

## INFORME FINAL

**Sobrevivencia de los estadios tempranos de anchoveta y su relación con los factores ambientales entre las regiones de Arica y Parinacota y de Antofagasta**

**FIPA 2018-34**

**Iquique, agosto 2021**



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO



**SOBREVIVENCIA DE LOS ESTADIOS TEMPRANOS DE ANCHOVETA Y SU  
RELACIÓN CON LOS FACTORES AMBIENTALES ENTRE LAS REGIONES DE  
ARICA Y PARINACOTA Y DE ANTOFAGASTA**

PROPONENTE:

UNIVERSIDAD ARTURO PRAT, FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES

Representante legal: Sr Alberto Martínez Quezada.

RUT: 10.038.283-0

Dirección Av. Arturo Prat 2120, Iquique, Chile

Fono: +56 57 2526501 - +56 57 2526591

Jefe Proyecto: MSc. Gabriel Claramunt Quiñones, Académico J/C

Fono: +56 57 2526591

Email: gclaramu @unap.cl

Subcontratos: Universidad de Concepción (UdeC)

Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM)

Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA)

Consultores independientes: Dr Guido Plaza Pastén

Dr Mauricio Landaeta Díaz

## PERSONAL

JEFE PROYECTO

Gabriel Claramunt Q.

Area Biología Marina y Acuicultura

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile

Tel.: 56-57 2524291-2524516

E-mail: gclaramu@unap.cl

### Personal por Objetivo

OBJETIVO ESPECIFICO	PARTICIPANTE	INSTITUCIÓN
<b>Objetivo Específico 1: Caracterizar la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona</b>		
Oferta ambiental fitoplancton	Liliana Herrera	UNAP
Oferta ambiental microzooplancton	Jeannelle Jaque	UNAP
Condiciones ambientales	Edgardo Santander	UNAP
	Liliana Herrera	UNAP
	Mauricio Braun	CIAM
	Carlos Merino	CIAM
Composición y abundancia de potenciales predadores (zooplancton) sobre los estadios tempranos de anchoveta.	Leonardo Castro	UdeC
	Samuel Soto	UdeC
	Pamela Barrientos	UdeC
	Eduardo Escalona	UdeC
<b>Objetivo Específico 2: Analizar la selectividad de presas comparada con la oferta ambiental alimentaria, composición trófica e importancia relativa por rango de tallas, en las larvas (pre flexión, flexión y postflexión) de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona</b>		
Alimentación y selectividad de presas	Marianela Medina	UNAP

<b>Experimento de incubación</b>	Paola Moreno Cristian Azocar Jeannelle Jaque	UNAP UNAP UNAP
<b>Alimentación larvas cruceros previos</b>	Paola Moreno Cristian Azocar Jeannelle Jaque	UNAP UNAP UNAP
<b>Objetivo Específico 3: Caracterizar y estimar tasas de crecimiento y mortalidad larval en relación a la oferta ambiental alimentaria, fechas de nacimiento, forzantes ambientales, u otros factores que se identifiquen, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.</b>		
<b>Crecimiento y mortalidad</b>	Miguel Araya Jessica Peñailillo Carlos Pacheco	UNAP UNAP UNAP
<b>Aproximación a través de Modelación biofísica</b>	Sebastián Vázquez	INPESCA
<b>Objetivo Específico 4: Proponer indicadores tempranos del éxito o fracaso de las clases anuales, condicionado a la variabilidad espacio temporal de la zona.</b>		
<b>Evaluación de la hipótesis de crecimiento – mortalidad</b>	Guido Plaza Mauricio Landaeta	Consultores independientes
<b>Indicadores provenientes del MPDH</b>	Gabriel Claramunt	UNAP
<b>Enfoque Recluta- Stock</b>	Gabriel Claramunt	UNAP
<b>Establecer modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y estimación de mortalidad de huevos y larvas tempranas.</b>	Gabriel Claramunt	UNAP
<b>Análisis Ictioplancton</b>	Paola Moreno Cristian Azocar	UNAP

## RESUMEN EJECUTIVO

El sostenimiento de extremadamente grandes poblaciones de peces pelágicos por parte de los sistemas de surgencia costera ha promovido un gran interés científico en comprender los mecanismos y factores que la determinan la fuerza del reclutamiento y por tanto la abundancia de los stocks. Se reconoce que los factores que determinan el éxito de las clases anuales es una combinación de procesos físicos de mesoescala y factores químicos y biológicos. Es en esta línea, el que se plantea el presente proyecto, cuyo objetivo general es: “Aplicar un enfoque holístico para evaluar los factores asociados a la sobrevivencia en los estadios tempranos de anchoveta y su relación con los forzantes ambientales en áreas recurrentes de crianza entre las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona”.

Se realizaron trabajos en terreno en escalas espacio-temporales de carácter estacional, mensual y diaria. Se realizaron cruceros en el área entre Arica y Mejillones y desde la costa a las 40 mn, en invierno 2019 y verano 2020. La escala mensual se cubrió desde enero de 2019 a enero de 2020, con muestreos en Arica y Mejillones entre la costa (1 mn) y las 5 mn. Para cubrir el enfoque diario, se realizaron dos campañas de 10 días cada una durante el invierno de 2019 y el verano de 2020 en la zona de Chipana.

Las condiciones regionales evidenciaron que el estudio se realizó en una fase fría del ciclo ENOS. Localmente, en una escala estacional y mensual, se registró la señal anual clásica de los eventos de surgencia de la zona, con eventos de mayor intensidad durante primavera y verano y un decrecimiento durante otoño e invierno. En el enfoque estacional y mensual, se registraron condiciones ambientales asociadas a la estacionalidad y a las condiciones de la surgencia, esto se visualizó en la temperatura, detectándose valores máximos cercanos a 18°C durante el invierno y superiores a 20°C durante el verano. La salinidad mostró valores entre 34,5 y 35 ups. Salinidades mayores a 35 ups se asociaron a la presencia del Agua Ecuatorial Superficial (AEES), mientras que valores iguales o menores a 34,9 ups se registraron en la costa (1-10 mn) y ocuparon la columna de agua bajo los 20 m de profundidad, sugiriendo la mezcla del Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AEES) en los procesos de afloramiento. Concentraciones de oxígeno

disuelto alrededor de los 5,0 ml O<sub>2</sub>/L ocuparon el estrato superficial (0-5 m), con valores inferiores a 3,0 ml O<sub>2</sub>/L en el borde costero (1-5 mn) producto del ascenso del AESS. El límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno se localizó entre los 10 y 80 m, siempre profundizándose costa afuera. Las posiciones más someras se detectaron en Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S). Con relación a la oferta ambiental, el componente microfitoplanctónico exhibió el dominio de las diatomeas, con focos distribuidos entre 1 y 10 mn. Comparativamente, durante invierno las máximas superaron las 1.000 cél/mL, mientras que en verano alcanzaron las 500 cél/mL. Los microflagelados presentaron mayores abundancias en verano, con focos superiores a las 100 cél/mL asociados a la generación de “mareas rojas”. La biomasa fitoplanctónica exhibió un patrón siguiendo la abundancia, particularmente, de los microflagelados, detectándose valores superiores a 100 µg Cl-a/l en verano y cercanos a 40 µg Cl-a/l en invierno. El microzooplancton no exhibió cambios importantes en su composición, manteniéndose una dominancia de ciliados y tintínidos y de estadios tempranos de copépodos en primavera. En la escala diaria, la campaña de invierno coincidió con una fase de intensificación de la surgencia. El componente microfitoplanctónico respondió con un incremento de las abundancias hacia el final del periodo, mientras que el microzooplancton no exhibió mayor variabilidad. Por el contrario, en verano el índice de surgencia mostró una tendencia a la relajación. La columna de agua se mantuvo estratificada y las abundancias del microfitoplancton disminuyeron durante los días del muestreo. El microzooplancton, al igual que en invierno, mantuvo sus concentraciones y se registró una mayor participación de los estadios tempranos de los copépodos. Durante todos los periodos y escalas analizadas, la principal frecuencia de tamaños del microplancton se observó entre los 50 y 200 µm. Las descripciones de la composición, concentración y tamaño de las presas que conforman la dieta de las larvas de anchoveta a través de su ontogenia, permiten señalar que la zona de estudio, durante el periodo analizado, evidenció la presencia de microfitoplancton y microzooplancton que cumple con los requerimientos de estos estadios.

Se incluyó en el proyecto el estudio de abundancia de potenciales predadores invertebrados de huevos y larvas de peces en la zona norte del país en dos estaciones del año contrastantes (invierno 2019 y verano 2020), su sobreposición con la distribución de huevos y larvas de anchoveta en dos

escalas espaciales (regional y local) y temporales (inter-estacional y inter-diaria) y la posible asociación entre predadores, huevos y larvas, y condiciones ambientales (temperatura y salinidad). Los grupos de predadores gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos) presentaron una amplia distribución en el área de estudio (18,42°S a 23°S) y gran abundancia en las estaciones más oceánicas tanto en invierno (2019, < 27.589 ind/10m<sup>2</sup>) como verano (2020). En verano presentaron los valores más altos (< 84.197 ind/10m<sup>2</sup>). En cambio, los quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos y anfípodos), presentaron menor abundancia (< 25.663 ind/10m<sup>2</sup>) que los gelatinosos, con una distribución restringida, centrándose en la porción media (20°S – 21,5°S) y sur (23°S) del área de estudio y en las estaciones ubicadas a 10mn de la costa.

La variación de las abundancias de los huevos y larvas de anchoveta en la escala temporal diaria versus la abundancia de los grupos quitinosos y gelatinosos mostró diferencias significativas. Las mayores abundancias de los estadios tempranos de anchoveta se presentaron en aquellos días cuando la presencia de quitinosos y gelatinosos fue baja, patrón más claramente observable en verano.

La composición de la dieta durante ambos periodos dan cuenta que la presa principal consumida fue los estados naupliares en ambos estados de desarrollo larval (preflexión y flexión), con importancias relativa en la dieta sobre el 85% IIR, seguido de huevos de invertebrados en los estados de preflexión y con un notable aumento en el consumo sobre componentes del zooplancton específicamente sobre copépodos en larvas en estado de flexión, mostrando una alta similitud dietaria entre estados de desarrollo y periodos, así como, una tendencia a cambiar el tamaño de las presas con el desarrollo larval. El consumo sobre organismos fitoplanctónicos no fue importante en este estudio no superando valores de importancia relativa en la dieta >0,001% IIR en larvas en preflexión.

Las principales presas a nivel de grupos mayores, disponibles en la oferta ambiental alimentaria, en términos de las abundancias medias durante los dos periodos de estudio, fueron ciliados, tintínidos, nauplio, huevos invertebrados y copépodos, de los cuales tres de ellos fueron coincidentes con las presas más consumidos por las larvas de anchoveta (nauplios, huevos de

invertebrados y copépodos, que incluyó también a copepoditos). El índice de selectividad de presas mostró una alta preferencia por nauplios en larvas en preflexión y flexión, seguido de huevos de invertebrados en larvas en preflexión.

Se sugiere realizar estudios (*e.g.* análisis de ácidos grasos esenciales) para identificar aquellas presas de calidad o más nutritivas que permitan mantener un alto crecimiento y supervivencia en los primeros días de alimentación larval.

Las muestras de larvas utilizadas para la estimación del crecimiento y mortalidad estuvieron entre 1 y 16 mm en invierno y entre 12 y 21 mm en verano, lo que equivale a edad en días entre 3 y 18 días. El crecimiento para ambos períodos se comportó de manera lineal,  $LE = -0,22 + 0,88 t$  (invierno),  $LE = 0,84 + 0,71 t$  (verano), las pendientes de ambos ajuste son significativamente diferentes. Las fechas de nacimiento para invierno muestra un pico el 6 de septiembre 2019, mientras que para verano los nacimientos se reparten en una mayor cantidad de días, entre 12 y 21 de enero 2020. La tasa de crecimiento media para las larvas de invierno estuvo entre 0,01 y 0,78 mm/día, con una media de  $0,39 \pm 0,233$  mm/día y para verano entre 0,1 y 0,86 mm/día con una media de  $0,41 \pm 0,214$  mm/día. No se detectó el efecto de la tasa crecimiento somática sobre la relación entre tamaño del otolito y longitud de la larva para ambos periodos de muestreo. La relación entre la tasa de crecimiento y la longitud estándar muestra dos fases para ambos períodos de muestreo, comportándose estas de forma lineal. La tasa de producción diaria de larvas fue mucho mayor en la estación de verano. Los valores estimados de mortalidad fueron para invierno de  $0,433 \text{ día}^{-1}$  y para verano de  $0,529 \text{ día}^{-1}$ . Ambas estimaciones no presentan diferencias significativas.

Los resultados basados en esquemas de modelación biofísica sugieren que la mortalidad por advección puede ser un controlador importante de la sobrevivencia temprana de anchoveta en el norte de Chile que constituiría entre el 50% y 70% de las pérdidas poblacionales al primer mes de vida. En este contexto se sugiere una importante variabilidad intra-estacional en los niveles de retención costera con fuerte variabilidad inter-cohorte asociada a actividad de mesoescala. Estacionalmente no se registra un marcado ciclo anual, sin embargo, se sugiere una mayor retención asociada al cuarto trimestre de año. En la escala interanual, la variabilidad en la

sobrevivencia costera asociada a la advección parece estar relacionada con la ocurrencia de eventos El Niño que aumentan la retención costera. Estos mayores niveles de retención estarían asociados a una disminución de la intensidad de corriente.

Meridionalmente, se propone que la retención se ve influenciada por eventos El Niño que aumentan la retención en el margen norte de la zona de estudio, lo que estaría asociado a un debilitamiento de la corriente superficial sur-norte. Finalmente, una aproximación simple hacia la modelación del crecimiento temperatura-dependiente incorporada en el modelo biofísico sugiere alteraciones importantes en el ciclo anual del crecimiento asociadas a impactos térmicos de eventos El Niño/La Niña, que podría afectar indirectamente a la sobrevivencia temprana.

Se proporcionaron las primeras evidencias para evaluar si los sobrevivientes de esta especie fueron los ejemplares que crecieron más rápido y tuvieron los tamaños más grandes en sus fases iniciales de vida. Las larvas fueron recolectadas en la campaña de invierno de 2019. Por su parte las muestras de los sobrevivientes correspondieron a pre-reclutas capturados en el crucero RECLAS de diciembre de 2019. A todos los ejemplares se les registró la longitud y se le extrajeron los otolitos que fueron preparados para análisis micro-estructural usando técnicas convencionales. Los modelos lineales de efectos mixtos, que incorporaron la variabilidad individual, el mes de nacimiento y la zona de recolección, evidenciaron que los ejemplares de anchoveta que sobrevivieron durante el 2019 hasta las fases de postlarva y juvenil temprana, en la zona norte de Chile, fueron los ejemplares que tuvieron los grosores de los micro-incrementos y radios significativamente mayores, durante las primeras tres semanas de vida. Los resultados del presente estudio presentan las primeras evidencias a favor de que crecer más rápidamente y alcanzar mayores tamaños larvales, pareciera ser una ventaja que incrementa las probabilidades de sobrevivir de los ejemplares de esta especie en sus estadios tempranos vulnerables.

Se plantea que el desarrollo de indicadores de la fuerza de la clase anual, basados en la sobrevivencia de estadios tempranos, es poco factible de implementar debido a la alta variabilidad espacial y temporal. Se propone un indicador basado en los centros de gravedad de la distribución de huevos, que predice con bastante precisión la captura del año, lo cual se explica porque

anchoqueta comenzaría por desovar en las áreas recurrentes de desove en la zona costera, pero si el proceso es muy masivo, se alcanzaría cierto umbral de densidad de adultos/huevos, por el cual las hembras comienzan a salir costa afuera, ocupando las áreas ocasionales, que son más oceánicas, y así sucesivamente siguiendo un proceso densodependiente en la utilización del espacio.

## EXECUTIVE SUMMARY

The support of extremely big pelagic fish stocks by coastal upwelling has promoted great scientific interest in the understanding of mechanisms and factors that determine the strength of recruitment and therefore the abundance of stocks. It is recognized that the factors that determine the success of the annual classes, is a combination of physical mesoscale processes and chemical and biological factors. This is how this project is proposed, whose overall objective is: "To apply a holistic approach to assess the factors associated with early stages survival of anchovy and its relationship with environmental factors between the regions of Arica and Parinacota and Antofagasta, considering the temporal space variability of the area".

Field work was carried out on seasonal, monthly and daily space-time scales. Cruises were carried out in the area between Arica and Mejillones and from the coast to 40 mn, in winter 2019 and summer 2020. The monthly scale was covered from January 2019 to January 2020, with sampling in Arica and Mejillones between the coast (1 mn) and 5 mn. To cover the daily scale, two 10-day campaigns were conducted during the winter of 2019 and the summer of 2020 in the Chipana area.

Regional conditions showed that the study was conducted at a cold stage of the ENOS cycle. Locally, on a seasonal and monthly scale, the classic annual signal of the upwelling areas was recorded, with higher intensity during spring and summer and weak signal during autumn and winter. In the seasonal and monthly approach, environmental conditions associated with seasonality and upwelling conditions were recorded, with maximum values close to 18°C during the winter and above 20°C during the summer. Salinity showed values between 34.5 and 35 ups. Salinities greater than 35 ups were associated with the presence of Superficial Equatorial Water (AESS), while values equal to or less than 34.9 ups were recorded on the coast (1-10 mn) and below 20 m deep, suggesting the mixture of Sub-Arctic Water (ASAA) and Subsurface Equatorial Water (AESS) in the upwelling processes. Concentrations of dissolved oxygen around 5.0 ml OR<sub>2</sub>/L were founded at the surface stratum (0-5 m), with values less than 3.0 ml OR<sub>2</sub>/L at the coastal area (1-5 mn) as a product of the ascent of the AESS. The upper limit of the oxygen

minimum zone was located between 10 and 80 m, always deepening offshore. The shallowest positions were detected in Arica (18-25'S) and Mejillones (23-00'S).

The microfitoplantonic component exhibited the dominance of diatoms, with spotlights distributed between 1 and 10 mn. Comparatively, during winter the maximum values exceeded 1,000 cel/mL, while in summer they reached 500 cel/mL. Microflagellates had greater abundances in summer, with spotlights greater than 100 cel/mL associated with the generation of "red tides". Phytoplanktonic biomass exhibited a pattern following the abundance, particularly, of microflagellates, with values greater than 100 g Cl-a/l detected in summer and close to 40 g Cl-a/l in winter. Microzooplankton exhibited no major changes in its composition, maintaining a dominance of ciliates and tintinnids and early stages of copepods on spring. On the daily scale, the winter campaign coincided with a phase of upwelling intensification. The microfitoplanton component responded with an increase in abundances towards the end of the period, while microzooplankton exhibited no greater variability. On the contrary, in summer the upwelling showed a tendency to relaxation. The water column remained stratified and the abundances of microfitoplankton decreased during sampling days. Microzooplankton, as in winter, its concentrations remain stable and a greater participation of the early stages of copepods was detected. During all periods and scales analyzed, the main frequency of microplankton sizes was observed between 50 and 200 m. The descriptions of the composition, concentration and size of the prey that make up the diet of anchovy larvae through their ontogenia, suggest that the study area, during the period analyzed, demonstrated the presence of microfitoplankton and microzooplankton that meets the requirements of these stages.

The project included the study of abundance of potential invertebrate predators of eggs and fish larvae in two contrasting seasons of the year (winter 2019 and summer 2020), their over position with the distribution of eggs and anchovy larvae on two spatial scales (regional and local) and temporary (inter-seasonal and inter-daily) and the possible association between predators, eggs and larvae, and environmental conditions (temperature and salinity). Groups of gelatinous predators (jellyfish, quetognates, symphophores, ctenophores) had a wide distribution in the study area

(18.42oS to 23oS) and great abundance in the most oceanic seasons in both winter ( $< 27.589$  ind/10m<sup>2</sup>) as summer. In summer they presented the highest values ( $< 84.197$  ind/10m<sup>2</sup>). In contrast, the chitinous (zoeas, megalopas, euphosids and amphipods), had less abundance ( $< 25.663$  ind/10m<sup>2</sup>) that gelatinous, with a restricted distribution, focusing on the average part (20oS – 21.5oS) and south (23oS) of the study area and at stations located 10mn from the coast.

The variation in the abundances of anchovy eggs and larvae on the daily time scale versus the abundance of chitinous and gelatinous groups showed significant differences. The greatest abundances of early anchovy stages were presented in those days when the presence of chitine and gelatinous was low, a pattern more clearly observable in summer.

The composition of the diet during both periods indicates that the main prey consumed was the naupliar states in both developing larval stages (preflexion and flexion), with relative importance in the diet over 85% IIR, followed by invertebrate eggs in the reflexion stages and with a noticeable increase on zooplankton consumption, specifically copepods in flexion larval stage, showing a high dietary similarity between developmental states and periods, as well as a tendency to change the size of prey with larval development. Consumption on phytoplanktonic organisms was not important in this study not exceeding relatively important values in the diet  $>0.001\%$  IIR in reflexion larvae.

The main preys, available in the environmental supply, in terms of the average abundances during the two study periods, were ciliates, tintinnids, nauplii, invertebrate eggs and copepods, which three were coincident with the most consumed prey by anchovy larvae. The prey selectivity index showed a high preference for nauplii in reflexion and flexion larvae, followed by invertebrate eggs in reflexion larvae.

Studies (*e.g.* analysis of essential fatty acids) are suggested to identify those prey of quality or more nutritious that allow to maintain a high growth and survival in the first days of larval feeding.

Larvae samples used for growth and mortality estimates were between 1 and 16 mm in winter and between 1 and 12 mm in summer, which is equivalent to an age between 3 and 18 days. The growth

for both periods was linear,  $LE = -0.22 + 0.88 t$  (winter),  $LE = 0.84 + 0.71 t$  (summer), the slopes of both fits were significantly different. The dates of birth for winter showed a peak on September 6, 2019, while for summer births are much spread over a greater number of days, between January 12 and 21, 2020. The average growth rate for winter larvae was between 0.01 and 0.78 mm/day, with an average of  $0.39 \pm 0.233$  mm/day and for summer between 0.1 and 0.86 mm/day, with an average of  $0.41 \pm 0.214$  mm/day. The effect of the somatic growth rate on the ratio of otolite size to larva length for both sampling periods is not detected. The relationship between the growth rate and the standard length shows two phases for both sampling periods, with a linear behavior. The daily production rate of larvae was much higher in the summer season. Estimated mortality values were for winter of  $0.433 \text{ day}^{-1}$  and for summer of  $0.529 \text{ day}^{-1}$ . Both estimates have no significant differences.

Results based on biophysical modeling systems suggest that advection mortality may be an important driver for the early anchovy survival in northern Chile, that would constitute between 50% and 70% of population losses at the first month of life. In this context, significant intra-seasonal variability is suggested in the coastal retention levels with strong inter-cohort variability associated with mesoscale activity. Seasonally, there is no marked annual cycle, however, higher retention associated with the fourth quarter of the year is suggested. On the yearly scale, the variability in coastal survival associated with advection appears related to the occurrence of El Niño events that increase coastal retention. These higher retention levels would be associated with a decrease in current intensity

Southernly, it is proposed that retention would be influenced by El Niño events that increase retention in the northern margin of the study area, which would be associated with a weakening of the south-north surface current. Finally, a simple approach to temperature-dependent growth modeling, incorporated in the biophysical model, suggests significant alterations in the annual growth cycle, associated with thermal impacts of El Niño/La Niña events, which could indirectly affect early survival.

The first evidence was provided to assess whether the survivors of this species were the fastest growing specimens and had the largest sizes in their early life phases. The larvae were collected in the 2019 winter campaign. The survivor's samples corresponded to pre-recruits collected on December 2019 RECLAS cruiser. All specimens were recorded in length and the otoliths were prepared for micro-structural analysis using conventional techniques. Linear models of mixed effects, which incorporated individual variability, the month of birth and the harvesting area, showed that the specimens of anchovy that survived during 2019 until the early postlarva and juvenile phases, in northern Chile, were the specimens that had the thicknesses of the micro-increments and radii significantly larger, during the first three weeks of life. The results of this study present the first evidence that growing faster and reaching larger larval sizes appears to be an advantage that increases the chances of the early stages survival.

It is proposed that the development of annual class strength indicators, based on early-stage survival, is unlikely to be implemented due to high spatial and temporal variability. An indicator based on the centres of gravity of the egg distribution is proposed, which fairly accurately predicts the capture of the year, which is explained because of anchovy began to spawn in the coastal area, these sites are the ones that increase the probability of survival for the first stages. But if the process is very massive, the recurring sites reach a certain threshold of adult/egg density, by which the females begin to leave offshore, occupying the occasional areas, which are more oceanic, and so on, following a dense process dependent on the use of space.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
	<b>Objetivo General .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.</b>	<b>Objetivo Específico 1. Caracterizar la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.1.</b>	<b>Enfoques temporales.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>Muestreo .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.3.</b>	<b>Análisis de muestras.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.4.</b>	<b>Análisis de la información.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.5.</b>	<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.6.</b>	<b>Predación por zooplancton .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivo específico 2: Analizar la selectividad de presas comparada con la oferta ambiental alimentaria, composición trófica e importancia relativa por rango de tallas, en las larvas (pre flexión, flexión y postflexión) de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona. ....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Análisis de contenido intestinal .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Trabajo de laboratorio.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Análisis de datos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Experimentos de incubación de larvas .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Diseño de muestreo .....</b>	<b>23</b>

3.2.5	Análisis cruceros previos. Alimentación .....	26
3.3	Objetivo específico 3: Caracterizar y estimar tasas de crecimiento y mortalidad larval en relación a la oferta ambiental alimentaria, fechas de nacimiento, forzantes ambientales, u otros factores que se identifiquen, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona .....	27
3.3.1	Crecimiento y mortalidad.....	27
3.3.2	Aproximación a través de Modelación biofísica .....	32
3.4	Objetivo específico 4: Proponer indicadores tempranos del éxito o fracaso de las clases anuales, condicionado a la variabilidad espacio temporal de la zona.....	41
3.4.1	Evaluación de la hipótesis de crecimiento-mortalidad. ....	41
3.4.2	Indicadores del Método de Producción de huevos.....	47
4	<b>RESULTADOS</b> .....	49
4.1	Objetivo Específico 1. Caracterizar la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.....	49
4.1.1	Condiciones ambientales regionales .....	49
4.1.2	Análisis Estadístico .....	157
4.1.3	Composición y abundancia de los potenciales predadores zooplanctónicos .....	160
4.2	Objetivo específico 2: Analizar la selectividad de presas comparada con la oferta ambiental alimentaria, composición trófica e importancia relativa por rango de tallas, en las larvas (pre flexión, flexión y postflexión) de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona. ....	198
4.2.1	Muestreos con enfoque estacional y diario durante la estación de invierno 2019 y verano 2020. 198	
4.2.2	Análisis de contenido intestinal .....	201

4.2.3	Relaciones entre tamaño corporal de larvas e indicadores de éxito alimentario (número de presas, ancho máximo y volumen total de presas por intestino) y ancho máximo de presas por ancho de la boca larval.....	206
4.2.4	Índice de selectividad de Chesson- $\alpha_i$ .....	212
4.2.5	Experimentos de incubación de larvas.....	214
4.2.6	Análisis cruceros previos. Alimentación.....	221
4.2.7	Oferta ambiental.....	222
4.3	Objetivo específico 3: Caracterizar y estimar tasas de crecimiento y mortalidad larval en relación a la oferta ambiental alimentaria, fechas de nacimiento, forzantes ambientales, u otros factores que se identifiquen, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona. ....	226
4.3.1	Crecimiento y mortalidad .....	226
4.3.2	Aproximación a través de Modelación biofísica .....	237
4.4	Objetivo específico 4: Proponer indicadores tempranos del éxito o fracaso de las clases anuales, condicionado a la variabilidad espacio temporal de la zona.....	245
4.4.1	Indicadores de Predación.....	245
4.4.2	Evaluación de la hipótesis de crecimiento – mortalidad .....	246
4.4.3	Indicadores provenientes del MPDH .....	256
4.4.4	Establecer modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y estimación de mortalidad de huevos y larvas tempranas.....	267
5	DISCUSION .....	270
5.1	Factores que determinan la sobrevivencia de estadios tempranos de anchoveta .....	292
5.2	Otras conclusiones.....	295
6	BRECHAS EN EL CONOCIMIENTO .....	297

<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>300</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>321</b>
	<b>ANEXO 1: Composición del equipo profesional y técnico .....</b>	<b>322</b>
	<b>ANEXO 2 Taller de presentación de resultados .....</b>	<b>324</b>
	<b>Programa</b>	<b>324</b>
	<b>Asistentes</b>	<b>325</b>
	<b>Principales temas discutidos .....</b>	<b>326</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### TABLAS

<b>Tabla 1. Fecha y localización de las estaciones de los muestreos diarios realizados durante el periodo de invierno de 2019 y de verano de 2020.</b> .....	16
<b>Tabla 2. Parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs) para invierno 2019 y verano 2020.</b> .....	19
<b>Tabla 3. Experimento N°1 sobre selectividad alimentaria en larvas de anchoveta. Huevos obtenidos de Bahía Iquique.</b> .....	25
<b>Tabla 4. Experimento N°2 sobre selectividad alimentaria en larvas de anchoveta. Huevos obtenidos de Bahía Iquique.</b> .....	26
<b>Tabla 5. Experimento N°3 sobre selectividad alimentaria en larvas de anchoveta. Huevos obtenidos de Bahía Chipana.</b> .....	26
<b>Tabla 6. Configuración, constantes y parámetros de control del esquema de modelación biofísica para evaluar transporte y retención de estadios tempranos de anchoveta en el norte de Chile.</b> .....	39
<b>Tabla 7. Estadísticas generales de la longitud estadar (mm) de las larvas de anchoveta en recolectadas en la zona norte de Chile entre mayo y septiembre de 2019 (a) y en la campaña de verano de 2020 (b). CV= coeficiente de variación; DE= 1 desviación estándar.</b> .....	43
<b>Tabla 8. Estadísticas generales de la longitud total (cm) de pre-reclutas de anchoveta en recolectadas en la zona norte de Chile en diciembre de 2019.</b> .....	44
<b>Tabla 9. Valores del Índice Oceánico El Niño (ONI) para el periodo 2010-2020 (fuente <a href="https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/">https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/</a>). Cada columna es un trimestre, abreviaturas en ingles.</b> .....	50

<b>Tabla 10. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de diatomeas presentes en el periodo entre el 26 y 31 de agosto de 2019. (S): diatomeas solitarias.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 11. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio TP (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de flagelados presentes durante el periodo entre el 26 y 31 de agosto de 2019. (A): flagelados atecados. ....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 12. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (<math>\mu\text{m}</math>) de los grupos microzooplanctónicos presentes durante el periodo entre el 26 y 31 de agosto de 2019.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 13. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de diatomeas presentes en el periodo entre el 28 de enero y 01 de febrero de 2020. (S): diatomeas solitarias.....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 14. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de flagelados presentes durante el periodo entre el 28 de enero y 01 de febrero de 2020. (A): flagelados atecados. ....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 15. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (<math>\mu\text{m}</math>) de los grupos microzooplanctónicos presentes durante el periodo entre el 28 de enero y 01 de febrero de 2020.....</b>	<b>98</b>
<b>Tabla 16. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Arica (18°25'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 17. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Mejillones (23°00'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias. ....</b>	<b>112</b>

<b>Tabla 18. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de flagelados identificados en Arica (18°25'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados. ....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 19. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de flagelados identificados en Mejillones (23°00'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 20. Tamaño promedio (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Arica (18°25'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 21. Tamaño promedio (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Mejillones (23°00'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias. ....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 22. Tamaño promedio (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de flagelados identificados en Arica (18°25'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados. ....</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 23. Tamaño promedio (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de flagelados identificados en Mejillones (23°00'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados.....</b>	<b>126</b>
<b>Tabla 24. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los grupos microzooplanctónicos presentes en Arica (18°25'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020.....</b>	<b>131</b>
<b>Tabla 25. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los grupos microzooplanctónicos presentes en Mejillones (23°00'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. ....</b>	<b>133</b>

<b>Tabla 26. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de diatomeas presentes en Chipana (21°20'S) durante el periodo de invierno y verano. (S): diatomeas solitarias.....</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 27. Géneros y especies de diatomeas con las mayores abundancias (cél/mL) durante el periodo de invierno y verano. (S): diatomeas solitarias.....</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 28. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los géneros y especies de flagelados presentes en Chipana (21°20'S) durante el periodo de invierno de 2019 (05 al 14 de septiembre) y verano de 2020 (15 al 24 de enero). (A): flagelados atecados. ....</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 29. Géneros y especies de flagelados con las mayores abundancias (cél/mL) durante el periodo de invierno de 2019 (05 al 14 de septiembre) y verano de 2020 (15 al 24 de enero). (S): diatomeas solitarias.....</b>	<b>148</b>
<b>Tabla 30. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) (<math>\mu\text{m}</math>) de los grupos microzooplanctónicos presentes en Chipana (21°20'S) durante el periodo de invierno de 2019 (05 al 14 de septiembre) y verano de 2020 (15 al 24 de enero).....</b>	<b>154</b>
<b>Tabla 31. Resultados del análisis GAM realizado sobre la abundancia de larvas de anchoveta. Ordenados de acuerdo con el menor valor de GCV. ....</b>	<b>158</b>
<b>Tabla 32. Resultados del análisis GAM realizado sobre la abundancia de huevos de anchoveta. Ordenados de acuerdo con el menor valor de GCV. ....</b>	<b>159</b>
<b>Tabla 33. Abundancia promedio (DS: desviación estándar) y porcentaje (%) que cada grupo quitinoso y gelatinoso representa del total de potenciales predadores planctónicos, obtenidos durante los cruceros estacionales (26-28 agosto de 2019 (invierno) y 28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020 (verano)) (Prom. grupos: es el promedio aritmético de los grupos).....</b>	<b>161</b>
<b>Tabla 34. Abundancia promedio (DS: desviación estándar) y porcentaje (%) que cada grupo quitinoso y gelatinoso representa del total de potenciales predadores planctónicos, obtenidos</b>	

durante los cruceros diarios (5-14 septiembre de 2019 (invierno) y 15 - 24 enero de 2020 (verano)) en el sector de Chipana (Prom grupos: es el promedio aritmético de los grupos).

