landaeta, M. F. (2018). Observations on the ontogeny of butterfish *Stromateus stellatus* larvae (Pisces: Stromateidae) off central Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 89-98

- Landaeta, M.F., & Castro, L.R. (2002). Spring spawning and early nursery zone of the mesopelagic fish Maurolicus parvipinnis at the coastal upwelling zone off Talcahuano, central Chile. Marine Ecology Progress Series 226: 179-191

- Landaeta, M. F., & Castro, L. R. (2012). Seasonal and annual variation in Chilean hake Merluccius gayi spawning locations and egg size off central Chile. *Progress in Oceanography*, *92*, 166-177.

- Landaeta, M. F., Veas, R., Letelier, J., & Castro, L. R. (2008). Larval fish assemblages off central Chile upwelling ecosystem. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 43(3), 569-584.

- Lowerre-Barbieri, S. K., Ganias, K., Saborido-Rey, F., Murua, H., & Hunter, J. R. (2011). Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries*, *3*(1), 71-91.

- Murua, H., & Saborido-Rey, F. (2003). Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic.

- Reyes, P. & Hüne, M (2012). Peces del sur de Chile, *Anales del Instituto de la Patagonia*, *41*(2), 123

- Sepúlveda, A., Ruíz, P., Alarcón, R., Núñez, S., Bahamonde, R., Córdova, J., Chong, J., Rebolledo, R., Aguayo, M. y Bustos, L. 2006. Condición biológica de jurel en alta mar, año 2006. Informe Técnico FIP 2006-05, 291p

- SERNAPESCA (2022). Anuario estadístico de pesca y acuicultura

- Silva, C., Alvarado, S., Montaño, R., et al. 2003. Modelamiento de la contaminación atmosférica por partículas: comparación de cuatro procedimientos predictivos en Santiago. Chile. Biomatemática XIII. 2003:113-2

- Soto-Mendoza, S., Castro, L. R., & Llanos-Rivera, A. (2010). Variabilidad espacial y temporal de huevos y larvas de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens*, asociados a la desembocadura del río Itata, Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, *45*(3), 471-487.

- Soto-Mendoza, S., Parada, C., Castro, L., Colas, F., & Schneider, W. (2012). Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk–sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Progress in Oceanography*, *92*, 178-191.

- Stratoudakis, Y., Bernal, M. y Borchers, M.F. 2003. Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985-2000. Fisheries Oceanography, 12:49-60.

- Thiel, M., Castilla, J. C., Fernández, M., & Navarrete, S. (2007). The Humboldt current system of northern and central Chile.

- Troupin, C., Machín, F., Ouberdous, M., Sirjacobs, D., Barth, A., 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.http://www.agu.org/pubs/crossref/2010/2009JC005512.shtml .

- Tyberghein, L., Verbruggen, H., Klaas, P., Troupin, C., Mineur, F., 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. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2011.00656.x/pdf.

- Vanegas, J. y Vásquez, F. 2017. Multivariate Adaptative Regression Splines (MARS), una alternativa para el análisis de series de tiempo. Gac Sanit. 31(3): 235–237.

- Wood, S. N., 2004. Stable and efficient multiple smoothing parameter estimation for generalized additive models. J. Ame. Stat. Assoc. 99(467).

- Wood, S.N. 2006. Generalized Additive Models: an introduction with R, CRC press. EUA. 200p.