.....162

**Tabla 35. Resultados de los modelos aditivos generalizados (GAMs) para la densidad de huevos y larvas de anchoveta en función de la presencia de quitinosos (Q) y gelatinosos (G) para los cruceros estacionales de invierno de 2019 y verano de 2020 (R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación, VE (%): Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general).**.....182

**Tabla 36. Resultados de los modelos GAM (modlo 2) en los estadios temprano de desarrollo de anchoveta de los cruceros estacionales del invierno de 2019 y verano de 2020 (Q: quitinosos, G: gelatinosos). En negrilla valores significativos ( $p < 0,05$ ), ES: Error standard.**

.....182

**Tabla 37. Rango óptimo de las variables predictoras (grupo quitinoso y gelatinoso) asociado a las principales densidades de huevos y larvas de anchoveta por crucero estacional, invierno (2019) y verano (2020). (Valores en paréntesis debajo de Quitinosos y Gelatinosos corresponden a las medianas estacionales y abundancia máxima de todos los individuos).**

.....185

**Tabla 38. Valores promedio (desviación estándar, DS) de temperatura y salinidad a 10 m de profundidad por crucero (diario y estacional) y año (2019 (invierno) y 2020 (verano)).** ....186

**Tabla 39. Estaciones de muestreo (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el crucero estacional de invierno, 2019.**.....199

**Tabla 40. Lances de muestreo de mesozooplancton (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el muestreo diario en la estación de invierno en Bahía Chipana, 2019.**.....200

<b>Tabla 41. Estaciones de muestreo (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el crucero estacional de verano, 2020.</b> .....	200
<b>Tabla 42. Lances de muestreo de mesozooplankton (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el muestreo diario en la estación de verano en Bahía Chipana, 2020.</b> .....	201
<b>Tabla 43. Número de larvas examinadas por estado de desarrollo larval con su rango de tamaño corporal (LC), larvas con alimento e incidencia alimentaria (IA). a) Bahía Chipana, invierno 2019, b) Bahía Chipana, verano 2020.</b> .....	203
<b>Tabla 44. Composición de la dieta de larvas de anchoveta según el estado de desarrollo. Expresada en porcentaje Numérico (%N), volumétrico (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e importancia relativa de las presas (%IIR). a) Bahía Chipana, invierno 2019; b) Bahía Chipana, verano 2020.</b> .....	204
<b>Tabla 45. Parámetros estadísticos de las relaciones lineales entre la longitud corporal de la larva (LT) y ancho de boca (AMB) e indicadores de éxito alimentario (NPI = n° de presas por intestino, VTPI= volumen total de presas por intestino y AMPI= ancho máximo de presas por intestino. Valor P en negrilla = relación significativa.</b> .....	208
<b>Tabla 46. Abundancia media (ind/m<sup>3</sup>) y desviación estándar (d.e.) de los potenciales ítems de alimento de los grupos del microzooplankton obtenidos de los muestreos diarios en invierno y verano, en Bahía Chipana.</b> .....	212
<b>Tabla 47. Índice de selectividad de Chesson - <math>\alpha_i</math>, para las presas principales de larvas de anchoveta por estado de desarrollo en Bahía Chipana. a) invierno y b) verano.</b> .....	213
<b>Tabla 48. Número total de larvas de anchoveta obtenidas del medio de cultivo semi-intensivo.</b> .....	215
<b>Tabla 49. Número de presas por estómago.</b> .....	218

<b>Tabla 50. Composición y abundancia promedios (cél/L) de fitoplancton presentes en los estanques de sistema semi-intensivo. ....</b>	<b>219</b>
<b>Tabla 51. Composición y abundancia promedios (cél/L) de microzooplancton presentes en los estanques de sistema semi-intensivo. ....</b>	<b>220</b>
<b>Tabla 52. Dieta de larvas de anchoveta colectadas de sistema semi-intensivo. %N corresponde al porcentaje del número total de ítems presa, %V corresponde al porcentaje del volumen total de ítems presa, y %F a la frecuencia porcentual de la ocurrencia de un ítem dietario entre las larvas con contenido en sus estómagos. %IRI corresponde al índice de importancia relativa como porcentaje.....</b>	<b>220</b>
<b>Tabla 53. Número de larvas analizadas, larvas con contenido en el intestino e incidencia de alimentos (porcentaje) por intervalo de tamaño larvario.....</b>	<b>221</b>
<b>Tabla 54. Dieta de larvas de anchoveta colectadas durante el muestreo del 23-08-18 en bahía Iquique. Expresada en porcentaje del número total de ítem presa (%N), volumen total de ítem presa (%V), frecuencia de ocurrencia de un ítem presa en las larvas con contenido intestinal (%F), índice de importancia relativa del ítem presa.....</b>	<b>222</b>
<b>Tabla 55. Posible ítem de alimento para las larvas (fitoplancton y microzooplancton) presentes en la columna de agua durante el muestreo en Iquique. El promedio se obtuvo a partir de 5 muestras tomadas de 0, 5, 10, 20 y 30 m. El promedio (PROM) y la desviación estándar (DS) son células por ml (diatomeas y flagelados) e individuos por litro (microzooplancton). Los ítems sin SD estaban presentes en una sola muestra. ....</b>	<b>224</b>
<b>Tabla 56. Parámetros del ajuste lineal a la información de longitud estándar (mm) y edad (días) y su inversa para ambas estaciones. LE: longitud estándar. a: intercepto; e.e.: error estándar; b: pendiente; n: tamaño muestra.....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla 57. Parámetros del ajuste a la relación tasa de crecimiento versus la longitud estándar de larvas de anchoveta capturadas en Chipana. La información de cada muestreo se dividió</b>	

en dos fases (ver texto). a: intercepto; e.e.: error estándar; b: pendiente; n: tamaño muestra. .....	229
<b>Tabla 58. Densidad promedio y tasa de producción diaria por clase de longitud y edad de larvas de anchoveta de la estación de invierno. ....</b>	<b>234</b>
<b>Tabla 59. Densidad promedio y tasa de producción diaria por clase de longitud y edad de larvas de anchoveta de la estación de verano. ....</b>	<b>235</b>
<b>Tabla 60. Parámetros del ajuste del modelo de mortalidad para invierno y verano de larvar de anchoveta capturadas en Chipana. N0: producción larval a la eclosión; e.e.: error estándar; Z: tasa instantánea de mortalidad (día-1); n: puntos observados. ....</b>	<b>235</b>
<b>Tabla 61. Estimaciones de mortalidad mensual obtenidas mediante modelación biofísica; M1: mortalidad por temperaturas extremas, M2: mortalidad por advección a la etapa de larvas con saco vitelino, M3: mortalidad por advección a los 30 días de edad. ....</b>	<b>240</b>
<b>Tabla 62. Tabla de decisión sobre probabilidad de predación .....</b>	<b>246</b>
<b>Tabla 63. Estadísticas generales de longitud total (LT; mm) y edad (días) de pre-reclutas de anchoveta recolectados durante el crucero hidro-acústico, llevado a cabo por el Instituto de Fomento Pesquero, durante diciembre 2019. ....</b>	<b>249</b>
<b>Tabla 64. Estadísticas derivadas de un análisis de varianza de medidas repetidas para poner a prueba la hipótesis de ausencia de diferencias significativas en el grosor (a) y radios promedios (b) en otolitos sagitales de pre-reclutas de anchoveta, medidos a los días 25, 30, 35, 40 y 35. WL= Estadístico multivariado Wilks's Lambda; Gln= grados de libertad del numerador; Gle: grados de libertad del error; F= aproximación a un estimado del estadístico F-Fisher. Ant=Antofagasta; Mej= Mejillones.....</b>	<b>252</b>
<b>Tabla 65. Resumen de las fuentes de variación y significancia de los Modelos Lineales de efectos Mixtos, ajustados al grosor (a) de los micro-incrementos diarios y al radio promedio (b), medido a cada edad a cada edad, en ejemplares de la población original y de los</b>	

sobrevivientes de anchoveta en la zona norte de Chile. Var= Variable; FV=Fuente de variación; SC=Suma de cuadrados; GLn= Grados de libertad del numerador; GLd=Grados de libertad de denominador; \*\*p < 0.01; \*\*\* p < 0.001. Mes\_N: Mes de nacimiento.....256

**Tabla 66. Resultados de un ajuste lineal sin intercepto a la relación entre la razón entre área de desove y de crucero (A(+)/A) con la captura anual.....258**

**Tabla 67. Parámetros de la regresión lineal múltiple de la captura del año en función de los centros de gravedad .....262**

**Tabla 68. Resultados de un ajuste no lineal a un modelo exponencial negativo de la edad de la larva en función del diámetro circular equivalente. ....268**

**Tabla 69. Resultados del ajuste de modelo lineal generalizado con binomial negativa para la estimación de producción diaria de huevos y mortalidad con y sin incorporar a las larvas con saco vitelino.....269**

## **INDICE DE FIGURAS**

**Figura 1. Ilustración del mecanismo “bigger-is-better” donde individuos de una misma edad difieren en tamaño.....6**

**Figura 2. Área de estudio y localización de las estaciones bio-oceanográficas (localidades con asterisco) para la caracterización estacional de la oferta ambiental de alimento en zona recurrentes de desove de anchoveta.....14**

**Figura 3. Estaciones de muestreo mensual en las localidades de Arica (18°25') (panel izquierdo) y Mejillones (23°00'S) (panel derecho). ....15**

**Figura 4. Estaciones de muestreo diario en Chipana (21°20'S) durante el periodo de invierno de 2019 (panel superior) y verano de 2020 (panel inferior). Los números corresponden al día del muestreo. ....15**

<b>Figura 5. Larva en postflexión con copépodos en su intestino.</b> .....	25
<b>Figura 6. Esquema de trabajo para el estudio de la historia de vida temprana de anchoveta bajo un enfoque de modelación biofísica.</b> .....	33
<b>Figura 7. Anomalías de la señal El Niño en la región ecuatorial 3-4 indicando los periodos propuestos para la modelación biofísica: El Niño (rojo), La Niña (azul), Neutro (verde). La flecha muestra el periodo de muestreo considerado en el proyecto.</b> .....	34
<b>Figura 8. a) Dominios de modelos hidrodinámicos generados: recuadro color rojo representa el dominio padre del modelo ROMS con resolución espacial de 10 km, el recuadro azul corresponde al dominio hijo 1 con resolución espacial de ~3 km y el recuadro verde al dominio hijo 2 de ~1 km, el cual es utilizado para acoplamiento biofísico; b) zonas de liberación de huevos en el esquema de modelación biofísica.</b> .....	36
<b>Figura 9. Ilustración del método tradicional para evaluar la relación entre el crecimiento temprano y la sobrevivencia en peces teleósteos donde se compara el grosor medio y radio medio a cada entre una cohorte original y la misma cohorte de los sobrevivientes.</b> .....	41
<b>Figura 10. Ejemplares de larvas de anchoveta seleccionados para la extracción de otolitos. Las líneas negras corresponden a la longitud medida para cada estadio de desarrollo, A: Larva en preflexión (Longitud Notocordal 4,65mm); B: Larva en postflexión (Longitud estándar 8,91mm).</b> .....	43
<b>Figura 11. Ilustración del proceso de medición de micro-incrementos diarios, en la región central de un otolito sagital, de un ejemplar pre-recluta de la anchoveta, utilizando el analizador de imágenes “Otolith Reading System (RATOC Ltd). Me = Marca de eclosión.</b> .....	46
<b>Figura 12. Progresión temporal del Índice de la Oscilación del Sur (IOS), calculado de la diferencia de presiones entre Tahití y Darwin. La zona achurada muestra su evolución durante 2019.</b> .....	50

<b>Figura 13. Progresión temporal de la temperatura superficial del mar (SST) para la estación El Niño 1+2. La zona achurada muestra su evolución durante el 2019. ....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 14. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups) y C: Densidad (<math>\sigma-t</math>), entre los días 26 y 31 de agosto de 2019. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 15. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019. ....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 16. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 17. Distribución vertical de Densidad (<math>\sigma-t</math>) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b>	<b>56</b>
<b>Figura 18. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 26 y 31 de agosto de 2019. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 19. Perfiles de la frecuencia de Brunt-Väisälä (ciclos/h) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 26 y 31 de agosto de 2019. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 20. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) y B: profundidad de localización del LS_CMO (m) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 21. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019. ....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 22. Transporte Ekman diario (m<sup>3</sup>/s/km) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 20 y 31 de agosto de 2019 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).</b>	<b>62</b>
<b>Figura 23. Distribución vertical de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019 .....</b>	<b>64</b>

<b>Figura 24. Distribución vertical de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	65
<b>Figura 25. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) de A: diatomeas y B: microflagelados, entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	66
<b>Figura 26. Distribución vertical del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de las diatomeas entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	69
<b>Figura 27. Distribución vertical del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de los flagelados entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	70
<b>Figura 28. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica (<math>\mu\text{g Cl-a/L}</math>) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	71
<b>Figura 29. Distribución vertical de la abundancia del microzooplancton (ind/mL) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	74
<b>Figura 30. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) del microzooplancton entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	75
<b>Figura 31. Distribución vertical del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) del microzooplancton entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.</b> .....	76
<b>Figura 32. Distribución superficial de A: Temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>), B: Salinidad (ups) y C: Densidad (<math>\sigma\text{-t}</math>), entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.</b> .....	78
<b>Figura 33. Distribución vertical de Temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.</b> .....	79
<b>Figura 34. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.</b> .....	80
<b>Figura 35. Distribución vertical de Densidad (<math>\sigma\text{-t}</math>) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.</b> .....	82

**Figura 36. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020. ....83**

**Figura 37. Perfiles de la frecuencia de Brunt-Väisälä (ciclos/h) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020. ....84**

**Figura 38. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) y B: profundidad de localización del LS\_CMO (m) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020. ....85**

**Figura 39. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020. ....86**

**Figura 40. Transporte Ekman diario (m<sup>3</sup>/s/km) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 25 de enero y 03 de febrero de 2020 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero). ....87**

**Figura 41. Distribución vertical de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.....91**

**Figura 42. Distribución vertical de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.....93**

**Figura 43. Frecuencia de tamaños (µm) de A: diatomeas y B: microflagelados, entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.....94**

**Figura 44. Distribución vertical del tamaño (µm) de las diatomeas entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020. ....95**

**Figura 45. Distribución vertical del tamaño (µm) de los flagelados entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020. ....96**

<b>Figura 46. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica (<math>\mu\text{g Cl-a/L}</math>) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 47. Distribución vertical de la abundancia del microzooplancton (ind/mL) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 48. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) del microzooplancton entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020. ....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 49. Distribución vertical del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) del microzooplancton entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 50. Variabilidad diaria del índice de surgencia, calculado de vientos provenientes de los aeropuertos de Arica (A) y Antofagasta (B). La serie corresponde a un promedio móvil cada 30 días para una serie diaria. ....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 51. Progresión mensual de la temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>) en Arica (<math>18^{\circ}25'\text{S}</math>), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 52. Progresión mensual de la temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>) en Mejillones (<math>23^{\circ}00'\text{S}</math>), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 53. Progresión mensual de la salinidad (ups) en Arica (<math>18^{\circ}25'\text{S}</math>), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 54. Progresión mensual de la salinidad (ups) en Mejillones (<math>23^{\circ}00'\text{S}</math>), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 55. Progresión mensual de la concentración de oxígeno disuelto (<math>\text{mL O}_2/\text{L}</math>) en Arica (<math>18^{\circ}25'\text{S}</math>), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 56. Progresión mensual de la concentración de oxígeno disuelto (<math>\text{mL O}_2/\text{L}</math>) en Mejillones (<math>23^{\circ}00'\text{S}</math>), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 57. Progresión mensual de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en Arica (<math>18^{\circ}25'\text{S}</math>) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>111</b>

<b>Figura 58. Progresión mensual de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 59. Progresión mensual de la abundancia de flagelados (cél/mL) en Arica (18°25'S) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 60. Progresión mensual de la abundancia de flagelados (cél/mL) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 61. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) del grupo de las diatomeas en A: Arica (18°25'S) y B: en Mejillones (23°00'S) durante el periodo marzo de 2019 a enero de 2020. ....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 62. Progresión mensual del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de las diatomeas en Arica (18°25'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>119</b>
<b>Figura 63. Progresión mensual del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de las diatomeas en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 64. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) del grupo de los flagelados en A: Arica (18°25'S) y B: en Mejillones (23°00'S) durante el periodo marzo de 2019 a enero de 2020. ....</b>	<b>124</b>
<b>Figura 65. Progresión mensual del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de los flagelados en Arica (18°25'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 66. Progresión mensual del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de los flagelados en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 67. Progresión mensual de la biomasa fitoplanctónica (<math>\mu\text{g Cl-a/L}</math>) en Arica (18°25'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 68. Progresión mensual de la biomasa fitoplanctónica (<math>\mu\text{g Cl-a/L}</math>) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 69. Progresión mensual de la abundancia del microzooplancton (mL/L) en Arica (18°25'S) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>132</b>

<b>Figura 70. Progresión mensual de la abundancia del microzooplancton (mL/L) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>134</b>
<b>Figura 71. Frecuencia de tamaños (µm) del microzooplancton en A: Arica (18°25'S) y B: Mejillones (23°00'S) durante el periodo febrero de 2019 a enero de 2020.....</b>	<b>135</b>
<b>Figura 72. Progresión mensual del tamaño del microzooplancton (µm) en Arica (18°25'S) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa. ....</b>	<b>136</b>
<b>Figura 73. Progresión mensual del tamaño del microzooplancton (µm) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.....</b>	<b>137</b>
<b>Figura 74. Variabilidad diaria del índice de surgencia, calculado de vientos provenientes del aeropuerto de Iquique. La zona achurada corresponde a los días de muestreo. La línea continua es el promedio móvil cada 30 días, la línea azul es un ajuste LOESS para marcar tendencia. ....</b>	<b>138</b>
<b>Figura 75. Progresión diaria de la temperatura (°C) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.....</b>	<b>139</b>
<b>Figura 76. Progresión diaria de la salinidad (ups) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno y B: verano. ....</b>	<b>140</b>
<b>Figura 77. Progresión diaria de la densidad (sigma-t) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno y B: verano.....</b>	<b>142</b>
<b>Figura 78. Progresión diaria del oxígeno disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno y B: verano.....</b>	<b>142</b>
<b>Figura 79. Progresión diaria de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno y B: verano. ....</b>	<b>145</b>
<b>Figura 80. Progresión diaria de la abundancia de flagelados (cél/mL) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020. ....</b>	<b>146</b>

<b>Figura 81. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) de las diatomeas en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.....</b>	<b>149</b>
<b>Figura 82. Progresión diaria del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de diatomeas en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.....</b>	<b>150</b>
<b>Figura 83. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) de los flagelados en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.....</b>	<b>151</b>
<b>Figura 84. Progresión diaria del tamaño (<math>\mu\text{m}</math>) de flagelados en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.....</b>	<b>152</b>
<b>Figura 85. Progresión diaria de la biomasa fitoplanctónica (<math>\mu\text{g Cl-a/L}</math>) en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.....</b>	<b>153</b>
<b>Figura 86. Progresión diaria de la abundancia del microzooplancton (<math>\text{ind/mL}</math>) en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020. ....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 87. Frecuencia de tamaños (<math>\mu\text{m}</math>) de los flagelados en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.....</b>	<b>156</b>
<b>Figura 88. Progresión diaria de los tamaños del microzooplancton (<math>\mu\text{m}</math>) en Chipana (<math>21^{\circ}20'S</math>) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020. ....</b>	<b>156</b>
<b>Figura 89. Gráfico de la abundancia de larvas de anchoveta que muestra el efecto de la densidad (<math>\text{den, sigma-t}</math>), de la concentración de oxígeno disuelto (<math>\text{od, mL/L}</math>), de la biomasa fitoplanctónica (<math>\text{lcla, ug/L}</math>) y de la salinidad (<math>\text{sal, ups}</math>).....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 90. Gráfico de la abundancia de huevos de anchoveta que muestra el efecto de la concentración de oxígeno disuelto (<math>\text{od, mL/L}</math>) y biomasa fitoplanctónica (<math>\text{lcla, ug/L}</math>). ....</b>	<b>159</b>
<b>Figura 91. Abundancia (<math>\text{ind}/10\text{m}^2</math>) de los grupos de potenciales predadores zooplanctónicos gelatinosos (arriba) y quitinosos (abajo) durante el crucero estacional de invierno (26 al 28 de agosto de 2019).....</b>	<b>164</b>

<b>Figura 92. Abundancia (ind/10m<sup>2</sup>) de los grupos de potenciales predadores zooplanctónicos gelatinosos (arriba) y quitinosos (abajo) durante el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020).</b> .....	166
<b>Figura 93. Abundancia de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, y los grupos de quitinoso y gelatinoso obtenidos durante los cruceros estacionales de invierno (2019) y verano (2020).</b> .....	168
<b>Figura 94. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, sergestes, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019).</b> .....	169
<b>Figura 95. Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, sergestes, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019)</b> .....	170
<b>Figura 96. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind./10m<sup>2</sup>; círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019).</b> .....	171
<b>Figura 97. Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind./10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019).</b> .....	172
<b>Figura 98. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020).</b> .....	174

**Figura 99. Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020) .....175**

**Figura 100. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020). .....176**

**Figura 101. Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020). .....177**

**Figura 102. Abundancia de huevos y larvas de anchoveta, y los grupos de quitinoso y gelatinoso obtenidos durante los cruceros de muestreo diarios de invierno de 2019 (a) y verano de 2020 (b) en el sector de Chipana.....178**

**Figura 103. Abundancia de grupos de predadores gelatinosos, quitinosos, huevos y larvas de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>) obtenidos en los cruceros de muestreos diarios de invierno (5-14 septiembre 2019 (panel izquierdo)) y verano (15 - 24 enero 2020 (panel derecho)) en el sector de Chipana .....180**

**Figura 104. Efectos de los predictores quitinoso y gelatinoso sobre la variable densidad de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, ajustado un modelo quasipoisson (función enlace: log (Sepúlveda et al. 2009)). . 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 a 95% (crucero estacional, invierno de 2019). .....183**

**Figura 105. Efectos de los predictores quitinoso y gelatinoso sobre la variable densidad de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, ajustado un modelo quasipoisson (función enlace: log**

(Sepulveda et al. 2009). 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 a 95%(crucero estacional, verano de 2020).....184

**Figura 106. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios (arriba) y el crucero estacional de invierno (abajo) de 2019, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de huevos y larvas de anchoveta. ....187**

**Figura 107. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios (arriba) y el crucero estacional de verano (abajo) de 2020, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de huevos y larvas de anchoveta.....188**

**Figura 108. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad del crucero estacional de invierno (abajo) de 2019, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos. ....190**

**Figura 109. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad del crucero estacional de verano (abajo) de 2020, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos. ....191**

**Figura 110. Resumen de Diagramas T-S en que a los datos a 10m de profundidad de los cruceros estacionales se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia promedio estacional (invierno 2019 y verano 2020) de los principales grupos de quitinosos, gelatinosos, huevos y larvas de anchoveta. Recuadro rojo indica rango de temperaturas y salinidades en que se encuentran las mayores abundancias de larvas de anchoveta.....192**

**Figura 111. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios de invierno de 2019 en Chipana, se sobrepuso una**

representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos .....	193
<b>Figura 112. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios de verano de 2020 en Chipana, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos .....</b>	<b>196</b>
<b>Figura 113. Resumen de Diagramas T-S en que a los datos a 10m de profundidad de los cruceros diarios en invierno 2019 y verano 2020 se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia promedio de los principales grupos de quitinosos, gelatinosos, huevos y larvas de anchoveta. Recuadro rojo indica rango de temperaturas y salinidades en que se encuentran las mayores abundancias de larvas de anchoveta.....</b>	<b>197</b>
<b>Figura 114. Distribución de tamaños corporal de larvas de anchoveta de Bahía Chipana por estación. ....</b>	<b>202</b>
<b>Figura 115. Dendrograma de similitud (Bray-Curtis) dietaria entre estado de desarrollo larval de anchoveta y de las estaciones de invierno y verano.....</b>	<b>206</b>
<b>Figura 116. Relación entre el tamaño de las larvas de anchoveta y el número de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano. ....</b>	<b>207</b>
<b>Figura 117. Relación entre el tamaño de las larvas de anchoveta y el ancho máximo de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano. ....</b>	<b>209</b>
<b>Figura 118. Relación entre el tamaño de las larvas de anchoveta y el volumen total de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano. ....</b>	<b>210</b>
<b>Figura 119. Relación entre el ancho máximo de la boca de la larva y el ancho máximo de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano.....</b>	<b>211</b>
<b>Figura 120. Selectividad de presas (Índice de Chesson, <math>\alpha_i</math>) de larvas de anchoveta por estado de desarrollo de Bahía Chipana. (a) invierno y (b) verano. ....</b>	<b>214</b>

<b>Figura 121. Número de presas por estómago, volumen total de presas por estómago (mm<sup>3</sup>) y ancho máximo de presas (µm) por longitud corporal (LC).....</b>	<b>216</b>
<b>Figura 122. Índice de importancia relativa (%IRI) de la dieta de larvas de anchovetas en sistema semi-intensivo.....</b>	<b>217</b>
<b>Figura 123. Relación entre ancho de la mandíbula inferior (mm) de larvas de anchoveta con respecto al ancho de las presas (µm) encontradas en los estómagos. ....</b>	<b>217</b>
<b>Figura 124. Larvas con contenido estomacal mantenidas desde la eclosión hasta postflexión (39 días) en sistema semi-intensivo. ....</b>	<b>218</b>
<b>Figura 125. Imagen de contenido estomacal de larvas de anchoveta. ....</b>	<b>221</b>
<b>Figura 126. a) Número, b) volumen total de presas por intestino (mm<sup>3</sup>) y c) ancho máximo de presas (µm) por longitud corporal (mm LC). ....</b>	<b>223</b>
<b>Figura 127. Distribución de frecuencia de longitud estándar de larvas capturadas en invierno (a) y en verano (b).....</b>	<b>226</b>
<b>Figura 128. Ajuste de la longitud estándar versus la edad para larvas de anchoveta capturadas en Chipana en ambas estaciones. En azul invierno; en rojo verano. ....</b>	<b>227</b>
<b>Figura 129. Ajuste de la edad versus la longitud estándar para larvas de anchoveta de la estación de verano. Ecuación que se utilizó para transformar la marca de clase de LE a edad en días. ....</b>	<b>228</b>
<b>Figura 130. Frecuencia de fechas de nacimiento de larvas de anchovetas capturadas en la estación de invierno en Chipana. ....</b>	<b>229</b>
<b>Figura 131. Frecuencia de fechas de nacimiento de larvas de anchovetas capturadas en la estación de verano en Chipana.....</b>	<b>230</b>
<b>Figura 132. Relación entre la longitud estándar y radio del otolito de larvas de anchoveta capturadas en Chipana para los dos periodos de muestreo. . Verano: línea y puntos salmón. Invierno: línea y puntos celeste .....</b>	<b>231</b>

<b>Figura 133. Relación entre en ITRO y la tasa de crecimiento media de larvas de anchoveta capturadas en Chipana en los dos periodos de muestreo. ....</b>	<b>231</b>
<b>Figura 134. Relación entre la tasa de crecimiento y la longitud estándar de larvas anchovetas capturadas en Chipana en los dos periodos de muestreo. ....</b>	<b>232</b>
<b>Figura 135. Correlación para evaluar la variabilidad independiente de la edad en la relación de los residuos de la longitud de la larva sobre la edad y los residuos del radio del otolito sobre la edad (invierno <math>p &lt; 0,01</math>; verano <math>p &lt; 0,001</math>). Se grafica la elipse de confianza 95%. ....</b>	<b>233</b>
<b>Figura 136. Correlación para evaluar la ocurrencia del efecto de la tasa de crecimiento en la relación radio del otolito longitud de la larva. Se grafican los residuos de la edad sobre la longitud con respecto a los residuos del radio del otolito sobre la longitud (invierno <math>p &lt; 0,01</math>; verano <math>p &lt; 0,001</math>). Se grafica la elipse de confianza 95%. ....</b>	<b>234</b>
<b>Figura 137. Tasa de producción diaria de larvas por edad para la estación de invierno en Chipana. Se muestra el ajuste con el valor de la tasa de mortalidad instantánea. ....</b>	<b>236</b>
<b>Figura 138. Tasa de producción diaria de larvas por edad para la estación de verano en Chipana. Se muestra el ajuste con el valor de la tasa de mortalidad instantánea. ....</b>	<b>236</b>
<b>Figura 139. Panel superior: índice El Niño 3-4; Panel inferior: Temperatura superficial del mar costero-modelada mediante ROMS, periodo 1994-2019 (julio). ....</b>	<b>238</b>
<b>Figura 140. Altura media del nivel del mar reproducida por ROMS y su comparación con la información satelital AVISO para 5 estaciones costeras: 0°S, 10°S, 20°S, 30°S y 37°S. ....</b>	<b>239</b>
<b>Figura 141. Estimaciones de mortalidad temprana para anchoveta obtenidas mediante modelación biofísica; M1: mortalidad por temperaturas extremas, M2: mortalidad por advección a la etapa de larvas con saco vitelino, M3: mortalidad por advección a los 30 días de edad. ....</b>	<b>240</b>

<b>Figura 142. Distribución latitudinal de larvas de anchoveta 30 de días de edad simuladas por modelación biofísica para cada uno de los periodos considerados en este estudio. ....</b>	<b>242</b>
<b>Figura 143. Talla media de larvas de anchoveta a los 30 días de edad simulada mediante modelación biofísica para cada uno de los años estudiados. ....</b>	<b>243</b>
<b>Figura 144. Microestructura cercana al núcleo de otolitos sagitales de una larva en postflexión (a), un pre-recluta (b) y una larva en pre-flexión de la anchoveta. ME: Marca de Eclosión, PR: primordio.MS: Micro-incremento subdiario.....</b>	<b>247</b>
<b>Figura 145. Distribución de frecuencia de tamaños, según estadio de desarrollo de larvas de la anchoveta, recolectadas en Playa Chipana en invierno de 2019 .....</b>	<b>248</b>
<b>Figura 146. Distribuciones de frecuencia de fechas de nacimiento para la población larval original (a) y para los sobrevivientes (post-larvas y juveniles tempranos) de anchoveta, para las estaciones de invierno y primavera de 2019.....</b>	<b>250</b>
<b>Figura 147. Perfiles de grosores (a) y radios (b) en otolitos sagitales de 4 pre-reclutas de anchoveta (juveniles tempranos), ilustrando el tipo de patrón incremental con la edad. Tendencias en los valores promedios de los grosores (c) y radios (d) para pre-reclutas de anchoveta, recolectados durante diciembre de 2019 en cuatro macro-zonas en el norte de Chile. Las dos líneas de tendencias en el panel “a”, reflejan los cambios de pendientes a nivel individual.....</b>	<b>251</b>
<b>Figura 148. Ilustración del grado de ajuste de modelos potenciales y exponenciales a un perfil de radio y edad en un ejemplar pre-recluta de anchoveta en el norte de Chile. ....</b>	<b>251</b>
<b>Figura 149. Medias marginales derivadas de un modelo de medidas repetidas para el grosor de los micro-incrementos (a) y el radio caudal (b) en otolitos sagitales de pre-reclutas de la anchoveta, medidos a intervalos de 5 días y analizados por macro-zona geográfica. Las barras verticales corresponden a 1 error estándar. ....</b>	<b>253</b>

**Figura 150. Ilustración de los cambios en las tendencias centrales, magnitudes y rangos del grosor (a) y radio (b), en función de los estados ontogénicos de la población larval original y de los sobrevivientes (postlarvas y juveniles tempranos) de anchoveta en la zona norte de Chile. Los paneles (c) y (d) representan las misma síntesis, pero excluyendo la macro-zona de Taltal.....254**

**Figura 151. Ilustración de los cambios en las tendencias del grosor y radio promedio, en función de la población larval original y de los sobrevivientes (juveniles) de anchoveta en la zona norte de Chile. La línea de tendencia y las áreas a su alrededor, corresponde a un suavizamiento tipo “spline” y los intervalos de 95% de confianza del ajuste. ....255**

**Figura 152. Relación entre índices de potencial reproductivo y la captura anual a) Producción diaria de huevos ( $N^{\circ}/0.05 \text{ m}^2/\text{día}$ ), b) producción diaria de huevos expandida al área de desove, c) Densidad de huevos. D) Biomasa desovantes (t). ....259**

**Figura 153. Relación entre índices de potencial reproductivo y la captura annual, con desfase positivo de un año en la captura. ....259**

**Figura 154 Tasa de mortalidad diaria de huevos (%) estimadas en la aplicación del Método de Producción Diaria de Huevos.....260**

**Figura 155 Tiempo a la eclosión de acuerdo a la temperatura (Ecuación de Soto (2001)) de huevos de anchoveta en el norte de Chile (Círculos grises) y el porcentaje de sobrevivientes considerando una mortalidad diaria de  $0.0217 \text{ hora}^{-1}$ , la menor registrada en las campañas del MPDH.....260**

**Figura 156. Area de desove ( $\text{mn}^2$ ) (azul) y proporción del área de desove respecto del área cubierta por el crucero (rojo). ....261**

**Figura 157. Relación entre la proporción del área de desove respecto del área de crucero y las capturas totales del año .....261**

**Figura 158. Arriba: Relación entre el centro de gravedad de abundancia de huevos en latitud y longitud con la razón entre el área de desove y el área de cruceo(A(+)/A). Abajo: Capturas totales del año en función de los centros de gravedad. Todas las relaciones significativas ( $p < 0,05$ ).....262**

**Figura 159. Capturas observadas y estimadas por medio de los centros de gravedad. Año 2020 es una estimación del modelo ajustado hasta el 2019.....263**

**Figura 160. Distribución de frecuencia mensual de IGS. Base de datos agrupada. Area gris son valores observados. Línea continua y segmentada es ajuste de dos distribuciones gamma. ....264**

**Figura 161. (A): Distribución de frecuencia de IGS par las hembras clasificadas histológicamente como activas e inactivas. (B): Relación entre la proporción mensual de hembras inactivas por histología y la proporción de hembras con IGS menor o igual a 2. 265**

**Figura 162. Distribución de tallas (cm) de las hembras inactivas ( $IGS \leq 2$ ) y activas para el primer semestre. Se entrega la proporción de ejemplares maduros a la talla (Canales & Canales 2014). ....265**

**Figura 163. (A): Patrón mensual de largo plazo de la proporción de hembras Inactivas y el IGS promedio. (B): Patrón mensual de largo plazo de la proporción de hembras Inactivas y el IGS promedio para las hembras de talla menor o igual a 14 cm .....266**

**Figura 164. Relación entre la proporción de hembras con talla  $\leq 14$  cm LT e  $IGS \leq 2$  del primer trimestre y la captura del primer semestre. Línea punteada es ajuste de modelo exponencial (En gráfico). Derecha: Residuos. ....266**

**Figura 165. Capturas observadas y estimadas para el primer semestre.....266**

**Figura 166. Izquierda: Relación entre la captura del primer semestre y la captura anual, utilizada para estimar la captura anual a través de la captura semestral estimada. Derecha: Captura anual observada y estimada. ....267**

<b>Figura 167. Izquierda: Diámetro circular equivalente de vitelo de acuerdo con la edad (tiempo cero es eclosión) a temperaturas controladas de 14, 16, 18 y 20 °C.....</b>	<b>268</b>
<b>Figura 168. Ajuste de modelo lineal generalizado con binomial negativa para la estimación de producción diaria de huevos y mortalidad con y sin incorporar a las larvas con saco vitelino. Producción diaria de huevos en logaritmo natural. ....</b>	<b>269</b>
<b>Figura 169. Modelo conceptual que describe la relación entre la variabilidad de la surgencia, el ascenso/descenso de la Capa de Mínimo Oxígeno (CMO) y sus efectos sobre las interacciones entre el zooplancton gelatinoso y huevos y larvas de anchoveta. Los círculos representan los huevos de anchoveta (o larvas) y las cruces los depredadores. Durante surgencia activa se espera ascenso de la CMO y divergencia entre presas y depredadores, mientras que en condiciones de relajación se espera convergencia en la zona más somera de desove incrementando el riesgo de depredación (Extraído de Fuenzalida et al. 2009).....</b>	<b>275</b>
<b>Figura 170. Centros de gravedad de la distribución de huevos en cada año de aplicación del MPH. Diámetro de círculos es proporcional a la captura del año. Círculo azul es año 2020. ....</b>	<b>290</b>
<b>Figura 171. Figura que intenta explicar los cambios en los centros de gravedad junto con la abundancia. Flechas blancas representan el contingente que comienza a desovar, los nacidos en aguas chilenas y el ingreso desde el Perú. ....</b>	<b>290</b>
<b>Figura 172. Proporción de Folículos Postovulatorios en hembras con tallas inferiores a 12,5 cm en las hembras muestreadas al amparo del Método de Producción de huevos.....</b>	<b>292</b>
<b>Figura 173. Resumen esquemático de los principales resultados. Explicación en texto .....</b>	<b>294</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Composición del equipo profesional y técnico

ANEXO 2: Taller de presentación de resultados

# 1. INTRODUCCION

El sostenimiento de extremadamente grandes poblaciones de peces pelágicos por parte de los sistemas de surgencia costera (Roy 1998), ha promovido un gran interés científico en el marco de la comprensión de los mecanismos y factores que la determinan y que afectan su variabilidad. En este contexto, se reconoce la importancia de los procesos físicos de mesoescala y la combinación de factores químicos y biológicos que participan en el éxito del reclutamiento de los pequeños pelágicos. El conocimiento alcanzado ha permitido generar múltiples hipótesis que sugieren que el éxito de los primeros estadios de vida, que determinarían la fuerza del reclutamiento, depende de las características hidrográficas de las denominadas áreas de desove o zonas de retención (Cury & Pauly 2000).

El sistema de surgencia de la zona del norte de Chile (18°S-23°S) se caracteriza por la ocurrencia de eventos de surgencia durante todo el año, debido a la influencia de vientos débiles, pero persistentes, que fluyen en dirección al ecuador, y que generan afloramientos de mayor intensidad durante la época de primavera-verano y más débiles durante el otoño e invierno (Blanco *et al.*, 2001, Fuenzalida 1990). El ascenso de agua se encuentra confinado a una estrecha banda costera donde se mezclan el Agua Subantártica (ASAA), la cual se mueve hacia la costa, aproximadamente a 100 m de profundidad, bajo el Agua Superficial Subtropical (ASS) y sobre el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). La circulación del sistema incluye, además, débiles corrientes geostróficas superficiales, cercanas a la costa, que fluyen en dirección al ecuador, y una intensa corriente subsuperficial en dirección hacia el polo (Poleward Undercurrent) (Blanco *et al.* 2001, Montecino *et al.* 2006). En una escala inter-estacional, la región se encuentra influenciada por el paso hacia el polo de ondas atrapadas a la costa de origen ecuatorial, las cuales, con periodos entre 30 y 60 días, modifican la estructura vertical de la columna de agua, lo cual se evidencia por el ascenso o profundización de la termoclina y la nutriclina (Hormazabal *et al.* 2001, Montecino *et al.* 2006, Rutlland & Montecino 2002).

En la escala interanual, la región es afectada por eventos El Niño, que provoca la pérdida de la estructura física observada durante condiciones normales de surgencia, cambio asociado al ingreso a la zona costera de aguas cálidas oceánicas, que generan un ambiente extremadamente uniforme, tanto en la componente horizontal como vertical (Escribano *et al.* 2004b). Por otra parte, la profundización de la termoclina reduce el suministro de nutrientes a la zona eufótica, provocando

una disminución sustancial de la producción primaria y un impacto negativo en otros componentes del ecosistema (Barber & Chavez 1986).

Otra particularidad de la región, que lo distingue de otros sistemas de corriente de borde oriental, es la presencia de una extensa capa de mínima concentración de oxígeno (CMO) que exhibe una fuerte variabilidad en su distribución vertical y horizontal, en distintas escalas de tiempo y de espacio, asociada esencialmente a los cambios en intensidad y frecuencia de los eventos de surgencia (Morales *et al.* 1996a).

En la zona (18°S-23°S), el stock parental de anchoveta ha sido descrito como desovador múltiple con dos desoves mayores a lo largo del año, uno principal de invierno y otro secundario en verano (Hernández *et al.* 2013). La región sería óptima para la retención de larvas y juveniles debido a que la turbulencia y el transporte Ekman son mínimos, existiendo un patrón de circulación asociado a remolinos y frentes que favorecería su retención en la zona costera (Bernal 1990, Hormazabal *et al.* 2004, Morales *et al.* 1996b). La concentración de oxígeno disuelto también ha sido sugerida como un factor que define el volumen potencialmente habitado de los clupeidos. Altas abundancias de larvas de anchoveta han sido encontradas en un rango somero de profundidad que sugiere la ocurrencia de una barrera en la distribución vertical de las larvas determinada por una concentración de 0,75 mL/L (Morales *et al.* 1996a).

Dentro de esta extensa área de desove tres sitios han sido reportados como importantes, por presentar continuamente una mayor abundancia de huevos y larvas: Arica (18°S), el área adyacente a Chipana (21°S) y Mejillones (23°S) (Cubillos *et al.*, 2008). Dentro de éstos, la zona adyacente a Chipana (21°S-22°S) habitualmente presenta las mayores concentraciones de huevos y larvas de anchoveta durante el periodo de desove invernal (Claramunt *et al.* 1996, 1997, Morales *et al.* 1996a, Cubillos *et al.* 2008). Durante el invierno, los bajos niveles de surgencia en la zona costera se evidencian por un ambiente físico caracterizado por la existencia de débiles gradientes de temperatura superficial (Blanco *et al.* 2001, Morales *et al.* 1996b), por la presencia de estructuras frontales cercanas a las 15 millas náuticas (Fuenzalida 1992), por un sistema de circulación de remolinos costeros que puede favorecer la retención larval en la zona costera (Palma *et al.*, 2006), y por la profundización de la CMO (Morales *et al.*, 1996b; Santander *et al.*, 2003).

A las características físico-químicas de las áreas de desove, se agrega una alta productividad planctónica que puede ser continua a través del año (Ulloa *et al.* 2001). La comunidad fitoplanctónica, durante la época de invierno, no presenta una estructura diferente a la detectada en

otros periodos del año, debido al patrón de intensificación y relajación de los permanentes eventos de surgencia, que favorece el crecimiento y la concentración de microfitoplancton y de altas biomásas en la región costera (Morales *et al.*, 1996a, 2001; Montecino *et al.*, 2006). Una serie de estudios comparativos de climatología y geografía de conocidas áreas de desove, han servido para identificar tres principales clases de procesos físicos que se combinan para producir un favorable hábitat reproductivo para los peces pelágicos costeros: procesos de enriquecimiento (surgencia, mezcla, etc.), procesos de concentración (convergencias, frentes, estabilidad), y procesos que favorecen la retención dentro (o hacia) del hábitat apropiado. A estos tres elementos Bakun (1996) los llamó la “triada fundamental” (Agostini & Bakun 2002). Uno de los aspectos de la triada que ha sido ampliamente discutido, es el acoplamiento de los periodos de desove con estaciones de máxima producción, para asegurar la disponibilidad de alimento larval en el comienzo de la alimentación (Castro *et al.* 2000), principalmente porque la inanición constituye uno de los factores dominantes durante los estadios larvales tempranos (Pepin & Shears, 1995). Además del enfoque sobre la inanición, las hipótesis enfatizan la importancia de los factores abióticos como reguladores de la variación en la disponibilidad de alimento para las larvas, y así del reclutamiento, de tal forma que las estrategias reproductivas de los pequeños pelágicos estarían sincronizadas para minimizar el efecto detrimental del ambiente sobre la sobrevivencia larval (Roy 1998). Las especies de anchoveta de distintas regiones oceánicas utilizan una amplia variedad de ambientes como áreas de desove y crianza. No obstante, las diferentes especies parecen compartir un mismo patrón de conducta reproductiva, caracterizado por la habilidad para seleccionar áreas donde la sobrevivencia larval es aumentada por la presencia de altos niveles de alimento para las larvas, o de condiciones de turbulencia que promueven un aumento de la tasa de encuentro entre el alimento y las larvas (Castro *et al.* 2000).

Con relación a las descripciones acerca del alimento preferido por las larvas de anchoveta, éstas señalan que consumen organismos dentro un espectro de tamaño perteneciente a la fracción microplanctónica, y durante su periodo de primera alimentación su dieta incluye principalmente flagelados, larvas de moluscos y huevos de copépodos. Las larvas mayores a 20 días basan su dieta en presas más móviles, como los nauplios de copépodos o pequeños copépodos (Walsh *et al.* 1979, Herrera & Balbóltín 1983, Peterson & Wroblewski 1984; Hutchings *et al.* 1995; Muck *et al.* 1989, Valenzuela *et al.* 1995, Llanos *et al.* 1996, Llanos-Rivera *et al.* 2004) Las diatomeas formadoras de cadena sería la componente dominante que sostiene altos niveles de biomasa ( $> 5,0 \mu\text{g Cl-a/L}$ )

(Herrera & Escribano 2006; Santander *et al.* 2001, 2003) confinados a los primeros 50 km de la costa, lo que constituyendo un ambiente favorable para las larvas de clupeidos (Morales *et al.* 1996b).

Yañez-Rubio *et al.* (2011) encontraron que la composición alimentaria de larvas pequeñas de anchoveta de la zona centro-sur de Chile consumieron más fitoplancton y nauplios que copépodos, y que otros elementos se incorporan a la dieta a medida que las larvas aumentaban de tamaño. Al respecto, un aspecto importante en la alimentación de larvas es la selectividad del alimento, la cual está condicionada por el tamaño de la boca y la palatabilidad del depredador. El aporte nutricional depende la condición nutricional de la presa, su tamaño y su abundancia, entre otros factores (Hunter 1980, Valenzuela *et al.* 1995; Young & Davis 1990). Es así como el factor tamaño de la presa adquiere importancia, ya que a medida que la larva crece, selecciona presas de mayor tamaño, ampliando así su espectro trófico (Hunter 1981). No sólo la actividad natatoria y maniobrabilidad van a mejorar durante el crecimiento, también el tamaño de la boca aumentará y esto conlleva una mejora en la eficiencia predadora (Morote 2011). El tamaño de la boca predice el límite superior del tamaño de presa ingerida y explica algunas diferencias en la selectividad alimentaria entre especies (Schael *et al.*, 1991).

Junto con los factores relacionados con alimentación (calidad, cantidad) que potencialmente pueden afectar las tasas de mortalidad de larvas en el ambiente pelágico, la presencia de predadores puede ejercer un papel importante modificando la sobrevivencia de los estados tempranos de crecimiento ya sea mediante su efecto letal directo sobre el ictioplancton (depredación) así como al disminuir la abundancia de presas disponibles para las larvas.

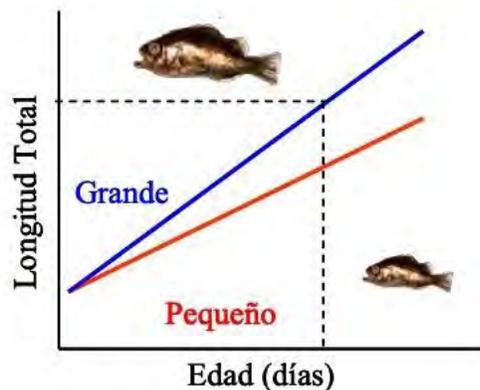
Estudios previos sobre la relación entre potenciales invertebrados predadores de ictioplancton en Chile son escasos. En la zona central de Chile, los pocos estudios realizados del tema sugieren que habría una limitada superposición de predadores gelatinosos y huevos y larvas de anchoveta en el periodo peak de la estación de desove, situación contrastante con lo observado al inicio y fin de la estación reproductiva invernal (Castro *et al.* 2000, Castro 2001). Estudios posteriores de mayor cobertura espacial utilizando los datos de un crucero de huevos de anchoveta en el marco del proyecto MPDH llegaron a conclusiones semejantes en el sentido de señalar una escasa superposición de predadores tanto gelatinosos como quitinosos con huevos de anchoveta (Méndez 2007). En la zona norte de Chile los estudios de superposición y/o depredación son aún más escasos. Sin embargo, observaciones de los investigadores de la zona señalan que durante la

estación reproductiva (a diferencia de la zona central de Chile), altas abundancias de gelatinosos ocurren en la costa durante el periodo de desove de la anchoveta (Claramunt com. pers.). Paralelamente, otros trabajos han documentado alta depredación de grupos zooplanctónicos gelatinosos (ctenóforos) sobre grupos taxonómicos que constituyen alimento de larvas de peces (copépodos pequeños) en la zona costera, lo que podría afectar la abundancia del alimento para las larvas (Pagés *et al.* 2001; Pavéz *et al.* 2006). Más recientemente, estudios mediante análisis inmunoquímicos sobre el efecto de depredadores planctónicos quitinosos (*Euphausia mucronata*) han demostrado que el impacto de la depredación sobre los huevos de anchoveta en la zona de desove del norte de Chile puede llegar a valores sobre el 25% de la mortalidad natural diaria durante la estación de desove (Krautz *et al.* 2007).

Con la intención de avanzar en el conocimiento de los factores que inciden en la mortalidad de huevos y larvas de anchoveta en la zona de desove norte de Chile, y en el marco del primer objetivo del proyecto FIP 2018-34, la presente investigación busca obtener una estimación de abundancia de potenciales predadores invertebrados de huevos y larvas de peces en la zona norte del país en dos estaciones del año contrastantes (invierno y verano), su sobreposición con la distribución de huevos y larvas de anchoveta en dos escalas espaciales (regional y local) y temporales (inter-estacional y inter-diaria) y la posible asociación entre predadores, huevos y larvas, y condiciones ambientales (temperatura y salinidad).

Varios estudios recientes han sugerido que existe una conexión entre crecimiento y mortalidad, la cual puede explicar la supervivencia de los estadios tempranos de peces teleósteos. Esta hipótesis planteada por Anderson (1988) sugiere que el crecimiento opera bajo la acción de tres mecanismos, los cuales no son necesariamente mutuamente excluyentes, pero que hacen del crecimiento un factor clave en determinar la supervivencia de la descendencia. El primero de estos mecanismos sugiere que si la mortalidad decrece funcionalmente con el tamaño del pez, entonces los individuos más grandes a cualquier edad definida tendrían menor probabilidad de mortalidad que aquellos más pequeños (bigger-is-better mechanism; Leggett & DeBlois 1994; **Figura 1**). El segundo establece que si la mortalidad es tamaño-dependiente, entonces tasas de crecimiento más rápidas podrían reducir el tiempo en el cual los individuos experimentan elevadas tasas de mortalidad. En otras palabras, una cohorte que exhibe tasas de crecimiento lentas, como resultado por ejemplo de una baja disponibilidad de alimento, o por efecto de estructuras o procesos ambientales desfavorables, puede tener un período larvario prolongado y una mortalidad acumulativa muy alta.

En contraste, los individuos de una cohorte que crecen rápidamente tienen un período larvario más corto y por ende una menor mortalidad acumulativa. Consecuentemente, aquellos individuos que crecen rápidamente tienen una mayor probabilidad de sobrevivir (growth-rate mechanism; Shepherd & Cushing, 1980). El tercer mecanismo sugiere que aquellos individuos que hacen las transiciones ontogenéticas (saco vitelino a primera alimentación, larva a juvenil) a edades más tempranas tienen una mayor probabilidad de sobrevivir y viceversa (“stage duration” mechanism; Chambers & Leggett 1987).



**Figura 1. Ilustración del mecanismo “bigger-is-better” donde individuos de una misma edad difieren en tamaño.**

Posteriormente, Takasuka *et al.* (2003; 2004ab) propusieron la hipótesis del “crecimiento selectivo”, en la que establecen que las larvas que crecen más rápidamente tienen más probabilidades de sobrevivir que aquellas de crecimiento lento, pero que este proceso puede estar mediado por el efecto de la depredación. En ciertos casos, algunos depredadores pueden preferir larvas de crecimiento lento y mal nutridas, pero en otros casos las larvas más grandes y robustas pueden ser fácilmente vistas por los depredadores (Takasuka *et al.* 2004b).

Los estudios efectuados hasta la fecha sugieren que efectivamente el crecimiento afecta la sobrevivencia, ya sea positivamente o negativamente. Desafortunadamente, muchos de los estudios efectuados hasta la fecha han estado restringido a escalas espaciales o temporales pequeñas. El patrón más común, sin embargo, parece ser la relación directa entre crecimiento y mortalidad, sobre todo cuando se han incorporado otolitos de juveniles en los análisis, para reconstruir los patrones de crecimiento larval (Plaza & Ishida 2008).

En esta propuesta se incluye, además, la implementación de un esquema de modelación biofísica de alta resolución para entender los procesos de transporte y advección desde una zona recurrente de desove de la anchoveta en el norte de Chile bajo escenarios ambientales contrastantes (El Niño, La Niña y Neutro), y un experimento de acoplamiento de la modelación con información de campo colectada en el marco de este mismo estudio (periodo 2018-2019). Al respecto, estudios recientes basados en modelación biofísica han contribuido a entender los patrones de transporte, retención y distribución de estadios tempranos de anchoveta, sardina común y jurel a través de la incorporación explícita de la variabilidad ambiental en el esquema de modelación (Parada *et al.* 2012, Soto-Mendoza *et al.* 2012, Vásquez *et al.* 2016, Vásquez *et al.* 2017). En estas contribuciones se ha entendido la modelación biofísica como el acoplamiento de un modelo hidrodinámico que simula los principales rasgos oceanográficos del sistema estudiado con un modelo basado en el individuo que incorpora información de la dinámica reproductiva y el comportamiento de estadios tempranos de desarrollo. Estas aproximaciones son altamente informativas para entender los procesos de pérdidas advectivas, la relación entre zonas de desove y crianza, el crecimiento temprano y finalmente los efectos de la variabilidad ambiental en la historia de vida temprana de las especies. La anchoveta se caracteriza por presentar un ciclo de vida corto, rápido crecimiento (Plaza *et al.* 2017), una alta tasa de mortalidad natural (Espíndola *et al.* 2016) y por estar marcadamente influenciadas por factores ambientales en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez *et al.* 2001). En este contexto, por su ubicación geográfica la zona norte está altamente influenciada por la dinámica ecuatorial y procesos atmosférico-oceanográficos tipo El Niño - La Niña, además de procesos de oscilación decadal y ondas atrapadas a la costa. Además, en esta zona ocurren procesos de surgencia y están presentes estructuras oceanográficas como giros de mesoescala (Hormazábal *et al.* 2004). Esta dinámica oceanográfica, influencia de manera importante la distribución espacial de los recursos y su abundancia a través de su historia de vida temprana que finalmente modula al reclutamiento (García 1993). Por otro lado, y paralelamente al ciclo anual, fluctuaciones en *timing*, duración o intensidad de la surgencia, como también la presencia de giros de mesoescala, podrían afectar la distribución de anchoveta y el transporte de huevos, larvas y juveniles de anchoveta (Bakun 2006). El entendimiento de las fluctuaciones de las variables climático-oceanográficas y biológicas que impactan en la sobrevivencia de estadios tempranos de pelágicos pequeños como anchoveta en la región norte de Chile, es uno de los mayores desafíos para comprender la dinámica del reclutamiento. Así mismo, existe una constante necesidad de generar estudios que incorporen la variabilidad ambiental de forma mecanística hacia el entendimiento de los procesos de

mortalidad temprana que influyen a las fluctuaciones en el tamaño del stock. En este contexto, el transporte (retención) de huevos y larvas desde el área de desove hacia (al interior de) las zonas de crianza constituyen un factor crítico que afecta la sobrevivencia larval y el subsecuente reclutamiento en peces pelágicos y modula la conectividad entre áreas de desoves y las probables áreas de reclutamiento (Hare & Cowen 1991, Nakata *et al.* 2000). En Chile, estudios recientes basados en modelación biofísica han contribuido a entender los patrones de transporte, retención y distribución de estadios tempranos de anchoveta, sardina común y jurel a través de la incorporación explícita de la variabilidad ambiental en el esquema de modelación (Parada *et al.* 2012, Soto-Mendoza *et al.* 2012, Vásquez *et al.* 2016, Vásquez *et al.* 2017). En estas contribuciones se ha entendido la modelación biofísica como el acoplamiento de un modelo hidrodinámico que simula los principales rasgos oceanográficos del sistema estudiado con un modelo basado en el individuo que incorpora información de la dinámica reproductiva y el comportamiento de estadios tempranos de desarrollo. Estas aproximaciones son informativas para entender los procesos de pérdidas advectivas, la relación entre zonas de desove y crianza, el crecimiento temprano y finalmente los efectos de la variabilidad ambiental en la historia de vida temprana de las especies.

## 2. OBJETIVOS

### Objetivo General

Aplicar un enfoque holístico para evaluar los factores asociados a la sobrevivencia en los estadios tempranos de anchoveta y su relación con los forzantes ambientales en áreas recurrentes de crianza entre las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.

### 2.1. Objetivos específicos

**2.1.1. Objetivo específico 1:** Caracterizar la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona

**2.1.2. Objetivo específico 2:** Analizar la selectividad de presas comparada con la oferta ambiental alimentaria, composición trófica e importancia relativa por rango de tallas, en las larvas (preflexión, flexión y postflexión) de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.

**2.1.3. Objetivo específico 3:** Caracterizar y estimar tasas de crecimiento y mortalidad larval en relación a la oferta ambiental alimentaria, fechas de nacimiento, forzantes ambientales, u otros factores que se identifiquen, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.

**2.1.4. Objetivo específico 4:** Proponer indicadores tempranos del éxito o fracaso de las clases anuales, condicionado a la variabilidad espacio temporal de la zona.

### 3. MATERIALES Y METODOS

El área de estudio correspondió entre las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta (18°S-23°S), cubriendo un periodo anual.

#### 3.1. Objetivo Específico 1. Caracterizar la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona

##### 3.1.1. Enfoques temporales

Para el cumplimiento de los objetivos, se diseñaron tres enfoques temporales, estacional, mensual y diario.

##### **Enfoque Estacional**

En la zona comprendida entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S), se realizaron dos cruceros bio-oceanográficos, el primero se llevó a cabo entre los días 26 y 31 de agosto de 2019, y el segundo entre el 28 de enero y 01 de febrero de 2020, coincidentes con el periodo de desove principal y secundario de la anchoveta respectivamente. Cubrieron de Arica a Mejillones con 5 transectas y 25 estaciones localizadas entre 1 y 40 mn de la costa. Se tomó muestras para oferta ambiental, selectividad alimentaria, predación, condiciones oceanográficas, tasas de crecimiento y mortalidad.

La grilla de trabajo estuvo conformada por cinco transectas perpendiculares a la costa, localizadas frente a Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S), Pabellón de Pica (20°55'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), cada una con estaciones de muestreo dispuestas a 1, 5, 10, 20 y 40 millas náuticas (mn) de la costa (**Figura 2**).

##### **Enfoque Mensual**

Con el objeto de intensificar temporalmente la variabilidad de las características oceanográficas y de la disponibilidad de alimento en las zonas recurrentes de desove de anchoveta, en las localidades de Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se realizaron muestreos mensuales entre febrero de 2019 y enero de 2020 con 3 estaciones en Arica y 3 en Mejillones, ubicadas a 1, 3 y 5 mn. Se tomaron muestras para oferta ambiental y condiciones oceanográficas (**Figura 3**).

## **Enfoque Diario**

Con el objetivo de asociar los cambios en las condiciones oceanográficas y oferta ambiental de alimento a la variabilidad diaria de las cohortes de huevos y larvas de anchovetas, en el sector de Chipana (21°20'S) se llevaron a cabo muestreos diarios durante la época de invierno de 2019 y verano de 2020, empleando el mismo criterio de cubrir los periodos de desove principal y secundario de la anchoveta respectivamente.

En invierno se trabajó entre los días 9 y 14 de septiembre de 2019 y en verano entre los días 15 y 24 de enero de 2020. La obtención de información bio-oceanográfica se realizó en estaciones cuya localización dependió del hallazgo de estadios tempranos registrados mediante un muestreo prospectivo diario (**Figura 4**, Tabla 1). Se tomaron muestras para oferta ambiental, selectividad alimentaria, predación, condiciones oceanográficas, tasas de crecimiento y mortalidad.

### **3.1.2. Muestreo**

Durante los cruceros estacionales y el muestreo diario, en cada estación de las grillas descritas, se obtuvieron perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto desde la superficie hasta una profundidad máxima de 150 m (de acuerdo con la batimetría de cada punto de muestreo) utilizando un CTDO SeaBird19V2.

En los muestreos mensuales, se obtuvieron perfiles de temperatura y salinidad utilizando un CTD Minos AML Oceanographic. Para el análisis del oxígeno disuelto y biomasa fitoplanctónica se realizaron muestreos discretos a 0, 5, 10, 25 y 50 m de profundidad (según la batimetría de la estación), con botellas Niskin de 5 L de capacidad.

La caracterización de la oferta alimenticia incluyó el microfitoplancton y el microzooplancton. En los muestreos de todas las escala espacio-temporales descritas, se obtuvieron muestras de agua, utilizando botellas oceanográficas Niskin de 5 L de capacidad, desde las profundidades de 0, 5, 10, 25 y 50 m (según la batimetría de la estación). Una submuestra de 250 mL fue fijada con una solución lugol-acético 1% y se destinó a la identificación y recuento del microfitoplancton. Simultáneamente se extrajeron 100 mL para la determinación de la biomasa fitoplanctónica. Para el microzooplancton, se filtraron 5 litros de agua a través de un tamiz de 20  $\mu\text{m}$ , y el material retenido fue depositado en frascos de 250 mL y fijado con una solución de lugol-acético 1%.

### 3.1.3. Análisis de muestras

El análisis del oxígeno disuelto fue realizado según la modificación de Carpenter (1965) para el método de Winkler (Parsons *et al.* 1984).

La identificación de grupos y especies y la determinación de la abundancia del microfitoplancton y microzooplancton, se realizó mediante microscopía invertida, utilizando literatura especializada y siguiendo la metodología de Sournia (1978), Villafañe & Reid (1995) y Boltovskoy (1981; 1999) respectivamente. Para determinar el espectro de tamaños se midieron los individuos solitarios y en cadena según Hillebrand *et al.* (1999). La biomasa fitoplanctónica, expresada en términos de la concentración de clorofila-a, fue determinada de acuerdo con el método fluorométrico descrito en Parsons *et al.* (1984).

### 3.1.4. Análisis de la información

La información de las variables físicas, químicas y biológicas fue analizada mediante gráficos de distribución horizontal y/o vertical, confeccionados utilizando el programa Ocean Data View (ODV) (Schlitzer 2018).

Para caracterizar el escenario ambiental imperante, se identificaron las masas de agua mediante la confección de pares T-S. Se estimó la estabilidad de la columna de agua, a través de la frecuencia de Brunt-Väisälä, y la profundidad del límite superior de la CMO (LS\_CMO), considerando aquella en la cual la concentración de oxígeno disuelto (OD) fue de 1,0 mL/L, utilizando el programa ODV (Schlitzer 2018).

Con la finalidad de estimar la intensidad de la surgencia, con la información de vientos horarios de los aeropuertos de Arica, Iquique y Antofagasta, proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile, se calculó el transporte de Ekman de acuerdo con la siguiente función:

$$M_x = \frac{\tau_y}{f}$$

donde  $M_x$  es el Transporte Ekman ( $m^3/s/km$ ),  $f$  es el parámetro de Coriolis y  $\tau_y$  es el estrés del viento (Bowden, 1983).

Los grupos, géneros y especies de microfitoplancton y microzooplancton identificados, se presentan en tablas donde se incluye su abundancia máxima, aporte porcentual al total, y tamaño promedio. Para efectos del análisis estadístico la información de la abundancia obtenida por

estación fue integrada entre la superficie y los 25 m de profundidad según lo propuesto por Hasle (1969).

### 3.1.5. Análisis estadístico

El enfoque del análisis estadístico estuvo en la oferta ambiental alimenticia, que potencialmente está disponible para los estadios tempranos de anchoveta, bajo las tres escalas espacio-temporales definidas para el objetivo 1. Estas tres plataformas generaron diferentes  $n$  muestrales, como se muestra en la siguiente tabla, que resume la información relacionada al  $n$  muestral para las diversas plataformas de análisis.

Escala	Localidad	Época	No estaciones	No muestreos	$n$ muestral
Estacional	Entre Arica y Mejillones	Invierno y verano	20	2	40
Mensual	Arica y Mejillones	Anual, cada mes	6	12	72
Diaria	Chipana	Invierno y verano	1	19	19

Para realizar el análisis estadístico, se reunió toda la información en una sola base de datos. La razón por la cual no se analizaron los periodos por separado radicó principalmente en el bajo número de datos generados en la escala diaria: 9 para el periodo de invierno y 10 para el verano.

Para evaluar las potenciales relaciones entre la oferta ambiental (microfitoplancton y microzooplancton) con las variables físicas y químicas se utilizaron modelos aditivos generalizados (GAMs). Para tal efecto, la abundancia de huevos y larvas de anchoveta correspondieron a las variables respuestas. Las variables independientes o predictoras para incorporar en los modelos fueron la abundancia de los grupos microplanctónicos y la biomasa fitoplanctónica, las que se integraron entre la superficie y los 25 m de profundidad y se transformaron a logaritmo natural. En el caso de microzooplancton, se trabajó con aquellos que exhibieron las mayores abundancias. Para la realización de los GAM, se utilizó el programa R, en su versión R-Studio, y las librerías “mgcv” y “tidyverse”, las que seleccionan en forma automática el modelo, utilizando el Método de Validación Cruzada General (GCV), además se utilizaron los suavizadores multidimensionales (Wood 2017).

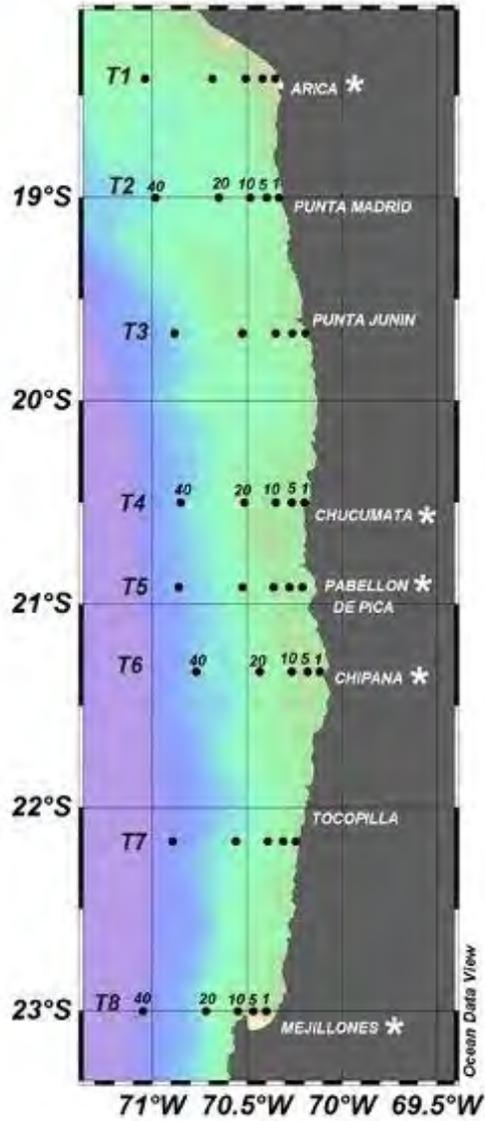


Figura 2. Área de estudio y localización de las estaciones bio-oceanográficas (localidades con asterisco) para la caracterización estacional de la oferta ambiental de alimento en zona recurrentes de desove de anchoveta.

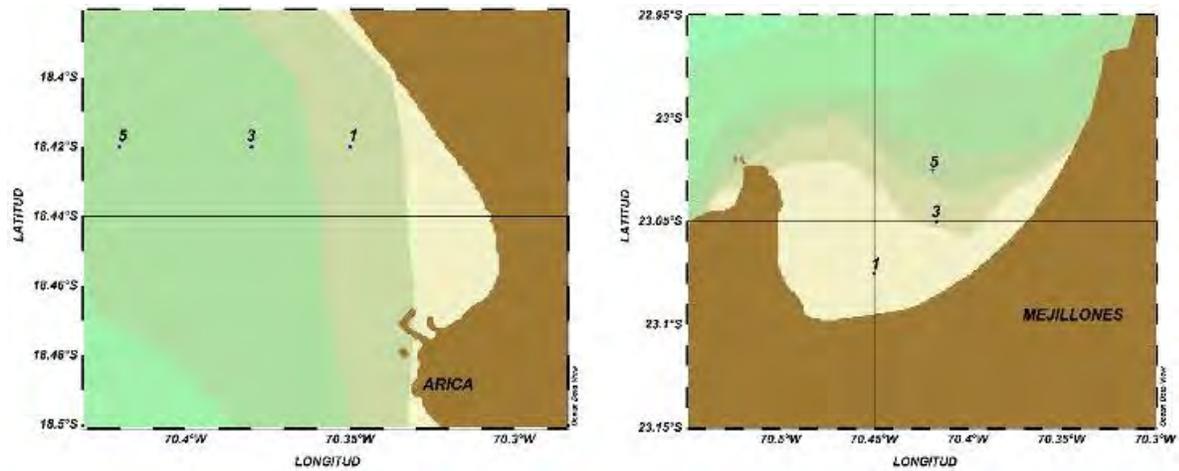


Figura 3. Estaciones de muestreo mensual en las localidades de Arica (18°25') (panel izquierdo) y Mejillones (23°00'S) (panel derecho).

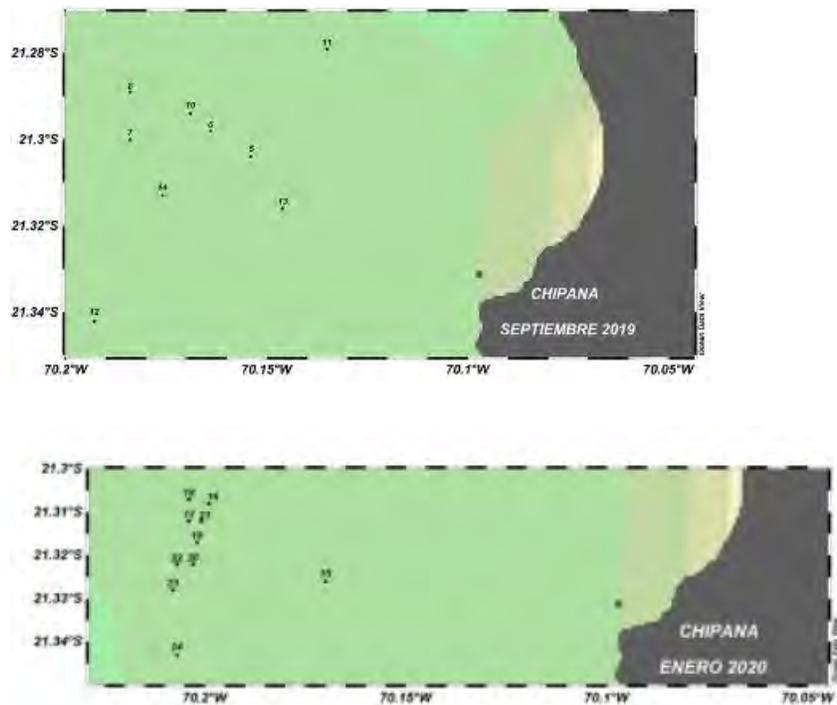


Figura 4. Estaciones de muestreo diario en Chipana (21°20'S) durante el periodo de invierno de 2019 (panel superior) y verano de 2020 (panel inferior). Los números corresponden al día del muestreo.

**Tabla 1. Fecha y localización de las estaciones de los muestreos diarios realizados durante el periodo de invierno de 2019 y de verano de 2020.**

PERIODO	FECHA	LATITUD	LONGITUD
INVIERNO	05-09-2019	21°18'	70°09'
	06-09-2019	21°18'	70°10'
	07-09-2019	21°18'	70°11'
	08-09-2019	21°17'	70°11'
	10-09-2019	21°18'	70°10'
	11-09-2019	21°17'	70°08'
	12-09-2019	21°21'	70°12'
	13-09-2019	21°19'	70°09'
	14-09-2019	21°19'	70°11'
	15-01-2020	21°20'	70°10'
	16-01-2020	21°18'	70°12'
	17-01-2020	21°19'	70°12'
	18-01-2020	21°18'	70°12'
	19-01-2020	21°19'	70°12'
20-01-2020	21°19'	70°12'	
21-01-2020	21°19'	70°12'	
22-01-2020	21°19'	70°12'	
23-01-2020	21°20'	70°12'	
24-01-2020	21°21'	70°12'	

### 3.1.6. Predación por zooplancton

Con el fin de describir la composición y abundancia de potenciales depredadores invertebrados de los estadios tempranos de anchoveta en el norte de Chile, desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Antofagasta, se desarrollaron dos cruceros estacionales desde 18°25'S a 23°00'S. El primer crucero, se ejecutó en invierno (desde el 26 al 28 de agosto de 2019) y el segundo se desarrolló en verano (entre el 28 y 31 de enero y el 1 de febrero de 2020). En cada crucero, se realizaron un total de 20 estaciones con una red WP-2 (muestreo vertical, 300 µm trama) desde 50 profundidad a superficie (**Figura 2**).

Muestras de zooplancton también fueron colectadas en los muestreos diarios realizados en Bahía Chipana con una red Bongo (muestreo oblicuo) en invierno (entre los días 5 y 14 de septiembre de 2019) y en verano (desde el 15 al 24 de enero de 2020). Para efectos del presente informe, sin

embargo, se contó con una muestra por día de muestreo totalizando 9 y 10 muestras por estación del año, respectivamente (**Figura 4**).

### **3.1.6.1 Análisis de laboratorio**

Las muestras de zooplancton, tanto de los cruceros diarios como de los estacionales de invierno y verano, fueron analizadas bajo lupa estereoscópica identificándose hasta grupos taxonómicos mayores. Los grupos numéricamente dominantes, se clasificaron hasta el nivel más bajo posible. Además, se realizó una clasificación basada en la composición corporal del zooplancton, diferenciándose dos grupos zooplanctónicos, los potenciales depredadores quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, anfípodos, *Sergestes sp.*) y los potenciales depredadores gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos). El ictioplancton fue identificado, cuantificándose posteriormente los huevos y larvas de anchoveta obtenidos en los cruceros.

### **3.1.6.2 Determinar la composición y abundancia de los potenciales depredadores (zooplancton) sobre los estadios tempranos de anchoveta en la zona norte de Chile**

En los cruceros diarios y estacionales de invierno y verano se calculó la abundancia promedio de cada grupo taxonómico (ej. medusas, ctenóforos, eufáusidos, etc.) y cada grupo funcional (gelatinosos, quitinosos) en todas las estaciones (presentados en tablas).

### **3.1.6.3 Describir la distribución de los principales grupos depredadores zooplanctónicos en la zona norte de Chile**

Las abundancias y distribución de los grupos de invertebrados depredadores dominantes (zoeas, megalopas, eufáusidos, anfípodos, medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos), obtenidos de las muestras de los cruceros estacional de ambos periodos fueron representados en mapas horizontales con círculos de distinto tamaño, los cuales indican las abundancias por grupo y estación.

### 3.1.6.4 Describir y comparar la distribución de huevos y larvas de anchoveta con los grupos funcionales (quitinosos y gelatinosos) en la zona norte de Chile

La información se presentó mediante dos vías: **a)** En los cruceros estacionales, la distribución de los estadios tempranos de anchoveta fue representada en mapas horizontales, sobreponiendo la abundancia de anchoveta (círculos escalonados) a mapas de abundancia de los grupos funcionales (quitinosos y gelatinosos), y **b)** En los cruceros diarios, la abundancia de los grupos funcionales (quitinosos y gelatinosos) y la abundancia de huevos y larvas de anchoveta, se presentaron en histogramas.

En los cruceros estacionales de invierno (2019) y verano (2020), las potenciales asociaciones de los huevos y larvas de anchoveta respecto a la presencia de predadores de los grupos quitinosos y gelatinosos, se evaluaron a través de Modelos aditivos generalizados (GAMs).

El modelo aditivo generalizado se presenta de la siguiente forma general:

$$Y = B_0 + \sum_i^n f(X_i) + \varepsilon$$

Donde Y es la variable respuesta,  $B_0$  es el intercepto, f es un suavizador,  $X_i$  es el predictor y  $\varepsilon$ , es el error aleatorio. El análisis de los GAM se realizó con el programa R (Copyright (C) 2007, The R Foundation for Statistical Computing, version 3.3.3, <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). Las variables predictoras que se incorporaron al modelo fueron los grupos quitinosos y gelatinosos determinados a partir de los cruceros de invierno (2019) y de verano (2020) (**Tabla 2**).

Mediante las salidas de los modelos se obtuvieron, las figuras que representan el efecto del predictor sobre la densidad de huevos y larvas. También a través de las salidas, se adquirieron los rangos de las variables predictoras que presentan un efecto positivo en la abundancia de huevos y larvas de anchoveta para ambos periodos (cruceros de invierno 2019 y verano 2020)..

Las variables predictoras que se incorporaron al modelo fueron los grupos quitinosos y gelatinosos (Tabla 2), obteniéndose a través de las salidas de los modelos, los rangos de las variables

predictoras que presentan un efecto positivo en la abundancia de huevos y larvas de anchoveta para ambos periodos.

**Tabla 2. Parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs) para invierno 2019 y verano 2020.**

Tipo	Parámetro	Unidad	Crucero estacional
Respuesta	Abundancia de huevos y larvas de anchoveta	ind/10m <sup>2</sup>	Invierno (2019) y verano (2020)
Predictor	Quitinosos (Q)	ind/10m <sup>2</sup>	Invierno (2019) y verano (2020)
	Gelatinosos (G)	ind/10m <sup>2</sup>	Invierno (2019) y verano (2020)

### 3.1.6.5 Describir la posible asociación de los estadios tempranos de anchoveta (huevos y larvas) y los grupos funcionales (quitinosos y gelatinosos) con las variables ambientales

**Cruceros diarios y estacionales de invierno y verano:** La abundancia de huevos y larvas de anchoveta y grupos funcionales (círculos escalados de abundancia) fue superpuesta a los diagramas T-S. Para esto, se identificaron los rangos de temperatura y salinidad donde se distribuyen las mayores abundancias de los estadios tempranos de anchoveta y grupos funcionales. Los valores de temperatura y salinidad que se utilizarán en este análisis provienen de 10m de profundidad.

Para la confección de mapas horizontales, histogramas y diagramas de los grupos funcionales de predadores del meso-zooplankton y los estadios tempranos de anchoveta (huevos y larvas) obtenidos en los cruceros (estacional y diario) tanto del invierno como verano, se utilizaron los programas Surfer (versión 10), Ocean Data View (ODV, versión 5.3) y Sigma Plot (versión 10).

### 3.1.6.6 Análisis estadísticos

Se aplicó la prueba *Kolmogorov-Smirnov* con la *corrección de Lilliefors* a los valores de abundancia tanto para huevos y larvas de anchoveta, así como para el zooplankton (grupo quitinoso y gelatinoso) con el objetivo de determinar si los requerimientos de normalidad (homocedasticidad) se cumplían. Luego de estos análisis, se determinó que los datos no cumplieron con los requisitos paramétricos. Como consecuencia, se aplicó la prueba *Kruskal-Wallis* (KW) y la prueba *de*

*Friedman* (Fr), comparando los valores de abundancia y distribución de huevos y larvas de anchoveta, con la presencia de quitinosos y gelatinosos, tanto por crucero (diario y estacional), por año y entre años.

### **3.2 Objetivo específico 2: Analizar la selectividad de presas comparada con la oferta ambiental alimentaria, composición trófica e importancia relativa por rango de tallas, en las larvas (pre flexión, flexión y postflexión) de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.**

#### **3.2.1 Análisis de contenido intestinal**

Las larvas para el análisis del contenido intestinal fueron colectadas en los muestreos de mesozooplankton realizados en el crucero bio-oceanográfico estacionales de invierno y verano. Así como de los muestreos intensivos en invierno y verano que se realizaron en Bahía Chipana (21°30' S), zona adyacente al Río Loa, por ser considerado uno de los tres sitios reportados como importantes áreas de desove de anchoveta por presentar permanentemente altas abundancia de huevos y larvas de anchoveta (Claramunt *et al.* 1996; 1997). Las muestras de zooplankton fueron fijadas con formalina al 5% neutralizada con bórax para su posterior análisis (ver metodología en objetivo 1).

Junto con tomar muestras de mesozooplankton, se tomaron muestras de agua, en el crucero estacional como en los muestreos diarios de Bahía Chipana, para obtener la fracción microfita y microzooplankton con la finalidad identificar y estimar las abundancias y espectro de tamaños de las posibles presas potenciales disponibles en el medio (ver metodología en Objetivo 1).

#### **3.2.2 Trabajo de laboratorio**

En el laboratorio, el ictioplankton fue separado del zooplankton utilizando un estereomicroscopio Leica S6D conectado con una cámara Mshot modelo MD90 y el software Mshot Image system 1.0, seleccionando solamente las larvas no vitelinas con la boca abierta y los ojos completamente pigmentados, característica que indica que los ojos son completamente funcionales y da inicio a la primera alimentación larval (Muck *et al.* 1989, Azocar 2006). A cada larva bien preservada se les registró la longitud total (longitud notocordal o longitud estándar, LT) y ancho de la boca (distancia máxima entre bordes laterales de la boca, AB), bajo un estereomicroscopio Leica S6D conectado

con una cámara Mshot modelo MD90 y el software Mshot Image system 1.0, con la finalidad de tener posteriormente relaciones entre el ancho de la boca, ancho de las partículas alimenticias con la longitud larval.

Los grupos, abundancia y espectro de tamaños del zooplancton se determinó utilizando el software ZooImage (Grosjean *et al.* 2004). El análisis de la fracción microfito y microzooplancton con la finalidad de identificar y estimar las abundancias y espectro de tamaños de las posibles presas disponibles en el medio, se describe en el Objetivo Específico 1 del presente Informe.

Se diseccionó el intestino entero de cada larva, bajo un microscopio, con finas agujas entomológicas, colocándolo en un portaobjeto con una solución de glicerina y agua destilada, el cual facilita la disección y clarifica la muestra permitiendo la visualización de las partículas alimenticias (Watson & Davis 1989, Yañez-Rubio *et al.* 2011).

Las partículas de alimento en el intestino se identificaron hasta el taxón más bajo posible y hasta donde el estado de digestión de ellas lo permitió, y fotografiado con una cámara fotográfica digital Canon EOS Rebel T5 conectada a un microscopio Zeiss Scope.A1. A cada ítem presa se le midió el ancho corporal máximo (a lo largo de la sección transversal más ancha de cada presa, AMP) y la longitud total (LTP) utilizando el software Image J.

El volumen de cada ítem presa (VP, mm<sup>3</sup>) se estimó usando la forma tridimensional que más se asemeje a la presa, según la metodología propuesta por Cass-Calay (2003) y Sun & Liu (2003) y aplicada en los ítems presas de larvas de anchoveta por Yañez-Rubio *et al.* (2011) y Landaeta *et al.* (2014). Se consideró registrar la longitud del prosoma de copepoditos presas ya que el urosoma tiende a faltar en el ejemplar (Landaeta *et al.* 2014).

### **3.2.3 Análisis de datos**

En la medida que las abundancias relativas de larvas a diferentes longitudes lo permitieron, las larvas fueron separadas en tres intervalos de talla (preflexión, flexión y postflexión) considerando que a los 3,8 mm de longitud notocordal tienen totalmente absorbido el vitelo (Orellana & Balbontín 1983). Esto permitió evaluar las variaciones en la dieta y la selectividad con el tamaño larval.

En los análisis se utilizaron todas las larvas con presas identificables en sus intestinos. Para determinar y cuantificar las relaciones entre las variables longitud larval (LT, mm), ancho máximo de la boca (AB, mm) y ancho máximo de la presa (AMP,  $\mu\text{m}$ ), se utilizaron correlaciones, regresiones lineales y no lineales (Valenzuela *et al.* 1995, Llanos *et al.* 1996, Morote *et al.* 2011, Landaeta *et al.* 2014). Comparaciones de las relaciones morfométricas y pendientes se hicieron con ANOVA de una vía (Landaeta *et al.* 2014).

La incidencia alimentaria (IA) se calculó como un porcentaje del número total de larvas examinadas con al menos una presa en su intestino (Sassa & Kawaguchi 2004), este valor obtendrá el 100% para el caso en que todos los individuos presenten contenido intestinal (Balbontín *et al.* 1997).

La composición de la dieta se describió usando los descriptores cuantitativos propuestos por (Hyslop 1980), siendo estos el porcentaje de frecuencia de ocurrencia (% F) de un ítem presa que aparece en el total de larvas con alimento en sus intestinos, el porcentaje del número (% N) de un ítem presa en el total de presas identificadas y el porcentaje de volumen (% V) que muestra la proporción entre el volumen del ítem alimentario y el volumen total de todo los ítems presas. La importancia relativa de cada presa en la dieta se calculó con el índice de importancia relativa (IIR), donde  $IIR = (\% N + \% V) \times \% F$ . Para permitir las comparaciones entre los ítems presas, el IIR fue estandarizado a % IIR para cada ítem presa  $i$  (Cortés 1997).

Se comparó la frecuencia en número de los grupos taxonómicos presentes en la dieta por estado de desarrollo larval mediante una tabla de contingencia y su significancia estadística se evaluó mediante el estadígrafo Chi-cuadrado (Zar 1984, Cass-Calay 2003)

El grado de similitud dietaria por estados de desarrollo larval entre estaciones, se determinó con el Índice de Similitud (IS) de Bray-Curtis, (Bloom, 1981). El criterio de enlace fue el de pares no ponderados, utilizando promedios aritméticos (UPGMA). Los rangos de IS varían de 0 (sin presas en común) y 1 (superposición completa, 100%). El análisis de similitud se realizó con el programa PAST (Hammer *et al.* 2001). La significancia de la similitud trófica y como criterio de separación de grupos se usó el valor de similitud  $\geq 60\%$  (Zaret & Rand 1971, Wallace 1981).

El análisis de selectividad de presas fue calculado utilizando el índice alfa,  $\alpha_i$  (Chesson 1978), cuya expresión es:

$$\alpha_i = \frac{\left(\frac{r_i}{p_i}\right)}{\sum_{i=1}^m \frac{r_i}{p_i}}$$

dónde  $\alpha_i$  es la selectividad,  $m$  es el número de ítems presa en los estómagos de la especie de depredador considerada,  $(r_i/p_i)$  es la proporción de la presa  $i$  en la dieta ( $r_i$ ) y en el plancton ( $p_i$ ), y  $\sum(r_i/p_i)$  es la suma de esta proporción para todos los taxa presa involucrados. Los valores de este índice varían entre 0 y 1, siendo más selectivo con una presa cuanto mayor sea el  $\alpha_i$ . Valores del índice mayores al valor límite  $1/\alpha$  indican una selección positiva, siendo  $\alpha$  el número total de potenciales presas. Se consideraron los 3 ítems presas más comunes ingeridos con el objetivo de focalizar el estudio de preferencia de presas sobre aquellos grupos que más contribuyeron a la dieta larval, más que en la preferencia absoluta de presa (Govoni *et al.* 1986, Morote *et al.* 2011). Este índice incorpora las abundancias relativas de las presas, por lo que no se ve afectado por la abundancia total de las presas (Lechowicz 1982).

La selectividad de presas fue calculada para larvas individuales por tipo de presa para las dos clases de tamaño larval (preflexión y flexión) y por estaciones (invierno - verano) (Llanos-Rivera *et al.* 2004, Morote *et al.* 2010, Landaeta *et al.* 2014).

### 3.2.4 Experimentos de incubación de larvas

#### 3.2.5 Diseño de muestreo

Los huevos de anchoveta fueron obtenidos del medio ambiente en la zona norte, realizándose hasta la fecha 3 muestreos (14 y 20 de agosto y 10 de septiembre del 2019), en las tres fechas se encontraron huevos de anchoveta viables disponibles para incubación y posterior cultivo en un sistema de producción semi-intensivo también llamado “mesocosmo”.

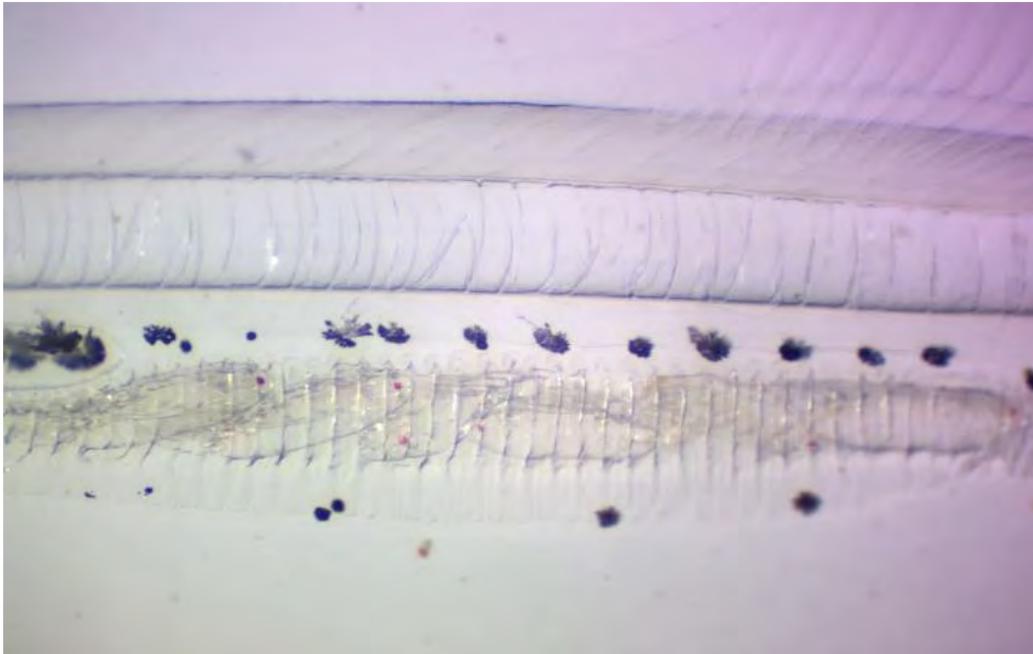
Los dos primeros experimentos fueron realizados con muestras de huevos obtenidas frente a la costa en la Bahía de Iquique, mientras que un tercer muestreo fue realizado con huevos obtenidos de bahía Chipana, comprendida entre los 21° 15'S y 21° 21'S; ubicada a 120 km. al sur de la ciudad de Iquique. Para todos los casos se realizó un arrastre oblicuo entre las 0,5 mn y 2 mn de distancia de la costa y desde los 30 m hacia la superficie con red Tucker (300  $\mu$ m de malla), con la finalidad de optimizar la obtención de la mayor cantidad de huevos.

Las muestras fueron almacenadas en contenedores manteniendo la temperatura del medio ambiente y fueron llevadas al laboratorio en el menor tiempo posible para su separación. Luego los huevos fueron transferidos a una cámara de incubación, en donde se depositaron en estanques cónicos de 0,7 m de diámetro, con una capacidad de 80 l, con un sistema semi-intensivo artificial el cual reproduce un entorno natural mediante el enriquecimiento de nitratos y fosfatos, además se adiciona agua del medio ambiente prefiltrada a un caudal bajo de 15 l min<sup>-1</sup> para compensar la evaporación. Para mejorar el fitoplancton natural y el crecimiento de zooplancton, se agregan microalgas diariamente.

La calidad de agua utilizada en este período de desarrollo de los huevos es esencial, por lo que se filtró a través de un set de filtros de agua Cuno (5, 10, 15 y 20 µm) y esterilizada con radiación ultravioleta con equipo QL-4. Se efectuaron controles periódicos de temperatura y pH, de acuerdo con los óptimos establecidos previamente en el laboratorio.

Paralelamente se tomaron muestras de agua del mesocosmo para cuantificar el tipo de alimento de las larvas. Se cuantificó el fitoplancton se obteniendo muestras del sistema semiintensivo que fueron fijadas y almacenadas en la oscuridad para el análisis posterior del fitoplancton en el laboratorio. Simultáneamente para el análisis de microplancton presente en el sistema, se pre-filtró una muestra con un filtro de 150 µm y otro de 37 µm quedándonos con la muestra retenida en las 37 µm la cual fue fijada con formalina al 5% y almacenada para su posterior análisis.

Una vez que las larvas hubieron absorbido completamente el vitelo y con el ojo completamente pigmentado, lo que corresponde al estado de pre-flexión se comenzó a obtener larvas para su posterior análisis del contenido intestinal. En el mejor de los casos se obtienen larvas con contenido estomacal (**Figura 5**).



**Figura 5. Larva en postflexión con copéodos en su intestino.**

Número de larvas y estadio por experimento se entregan en **Tabla 3**, **Tabla 4** y **Tabla 5**.

**Tabla 3. Experimento N°1 sobre selectividad alimentaria en larvas de anchoveta. Huevos obtenidos de Bahía Iquique.**

FECHA INICIO INCUBACIÓN 14-ago-19		
FECHA	N° LARVAS	ESTADIO
19-08-2019	23	PREFLEXIÓN
20-08-2019	29	PREFLEXIÓN
21-08-2019	7	PREFLEXIÓN
22-08-2019	11	PREFLEXIÓN
23-08-2019	6	PREFLEXIÓN

**Tabla 4. Experimento N°2 sobre selectividad alimentaria en larvas de anchoveta. Huevos obtenidos de Bahía Iquique.**

FECHA INICIO INCUBACIÓN 24-ago-19		
FECHA	N° LARVAS	ESTADIO
27-08-2019	32	PREFLEXIÓN
29-08-2019	12	PREFLEXIÓN

**Tabla 5. Experimento N°3 sobre selectividad alimentaria en larvas de anchoveta. Huevos obtenidos de Bahía Chipana.**

FECHA INICIO INCUBACIÓN 13-oct-19		
FECHA	N° LARVAS	ESTADIO
16-09-2019	5	PREFLEXIÓN
22-09-2019	3	PREFLEXIÓN
27-09-2019	1	PREFLEXIÓN
07-10-2019	2	FLEXION
14-10-2019	2	FLEXION
14-10-2019	1	POSTFLEXION
16-10-2019	1	POSTFLEXION
22-10-2019	3	POSTFLEXION

### 3.2.5 Análisis cruceros previos. Alimentación

Para los fines que se persiguen en este proyecto, se ponen a disposición muestras colectadas en el pico reproductivo del año 2018 al amparo de un proyecto FONDECYT 1161131 (Investigador responsable: Dr Leonardo Castro, UdeC). Se realizaron tres cruceros frente Bahía Iquique a bordo de la lancha de investigación “Antares” durante los meses de julio, agosto y septiembre del 2018. En cada crucero se realizaron muestreos diurno y nocturno de 3 días consecutivos. El muestreo consistió en un lanzamiento vertical de un CTD Seabird SBE-19 desde la superficie hasta 60 m de profundidad para caracterizar la estructura vertical de temperatura, salinidad y densidad de la columna de agua. Se tomaron 2 muestras de agua de mar a 0, 5, 10 y 30 m de profundidad con una botella oceanográfica Niskin de 5 L. También se realizaron 3 arrastres oblicuos con una red Tucker de 1 m<sup>2</sup> de área de boca y 300 µm de malla, equipada con un flujómetro “General Oceanics” para determinar el volumen de agua filtrado, cada una a 0-10 m; 10-20 m y 20-30 m de profundidad. El

agua de mar colectada por las botellas Niskin se filtraron en su volumen total, a través de un tamiz de 20  $\mu\text{m}$  de abertura de malla y el material concentrado fue trasvasiado a un frasco de 250 ml y fijado con una solución de lugol-acético 1% más formalina neutralizada al 4%. También se obtuvieron 250 ml para la determinación de la abundancia de fitoplancton las cuales fueron fijadas con 1 ml de lugol-acético 1%. El zooplancton capturado por la red Tucker fue fijado con formalina 5%, neutralizado con bórax y se almacenaron en botellas de plástico de 1L. Este conjunto de muestreo se repitió 6 veces, durante el día (3 veces) y la noche (3 veces), para garantizar la presencia de alimentos en el tracto digestivo.

### **3.3 Objetivo específico 3: Caracterizar y estimar tasas de crecimiento y mortalidad larval en relación a la oferta ambiental alimentaria, fechas de nacimiento, forzantes ambientales, u otros factores que se identifiquen, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona**

#### **3.3.1 Crecimiento y mortalidad**

Las muestras provienen del muestreo intensivo durante la estación de invierno y verano en la Bahía de Chipana, área de desove reconocido como uno de los sitios importante por presentar permanentemente altas abundancia de huevos y larvas de anchoveta (Claramunt *et al.* 1996, 1997). Este muestreo tuvo un carácter de intensivo y adaptativo que demandó estar muestreando en la zona por 9 días en invierno (5 al 14 de septiembre 2019, excepto el día 9 por temporal de viento) y 10 días en verano (15 al 24 enero 2020). La información de las estaciones se especifica en el Objetivo específico N°1.

Las muestras se colectaron mediante arrastre oblicuo con una red Bongo de 60 cm diámetro, equipada con malla de 300 micrones y flujómetro TSK para estimar el volumen de agua filtrada. Inicialmente las muestras fueron fijadas formalina al 5% tamponada con borato de sodio y luego de 24 h fueron traspasadas a alcohol 96%.

### 3.3.1.1 Estimación de tasas de crecimiento y mortalidad

Los métodos usados para estimar la tasa instantánea de mortalidad ( $Z$ ) en larvas de peces se basan en el análisis de curvas de captura, análogo a los estudios en adultos (Vetter 1988), es decir, en la cuantificación del descenso en la abundancia, ya sea relativa o absoluta durante dos o más períodos sucesivos de tiempo, en la que se distinguen grupos sobre la base de alguna característica que los identifiquen, por ejemplo talla, edad, sexo, localización y tiempo de captura o alguna marca identificable. Essig & Cole (1986) indican que en la estimación de  $Z$  en larvas se han utilizado tradicionalmente dos métodos, (1) El método de la frecuencia de longitud transformada (FLT), que corresponde al empleo de una ecuación de crecimiento para convertir la distribución de frecuencia de longitudes a una distribución de frecuencia de edades; y (2) El método de la declinación de la captura por unidad de esfuerzo, en el que se grafica la abundancia relativa o absoluta a través del tiempo.

En todos los casos, los supuestos que se deben cumplir para asegurar estimadores insesgados de la tasa instantánea de mortalidad son, según Hewitt *et al.* (1985), Lough *et al.* (1985) y Essig y Cole (1986), los siguientes:

- 1) Población estacionaria, es decir, ausencia de transporte fuera de la zona de muestreo y una producción constante de nuevas larvas (excepto para el caso de la declinación de la captura por unidad de esfuerzo);
- 2) Muestreos insesgados: precisión en el sentido que los aparatos de muestreos no sean selectivos, para ello se debe minimizar la extrusión, por parte de las larvas más pequeñas, y la evasión de la red, por las larvas de mayor tamaño;
- 3) Precisión en la determinación de la edad y en la estimación de las curvas de crecimiento;
- 4) Que la tasa de mortalidad sea constante con la edad;
- 5) Que las cohortes iniciales de larvas se recluten al arte de muestreo a la misma talla;
- 6) Que todos los grupos de edad (en días) analizados sean igualmente vulnerables al arte de muestreo.

Essig & Cole (1986) empleando las metodologías descritas anteriormente en larvas de *Alosa pseudoharengus*, demuestran que las estimaciones de las tasas instantáneas de mortalidad, para el período muestreado, no difieren significativamente entre ellas; pero, si encuentran diferencias al

estimar la mortalidad por medio de los dos métodos que utilizan la información de los otolitos, al considerar solamente muestras de una estación.

Las metodologías antes comentadas difieren en cuanto al tipo de información que utilizan y al tratamiento de los datos, por lo que el tiempo, personal y costo en cada una de ellas no será el mismo. Recomendaciones de Hewitt (1982) y Lough *et al.* (1985) plantean que la mortalidad en larvas de peces se describe mejor cuando es función de la edad (método de la frecuencia de longitud transformada), principalmente porque es posible separar las distintas cohortes de larvas, al no verse afectado por problemas de manipulación, tales como la abrasión en la red y al líquido fijador, esto ocurre cuando se utiliza solo la longitud; el método requiere extraer, montar y leer los microincrementos de los otolitos de las larvas, suponiendo que son diarios. Por lo tanto, en el presente estudio se estimó la mortalidad en larvas de anchoveta mediante el método de frecuencia de longitud transformada.

### **3.3.1.2 Método de la Frecuencia de Longitud Transformada (FLT)**

Consiste en transformar la marca de clase de cada intervalo de longitud a edad en días (Essig & Cole 1986, Leak & Houde 1987). En el laboratorio las larvas fueron separadas, identificadas y contadas. La identificación se realizó de acuerdo con Orellana & Balbontín (1983). A las larvas de anchoveta se les midió la longitud estándar (0,01 mm)(LE) bajo un estereomicroscopio y se les extrajeron los otolitos *sagittae* para luego montarlos sobre portaobjeto con resina epóxica. La edad en días se estimó por el conteo del número de microincrementos presentes en los otolitos, el conteo y la medición del radio del otolito (RO)(0,1  $\mu$ m) se realizó en fotografías tomadas en un microscopio compuesto Zeiss modelo Axio Scope.A1 a 40X y 100X. Se leyeron dos veces cada uno, los otolitos que no eran legibles se descartaron (Lough *et al.* 1982), la edad final correspondió al número de microincrementos más 2 debido a que el primer microincremento lo estaría formando dos días después de la absorción del saco vitelino (Hernández & Castro 2000). Para comprobar las hipótesis nulas, que las lecturas realizadas dos veces en un mismo otolito son iguales, se aplicó la prueba estadística no paramétrico de rango signado de Wilcoxon.

### 3.3.1.3 Ajuste modelos crecimiento

El modelo ajustado a la información de edad en días y longitud estándar fue el lineal para ambas estaciones:

$$t = a' + b' LE$$

Además, se ajustó el modelo estándar de la longitud con respecto la edad.

$$LE = a + bt$$

Donde:  $LE$ : longitud estándar (mm) al tiempo  $t$ ;  $t$ : tiempo en días;  $a'$  y  $a$ : intercepto al origen (mm y día, respectivamente);  $b'$  y  $b$ : pendiente de la curva (día/mm y mm/día, respectivamente).

Se comparó mediante una prueba t (Zar 1984) las pendientes de ambas estaciones para determinar diferencias significativas en la tasa de crecimiento ( $LE/t$ ).

### 3.3.1.4 Fecha de nacimiento

Se estimaron las fechas de nacimiento para las larvas capturadas en los dos periodos de muestreo, restando la edad en días a la fecha de captura. Con ello se construyeron distribuciones de frecuencia.

### 3.3.1.5 Índice del tamaño relativo del otolito (ITRO)

Se ajustó un modelo potencial a la relación  $LE$  versus  $RO$ , los residuos del radio del otolito (*i.e.* valor observado del  $RO$  menos el estimado) se consideró como un proxy del tamaño relativo del otolito (ITRO) a un mismo tamaño de la larva (Takasuka *et al.* 2008). Un valor de ITRO positivo indica que el tamaño del otolito de una larva es grande en relación con el de los conespecíficos del mismo tamaño somático. Para examinar el efecto de las tasas de crecimiento somático sobre las relaciones de tamaño somático y de otolitos (efecto de crecimiento), se calculó la tasa de crecimiento media desde la eclosión hasta el momento de la captura (mm/día) dividiendo la  $LE$  al momento de la captura menos la  $LE$  al momento de la eclosión dividido por la edad en días.

### 3.3.1.6 Tasa crecimiento - LE

Para probar el mecanismo “más grande es mejor” (Houde 1987) se relacionaron la tasa de crecimiento media versus la LE de la larva (Takasuka *et al.* 2017), se ajustaron a dichas variables modelos lineales.

Con el fin de determinar la variabilidad independiente de la edad en el tamaño del otolito y somático, se relacionaron estas variables con respecto a la edad. Los residuos de estas relaciones se utilizaron para analizar la cantidad de variabilidad, es decir, una larva con residuo positivo en la relación LE versus la edad, representa que es grande para su edad, igualmente un residuo positivo en la relación RO versus edad representa una larva con un otolito grande para su edad. Si no hubiera variabilidad en la relación tamaño del otolito y tamaño de la larva, entonces los residuos deberían estar perfectamente correlacionados (Hare & Cowen 1995).

Para examinar los efectos de la tasa de crecimiento, se utilizó un enfoque similar al análisis de la variabilidad independiente de la edad. El tamaño de los otolitos y la edad de las larvas se modelaron con respecto a la longitud de las larvas. Una larva de crecimiento rápido tendrá un residuo negativo; es decir, será joven para su tamaño. Si las larvas crecen rápido y tienen otolitos pequeños, entonces los residuos de la edad versus tamaño de la larva estarán correlacionados positivamente, demostrándose así un efecto de la tasa de crecimiento en la relación tamaño del otolito - tamaño de la larva (Hare & Cowen 1995, 1997).

### 3.3.1.7 Distribución estandarizada de Frecuencia de Longitud por estación

Se construyó una distribución de frecuencia de longitud por clase de talla de 1 mm de las capturas diarias con la red bongo y se estandarizaron estas capturas, por clase de talla, en número a una unidad de área estándar de 10 m<sup>2</sup> de superficie de mar utilizando la ecuación propuesta por Smith & Richardson (1979):

$$N_{jL} = \frac{n_{jL}z_j}{v_j} * 10$$

Donde,  $N_{jL}$  : número de larvas de longitud  $L$  en el día  $j$  bajo un área estándar de 10 m<sup>2</sup> de superficie de mar;  $n_{jL}$ : captura de larvas de clase de longitud  $L$  en el día  $j$ ;  $z_j$ : profundidad máxima del lance (m);  $v_j$ : volumen de agua filtrada por la red (m<sup>3</sup>).

### 3.3.1.8 Estimación de la Producción Larval Diaria por Edad y la mortalidad

La producción diaria de larvas se define como la abundancia de larvas (10 mt<sup>2</sup>) de una clase de talla dividida por la duración del crecimiento en esa clase de talla, la cual se expresa como número de larvas/10 mt<sup>2</sup>\*día. El procedimiento que se siguió fue (Watanabe & Lo 1989):

$$G = \frac{LE - L_0}{t}$$

$G$ : tasa de crecimiento instantánea;  $LE$ : máxima longitud de la larva considerada en el ajuste del modelo de crecimiento;  $L_0$ : longitud mínima de la larva considerada en el ajuste del modelo;  $t$ : tiempo para crecer desde  $L_0$  a  $LE$ .

$$D_{LE} = \frac{LE_s - LE_i}{G}$$

$D_{LE}$ : duración de la clase de talla  $LE$  (días);  $LE_s$ : límite superior de la clase de talla  $LE$ ;  $LE_i$ : límite inferior de la clase de talla  $LE$ ;  $G$ : definido anteriormente.

Las abundancias estimadas por clase de talla se corrigieron por la duración respectiva (DLE), con el fin de estimar el número de larvas presente en cada edad promedio. La corrección se realizó dividiendo las abundancias estimadas en cada clase de talla por la duración en días.

La tasa instantánea de mortalidad se calculó a través del ajuste por mínimos cuadrados no lineal de la ecuación:

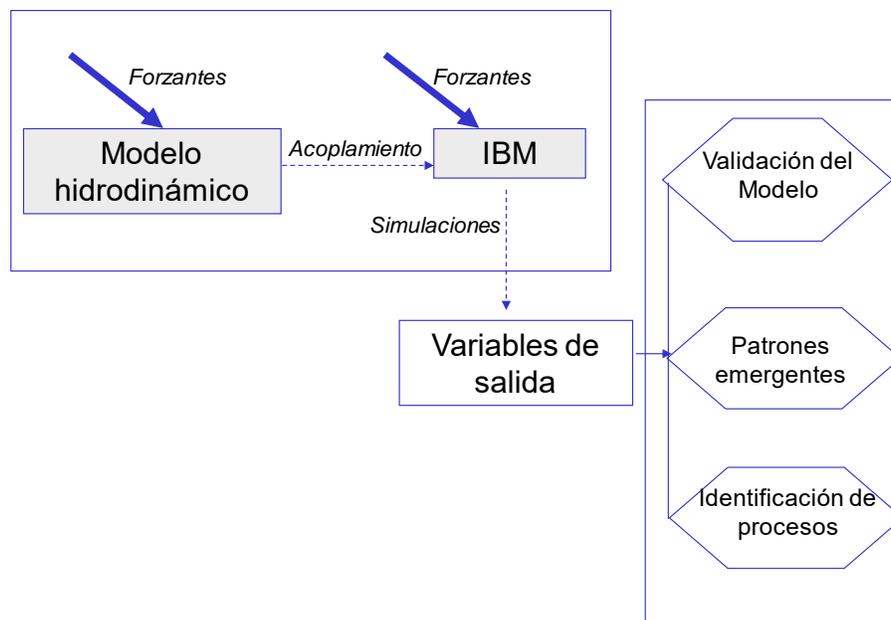
$$N_t = N_0 e^{-Zt}$$

Donde,  $N_t$ : producción diaria de larvas a la edad  $t$ ;  $N_0$ : producción larval diaria a la eclosión;  $Z$  = tasa instantánea de mortalidad;  $t$ : edad en días desde la eclosión.

### 3.3.2 Aproximación a través de Modelación biofísica

Un sistema biofísico para el estudio de la historia de vida temprana de la anchoveta comprende un modelo hidrodinámico que se acopla a un modelo biológico basado en el individuo (IBM) que incorpora aspectos relacionados con el desove de anchoveta (stock reproductor) y aspectos relacionados con el comportamiento individual de huevos y larvas (estadios tempranos de desarrollo). Este modelo acoplado permite conocer la historia de vida de cada uno de los individuos

modelados (desde huevo a juvenil) y en conjunto generar indicadores poblacionales de retención, sobrevivencia, advección, conectividad, entre otros (**Figura 6**). En consecuencia, se propuso la generación de un modelo de alta resolución espacial para el sector costero del extremo norte de Chile que permita evaluar los procesos de dispersión de huevos y larvas de anchoveta, desde áreas recurrentes de desove, para periodos de alternancia atmosférica y oceanográfica, además de evaluar dicho proceso para el año de realización de los cruceros de evaluación biológica propuestos en este proyecto (año 2019). El foco de esta aproximación es la estimación de las pérdidas advectivas como fuente de mortalidad/sobrevivencia de estadios tempranos de anchoveta

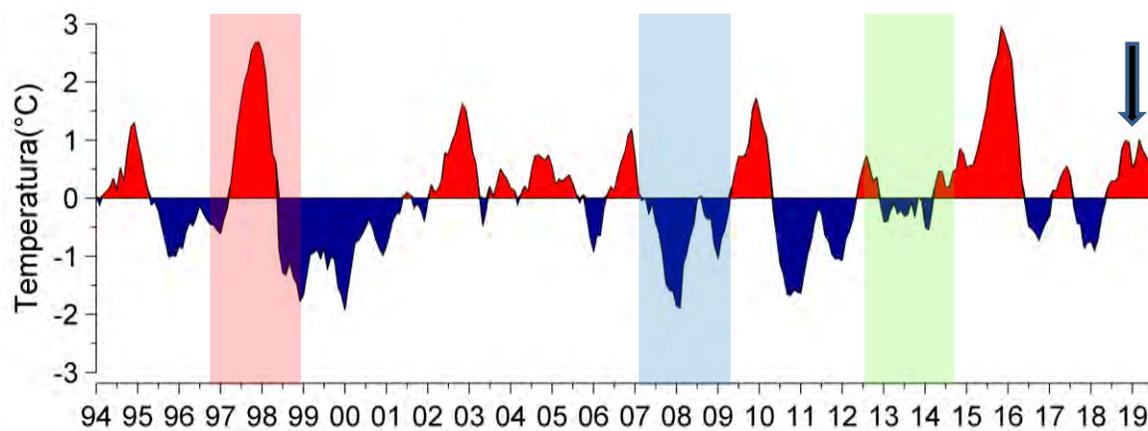


**Figura 6. Esquema de trabajo para el estudio de la historia de vida temprana de anchoveta bajo un enfoque de modelación biofísica.**

### 3.3.2.1 Selección de periodos de estudio

Considerando que el área de estudio, por su ubicación geográfica es modulada por la dinámica ecuatorial a través de procesos atmosférico-oceanográficos tipo El Niño - La Niña, se propuso evaluar el proceso de desove/retención-advección para cuatro periodos específicos: i) un año dominado por El Niño; ii) un año de dinámica neutra; iii) un año dominado por La Niña, y; iv) el año de muestreo biológico 2019. La **Figura 7** muestra las anomalías de El Niño en la región ecuatorial 3-4, destacando los periodos propuestos para la evaluación biofísica: i) El Niño 1997; ii)

La Niña 2007; iii) Período neutro 2013; iv) Período de muestreo específico 2019, el cual muestra anomalías positivas y señales de ejecutarse bajo una fase El Niño positiva, pero débil.



**Figura 7. Anomalías de la señal El Niño en la región ecuatorial 3-4 indicando los periodos propuestos para la modelación biofísica: El Niño (rojo), La Niña (azul), Neutro (verde). La flecha muestra el periodo de muestreo considerado en el proyecto.**

### 3.3.2.2 Modelación hidrodinámica

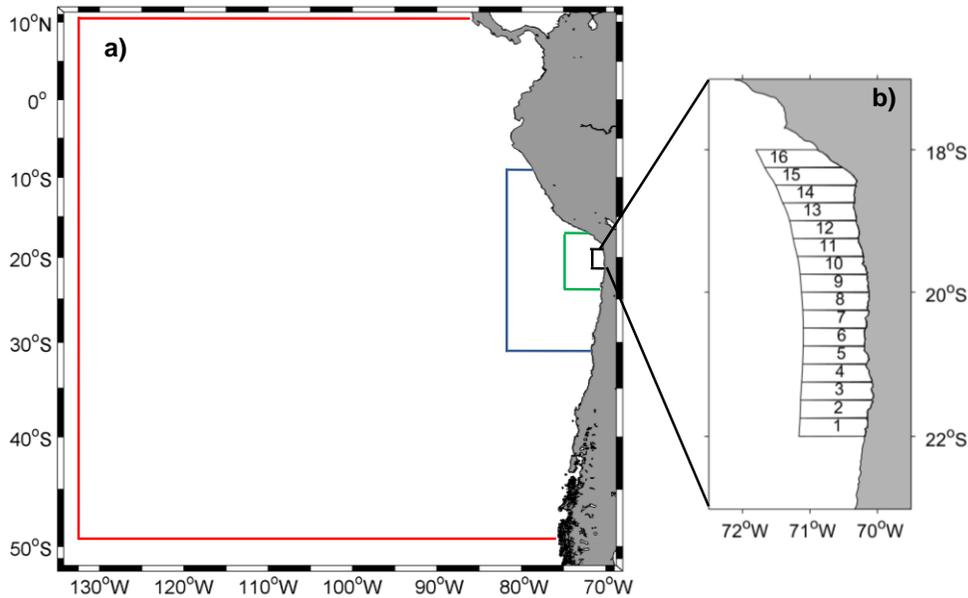
El modelo hidrodinámico utilizado en la modelación biofísica constituye una componente principal de esta aproximación, pues las condiciones que experimentan los individuos modelados en cada paso de tiempo (ubicación espacial, condiciones físicas del ambiente, etc.) son producto de la interacción del comportamiento individual (movimiento, migración vertical, etc.) con el modelo hidrodinámico que simula el ambiente oceánico donde habita, en este caso, la anchoveta. En consecuencia, es necesario contar con un modelo hidrodinámico que represente los principales rasgos del sistema oceanográfico donde se ha desarrollado el estudio. En este proyecto se utilizó el modelo regional ROMS (Regional OceanModelSystem) detalles del modelo se encuentran en Shchepetkin & McWilliams (2003) y Shchepetkin & McWilliams (2005). Específicamente se utilizó la versión ROMS\_AGRIF v3.0 desarrollada por el IRD en Francia ([www.romsagrif.org](http://www.romsagrif.org)).

El modelo ROMS resuelve las ecuaciones primitivas de la hidrodinámica numéricamente, almacenando la información de las variables requeridas, para cada paso de tiempo y durante todo el periodo que se desea modelar. ROMS ha sido ampliamente utilizado por la comunidad científica para realizar estudios de circulación del océano. El modelo resuelve la circulación asociada al

hábitat de los sitios de desove y desarrollo temprano de la anchoveta utilizando un modelo regionalizado. La modelación mediante ROMS consta de varias etapas, para este proyecto en particular destaca la realización de un anidamiento *off-line* de dominios mediante el método *roms2roms* (Mason *et al.*, 2010), el cual ha permitido obtener a partir de un dominio amplio (en general llamado dominio padre), dominios acotados de mayor resolución espacial (en general llamados dominios hijos). Para este proyecto, se contó con un modelo dominio padre de 10 km de resolución horizontal, que comprende parte del Pacífico suroriental, y un dominio hijo (denominado hijo\_1) de 3 km de resolución, que comprende el norte de Chile y sur de Perú, sin embargo, para dar respuesta a este proyecto y siguiendo las sugerencias de Vásquez *et al.* (2019) se realizó un segundo anidamiento de alta resolución sobre el dominio hijo\_1, denominado dominio hijo\_2 de 1 km de resolución focalizado en el extremo norte de Chile. Primero se describe la configuración general de los modelos hidrodinámico (MH) dominio padre y dominio hijo\_1 y luego la configuración más detallada que tendrá el dominio hijo\_2 enfocado y orientado a este proyecto.

### **3.3.2.3 Configuración del MH padre y dominio hijo\_1.**

Previo a la ejecución de este proyecto, se contó con un MH padre de 10 km de resolución, el cual abarca el periodo 1993-2016. Parte importante de la modelación asociada a este proyecto ha sido extender este periodo hasta el año 2019. El dominio padre comprended desde los 10°N hasta los 50°S y desde los 68°W hasta los 132°W (**Figura 8**). Posee 32 niveles verticales, niveles que se distribuyen de manera más densa en la superficie.



**Figura 8. a) Dominios de modelos hidrodinámicos generados: recuadro color rojo representa el dominio padre del modelo ROMS con resolución espacial de 10 km, el recuadro azul corresponde al dominio hijo 1 con resolución espacial de ~3 km y el recuadro verde al dominio hijo 2 de ~1 km, el cual es utilizado para acoplamiento biofísico; b) zonas de liberación de huevos en el esquema de modelación biofísica.**

Las condiciones iniciales y de borde que utilizó este MH padre corresponden al producto global ECCO Kalman Filter, los forzantes atmosféricos utilizados fueron NCEP2, el cual fue mejorado mediante un proceso de incorporación de climatologías de mejor calidad para las variables tales como esfuerzo del viento y flujo de calor (Cambon *et al.* 2013). Por otro lado, el MH padre no incorporó el forzante marea y la batimetría del fondo marino provino del producto ETOPO2.

El dominio hijo\_1 anidado del MH padre, comprende desde los 8°S hasta los 31°S y desde los 68°W hasta los 82°W (Figura 8). Los forzantes atmosféricos se obtuvieron mediante interpolación de los forzantes NCEP2 mejorados utilizados por el MH padre, con una resolución temporal diaria y resolución espacial de 3 km. El dominio hijo\_1 tiene 32 niveles verticales e incluyó las mareas provenientes del modelo global TPXO7. Las condiciones de borde e iniciales para el MH hijo\_1 se obtuvieron del proceso de anidamiento *off-linerosm2roms* explicado previamente (Mason *et al.* 2010). El MH hijo\_1 incluyó la descarga de agua dulce a través del caudal medio mensual provenientes del río Loa.

### 3.3.2.3 Configuración del MH dominio hijo\_2

El dominio hijo\_2 comprendió desde los 15°S hasta los 29°S y desde los 68°W hasta los 80°W (**Figura 8**). La modelación tuvo una resolución temporal diaria y resolución espacial de 1 km. El dominio hijo\_2 cuenta con 32 niveles verticales e incluye las mareas provenientes del modelo global TPXO7. El MH hijo\_2 utilizó condiciones de borde e iniciales provenientes del MH dominio hijo\_1 mediante el proceso de anidamiento *off-line* rosm2roms explicado anteriormente (Mason *et al.*, 2010). Los forzantes atmosféricos se obtuvieron mediante interpolación de los forzantes NCEP2 mejorados utilizados por el MH hijo\_1. El MH hijo\_2 incluyó la descarga de agua dulce a través del caudal medio mensual provenientes del río Loa. Se utilizaron dos productos para la batimetría del fondo marino, ETOPO2 y GEBCO, este último producto posee una resolución de 30 segundos de arco, que permitió resolver la plataforma marina del norte de Chile.

### 3.3.2.4 Descripción de las variables de salida

Los archivos del MH hijo\_2 están en formato NetCDF. Estos resultados fueron procesados para el diagnóstico del modelo. Las salidas del MH hijo\_2 fueron utilizadas en la modelación biofísica. Las variables de las salidas del MH hijo\_2 corresponden a dos tipos, las salidas “his” (históricas) las cuales tienen resolución diaria, estas son: Temperatura, Salinidad, Corrientes U y V a diferentes profundidades y Nivel del mar. Por otro lado, existen las variables “avg” (promedios) que corresponden a un promedio mensual para cada una de las variables anteriores.

### 3.3.2.5 Modelación biofísica

El modelo biofísico se implementó en la plataforma de acoplamiento ICHTHYOP (Lett *et al.* 2008, <http://www.ichthyop.org/>) que es un software libre desarrollado para el estudio de transporte de estados tempranos de peces, y estudio del efecto de factores físicos (temperatura, densidad, corrientes) y biológicos (flotabilidad, crecimiento, etc) en la historia de vida de estos organismos con foco hacia la dinámica del reclutamiento. El modelo biofísico permitió simular la historia de vida temprana de anchoveta a través de una modelación basada en el individuo (IBM) que incorporó la historia de vida de cada organismo a través del concepto de programación objeto orientado, donde el ambiente físico experimentado por cada individuo está caracterizado por las variables físicas heredadas desde el modelo hidrodinámico. Los individuos modelados están

caracterizados por variables de estado a nivel del individuo. Estas variables de estado corresponden a edad (días), estado (huevo, larva con saco vitelino, larva en estado de alimentación), posición (latitud, longitud, profundidad), y estatus de sobrevivencia, entre otras.

Las simulaciones para cada año seleccionado consistieron en el seguimiento de las posiciones y propiedades (variables de estado) de las partículas simuladas (huevos y larvas de anchoveta) a pasos de tiempo discretos (subdiarios) y durante toda la simulación. Se inicializa el modelo de acuerdo con las condiciones de desove predefinidas. En cada paso de tiempo cada individuo se mueve, crece (experimenta en el tiempo una serie de estadios) y evalúa su estado de mortalidad y reclutamiento. Las variables ambientales acopladas al modelo biofísico son actualizadas cada paso de tiempo en función de la frecuencia a la que las salidas de las configuraciones del modelo hidrodinámico son almacenadas.

Las salidas del modelo están caracterizadas por las variables de estado de cada uno de los individuos modelados y sus condiciones ambientales. Para cada paso de tiempo se evaluó la edad, estadio de desarrollo, longitud, estado de sobrevivencia, longitud, latitud, profundidad, áreas geográficas (en zona de desove, de reclutamiento, zonas de advección, etc). En base a las simulaciones, se modelaron procesos de transporte con foco en la advección fuera de la costa, considerada como fuente de mortalidad de estadios tempranos de desarrollo de anchoveta.

Finalmente, los productos generados fueron i) trayectoria de dispersión de los individuos modelados; ii) distribución espacial de pre-reclutas de anchoveta generados desde la zona de desove evaluada; iii) indicadores de pérdidas advectivas bajo distintos escenarios climáticos; iv) identificación de diferencias en la retención/advección para distintos periodos evaluados. La configuración de las simulaciones de modelación biofísica se presenta en la **Tabla 6** y la zona de liberación se detalla en la **Figura 6**.

**Tabla 6. Configuración, constantes y parámetros de control del esquema de modelación biofísica para evaluar transporte y retención de estadios tempranos de anchoveta en el norte de Chile.**

Constantes	Definición
Duración del desove	Desove continuo para cada año modelado
Duración del transporte	El periodo de simulación es de 60 días desde la fecha de desove
Número de individuos modelados	12.000 por cada pulso de desove
Temperatura letal para huevos	Mortalidad para temperatura bajo 8,5 y sobre 29,5°C
Temperatura letal para larvas	Mortalidad para temperatura bajo 11,5 y sobre 27°C
Hora de desove	El desove se asume ocurre a medianoche
Número de simulaciones	219
<hr/>	
Parámetros de control	
Área de desove	Área delimitada por las primeras 40 mn desde la costa: 18°S - 22°S
Año de simulación	Modelo con variabilidad interanual derivado del ROMS 1 km: 1997, 2007, 2013 y 2019
Pulso de desove	Desoves ocurren cada 5 días, siendo la misma cantidad de individuos liberados en cada simulación
Profundidad de desove	Distribución uniforme entre 5 - 15 metros de profundidad
Migración vertical	Flotabilidad positiva para huevos. Esquema de migración diurno-nocturna entre 0-60 metros con modelo sigmoide talla dependiente para larvas
Crecimiento	Esquema temperatura-dependiente con información derivada de experimentos

En particular, el submodelo de crecimiento incorpora un esquema de crecimiento lineal derivado de parámetros ajustados utilizando datos provenientes de desarrollo experimental (ver Vásquez *et al.*, 2019 para detalles) que permite generar un esquema de crecimiento temperatura-dependiente derivado de Regner (1985). Así, para una temperatura ambiental  $T_{ind} = T(x_{ind}, y_{ind}, z_{ind}, t)$ , los cambios en el tamaño individual ( $l_{ind}$ ) a lo largo del paso de tiempo  $\Delta t$  se establecen de acuerdo a:

$$\Delta G = l_{ind}(t + \Delta t) - l_{ind}(t) + g_{ind}(T_{ind})\Delta t$$

donde la tasa de crecimiento individual  $g$  es definida por la relación entre la temperatura y las tasas de crecimiento obtenida bajo condiciones experimentales de desarrollo larval y el  $PLD_{ind}$  es definido por el tiempo requerido para crecer desde el tamaño a la eclosión  $l_{ind}(t_{inicial}) = 2,48$  mm, a  $l_{ind}(30) =$  talla a los 30 días de edad.

### 3.3.2.6 Índice de sobrevivencia larval basado en modelación biofísica

El transporte/retención de huevos y larvas desde el área de desove hacia/en las zonas de crianza constituyen un factor crítico que afecta la sobrevivencia larval y el subsecuente reclutamiento en peces pelágicos modulando la conectividad entre áreas de desoves y las probables áreas de reclutamiento (Hare & Cowen 1991, Nakata *et al.* 2000). Lo anterior es de mayor relevancia en sistemas donde las zonas de crianza están restringidas espacialmente o donde las condiciones ambientales de estas regiones tienen cambios interanuales fuertes. En general, las zonas de crianza son definidas por la ocurrencia de condiciones ambientales propicias para el crecimiento y la sobrevivencia, que generalmente incluyen áreas cerradas como bahías o mares interiores, áreas asociadas con la retención, como giros anticiclónicos u otras regiones de circulación convergente, áreas de mezcla mareal de las plataformas continentales y regiones frontales (Anderson 1988). En la zona norte de Chile, niveles de mayor retención han sido identificados en el sector costero entre 20° y 24°S donde condiciones de bajo estrés de viento generan menor advección costa-afuera y donde estructuras de meso y submesoescala de dinámica estacionaria contribuyen a la retención local (Vásquez *et al.*, 2019). Al mismo tiempo, en esta región se ha identificado que niveles de alta biomasa fitoplanctónica ( $>5,0 \mu\text{g Cl-a/L}$ ; Herrera & Escribano 2006) constituirían, en términos de la disponibilidad de alimento, condiciones favorables para el desarrollo de larvas y pre-reclutas de anchoveta. Estas condiciones propicias se configuran en una estrecha franja costera, la cual tiene una extensión máxima en invierno alcanzando las 40 mn (Vásquez *et al.* 2019), con cierta variabilidad interanual.

En este estudio, se ha propuesto la generación de un modelo hidrodinámico de alta resolución para el sector costero de la región norte de Chile (siguiendo los lineamientos propuestos en Vásquez *et al.* 2019), el cual permitirá analizar la circulación a nivel de bahías y golfos. Como ha sido descrito, este modelo fue acoplado a un modelo basado en individuos (IBM) para evaluar la retención/dispersión de huevos y larvas de anchoveta, permitiendo generar estimados de mortalidad (sobrevivencia) asociados a la retención en áreas favorables. De acuerdo con la hipótesis que considera como pérdidas poblacionales a los individuos advectados hacia zonas poco productivas costa afuera, el modelo biofísico genera estimados de sobrevivencia para distintas etapas del ciclo de vida y para cada cohorte modelada. De esta manera es posible plantear un índice biofísico de mortalidad para cada cohorte modelada en base a:

$$IMBF_{cohorte} = \sum_{i=1}^n m_i * N_{cohorte}^{-1}$$

Donde *cohorte*: pulso de desove modelado, *m<sub>i</sub>*: número de pérdidas individuales en el pulso de desove *i*, *N*: total de individuos liberados en el año.

El éxito de cada individuo está dado por la posibilidad de permanecer al interior de las regiones aptas para la sobrevivencia, determinada por las condiciones del hábitat para distintas etapas de desarrollo larval hasta la edad crítica de formación de cardúmenes.

### 3.4 Objetivo específico 4: Proponer indicadores tempranos del éxito o fracaso de las clases anuales, condicionado a la variabilidad espacio temporal de la zona.

#### 3.4.1 Evaluación de la hipótesis de crecimiento-mortalidad.

¿Cómo poner a prueba la hipótesis de crecimiento-mortalidad?

Los mecanismos asociados a la hipótesis de “crecimiento-mortalidad” pueden ser evaluados en una especie usando el “*Método Tradicional*”, en el cual el grosor de micro-incrementos y el radio registrado a cada edad para las primeras semanas de vida de los otolitos de larvas de una misma cohorte de nacimiento, se compara con el grosor de los micro-incrementos de los sobrevivientes de la misma cohorte, es decir, con individuos en estados más avanzados de desarrollo (juveniles) (Figura 9).

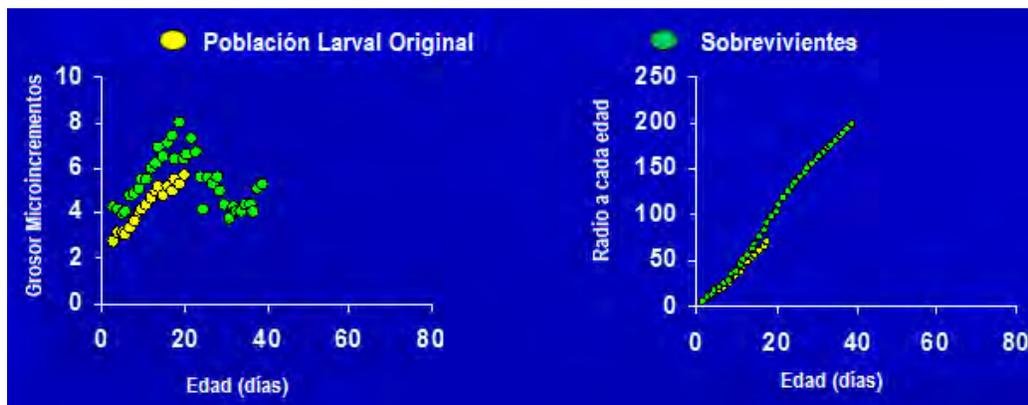


Figura 9. Ilustración del método tradicional para evaluar la relación entre el crecimiento temprano y la sobrevivencia en peces teleósteos donde se compara el grosor medio y radio medio a cada entre una cohorte original y la misma cohorte de los sobrevivientes.

### 3.4.1.1 Evaluación de la Hipótesis de Crecimiento-Mortalidad

Se evaluó si los pre-reclutas (sobrevivientes) de la anchoveta, fueron los ejemplares que tuvieron el mayor crecimiento cuando ellos formaron parte de la población larval original. Si un mayor crecimiento está relacionado con una mayor sobrevivencia, entonces es razonable esperar una relación entre indicadores de la fuerza de las clases anuales con algún índice cuantitativo del crecimiento temprano. Un primer paso para desarrollar un índice de este tipo es poner a prueba la hipótesis de la relación crecimiento-mortalidad en esta especie. Una vez evaluada el tipo de relación (directa o inversa) se podrá en estudios futuros avanzar en la modelación de la relación entre el crecimiento temprano y la fuerza de las clases anuales, a través de series de tiempo más largas, cuando se cuente con información de ambas variables. El crecimiento temprano no tendría ningún valor predictivo en caso de que el crecimiento no sea ventajoso.

### 3.4.1.2 Población larval original

Las muestras de larvas de anchoveta de la población original fueron obtenidas a partir del muestreo transversal para el proyecto. Se contó con dos fuentes de información, una proveniente de los muestreos ictioplanctónicos llevados a cabo durante principalmente invierno (**Tabla 7a**) y la campaña de verano (**Tabla 7b**). Una vez que los ejemplares en mejores condiciones fueron seleccionados para su análisis, fueron medidos y fotografiados bajo un estereomicroscopio Olympus ZS-61 equipada con una cámara Motic Cam 5.0. Las mediciones y procesamiento de fotografías fueron realizadas en el software Motic Image Plus. La medición de la longitud larval fue realizada según el estadio de desarrollo, para larvas en preflexión se midió desde la punta de la premaxila hasta la punta de la notocorda (longitud notocordal), larvas en flexión y post flexión la longitud estándar fue medida desde la punta de la premaxila hasta la base del complejo hipural (Longitud Estándar; LE) (**Figura 10**).

**Tabla 7. Estadísticas generales de la longitud estándar (mm) de las larvas de anchoveta en recolectadas en la zona norte de Chile entre mayo y septiembre de 2019 (a) y en la campaña de verano de 2020 (b). CV= coeficiente de variación; DE= 1 desviación estándar.**

Año	Area	Macro-Zona	Media	± DE	Min	- Max	CV	N
2019 (a)	Antofagasta	Antofagasta	6,85	± 2,45	4,00	- 11,92	35,76	15
	Chipana	Iquique	4,20	± 1,90	2,04	- 11,79	45,26	51
	Chucumata	Iquique	4,21	± 2,84	2,36	- 11,04	67,41	21
	Punta Pica	Iquique	2,54	± 0,22	2,36	- 2,79	8,80	3
	Total		4,59	± 2,43	2,04	- 11,92	52,97	90
2020 (b)	Chucumata	Iquique	8,55	± 3,17	5,16	- 11,45	37,122	3
	Arica	Iquique	3,05	± 0,90	2,09	- 4,90	29,643	9
	Pabellon	Iquique	6,62	± 2,28	3,44	- 15,38	34,519	26
	Total		5,93	± 2,68	2,09	- 15,38	45,15	38



**Figura 10. Ejemplares de larvas de anchoveta seleccionados para la extracción de otolitos. Las líneas negras corresponden a la longitud medida para cada estadio de desarrollo, A: Larva en preflexión (Longitud Notocordal 4,65mm); B: Larva en postflexión (Longitud estándar 8,91mm).**

En total se identificaron 75 y 38 larvas de anchoveta, que fluctuaron entre 2,04 y 11,92 mm y entre 2 y 15 mm para las campañas de invierno y verano, respectivamente, pertenecientes principalmente a la macro-zona de Iquique (**Tabla 7ab**). Una muestra adicional de 15 larvas estuvo disponible, a partir de una campaña también de invierno realizada en la zona costera de Antofagasta para el año 2019 (**Tabla 7a**). Una vez que todos los ejemplares fueron medidos y fotografiados, se extrajeron los otolitos *sagitta*. La extracción y montaje fue realizada en el mismo estereomicroscopio equipado con un filtro de luz polarizada para resaltar la posición de los otolitos. Los otolitos fueron montados sobre un portaobjetos y fijados en resina epóxica.

### 3.4.1.3 Población de Sobrevivientes (Pre-reclutas)

Un total de 230 pre-reclutas que fluctuaron entre 3,1 y 5,8 cm de LT ( $4,12 \pm 0,45$ ; CV=11%), fueron colectados en un total de 7 lances, realizados a bordo del crucero hidro-acústico RECLAN, entre los 20° 06'S y 24° 31'S, durante diciembre de 2019 (**Tabla 8**). Debido a su fragilidad, los ejemplares fueron congelados a bordo, de forma separada para garantizar su mantención. Una vez en laboratorio, la longitud total (TL) y estándar (LE) de cada ejemplare fueron medidas a una precisión de 0,01 mm con un pie de metro electrónico. Para efectos de disminuir el número de niveles por área y lance, los ejemplares fueron asignados a la macro-zona más cercana en función de su posición geográfica (**Tabla 8**). Para análisis descriptivos posteriores todos los ejemplares  $\leq 3,5$  cm y  $> 3,5$  cm LT fueron clasificados como postlarvas y juveniles tempranos, respectivamente, siguiendo a Moreno *et al.* (2011).

**Tabla 8. Estadísticas generales de la longitud total (cm) de pre-reclutas de anchoveta en recolectadas en la zona norte de Chile en diciembre de 2019.**

Macro-Zona	Fecha	Latitud	Longitud	Media	± DE	Range	CV	N
Iquique	02-12-2019	20° 06'	70° 06'	4,2	± 0,42	3,5 - 5,8	10	31
Mejillones	12-12-2019	22° 30'	70° 17'	4,1	± 0,27	3,7 - 4,9	7	30
Mejillones	12-12-2019	22° 32'	70° 11'	4,0	± 0,47	3,27 - 4,68	12	59
Antofagasta	14-12-2019	23° 17'	70° 22'	4,4	± 0,14	3,93 - 4,586	3	30
Antofagasta	15-12-2019	23° 25'	70° 10'	3,9	± 0,41	3,1 - 4,6	10	29
Taltal	17-12-2019	24° 25'	70° 21'	4,7	± 0,42	3,9 - 5,6	9	23
Taltal	18-12-2019	24° 31'	70° 19'	3,8	0,31	3,3 - 4,4	8	28
Total				4,12	± 0,45	3,1 - 5,8	11	230

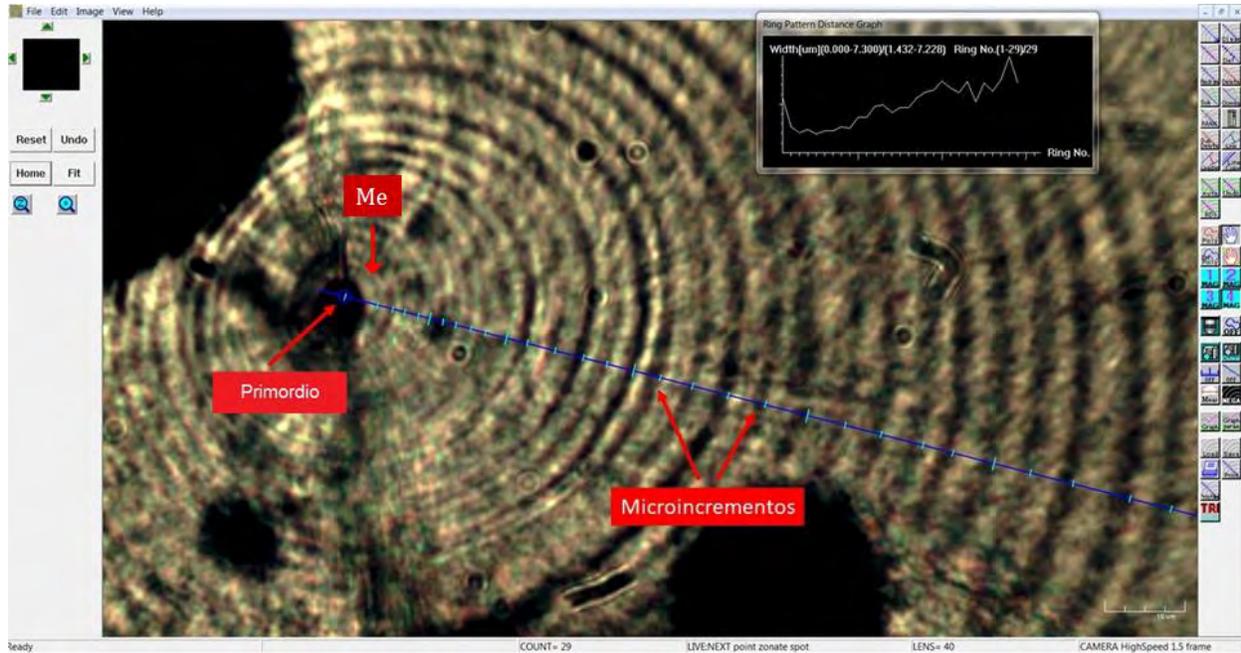
Una vez que los ejemplares fueron medidos, los otolitos sagitales fueron extraídos usando finas agujas de disección bajo un estero-microscopio y fueron luego embebidos en una pequeña porción de Crystalbond transparente sobre el extremo de un portaobjeto, previamente etiquetado para garantizar la trazabilidad. En la mayoría de los casos los otolitos no requirieron ser pulidos para visualizar los micro-incrementos diarios, aunque en pre-reclutas de mayor tamaño, algunos otolitos fueron pulidos suavemente con lijas de 2500 de tamaño de grano y lijas de limpieza de 1  $\mu\text{m}$  hasta obtener una mejor aproximación al primordio.

Para los propósitos del presente estudio se utilizaron las larvas recolectadas en la campaña del 2019 (**Tabla 7a**), debido a que se contó en el mismo año con las muestras de pre-reclutas (**Tabla 8**). Las muestras de larvas de la campaña del 2019 se procesaron también para análisis micro-estructural y los registros de grosor y radio están disponibles para un análisis comparativo, cuando se cuente con información de sobrevivientes en futuros estudios.

#### **3.4.1.4 Procedimientos de digitalización de otolitos y medición de los grosores de los micro-incrementos**

El conteo y medición de microincrementos y radio de los otolitos, tanto para larvas como para pre-reclutas, se llevó a cabo utilizando el analizador de imágenes “Otolith Reading System” (RATOC System Engineering Co. Ltd. **Figura 11**), que permitió trabajar con las imágenes en vivo. En larvas más pequeñas, que mostraron una forma redondeada de sus otolitos, los microincrementos fueron medidos hacia el eje de mayor resolución, mientras que en las larvas de mayor tamaño se leyó en el radio más largo, que en la mayoría de los casos coincidió con la resolución máxima de sus micro-incrementos. Solo en 3 otolitos no se siguió el eje del radio más largo debido a una menor resolución. En estos casos, se midió en el eje de mayor resolución, utilizándose un factor de corrección en base al radio más largo del otolito. Todas las mediciones se realizaron desde la marca de eclosión hasta el borde del otolito a una magnificación de 40X. Para el caso de los otolitos sagitales de pre-reclutas el procedimiento consistió en trazar una transecta desde el primordio hasta el borde de la cauda, utilizando el objetivo de menor magnificación (4X). Posteriormente, se hicieron mediciones de los micro-incrementos a mayor magnificación (20X y 40X), registrando la mayor cantidad posible de anillos visibles. Cuando los micro-incrementos fueron difíciles de

identificar en la transecta principal, se registraron a través transectas secundarias y posteriormente fueron traspasados automáticamente a la transecta principal (Figura 11).



**Figura 11. Ilustración del proceso de medición de micro-incrementos diarios, en la región central de un otolito sagital, de un ejemplar pre-recluta de la anchoveta, utilizando el analizador de imágenes “Otolith Reading System (RATOC Ltd). Me = Marca de eclosión.**

### 3.4.1.5 Análisis estadístico

Para establecer si existieron diferencias significativas en los grosores y radios medios entre las áreas geográficas donde fueron recercados los pre-reclutas, se aplicó un Análisis de Varianza de Medidas Repetidas (ANDEVA-MR), siguiendo a Chambers & Miller (1995) para datos longitudinales. El análisis correspondió a un diseño mixto de dos factores con los individuos agrupados en filas y los grosores y radios como factor de repetición se agruparon en columnas. El análisis comparativo se llevó para los primeros 35 días de vida, con 7 niveles de repetición (a los 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 días de vida).

Para evaluar si los sobrevivientes tuvieron grosores y radios significativamente mayores que la población larval original, durante sus etapas tempranas, se aplicó un Modelo Lineal de efectos Mixtos. Esta aproximación analítica ha comenzado a ser utilizada recientemente para analizar datos

longitudinales derivados de registros de estructuras calcificadas, particularmente cuando los diseños no son balanceados (*e.g.* Morrongiello & Thersher 2015, Smoliński *et al.* 2020). Los MLM permiten incorporar toda la variabilidad individual de las mediciones repetidas de los grosores y radios de los micro-incrementos, los cuales son usados como variables dependientes, mientras que un identificador de cada individuo (ID) y el día de formación de los incrementos (EDAD) se usan como efectos aleatorios. Una evaluación previa demostró que el mejor enfoque correspondió a un modelo de tipo:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \text{POBLACION} + \text{MES} + \text{ZONA} + (\beta_1 + \beta_2 \dots + \beta_{li}) * \text{EDAD} + \varepsilon_{ij}$$

Donde  $\beta_0$  correspondió al intercepto común, mientras que “ $(\beta_1 + \beta_2 \dots + \beta_{li}) * \text{EDAD}$ ” correspondió a la porción aleatoria de la pendiente para cada individuo. También se adicionaron tres factores fijos, “POBLACION” con dos niveles (original & sobrevivientes), “MES” de nacimiento con 5 niveles (julio-noviembre) y “ZONA” que correspondió al área geográfica más cercana donde fueron ejecutados los lances de recolección, se incorporó con cuatro niveles (Iquique, Mejillones, Antofagasta & Taltal). El estado ontogenético para la población larval (pre-flexión, flexión & postflexión) y para los sobrevivientes (postlarvas y juveniles tempranos) no fueron incluidos porque una evaluación previa no evidenció un efecto significativo de estos factores en las fluctuaciones de la variable respuesta, evitando también sobre-parametrizar el modelo. Todos los modelos se compararon utilizando el paquete AICmodavg (Mazerolle 2019), y el modelo definitivo se eligió utilizando el criterio de los valores más bajos de Akaike (AIC) (Akaike 1973). Todos los modelos se ajustaron utilizando el paquete “lme4” (Pinheiro & Bates 2000) utilizando el programa estadístico R 4.0.0 (R core team 2020).

### **3.4.2 Indicadores del Método de Producción de huevos**

El Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH) para la estimación de biomasa desovante de anchoveta ha sido aplicado en 22 años en el norte de Chile, constituyéndose en una serie histórica de muy buena resolución en aspectos reproductivos de las hembras y de abundancia y distribución de huevos en el mar. Si bien el MPDH tiene como objetivo el estimar la biomasa desovante, de él se derivan otros indicadores que podrían ser proxies de la fuerza del reclutamiento, como son:

- Área de desove
- Densidad de huevos en el crucero ( $N^\circ$  huevos/ $N^\circ$  total de estaciones)

- Densidad de huevos en las estaciones positivas ( $N^{\circ}$  huevos/ $N^{\circ}$  estaciones positivas)
- Densidad en el área de desove ( $N^{\circ}$  huevos/ $N^{\circ}$  estaciones en el área definida como de desove)
- Producción diaria de huevos por unidad de muestreo ( $N^{\circ}/0.05 \text{ m}^2/\text{día}$ )
- Producción diaria de huevos en el área de desove ( $N^{\circ}/\text{día}$ )

Estos y otros índices se contrastaron con índices de reclutamiento. Lamentablemente el segundo problema en el análisis del reclutamiento es precisamente el cuantificar la fuerza del ingreso de juveniles al stock explotable. No existen índices confiables de la fuerza del reclutamiento, por lo que se utilizó la captura anual o la del primer semestre, considerando que el 90% de las capturas anuales corresponde a reclutas (Cerna & Plaza 2016). El desempeño del indicador de potencial reproductivo se evalúa como aquel que mejor explique las variaciones en las capturas del año (semestre).

## 4 RESULTADOS

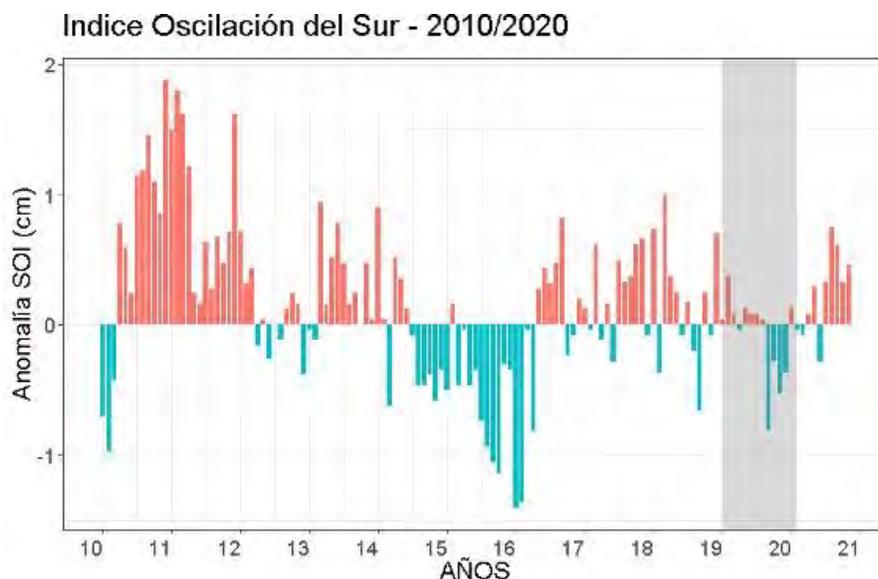
### 4.1 Objetivo Específico 1. Caracterizar la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona

Como una forma de describir el escenario ambiental imperante en una escala regional se hace un breve análisis de las condiciones ENOS durante el periodo de realización del estudio.

#### 4.1.1 Condiciones ambientales regionales

Las condiciones ambientales remotas en el Pacífico Suroriental, muestran que, durante el periodo de enero a agosto de 2019, persistía una fase neutra respecto del ENOS (**Figura 12**). El Índice de la Oscilación del Sur (IOS) indica que las condiciones regionales se encontraron en una fase neutra hasta mediados de 2019, con anomalías inferiores a  $0,5^{\circ}\text{C}$ , y de acuerdo con el Índice Oceánico El Niño (ONI), el año 2019 estuvo dominado por condiciones El Niño (ENOS) desde el trimestre diciembre-enero-febrero, continuando con condiciones neutras los trimestres junio a agosto y septiembre a octubre, para volver a condiciones ENOS, desde octubre al primer trimestre de 2020 (**Tabla 9**).

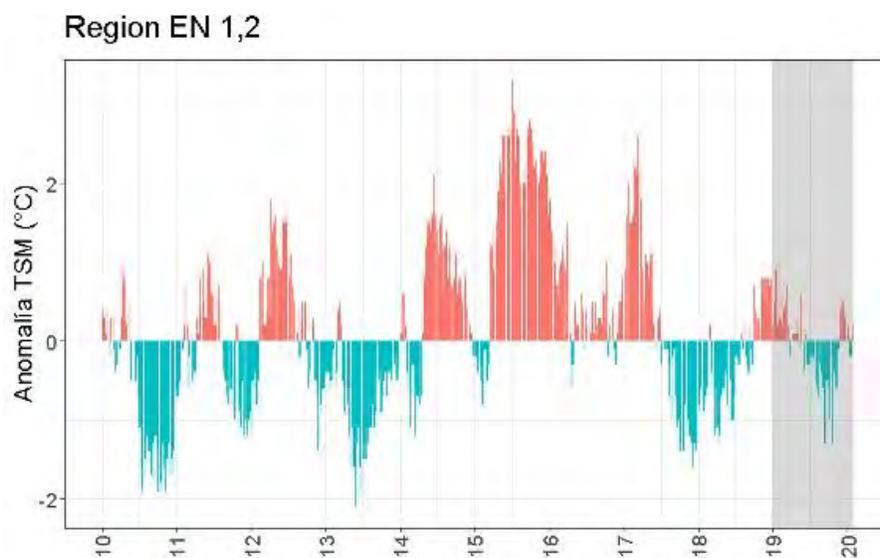
Por otra parte, la evolución de las anomalías en la región ENOS 1+2, muestra que durante el primer semestre de 2019 prevalecieron anomalías positivas, las cuales disminuyeron en relación con el avance del año, pasando a una fase con predominancia de anomalías negativas que se mantuvieron gran parte del segundo semestre de 2019, y luego evolucionando a anomalías positivas durante el verano de 2020 (**Figura 13**).



**Figura 12. Progresión temporal del Índice de la Oscilación del Sur (IOS), calculado de la diferencia de presiones entre Tahití y Darwin. La zona achurada muestra su evolución durante 2019.**

**Tabla 9. Valores del Índice Oceánico El Niño (ONI) para el periodo 2010-2020 (fuente <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/>). Cada columna es un trimestre, abreviaturas en inglés.**

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1,5	1,3	0,9	0,4	-0,1	-0,6	-1	-1,4	-1,6	-1,7	-1,7	-1,6
2011	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,1	-1
2012	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0	-0,2
2013	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0	0,2	0,4	0,6	0,7
2015	0,6	0,6	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,5	2,6
2016	2,5	2,2	1,7	1	0,5	0	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1
2018	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,9	0,8
2019	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,1	0,1	0,3	0,5	0,5
2020	0,5	0,6	0,5	0,3	0	-0,2	-0,4	-0,6	-1	-1,2		



**Figura 13. Progresión temporal de la temperatura superficial del mar (SST) para la estación El Niño 1+2. La zona achurada muestra su evolución durante el 2019.**

#### 4.1.1.1 Enfoque Estacional

##### Crucero de invierno de 2019

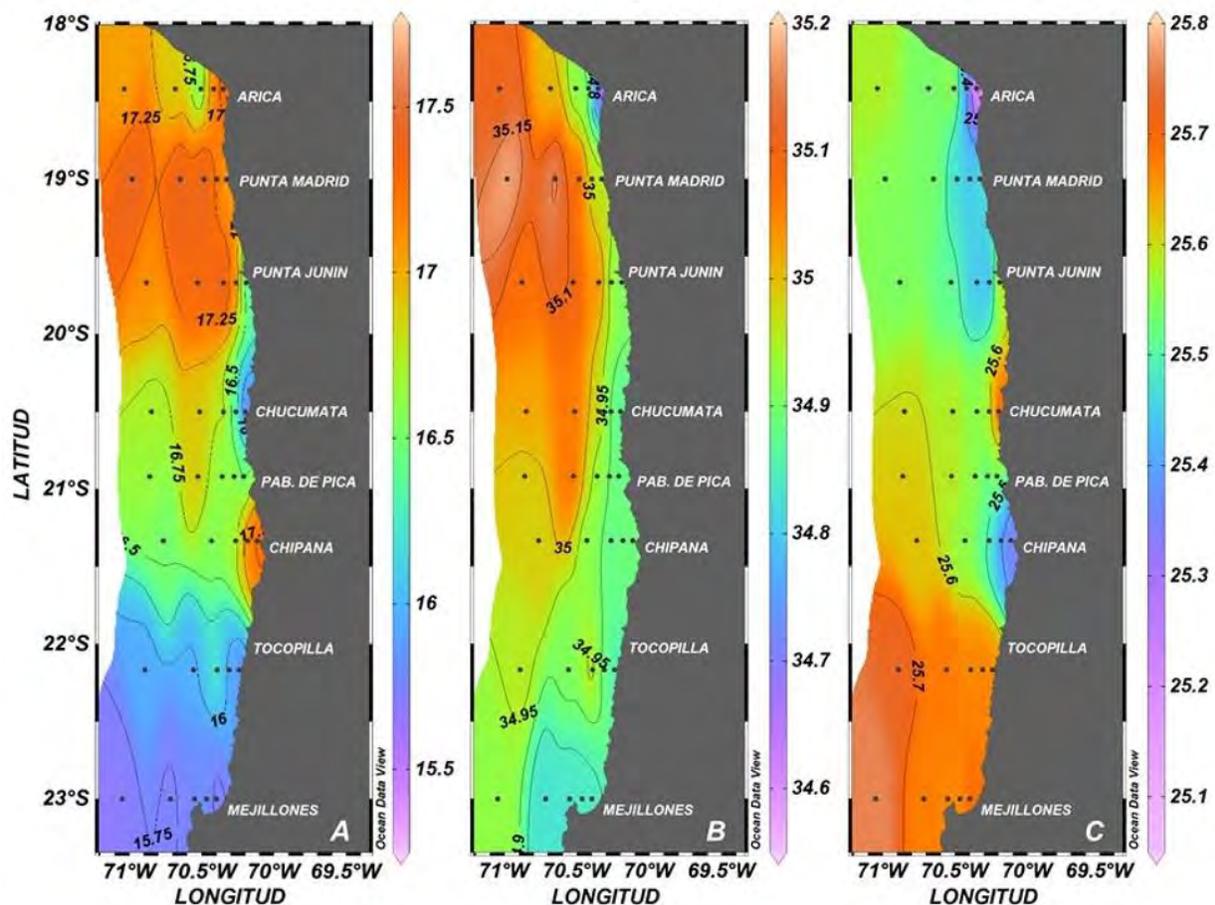
##### Condiciones ambientales

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre 15,5 y 17,6°C. La distribución mostró la presencia del máximo valor (17,6°C) a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S), asociado al ingreso, desde el norte y desde la región oceánica, de un agua de mayor temperatura (>17°C) que se extendió latitudinalmente hasta Chucumata (20°30'S) y longitudinalmente se acercó a la milla entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S). Frente a Chucumata (20°30'S) se registró la mínima temperatura (15,5°C) en la forma de un foco restringido a la costa (1 mn). Hacia el sur de esta localidad predominaron temperaturas cercanas a 16°C, las que entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) ocuparon toda el área desde 1 a 40 mn. Se destacan la presencia de un núcleo de 17,4°C detectado en Chipana (21°20'S) entre 1 y 5 mn, y de uno 16,5°C localizado entre 10 y 20 mn frente a Arica (18°25'S) (**Figura 14A**).

En la componente vertical, se observó entre Arica y Chipana (21°20'S) la presencia del agua de mayor temperatura (>17°C) restringida a los primeros 20 m de profundidad. En las secciones de Chucumata (20°30'S), Pabellón de Pica (20°55'S) y Chipana (21°20'S) persistieron valores

cercanos a 16,5°C entre 0 y 10 m, destacando el núcleo de mínima superficial (15,5°C) en Chucumata (20°30'S) producto del afloramiento de aguas subsuperficiales entre 1 y 5 mn, evidenciado por la inclinación de las isotermas. En Mejillones (23°00'S) temperaturas cercanas a 15,8°C ocuparon el estrato hasta cerca de los 50 m de profundidad y se extendieron a lo largo de toda la transecta (**Figura 15**).

La salinidad en superficie fluctuó entre 34,58 y 35,18 ups. Siguiendo la distribución del agua de mayor temperatura (> 17°C), valores de salinidad superiores a 35 ups ocuparon el sector hasta Chucumata (20°30'S) distribuidos entre las 20 y 40 mn de la costa. Asociados a los procesos de afloramiento, la franja costera (1-5 mn) exhibió valores inferiores a 34,95 ups, los que frente a Mejillones (23°00'S) alcanzaron las 20 mn en el rango de los 34,8 ups. El mínimo (34,58 ups) se detectó en Arica (18°25'S) a 1 mn de la costa (**Figura 14B**).



**Figura 14. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups) y C: Densidad ( $\sigma-t$ ), entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.**

La estructura vertical mostró las salinidades mayores a 35 ups en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), restringidas a las 40 mn y a los primeros 15 m de profundidad. Este estrato hacia la costa exhibió valores inferiores a 34,8 ups, asociados al foco de mínima registrado en superficie. Bajo los 50 m de profundidad, la columna de agua presentó salinidades entre 34,8 y 34,9 ups. Hacia la costa (1-10 mn) las salinidades descendieron de los 34,9 ups producto del ascenso de aguas subsuperficiales evidenciado por la inclinación de las isohalinas. Bajo los 50 m predominaron valores inferiores a 34,9 ups, detectándose el ingreso desde la región oceánica de un agua de salinidad menor a 34,8 ups. Desde Chucumata ( $20^{\circ}30'S$ ) al sur, las mayores salinidades no superaron los 35 ups, predominando valores cercanos a 34,9 ups en la columna de agua, registrándose una mayor influencia del agua de baja salinidad ( $< 34,8$  ups) que se mantuvo alrededor de los 50 m y que avanzó hasta la costa ascendiendo a la superficie en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) (**Figura 16**).

La densidad ( $\sigma_t$ ) a nivel superficial fluctuó entre 25,10 y 25,76. Los menores valores ( $< 25,6$ ) se asociaron al agua de mayor temperatura y salinidad ( $>17^{\circ}C$ - $>35$  ups) cubriendo la zona entre Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ), detectándose la densidad mínima (25,10) en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) en la forma de un foco que se proyectó por la costa hasta punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ). Entre Tocopilla ( $22^{\circ}10'S$ ) y Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), densidades superiores a 25,6 se registraron a lo largo de toda la transecta, incrementándose costa afuera hasta el máximo de 25,76 localizado a 40 mn. Otro foco de máxima (25,76) se registró a 1 mn en Chucumata ( $20^{\circ}30'S$ ) coincidente con la menor temperatura ( $15,5^{\circ}C$ ) (**Figura 14C**). La distribución vertical mostró, en todas las secciones, densidades superiores a 26 ocupando la columna de agua a partir de los 50 m de profundidad. Estos valores en la costa (1-5 mn) se acercaron a la superficie producto del ascenso de agua subsuperficial (**Figura 17**).

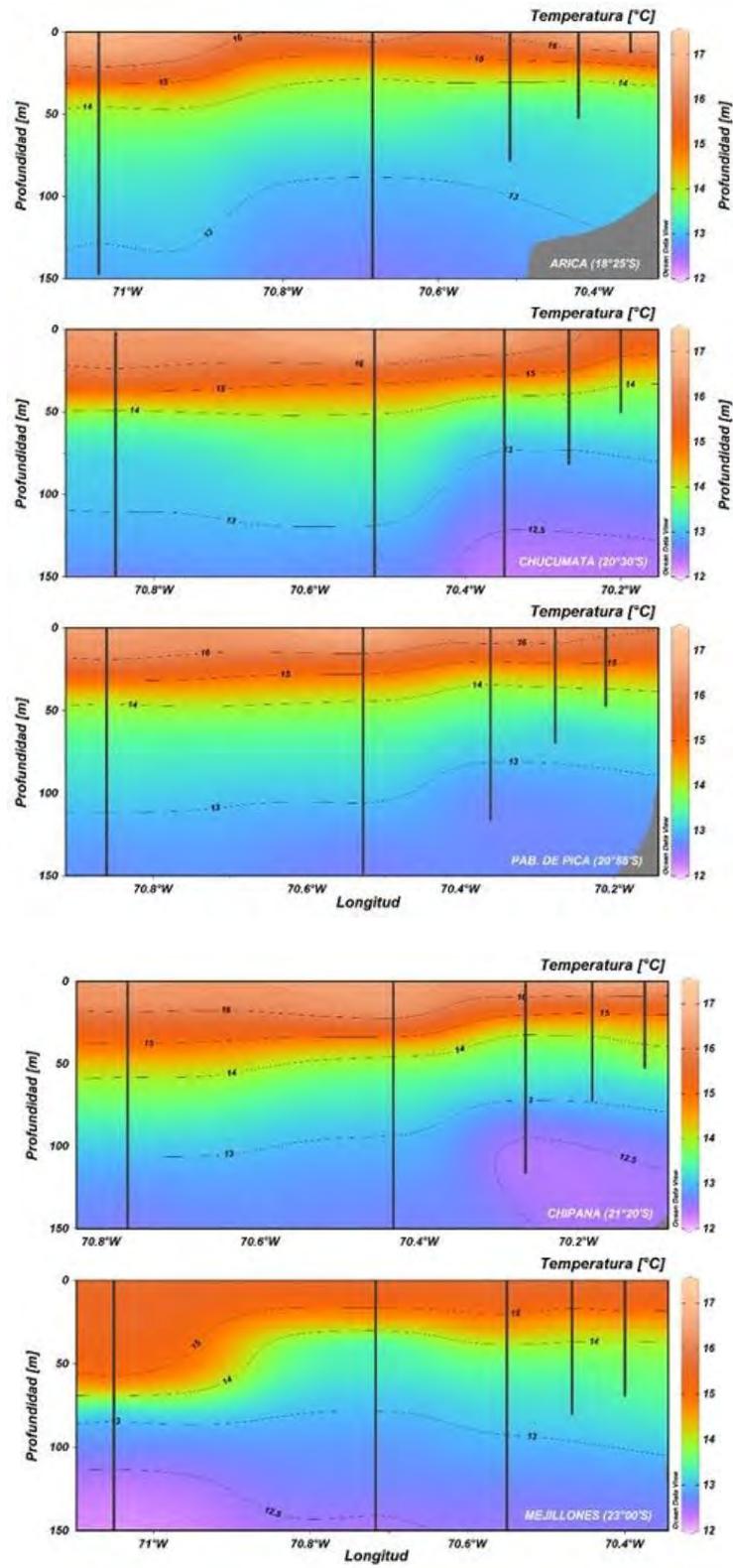


Figura 15. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

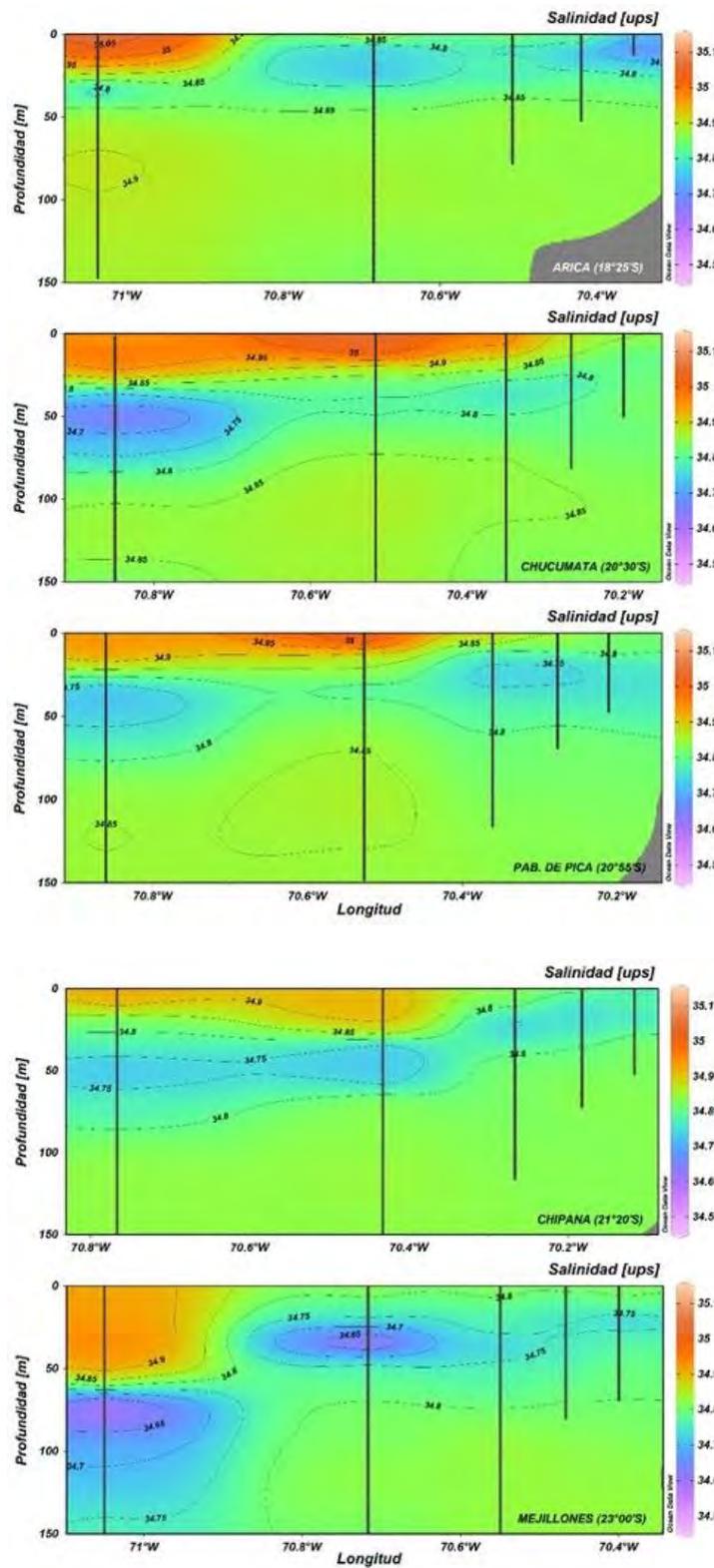


Figura 16. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

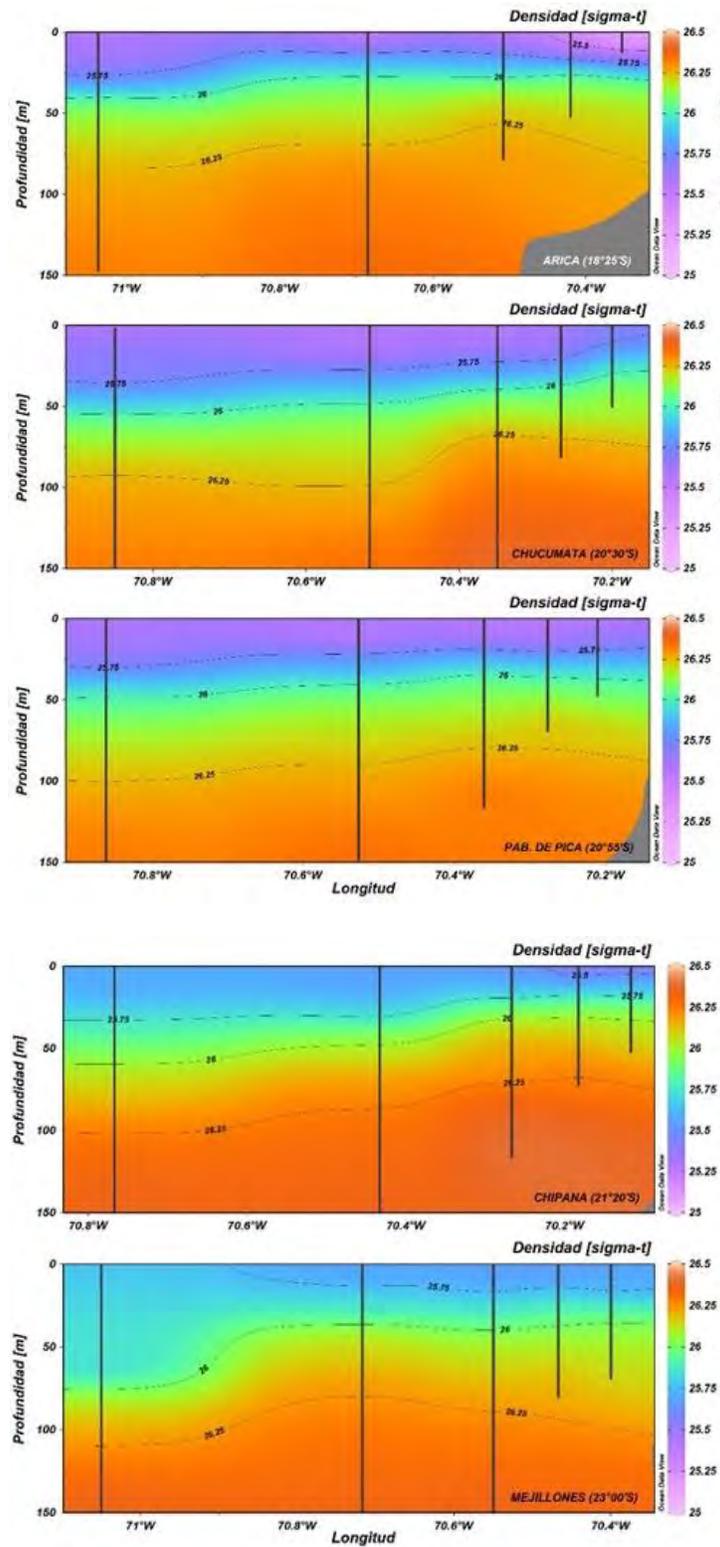


Figura 17. Distribución vertical de Densidad ( $\sigma_t$ ) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

Los diagramas T-S, acorde con las condiciones descritas, mostraron la presencia de las tres masas de agua de la región: Agua Subtropical Superficial (ASS), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). El ASS, evidenciada por las mayores salinidades ( $>35$  ups), bajas densidades ( $< 25,7$ ) y alto contenido de oxígeno ( $>5,0$  mL O<sub>2</sub>/L), predominó en el sector de Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y hacia la región más oceánica (20-40 mn). Hacia el sur de los  $20^{\circ}30'S$ , dominó el ASAA, especialmente en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), localizándose principalmente entre 25 y 75 m de profundidad. Hacia los estratos más profundos se detectó el AESS con escasa participación (

Figura 18).

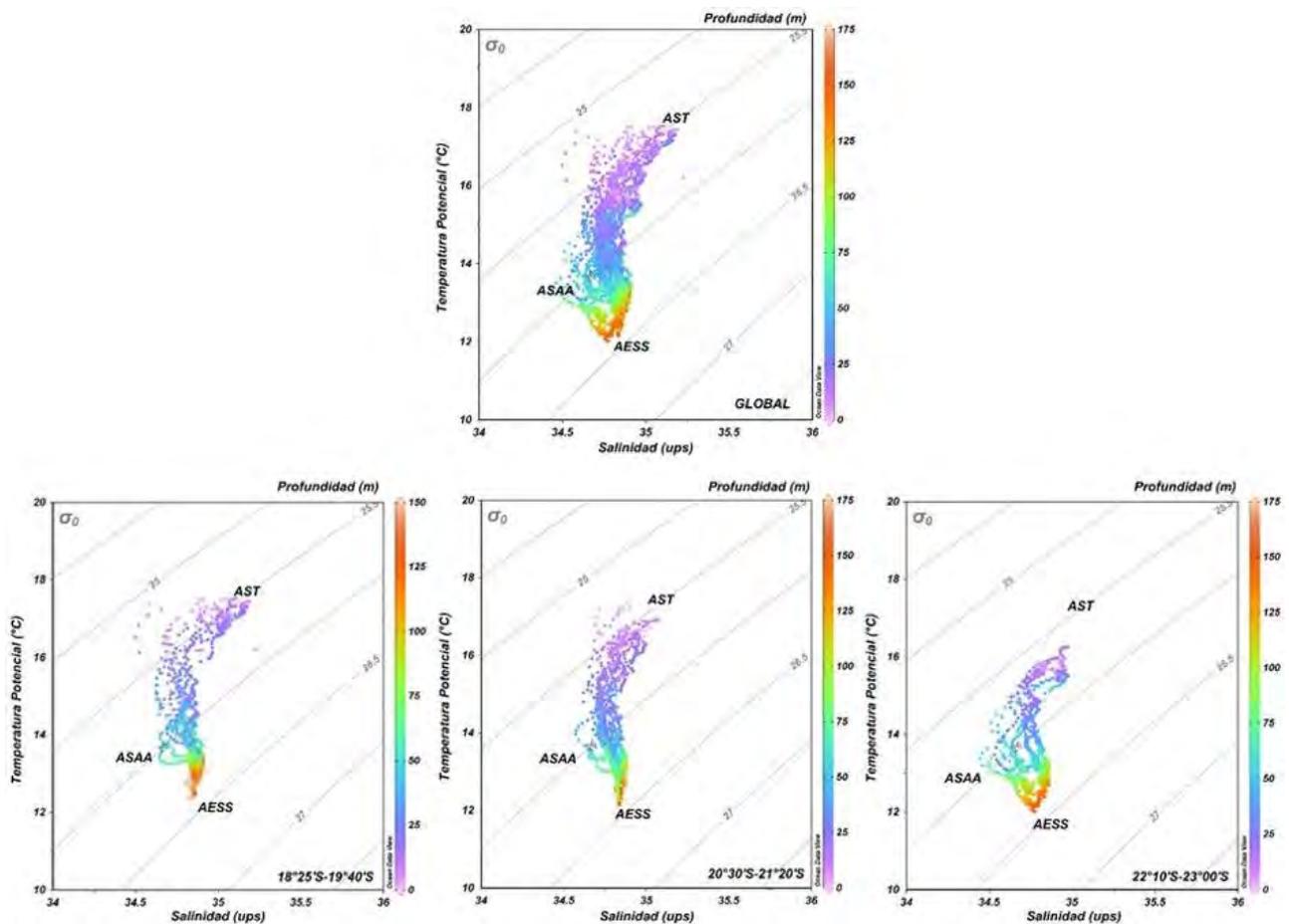
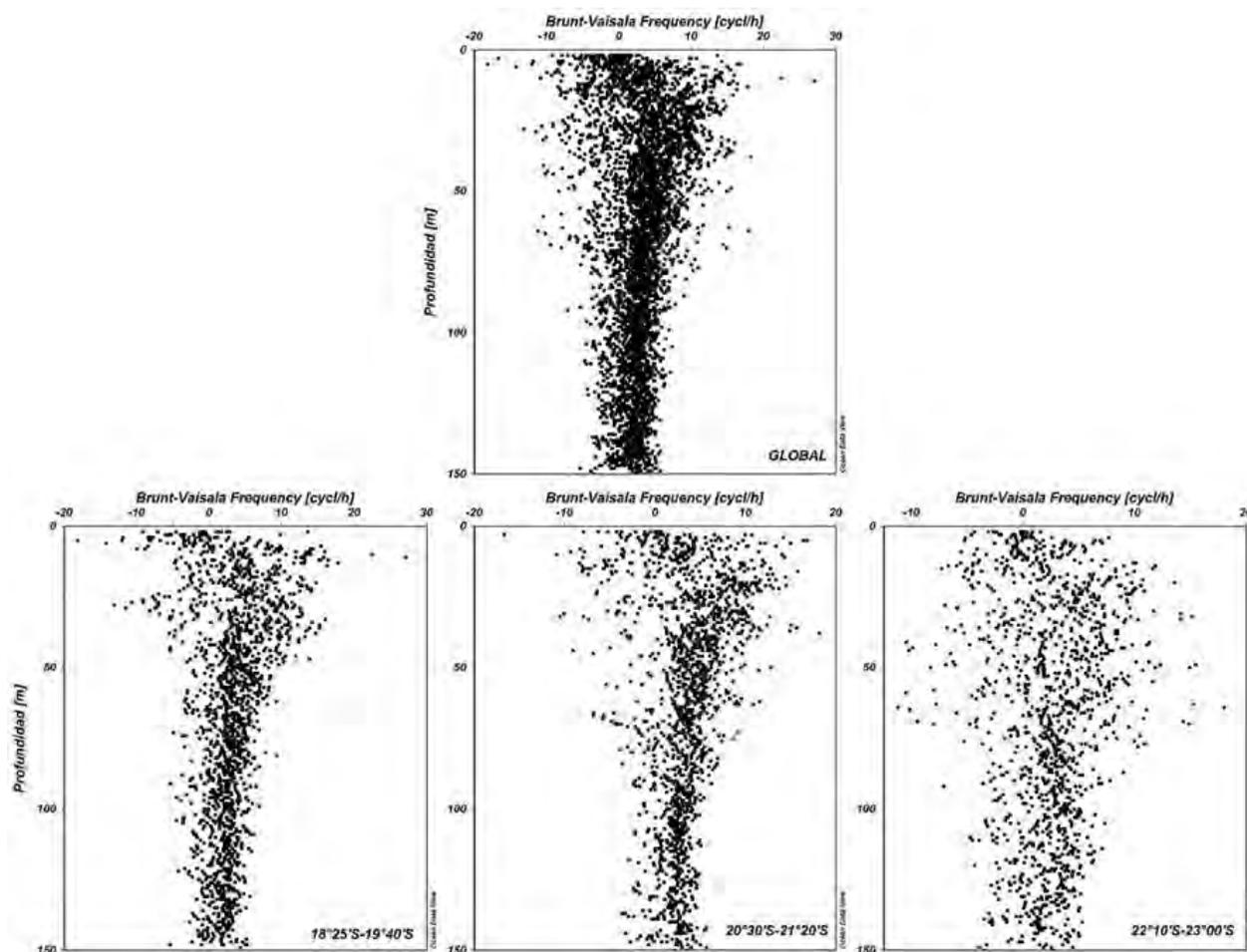


Figura 18. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) (panel superior) y para los sectores norte:  $18^{\circ}25'S-19^{\circ}40'S$ , centro:  $20^{\circ}30'S-21^{\circ}20'S$  y sur:  $22^{\circ}10'S-23^{\circ}00'S$  (panel inferior), entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

La frecuencia de Brunt-Väisälä fluctuó entre -18,2 y 27,1 ciclos/hora. Ente Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S) se detectó una mayor proporción de valores negativos, entre la superficie y los 50 m de profundidad, lo que indica una condición de mayor turbulencia, al contrario de lo registrado entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) donde el índice mostró mayor estabilidad. Bajo los 50 m predominaron frecuencias cercanas a 0,0 ciclos/hora, indicando uniformidad en la columna de agua. En el sector de Mejillones (23°00'S) se observó una amplia dispersión de los valores hasta los 100 m de profundidad, pero se mantuvo la tendencia al dominio de frecuencias positivas sugiriendo mayor estabilidad (**Figura 19**).



**Figura 19.** Perfiles de la frecuencia de Brunt-Väisälä (ciclos/h) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

El oxígeno disuelto superficial fluctuó entre 3,5 y 6,9 mL O<sub>2</sub>/L. Frente a Arica (18°25'S) se registró un foco de altos valores (> 6,0 mL O<sub>2</sub>/L) que se extendió entre la costa y las 20 mn, detectándose el máximo (6,9 mL O<sub>2</sub>/L) a 1 mn. En el resto del área predominaron concentraciones entre 5,0 y 5,5 mL O<sub>2</sub>/L, excepto por un núcleo de 6,1 mL O<sub>2</sub>/L localizado a 1 mn en Chipana (21°20'S) y por el mínimo superficial de 3,5 mL O<sub>2</sub>/L detectado en Chucumata (20°30'S) en la costa (1 mn) (**Figura 20A**).

La distribución vertical mostró la capa oxigenada (> 4,0 mL O<sub>2</sub>/L) distribuida hasta cerca de los 50 m, excepto en Arica (18°25'S) donde se mantuvo sobre los 10 m de profundidad. Entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S) se observó a nivel costero (1-5 mn) una leve inclinación de las oxilíneas, indicando ascenso de agua subsuperficial, pero sólo en Chucumata (20°30'S) éste condujo el ingreso a la superficie de valores inferiores a 4,0 mL O<sub>2</sub>/L (**Figura 21**). En forma concordante, entre estas localidades la localización del límite superior de la capa de mínima concentración de oxígeno (LS\_CMO) estuvo sobre los 25 m de profundidad a 1 mn de la costa, extendiéndose hasta las 20 mn en Arica (18°25'S), donde se registró su posición más somera (17,0 m). Hacia el sur, el LS\_CMO se profundizó, y en Mejillones (23°00'S) se lo encontró bajo los 40 m a lo largo de toda la transecta, alcanzando su máxima profundidad (83,9 m) a 40 mn (**Figura 20B**).

El valor promedio del TEk para el mes de agosto en Arica, Chucumata y Mejillones fue de 468,5, 99,3 y 456,7 m<sup>3</sup>/s/km respectivamente, valores que revelan la ocurrencia de eventos de surgencia de baja intensidad. Las condiciones de un débil afloramiento fueron más evidentes en Chucumata (20°30'S), especialmente en los días del muestreo (26-31 de agosto) durante los cuales el TEk se mantuvo negativo, con valores que descendieron de los -1.000 m<sup>3</sup>/s/km. Esta situación también se registró en Mejillones (23°00'S), pero los pulsos negativos estuvieron alternados por máximas superiores a 1.000 m<sup>3</sup>/s/km (**Figura 22**).

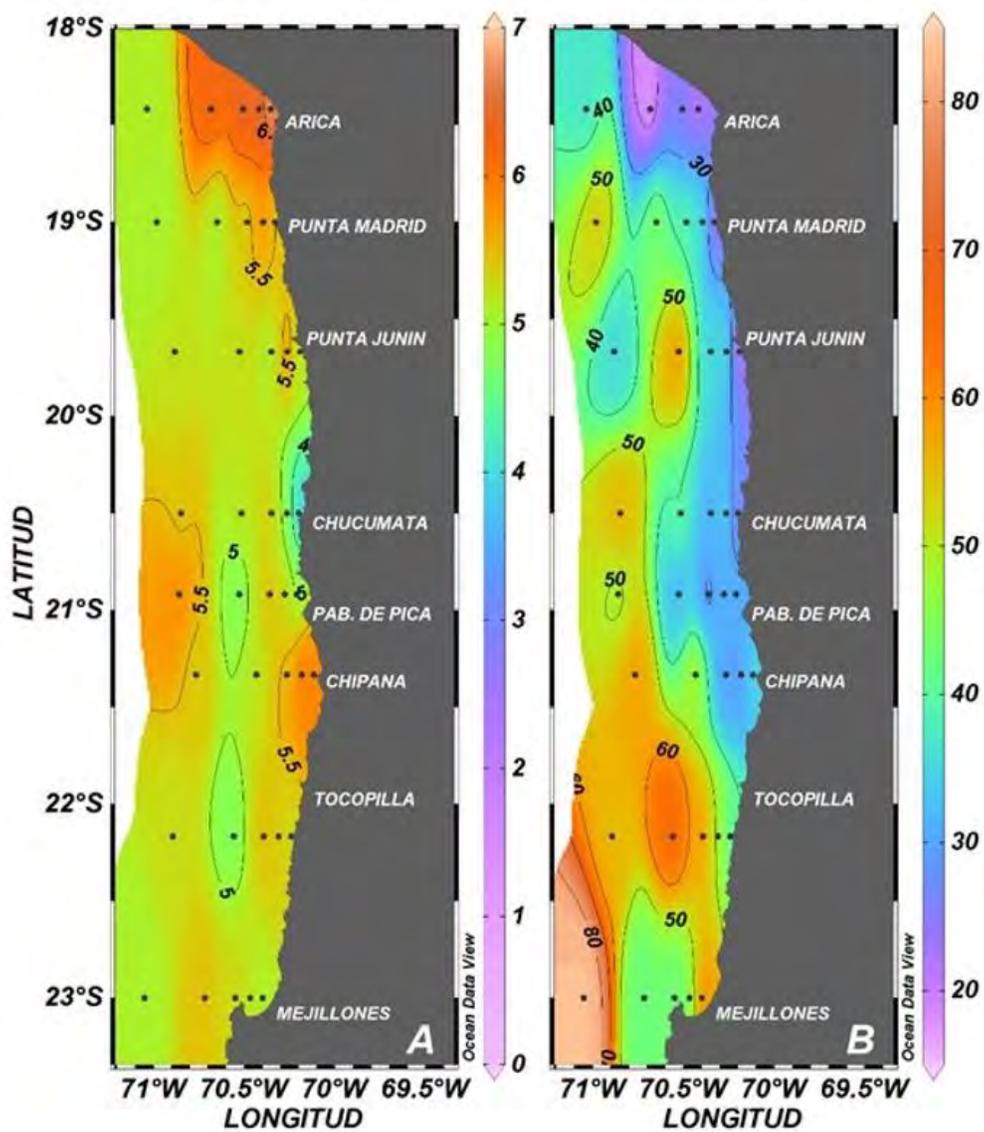


Figura 20. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) y B: profundidad de localización del LS\_CMO (m) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

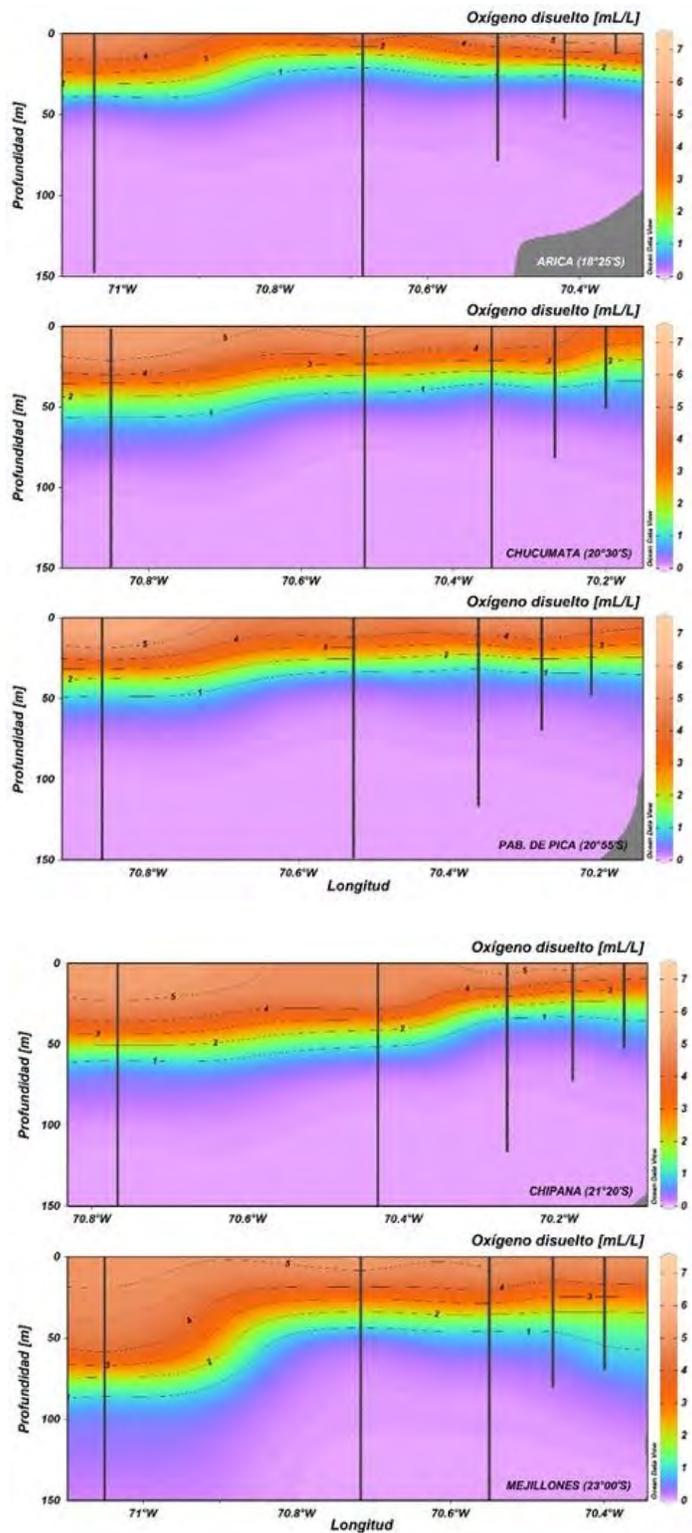
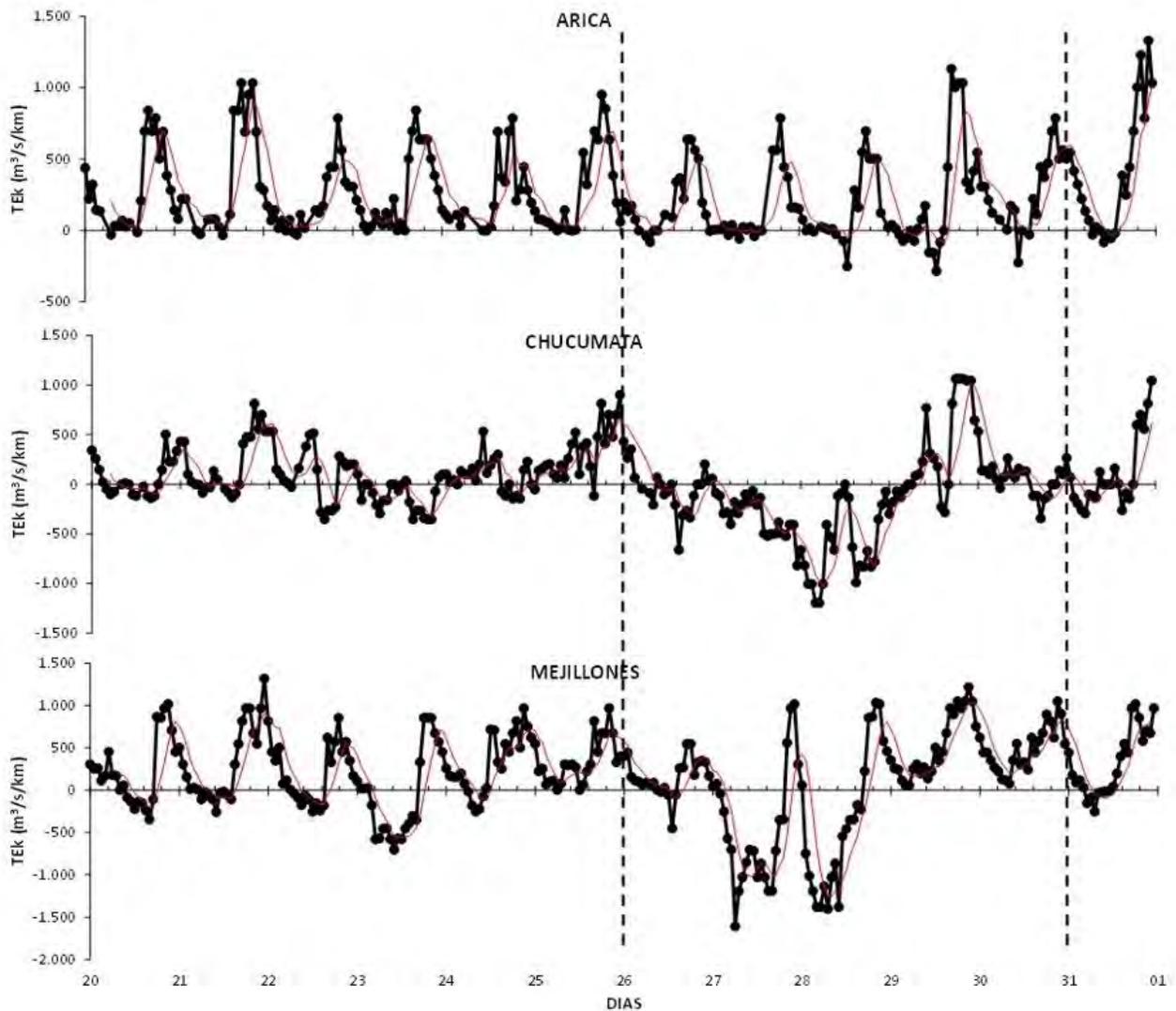


Figura 21. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.



**Figura 22. Transporte Ekman diario ( $m^3/s/km$ ) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 20 y 31 de agosto de 2019 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).**

## Estructura de la comunidad Microplanctónica

### Fitoplancton

Se identificó un total de 70 especies microfitoroplantónicas, de las cuales 41 correspondieron a diatomeas y 29 a flagelados. Las diatomeas exhibieron abundancias máximas totales que fluctuaron entre 0,1 y 1.125 cél/mL con una dominancia de formas en cadena, especialmente del género *Chaetoceros*. Destacaron las especies *Guinardia delicatula* y *Dactyliosolen fragilissimus* con máximas de 1.024 cél/mL y 264,0 cél/mL respectivamente, y con aportes al total que superaron el 80% (Tabla 10). Las secciones transversales evidenciaron la presencia de la máxima concentración

de este grupo (1.125 cél/mL) frente a Arica (18°25'S), entre 10 y 20 mn de la costa y ocupando los primeros 10 m de profundidad. De éste la especie responsable fue *Guinardia delicatula*, que contribuyó con un 84,6% al total. Un segundo foco de 279,6 cél/mL se observó en Chipana (21°20'S), a 1 mn y restringido a la superficie, sector donde predominó *Dactyliosolen fragilissimus* con una contribución del 89,7%. En las otras localidades las diatomeas mostraron una dominancia de valores inferiores a 50 cél/mL (**Figura 23**).

Los flagelados presentaron abundancias máximas entre 0,2 y 81,2 cél/mL. Este grupo estuvo dominado por dinoflagelados tecados, entre los cuales *Ceratium fusus* mostró una concentración máxima de 43,6 cél/mL, y entre las formas atecadas el género *Gyrodinium* dominó con 72,8 cél/mL (**Tabla 11**). La distribución vertical reveló la presencia del foco de máxima abundancia (81,2 cél/mL) localizado en Arica (18°25'S), extendiéndose entre 1 y 5 mn a nivel superficial, donde la especie *Ceratium fusus* y el género *Gyrodinium* aportaron con el 20,4% y 49,7% a la concentración total respectivamente. En las otras localidades, este grupo exhibió abundancias inferiores a 5,0 cél/mL (**Figura 24**).

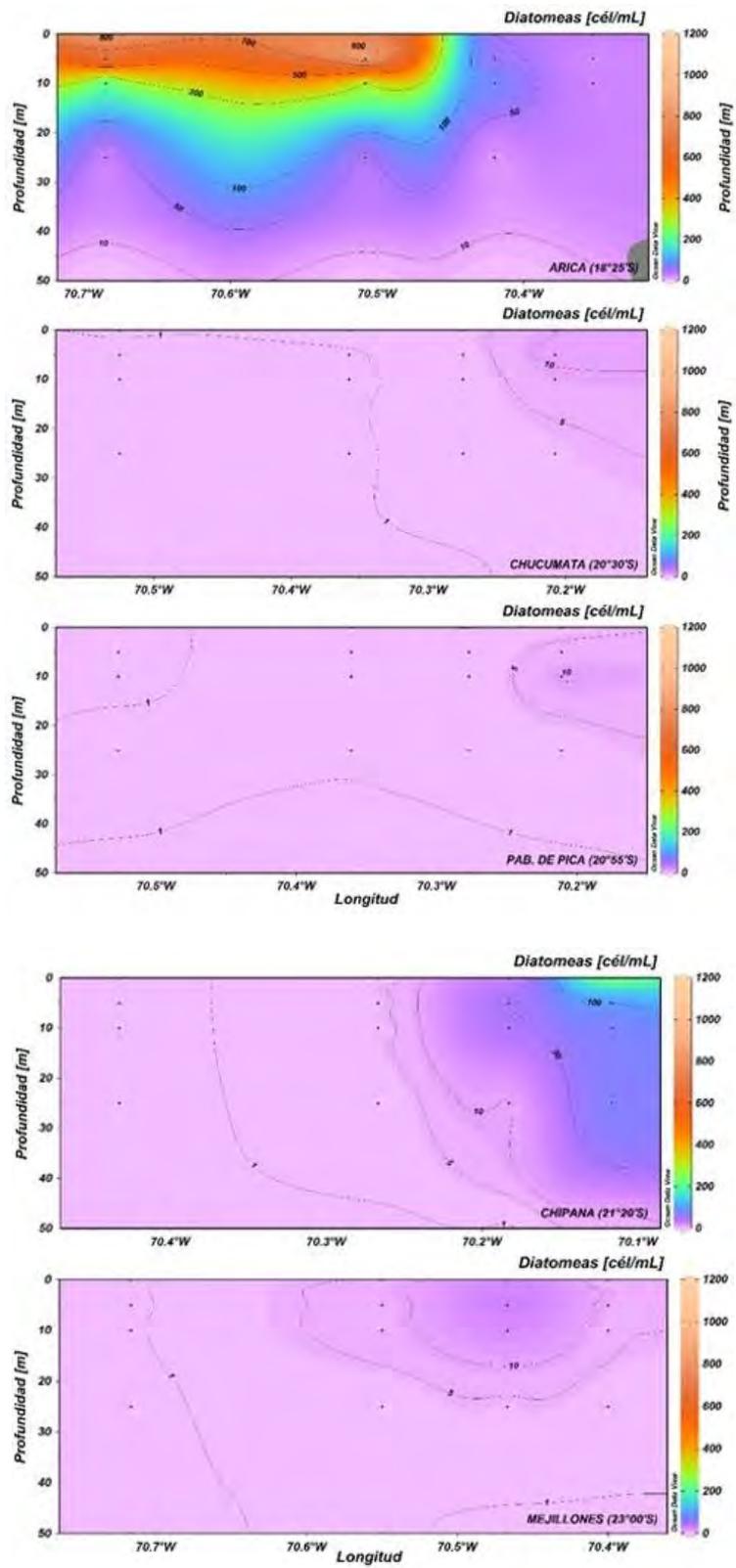


Figura 23. Distribución vertical de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019

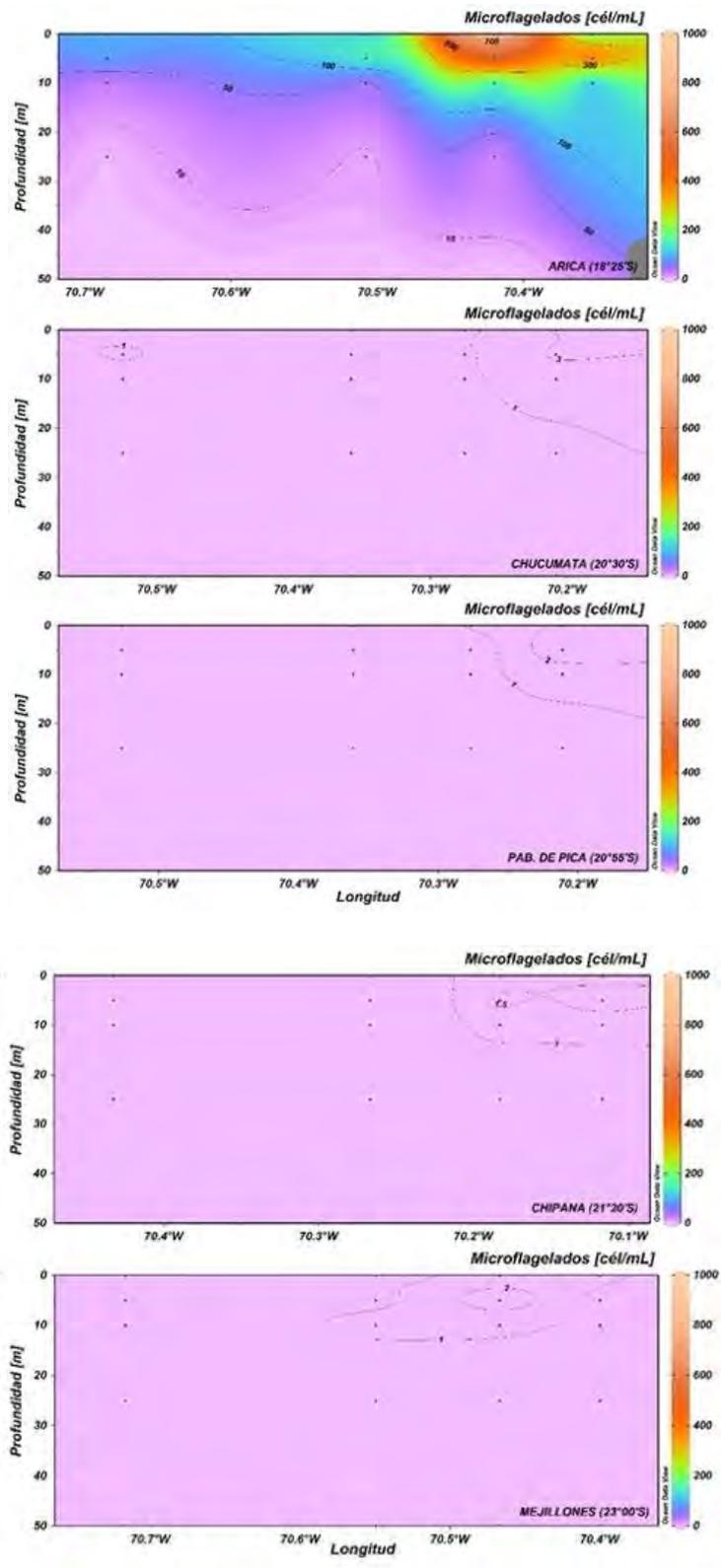


Figura 24. Distribución vertical de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

Con relación al espectro de tamaños, la longitud promedio de los géneros y especies de diatomeas fluctuó entre 40 y 2.053  $\mu\text{m}$  (Tabla 10), con una mayor frecuencia de formas entre los 100 y 200  $\mu\text{m}$  (Figura 25A). Al analizar la distribución vertical por localidad, se observa que los focos de alta abundancia estuvieron dominados por formas inferiores a 200  $\mu\text{m}$  en longitud, como *Guinardia delicatula* y *Dactyliosolen fragilissimus*, con ejemplares de mayor tamaño (>500  $\mu\text{m}$ ) hacia el sur del área y hacia la región entre las 20 y 40 mn (Figura 26), representadas por especies como las del género *Lioloma* y *Rhizosolenia*, principalmente. Las longitudes de los géneros y especies de las formas flageladas fluctuaron entre 36 y 419  $\mu\text{m}$  (Tabla 11), y la mayor frecuencia se concentró en el rango entre 50 y 70  $\mu\text{m}$  (Figura 25B). Al observar la distribución de los tamaños, a este rango pertenecen las especies que dieron cuenta de las mayores abundancias, principalmente aquellas pertenecientes al género *Gyrodinium*. Las especies de mayor tamaño (>200  $\mu\text{m}$ ) pertenecieron al género *Ceratium*. Estas magnitudes predominaron en las otras localidades, con una tendencia aumentar hacia las mayores profundidades y hacia las 20 mn (Figura 27).

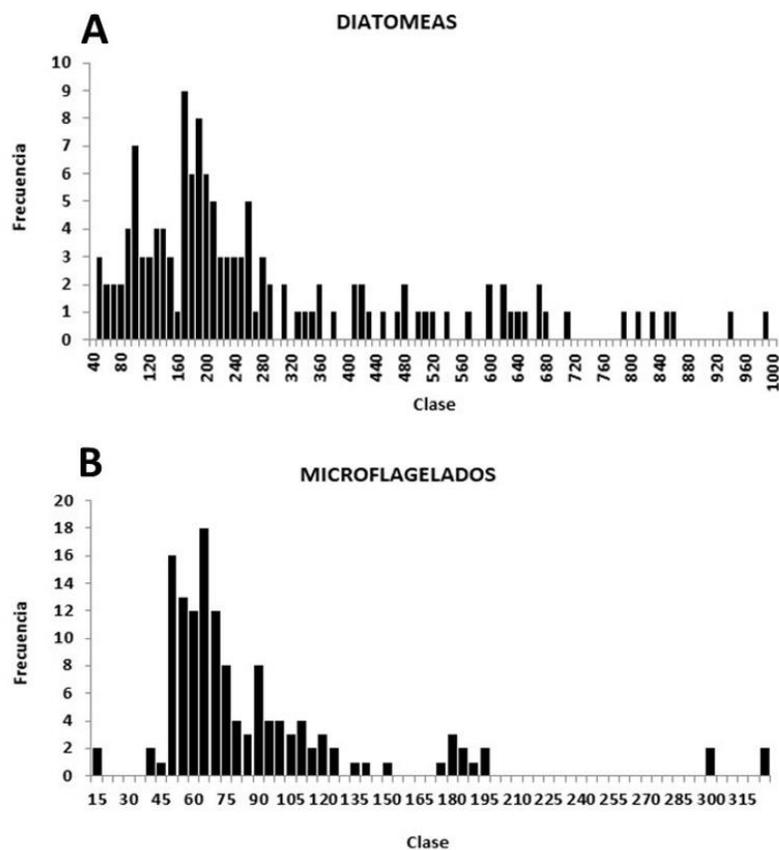


Figura 25. Frecuencia de tamaños ( $\mu\text{m}$ ) de A: diatomeas y B: microflagelados, entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,04 y 42,4 µg Cl-a/L, y la distribución vertical mostró una columna de agua dominada por biomasa inferior a 5,0 µg Cl-a/L en todas las localidades. Focos superiores a 5,0 µg Cl-a/L se observaron en Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), entre 1 y 10 m de la costa y entre la superficie y los 10 m de profundidad, coincidentes con las máximas abundancias de diatomeas y flagelados. Frente a Arica (18°25'S) se registró la mayor biomasa (42,4 µg Cl-a/L) a 5 m y a 5 m, y en Chipana (21°20'S) a 1 m, se detectó un foco secundario de 6,1 µg Cl-a/L a los 10 m. Hacia los estratos más profundos, los valores descendieron de 5,0 µg Cl-a/L respectivamente (**Figura 28**).

**Tabla 10. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (TP) (µm) de los géneros y especies de diatomeas presentes en el periodo entre el 26 y 31 de agosto de 2019. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	AM	AP	TP	DIATOMEAS	AM	AP	TP
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	2,8	0,1	121	<i>Guinardia striata</i>	7,2	1,4	213
<i>Asteromphalus arachne (S)</i>	0,2	0,4	40	<i>Hemiaulus sinensis</i>	79,2	5,1	169
<i>Cerataulina pelagica</i>	2,6	0,8	53	<i>Lauderia annulata</i>	1,6	0,0	245
<i>Chaetoceros compressus</i>	10,4	2,4	311	<i>Leptocylindrus danicus</i>	4,0	0,4	120
<i>Chaetoceros convolutus</i>	3,4	10,8	736	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	1,2	3,0	200
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	4,0	9,9	202	<i>Lioloma delicatulum (S)</i>	0,6	2,7	2.053
<i>Chaetoceros danicus</i>	1,2	0,0	295	<i>Lioloma pacificum (S)</i>	0,2	1,2	592
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	19,8	20,9	284	<i>Lithodesmium undulatum</i>	1,2	1,1	203
<i>Chaetoceros messanensis</i>	0,2	0,6	325	<i>Nitzschia longissima (S)</i>	1,2	0,4	193
<i>Chaetoceros protuberans</i>	16,8	7,4	210	<i>Odontella longicruris</i>	0,2	0,0	88
<i>Chaetoceros radicans</i>	2,8	6,3	247	<i>Planktoniella sol (S)</i>	0,4	0,2	90
<i>Corethron criophilum (S)</i>	0,4	1,8	245	<i>Proboscia alata</i>	0,8	0,0	525
<i>Coscinodiscus centralis (S)</i>	1,0	1,8	166	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	40,8	23,3	306
<i>Cylindrotheca closterium (S)</i>	11,6	1,2	119	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	1,1	8,1	683
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	264,0	89,7	140	<i>Rhizosolenia imbricata var. minuta</i>	1,6	1,4	521
<i>Detonula pumila</i>	2,8	1,5	110	<i>Rhizosolenia setigera</i>	2,4	0,7	691
<i>Ditylum brightwellii (S)</i>	4,0	0,4	208	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	0,4	1,3	178
<i>Eucampia cornuta</i>	4,4	0,4	107	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	2,2	11,1	79
<i>Eucampia zodiacus</i>	1,4	0,1	100	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	3,6	0,5	100
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	31,6	27,8	68	<i>Thalassiosira rotula</i>	6,2	2,0	131
<i>Guinardia delicatula</i>	1.023,6	84,6	163				

**Tabla 11. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio TP ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de flagelados presentes durante el periodo entre el 26 y 31 de agosto de 2019. (A): flagelados atecados.**

FLAGELADOS	AM	AP	TP
<i>Ceratium extensum</i>	0,1	0,3	419
<i>Ceratium furca</i>	7,0	30,5	169
<i>Ceratium fusus</i>	43,6	20,4	210
<i>Ceratium macroceros</i>	0,1	0,2	290
<i>Ceratium massiliense</i>	0,2	1,9	270
<i>Ceratium pulchellum</i>	0,1	0,2	265
<i>Ceratium tripos</i>	0,8	0,4	323
<i>Dictyocha fibula (A)</i>	0,4	5,4	59
<i>Dinophysis acuminata</i>	1,2	9,1	54
<i>Dinophysis hastata</i>	0,2	0,1	75
<i>Dinophysis rotundata</i>	0,8	0,6	52
<i>Diplopsalis lenticula</i>	0,4	0,2	78
<i>Diplopsalis minor</i>	1,6	1,6	56
<i>Distephanus speculum</i>	2,0	27,6	58
<i>Eutreptiella marina (A)</i>	0,2	1,9	63
<i>Gonyaulax taylorii</i>	0,8	0,4	50
<i>Gymnodinium sp. (A)</i>	0,4	5,4	61
<i>Gyrodinium sp. (A)</i>	72,8	94,1	67
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	3,6	3,2	62
<i>Pyramimonas longicauda (A)</i>	2,0	1,2	45
<i>Prorocentrum gracile</i>	7,6	9,2	36
<i>Prorocentrum micans</i>	0,4	0,4	60
<i>Protoperdinium claudicans</i>	0,8	0,4	110
<i>Protoperdinium depressum</i>	0,4	1,8	129
<i>Protoperdinium granii</i>	0,8	2,3	49
<i>Protoperdinium pedunculatum</i>	0,4	0,2	65
<i>Protoperdinium pellucidum</i>	0,8	1,1	50
<i>Protoperdinium pyrum</i>	0,8	0,4	45
<i>Protoperdinium steinii</i>	0,4	0,2	78

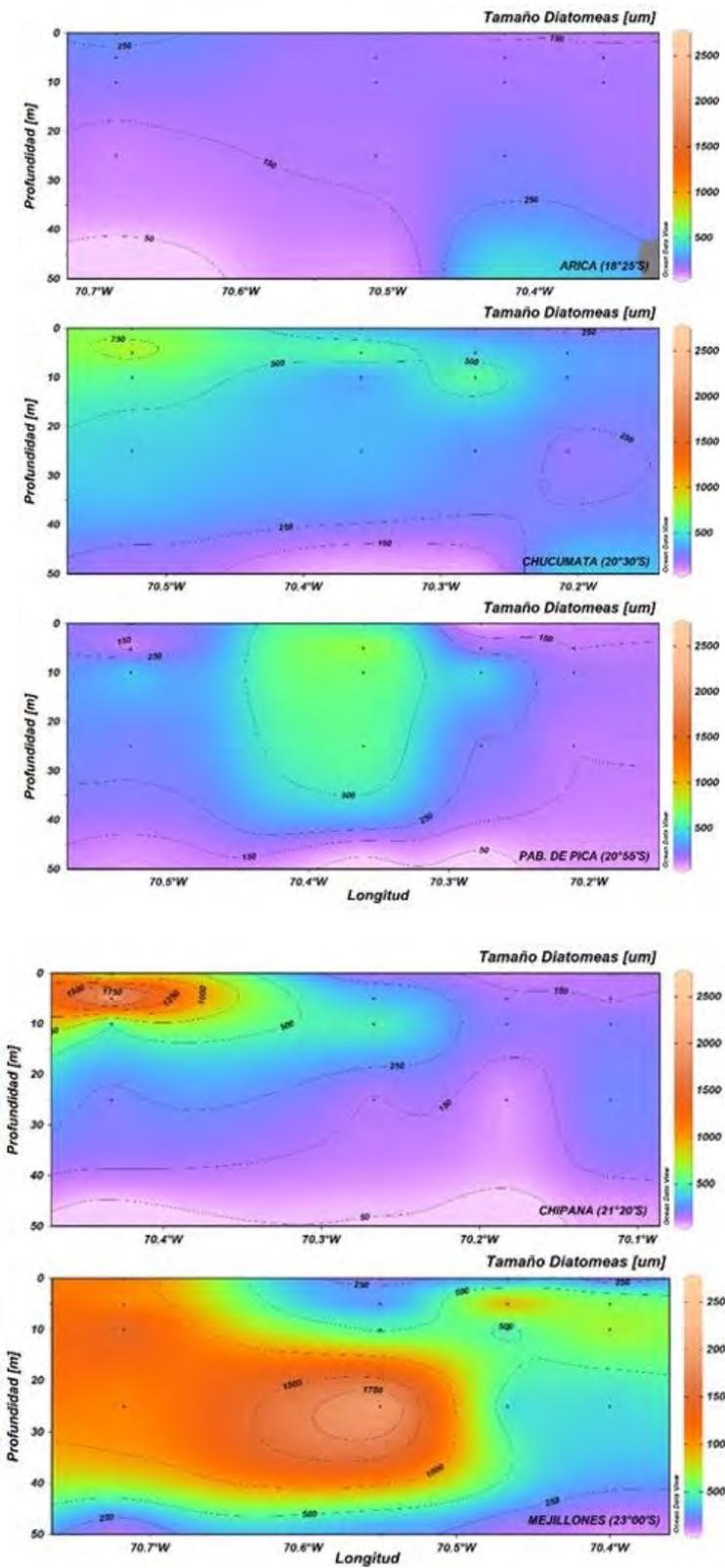


Figura 26. Distribución vertical del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de las diatomeas entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

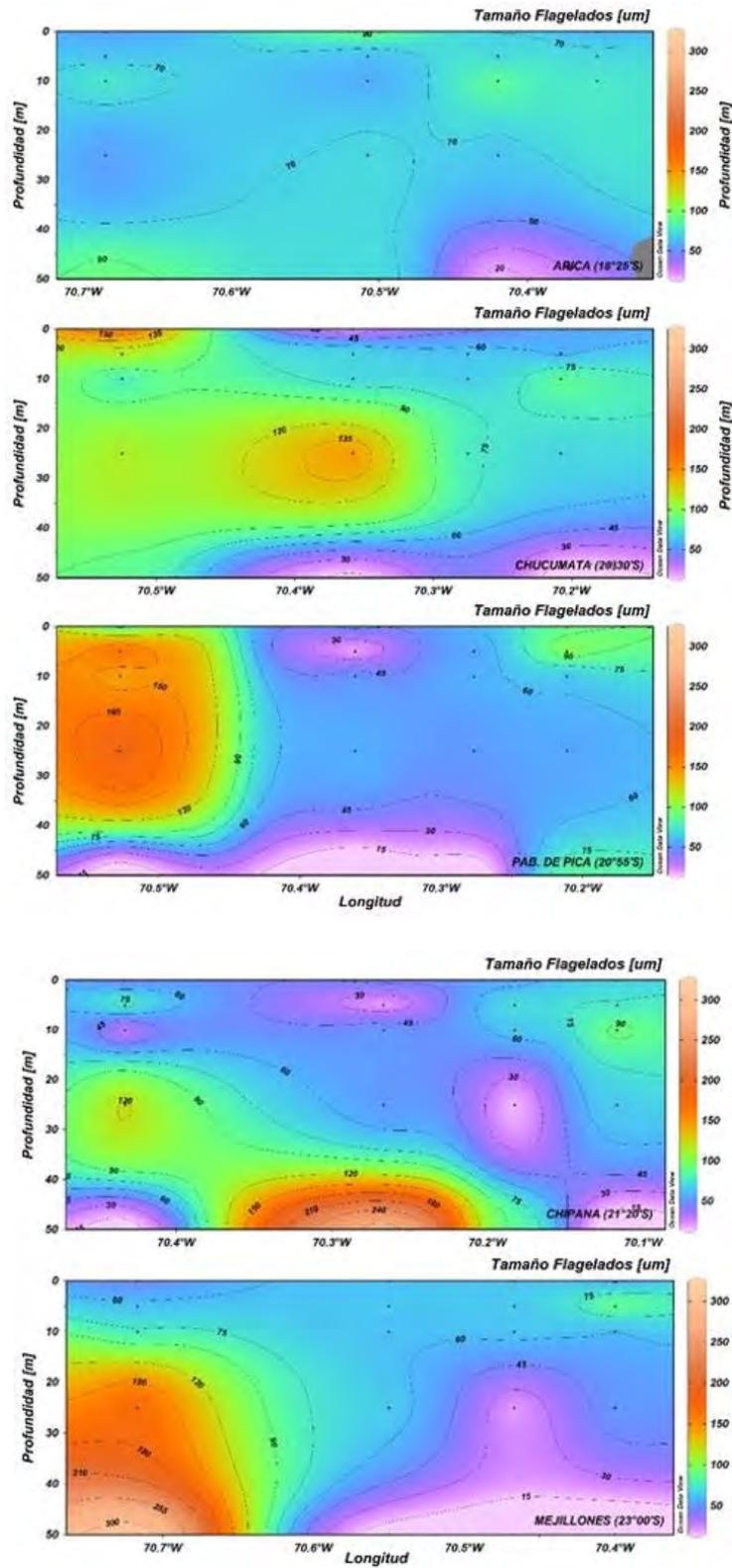


Figura 27. Distribución vertical del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de los flagelados entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

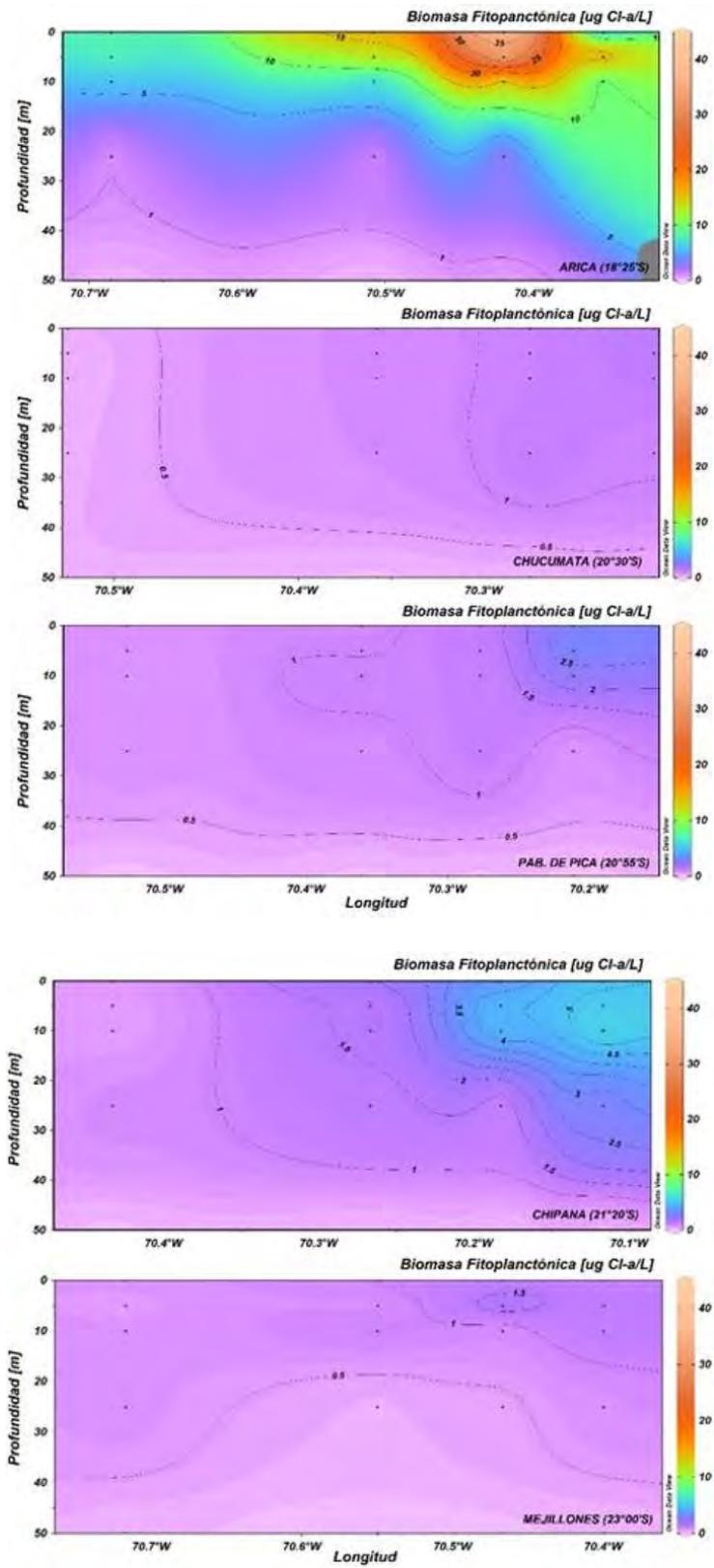


Figura 28. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu\text{g Chl-a/L}$ ) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

## Microzooplancton

Se identificó un total de 13 representantes del microzooplancton en las categorías de holoplancton y meroplancton. La abundancia total fluctuó entre 0,2 y 559,4 ind/mL. Los grupos más abundantes, pertenecientes al holoplancton, fueron ciliados y tintinidos, que exhibieron concentraciones máximas superiores a los 250 ind/mL, con aportes al total mayores al 50% (**Tabla 12**).

Al analizar la distribución por localidad, las secciones transversales evidenciaron la presencia de la máxima concentración de microzooplancton (559,4 ind/mL) frente a Chucumata (20°30'S), restringida a la superficie y a las 5 mn de la costa. Este foco se debió a la presencia de las máximas de ciliados (298,8 ind/mL) y de tintinidos (258,4) que realizaron una contribución porcentual 53,5% y 44,5% respectivamente. En las otras localidades el microzooplancton escasamente superó los 50 ind/mL (**Figura 29**).

Con relación al espectro de tamaños, la longitud promedio de los grupos microzooplanctónicos 55 y 644  $\mu\text{m}$  (**Figura 11**), con una mayor frecuencia de formas entre los 100 y 250  $\mu\text{m}$  (**Figura 30**). La distribución vertical por localidad mostró que los grupos responsables de la máxima abundancia registrada se encontraron bajos los 150  $\mu\text{m}$  en longitud, y en aquellas localidades donde el microzooplancton presentó baja abundancia ( $< 50$  ind/mL), hubo un predominio de tamaños superiores a 250  $\mu\text{m}$ , sin un patrón de distribución muy definido (**Figura 31**), los que estuvieron representados, principalmente, por estadios larvales meroplanctónicos.

**Tabla 12. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio ( $\mu\text{m}$ ) de los grupos microzooplanctónicos presentes durante el periodo entre el 26 y 31 de agosto de 2019.**

CATEGORÍA	GRUPOS	AM	AP	TP
HOLOPLANCTON	Ciliados	298,8	53,5	62
	Estadios copepoditos	2,8	2,8	577
	Estadios naupliares	7,2	9,3	164
	Foraminifera	0,1	0,0	55
	Huevos de Copepoda	0,5	0,7	246
	Larvas de Appendicularia	0,04	0,03	413
	Radiolaria	1,4	0,9	167
	Rotifera	0,4	0,7	126
	Tintinnida	258,4	44,5	135
MEROPLANCTON	Huevos	3,6	7,8	183
	Larvas de Bivalvia	0,2	0,1	188
	Larvas de Echinodermata	0,2	0,1	369
	Larvas de Polychaeta	0,4	0,2	644

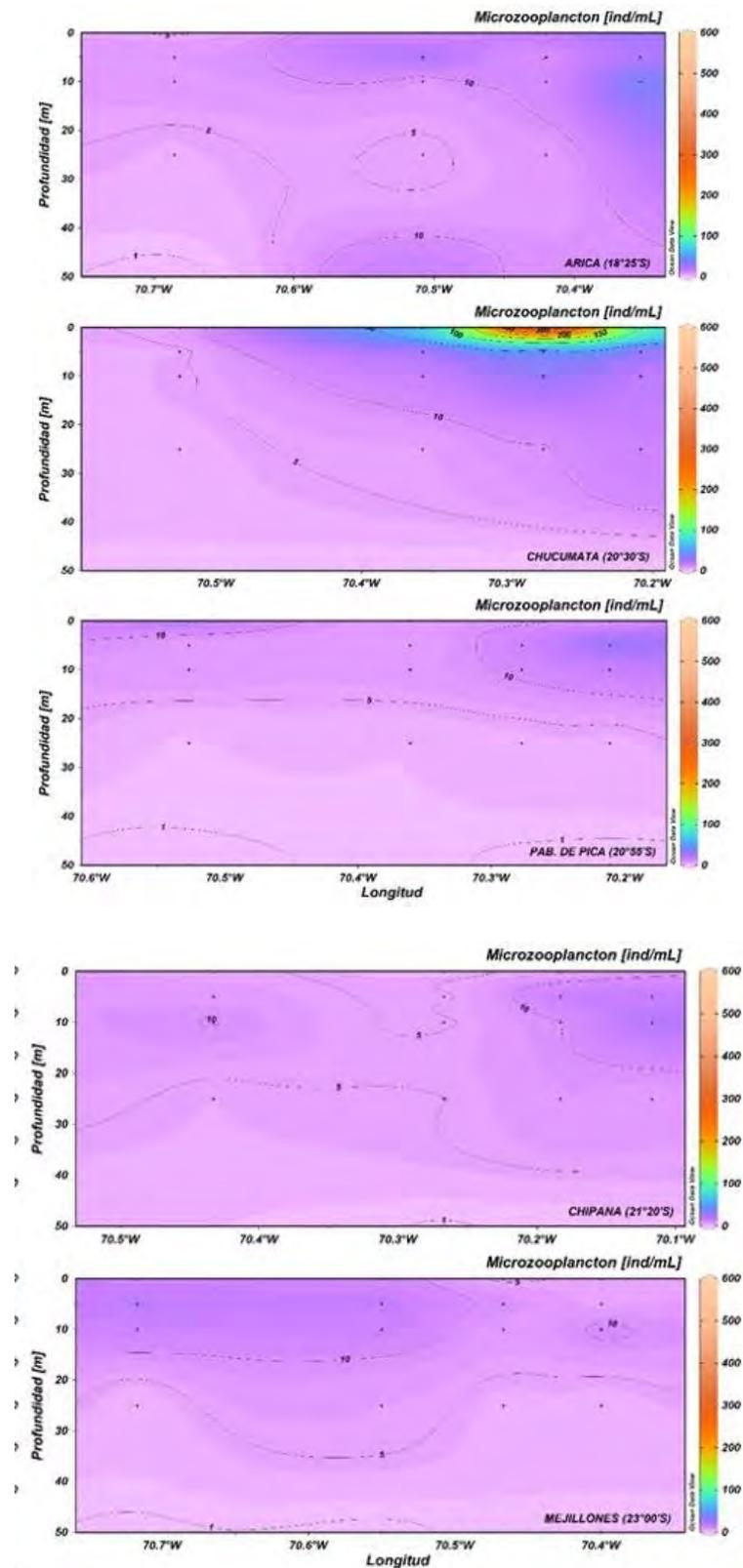


Figura 29. Distribución vertical de la abundancia del microzooplancton (ind/mL) entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

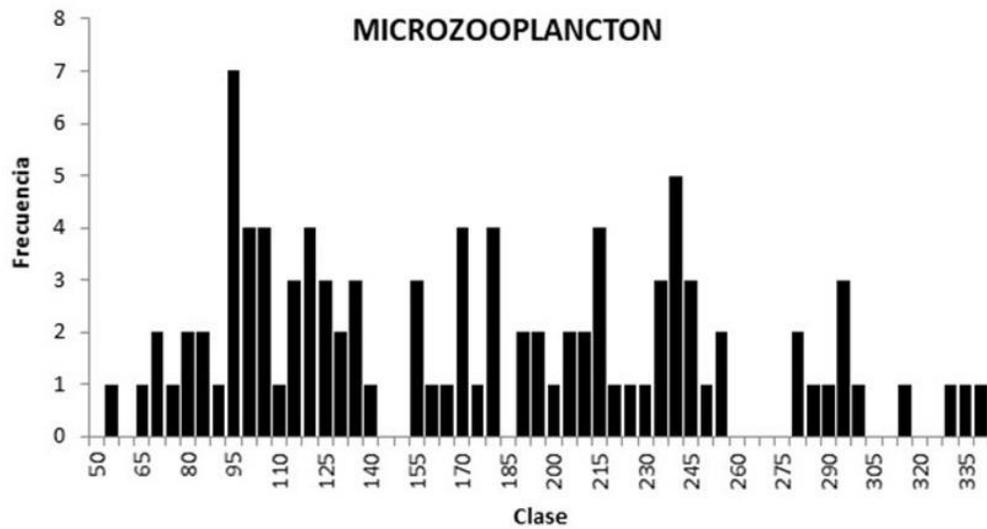


Figura 30. Frecuencia de tamaños (µm) del microzooplancton entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

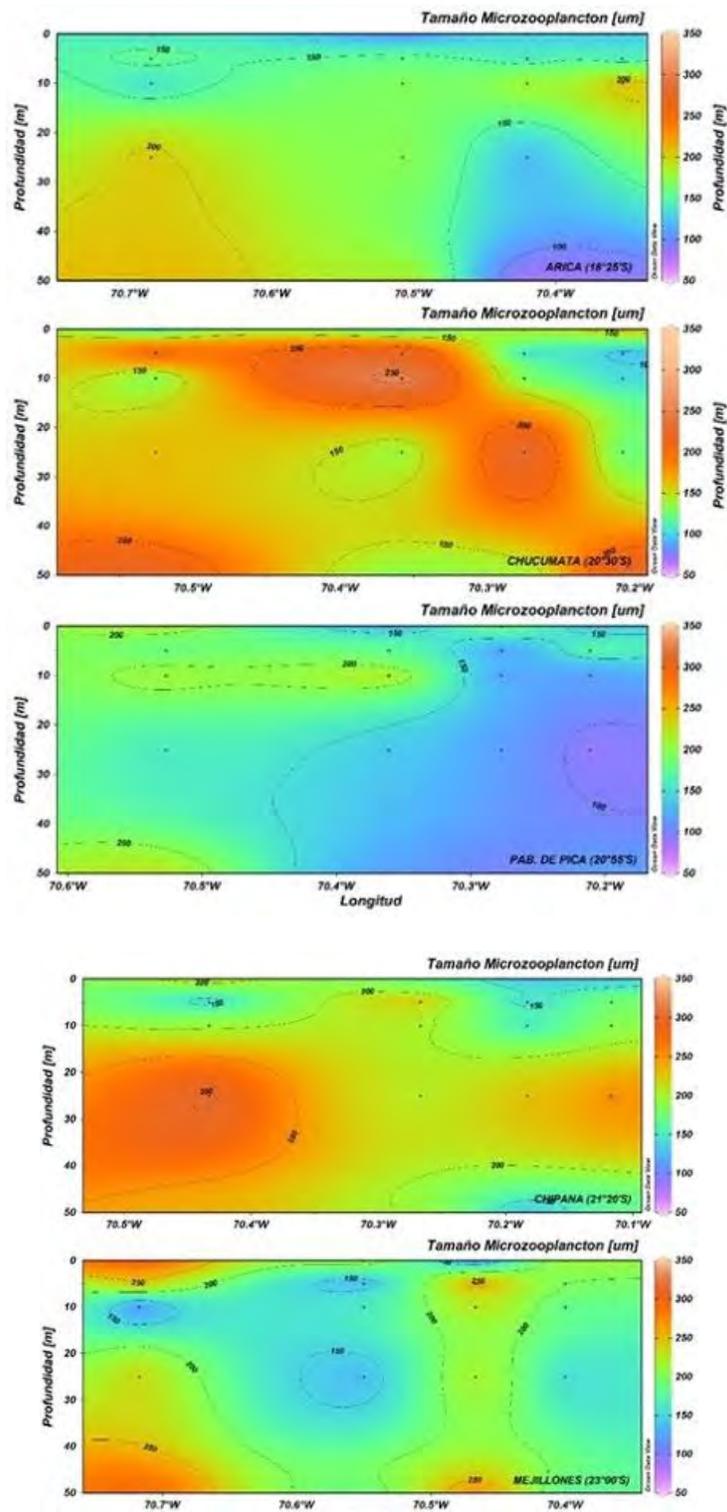


Figura 31. Distribución vertical del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) del microzooplancton entre los días 26 y 31 de agosto de 2019.

## Crucero de verano de 2020

### Condiciones ambientales

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre 16,5 y 26,2°C. La estructura termal superficial, se caracterizó por la presencia de temperaturas superiores a 20°C que alcanzaron la costa entre Arica (18°25'S) y Punta Junín (19°40'S), con el máximo de 26,2°C localizado a 40 mn frente a Punta Madrid (19°00'S). Desde Chucumata (20°30'S) al sur, la franja costera (1-10 mn) exhibió núcleos con valores inferiores a 18°C, registrándose en Tocopilla (22°10'S) el mínimo superficial (16,5°C) a 1 mn de la costa (**Figura 32A**).

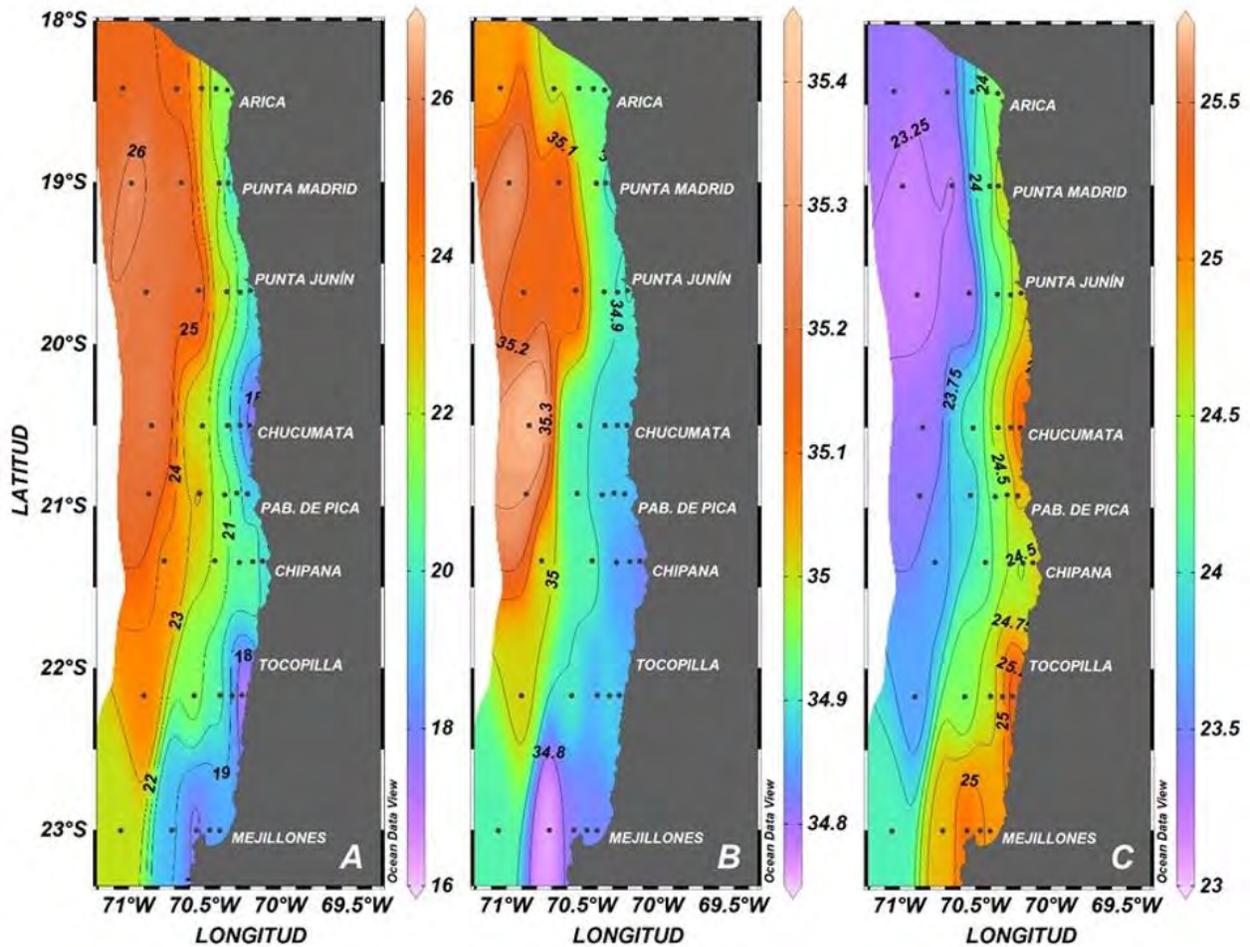
La distribución vertical mostró que las temperaturas superiores a 20°C ocuparon el estrato hasta los 20 m de profundidad, replegándose hacia las 20 y 40 mn desde Chipana (20°30'S) al sur. En la costa (1-5 mn) se observó la inclinación de las isolíneas hacia la superficie, asociada al ascenso de aguas subsuperficiales, lo que condujo a la presencia de los focos fríos (< 18°C) en Chucumata (20°30'S), Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) (**Figura 33**).

La salinidad superficial fluctuó entre 34,76 y 35,41 ups. Los valores superiores a 35 ups se asociaron a las temperaturas por sobre los 23°C, y se distribuyeron desde Arica (18°25'S) a Tocopilla (22°10'S) por la franja entre las 20 y 40 mn, acercándose a la costa (1-5 mn) en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S). El máximo (35,4 ups) se detectó frente a Chucumata (20°30'S) a 40 mn de la costa. Desde punta Junín (19°40'S) al sur, el dominio en la zona costera (1-10 mn) de salinidades inferiores a 34,9 ups se incrementó, abarcando hasta las 20 mn en Mejillones (23°00'S) donde se detectó el mínimo valor superficial (34,75 ups) (**Figura 32B**).

En la componente vertical, las salinidades superiores a 35 ups ocuparon los primeros 20 m de profundidad y, al igual que la temperatura, restringieron su presencia a las 20 y 40 mn desde punta Junín (19°40'S) al sur. En el resto de la columna de agua dominaron valores inferiores a 34,85 ups, detectándose la intrusión, desde la zona más oceánica, de salinidades menores a 34,7 ups a los 20 m de profundidad, los que se extendieron hasta la costa (1 mn). Esta situación fue especialmente evidente en Mejillones (23°00'S), localidad donde estos valores se registraron hasta los 100 m de profundidad a las 40 mn de la costa (**Figura 34**).

La densidad (sigma-t) en superficie presentó valores extremos de 23,19 y 25,51. Siguiendo la distribución de la temperatura y la salinidad, densidades menores a 24 se distribuyeron desde Arica (18°25'S) a Tocopilla (22°10'S) por la franja entre las 20 y 40 mn. En el margen costero (1-10 mn)

los valores aumentaron observándose rangos entre 24,7 y 25,5, con el máximo principal (25,51) frente a Mejillones (23°00'S) a 10 mn de la costa (Figura 32C).



**Figura 32. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (psu) y C: Densidad ( $\sigma-t$ ), entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.**

En la componente vertical, las densidades inferiores a 24 ocuparon los primeros 20 m de profundidad, replegándose hacia las 20 y 40 mn desde punta Junín (19°40'S) al sur. En la costa (1-10 mn) se observó la inclinación de las isopicnas hacia la superficie, indicando el ascenso de aguas de densidades superiores a 25. Valores mayores a 26 dominaron en los estratos más profundos desde los 50 m, excepto en Mejillones (23°00'S) donde la columna de agua a 40 mn mantuvo valores densidades cercanas a 25,5 asociadas al agua de salinidad menor a 34,7 (Figura 35).

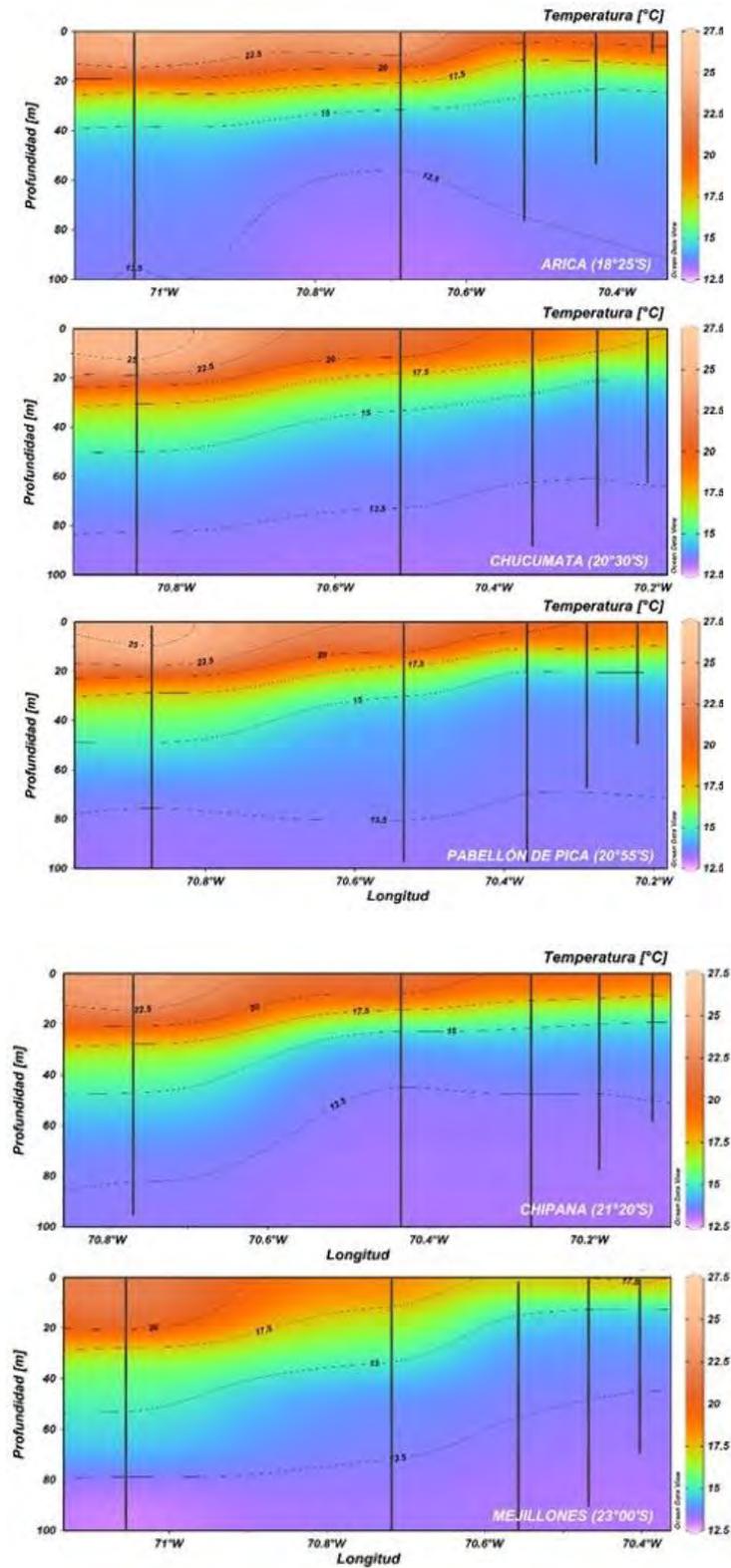


Figura 33. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

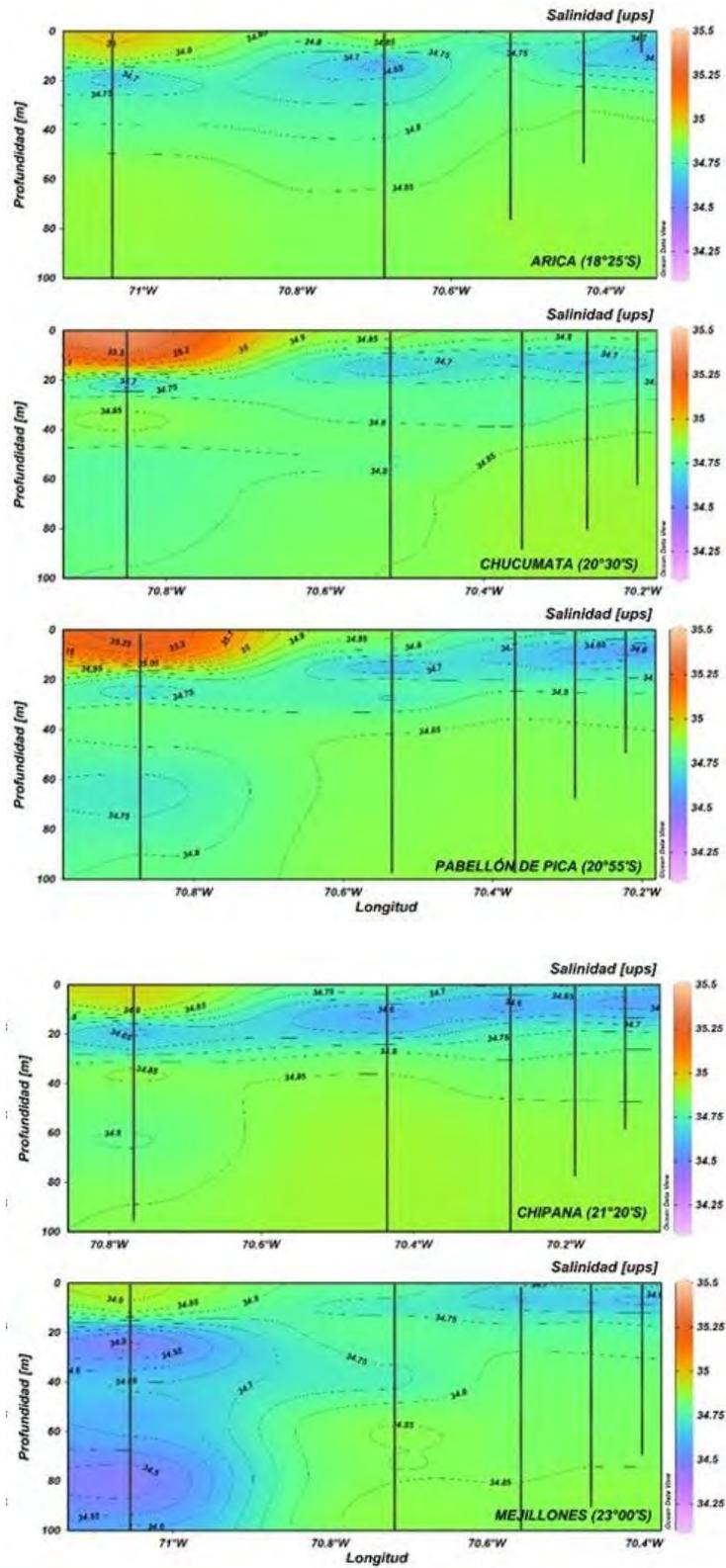


Figura 34. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

Al analizar el diagrama T-S global, se registró la presencia de las tres masas de agua de la región: Agua Subtropical Superficial (ASS), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). El ASS tuvo una mayor participación especialmente en las estaciones más alejadas de la costa y en el sector norte ( $18^{\circ}25'S$ - $19^{\circ}40'S$ ). En el sector central del área ( $20^{\circ}30'S$ - $21^{\circ}20'S$ ) se hizo más evidente la participación del ASAA, que predominó entre Tocopilla ( $22^{\circ}20'S$ ) y Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), localizándose principalmente entre 20 y 60 m de profundidad. Cerca de los 100 m se detectó el AESS, asociada a valores de oxígeno disuelto inferiores a 1,0 mL/L (**Figura 36**).

La frecuencia de Brunt-Väisälä fluctuó entre -28,8 y 41,2 ciclos/hora. En todos los sectores prevalecieron, entre la superficie y los 50 m de profundidad, valores positivos de la frecuencia, revelando una condición de estabilidad. Bajo los 50 m las frecuencias se concentraron alrededor de los 0,0 ciclos/hora, mostrando una mayor uniformidad en la columna de agua (**Figura 37**).

El oxígeno disuelto superficial fluctuó entre 3,6 y 7,4 mL O<sub>2</sub>/L. La distribución evidenció la presencia de concentraciones menores a 5,0 mL O<sub>2</sub>/L en toda la región desde las 10 hasta las 40 mn de la costa. Entre 1 y 5 mn los valores se incrementaron, detectándose focos cercanos a 7,0 mL O<sub>2</sub>/L en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ), Chucumata ( $20^{\circ}30'S$ ), Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) y Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), con el máximo (7,4 mL O<sub>2</sub>/L) localizado frente a Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) a 1 mn (**Figura 38A**).

|

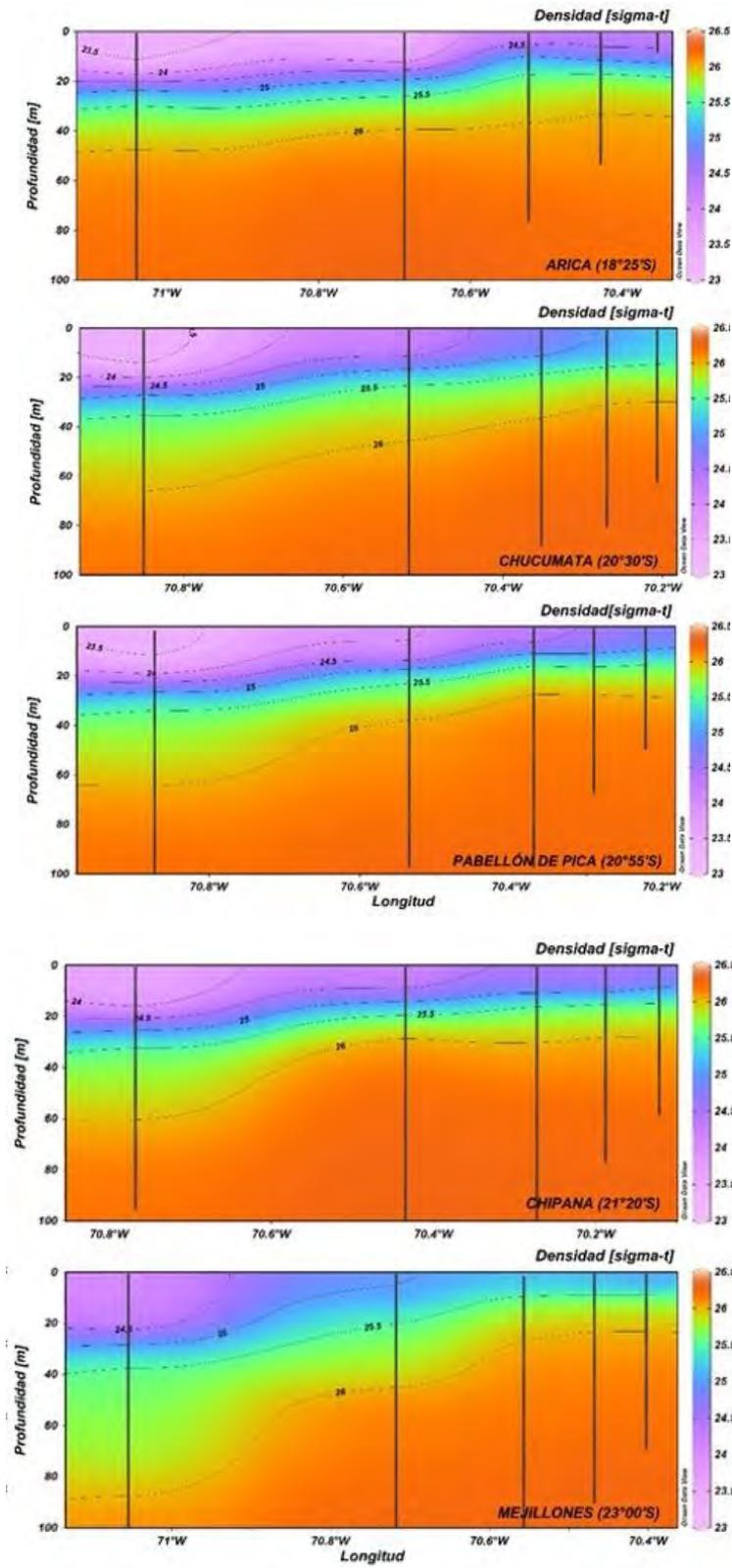
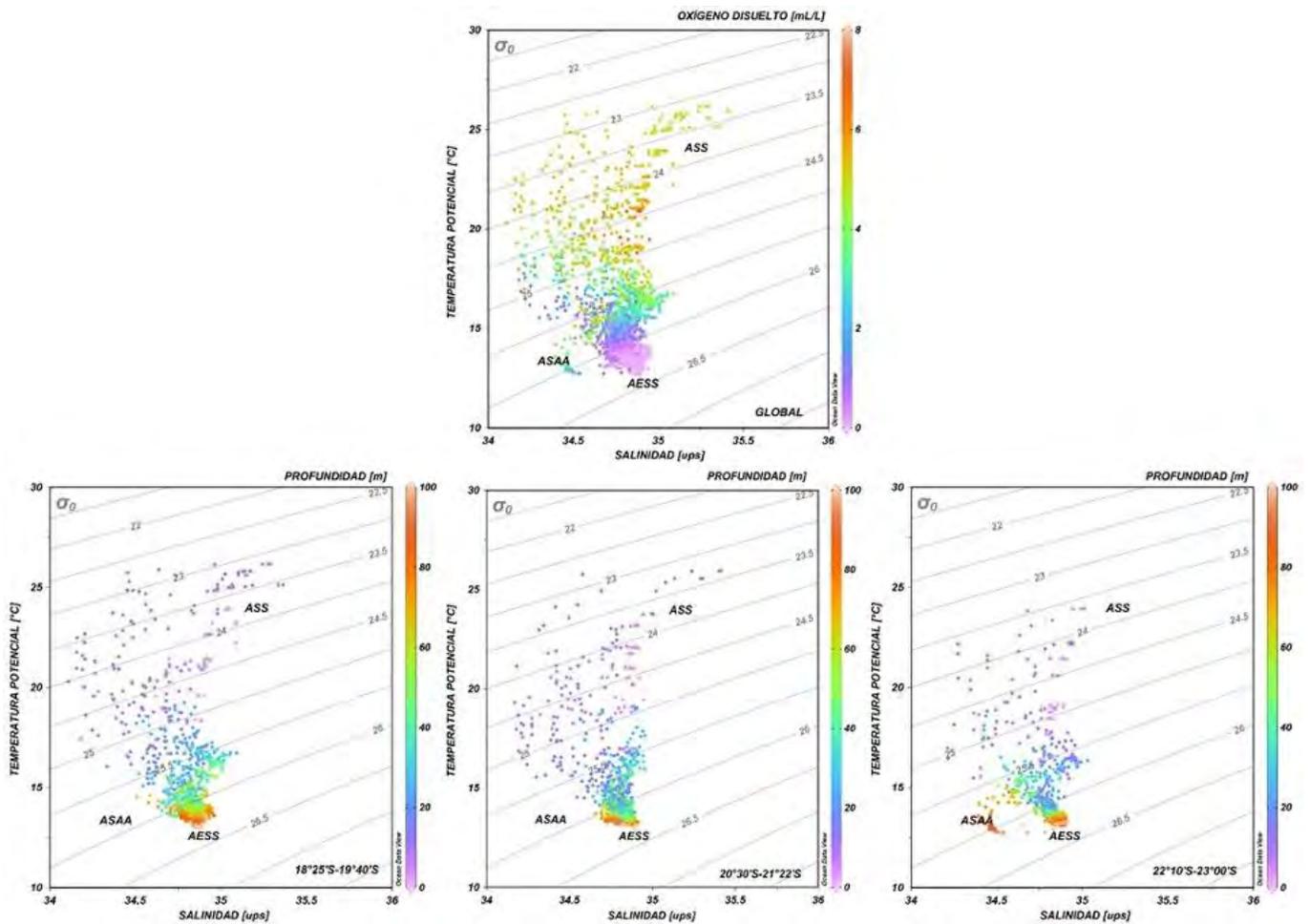
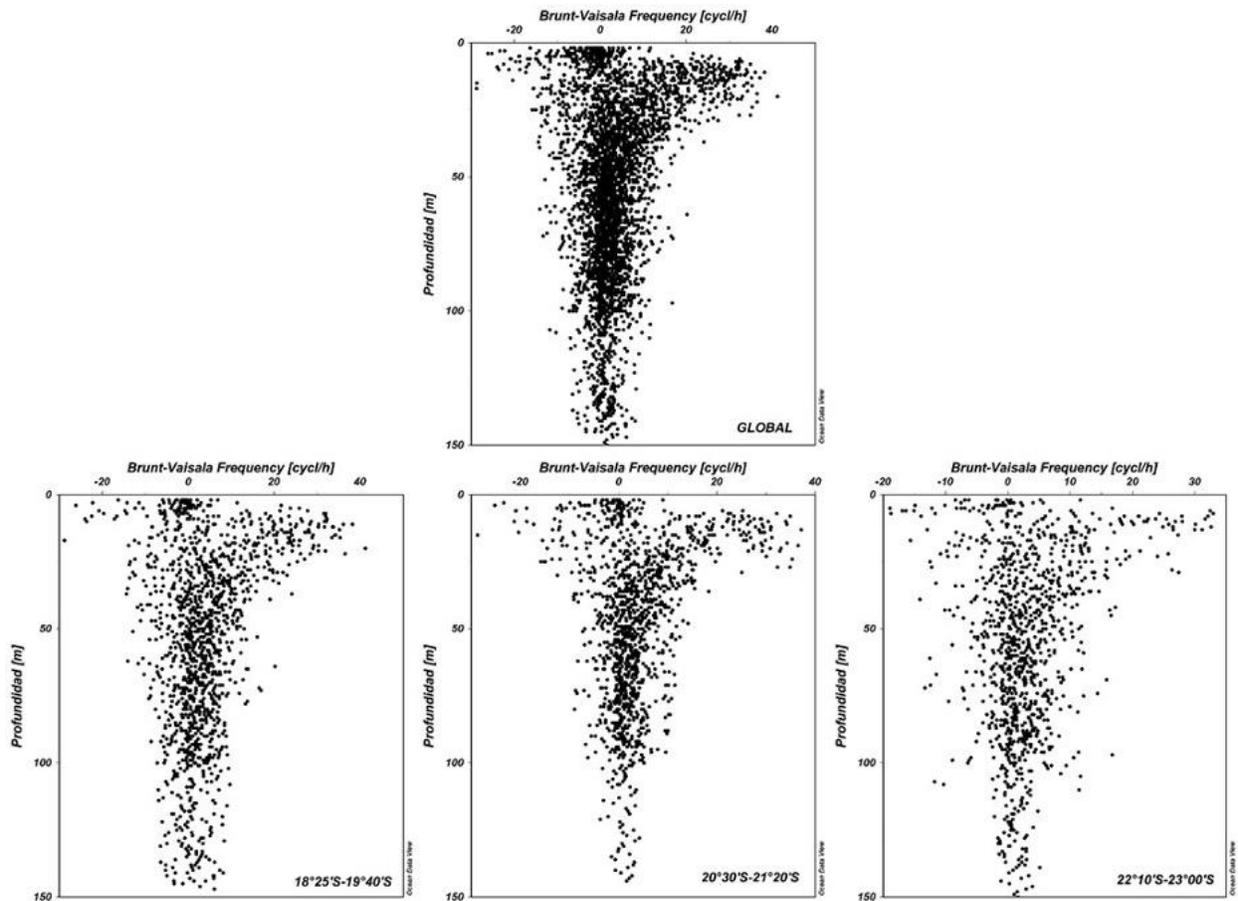


Figura 35. Distribución vertical de Densidad ( $\sigma-t$ ) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.



**Figura 36. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°22'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.**

La distribución vertical mostró valores superiores a 4,0 mL O<sub>2</sub>/L distribuidos hasta los 25 m de profundidad, los que frente a Mejillones (23°00'S) ocuparon hasta los 60 m de a 40 mn de la costa, asociados a la presencia del ASAA. En la costa (1-5 mn) se observó el ascenso de las oxilíneas que llevaron aguas de bajo contenido de oxígeno a la superficie (Figura 39). Asociado a estos procesos de afloramiento, el límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (LS\_CMO), exhibió una profundización costa afuera, localizándose a menos de 20 m entre 1 y 5 mn de la costa (1 mn) y alcanzando su posición más somera (cercana a los 8,0 m de profundidad) a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S) (Figura 38B).



**Figura 37.** Perfiles de la frecuencia de Brunt-Väisälä (ciclos/h) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

Durante los días previos y de realización del crucero, persistieron valores de TEk mayores a los 1.000 m<sup>3</sup>/s/km, evidenciando la ocurrencia de activos procesos de surgencia. Las mayores intensidades se registraron en Arica e Iquique, donde superaron los 2.500 y 2.000 m<sup>3</sup>/s/km respectivamente, mientras que en Mejillones se mantuvieron cercanos a los 1.500 m<sup>3</sup>/s/km (Figura 40).

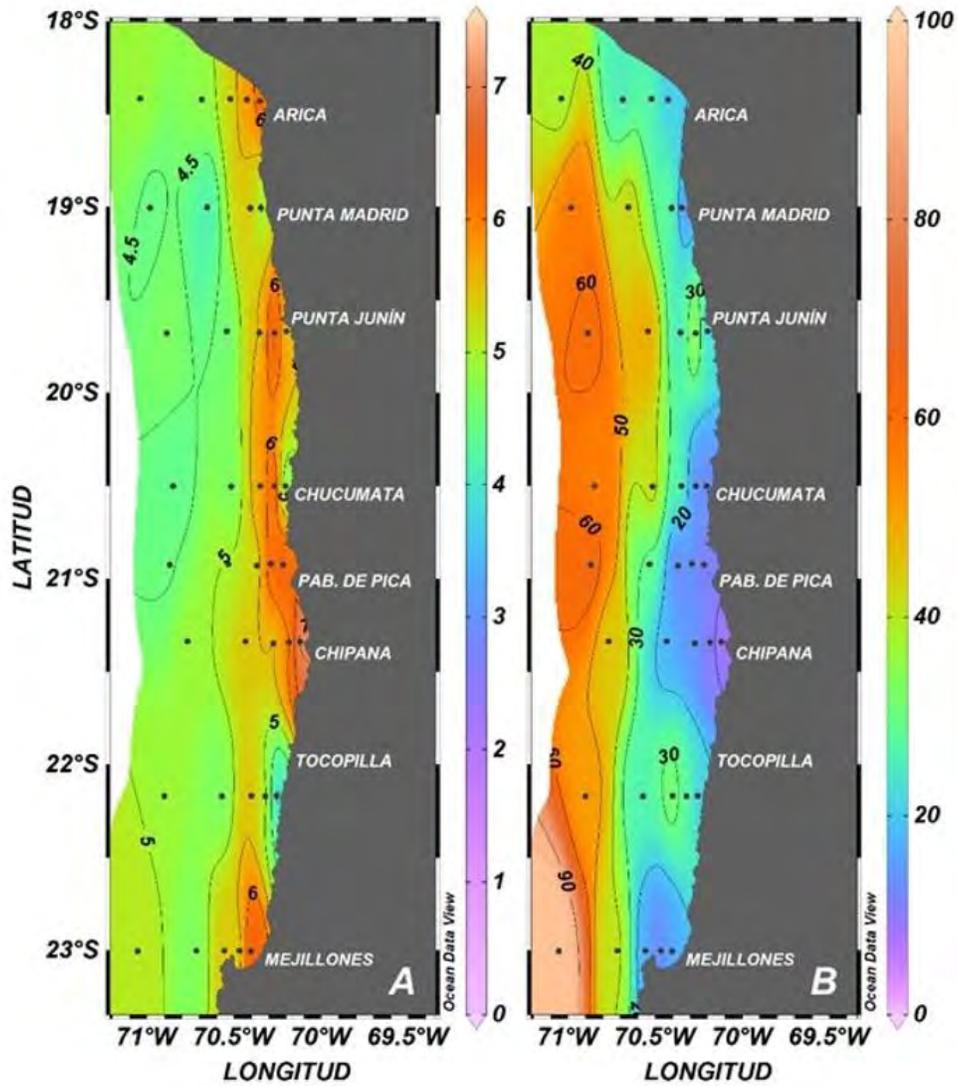


Figura 38. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) y B: profundidad de localización del LS\_CMO (m) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

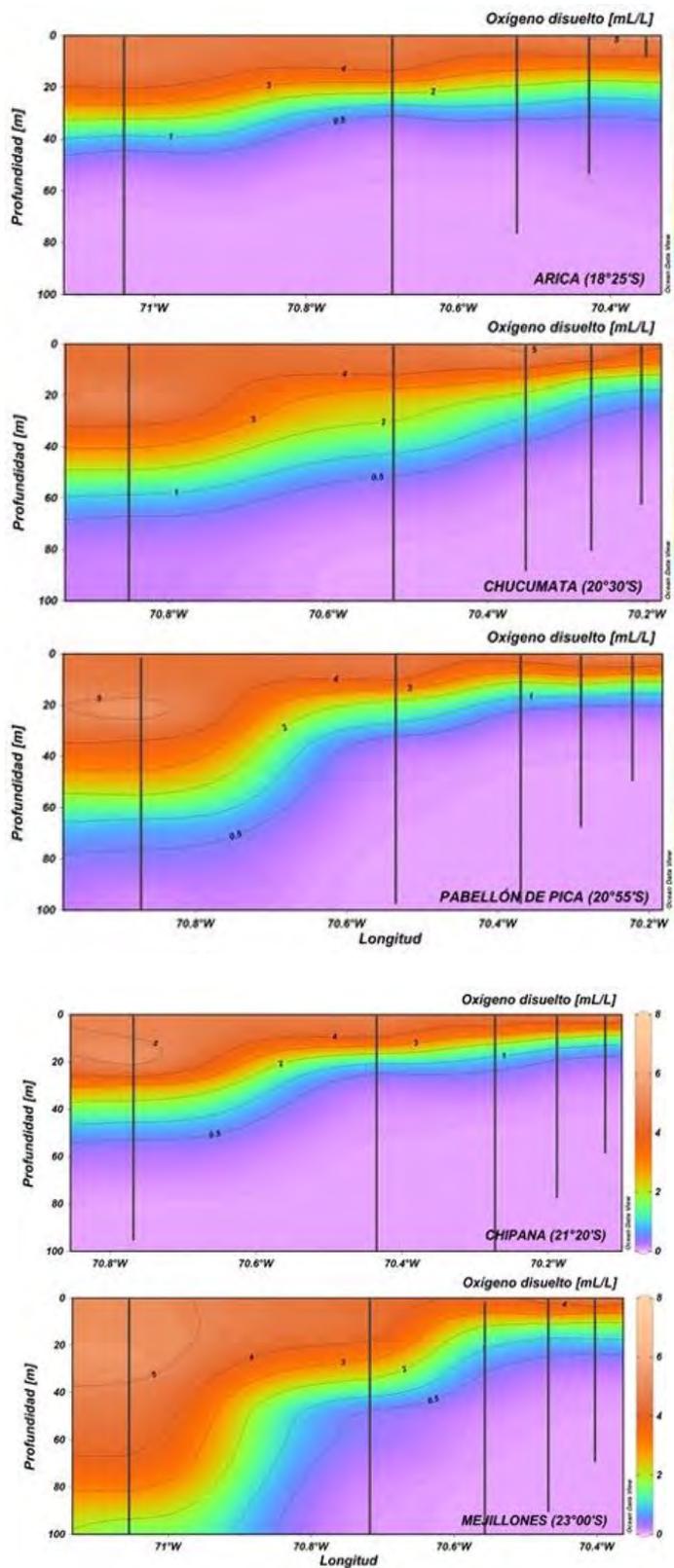
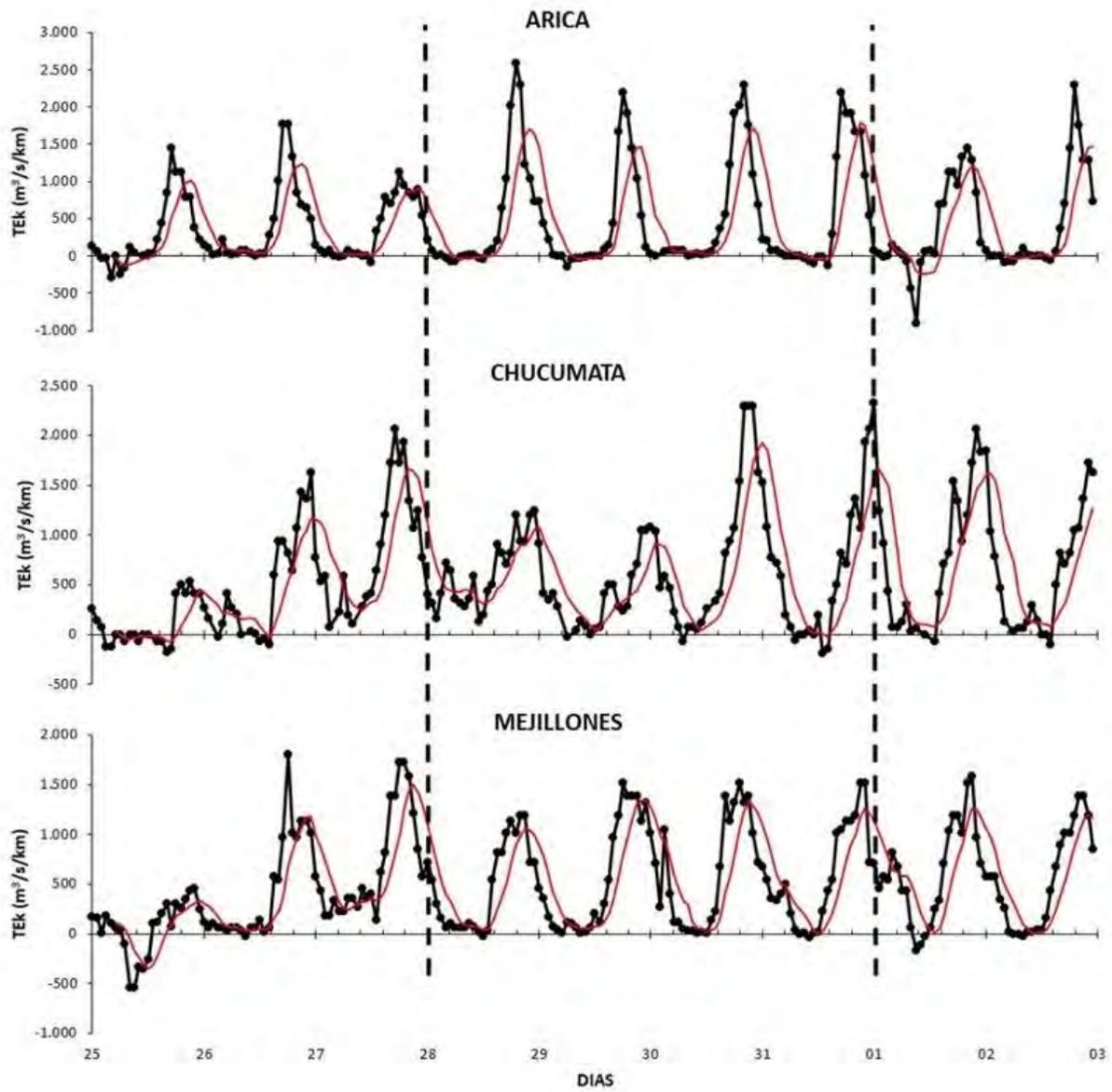


Figura 39. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.



**Figura 40.** Transporte Ekman diario (m<sup>3</sup>/s/km) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 25 de enero y 03 de febrero de 2020 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

## Estructura de la comunidad Microplanctónica

### Fitoplancton

Se identificó un total de 79 especies microfítolantónicas, de las cuales 38 correspondieron a diatomeas y 41 a flagelados.

Las diatomeas exhibieron abundancias máximas totales que fluctuaron entre 0,1 y 440 cél/mL con una dominancia de formas en cadena, especialmente del género *Chaetoceros*. Destacaron las especies *Guinardia delicatula* y el género *Pseudo-nitzschia* con máximas de 335,2 cél/mL y 392,8 cél/mL respectivamente, y con aportes al total que superaron el 80% (**Tabla 13**). Las secciones transversales evidenciaron la presencia de focos de alta concentración (>300 cél/mL) en Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S). El foco de Arica (18°25'S) alcanzó las 336,4 cél/mL, se localizó a 1 mn y a nivel superficial, y la especie responsable fue *Guinardia delicatula* que contribuyó con un 97,6% total. En Chipana (21°20'S) se registró la máxima del grupo (440 cél/mL) también en superficie, pero extendiéndose entre 5 y 10 mn de la costa. En este sector predominó el género *Pseudo-nitzschia* con un aporte del 82,1%. En las otras localidades las diatomeas mostraron una dominancia de valores inferiores a 50 cél/mL (**Figura 41**)

Los flagelados presentaron abundancias máximas entre 0,1 y 877,2 cél/mL. Este grupo estuvo dominado por dinoflagelados tecados, entre los cuales *Prorocentrum gracile* exhibió una concentración máxima de 424,8 cél/mL, y entre las formas atecadas domino *Akashiwo sanguinea* 804 cél/mL (**Tabla 14**). La distribución vertical reveló la presencia de tres focos de valores superiores a 300 cél/mL. El primero se registró en Arica (18°25'S), entre la superficie y los 5 m de profundidad, y estuvo representado por la especie *P. gracile* que aportó con el 82,9% al total. El segundo, localizado en Chucumata (20°30'S) a 1 mn y a 5 m, correspondió al de máxima abundancia del grupo (877,2 cél/mL) y *A. sanguinea* contribuyó con el 89,9%. Esta especie mantuvo altas concentraciones (>100 cél/mL) en las localidades de más al sur, y generó el tercer núcleo de 449,2 cél/mL, localizado en Mejillones (23°00'S) a 10 m de profundidad, aportando con el 87,5%. Bajo los 10 m de profundidad, este grupo exhibió abundancias inferiores a 50 cél/mL en toda el área (**Figura 42**).

**Tabla 13. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (TP) ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de diatomeas presentes en el periodo entre el 28 de enero y 01 de febrero de 2020. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	AM	AP	TP	DIATOMEAS	AM	AP	TP
<i>Asteromphalus arachne</i> (S)	0,4	1,1	63	<i>Guinardia delicatula</i>	335,2	97,6	148
<i>Asteromphalus heptactis</i> (S)	1,8	2,5	61	<i>Guinardia striata</i>	0,8	0,7	213
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	0,8	2,1	103	<i>Hemiaulus sinensis</i>	3,2	1,3	125
<i>Cerataulina pelagica</i>	0,4	0,2	45	<i>Leptocylindrus danicus</i>	0,3	0,1	350
<i>Chaetoceros affinis</i>	3,2	8,7	180	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	71,2	53,6	142
<i>Chaetoceros compressus</i>	0,3	0,9	430	<i>Lioloma delicatulum</i> (S)	0,4	1,6	1965
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0,8	2,7	215	<i>Lithodesmium undulatum</i>	0,4	0,2	128
<i>Chaetoceros danicus</i>	11,2	17,6	310	<i>Nitzschia longissima</i> (S)	0,4	0,5	228
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0,2	0,4	200	<i>Planktoniella sol</i> (S)	0,4	0,1	85
<i>Chaetoceros protuberans</i>	0,1	0,3	100	<i>Proboscia alata</i>	0,4	0,0	525
<i>Chaetoceros radicans</i>	9,2	3,7	315	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	392,8	82,1	126
<i>Corethron criophilum</i> (S)	0,1	0,0	100	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	31,7	70,9	437
<i>Coscinodiscus centralis</i> (S)	0,4	1,8	173	<i>Rhizosolenia imbricata var. minuta</i>	0,2	0,5	330
<i>Coscinodiscus wailesii</i> (S)	0,8	0,1	190	<i>Rhizosolenia setigera</i>	1,6	0,5	1085
<i>Cylindrotheca closterium</i> (S)	53,2	15,0	113	<i>Skeletonema sp.</i>	2,4	1,0	150
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	3,2	1,6	116	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	0,2	0,03	250
<i>Detonula pumila</i>	3,2	0,6	133	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	2,8	2,7	60
<i>Eucampia zodiacus</i>	1,2	0,6	104	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	1,3	0,8	76
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	0,2	0,01	80	<i>Thalassiosira minuscula</i>	1,6	5,4	100

Con relación al espectro de tamaños, los géneros y especies de diatomeas presentaron longitudes promedio entre 45 y 1.965  $\mu\text{m}$  (**Tabla 13**), con una mayor frecuencia de formas entre los 80 y 200  $\mu\text{m}$  (**Figura 43A**). La distribución vertical mostró que los focos de abundancia máxima, presentes en Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), estuvieron dominados por formas entre 100 y 150  $\mu\text{m}$ , como *Guinardia delicatula* y *Pseudo-nitzschia*. En general, se observó un predominio de tamaños entre 50 y 100  $\mu\text{m}$ , representados por especies solitarias, principalmente hacia los estratos más profundos y hacia la región entre las 20 y 40 mn (**Figura 44**). Las formas flageladas fluctuaron entre 37 y 265  $\mu\text{m}$  (**Tabla 14**) con una mayor frecuencia en el rango entre 50 y 100  $\mu\text{m}$  (**Figura 43B**). Al analizar las secciones transversales, se observan valores iguales o menores a 75  $\mu\text{m}$  en Arica (18°25'S) a nivel superficial, y desde Chucumata (20°30'S) al sur, asociados a la presencia de *P. gracile* y *A. akashiwo* respectivamente, que se encuentran en esos rangos de tamaño. En las otras localidades, con excepción de Pabellón de Pica (20°55'S) predominaron flagelados con longitudes mayores a 100  $\mu\text{m}$ , particularmente hacia los 50 m y hacia las 20 mn (**Figura 45**), que respondieron a la escasa presencia de especies del género *Ceratium* y *Protoperdinium*.

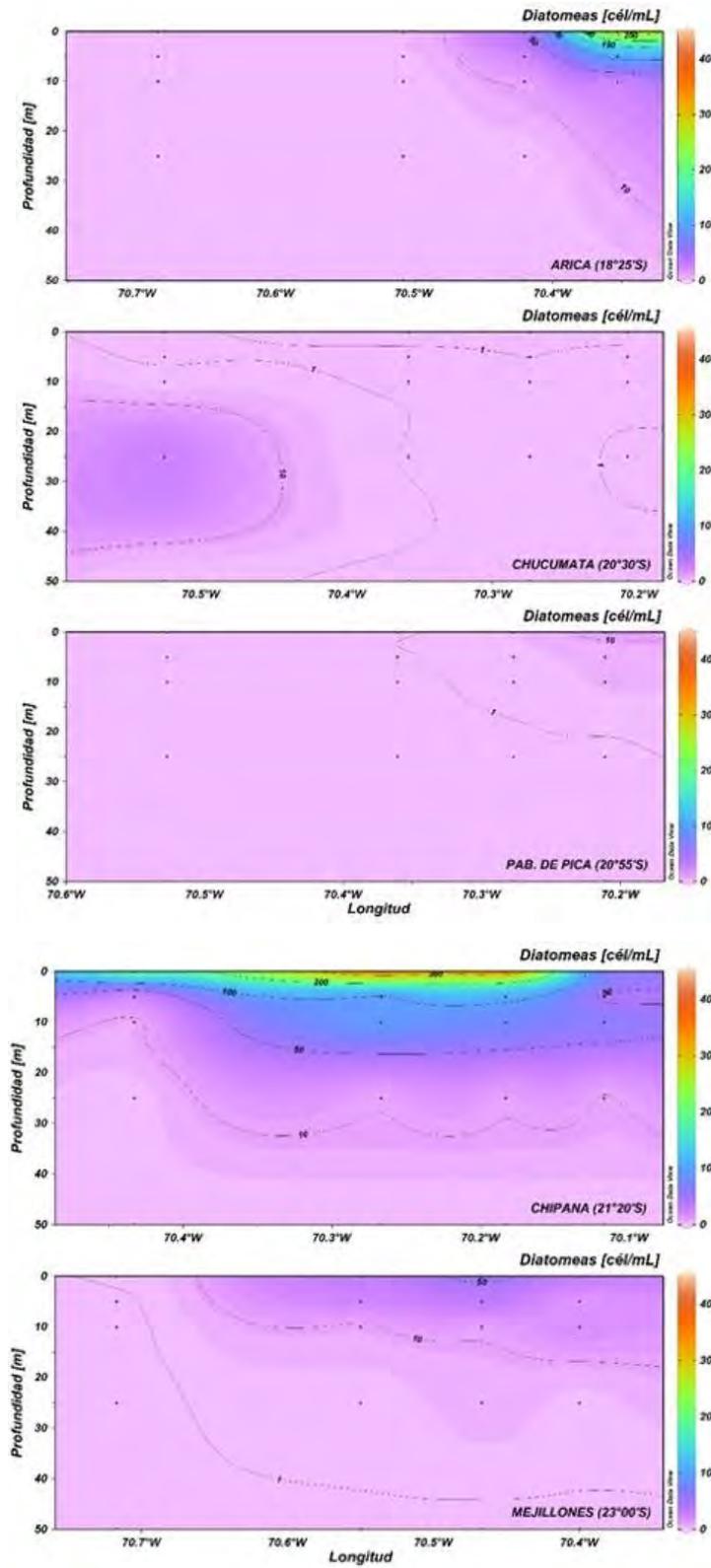


Figura 41. Distribución vertical de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

**Tabla 14. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio (TP) ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de flagelados presentes durante el periodo entre el 28 de enero y 01 de febrero de 2020. (A): flagelados atecados.**

FLAGELADOS	AM	AP	TP	FLAGELADOS	AM	AP	TP
<i>Akashiwo sanguinea</i>	804,0	89,9	98	<i>Gymnodinium sp.</i>	11,2	1,2	83
<i>Brachidinium capitatum</i>	0,2	0,0	110	<i>Gyrodinium sp.</i>	33,0	8,9	67
<i>Ceratium arietinum</i>	0,0	0,0	130	<i>Karenia sp.</i>	0,1	0,0	45
<i>Ceratium dens</i>	0,4	0,0	125	<i>Kofooidinium splendens</i>	0,0	0,0	250
<i>Ceratium furca</i>	5,6	1,0	193	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	4,8	0,7	65
<i>Ceratium fusus</i>	92,4	35,8	210	<i>Oxytoxum parvum</i>	2,4	0,6	60
<i>Ceratium massiliense</i>	0,2	0,1	265	<i>Podolampas palmipes</i>	0,4	0,1	101
<i>Ceratium minutum</i>	0,0	0,0	88	<i>Podolampas spinifera</i>	0,4	0,0	123
<i>Ceratium pulchellum</i>	0,1	0,0	200	<i>Polykrikos kofoidii</i>	2,4	0,3	120
<i>Corythodinium longiceps</i>	0,4	0,0	60	<i>Prorocentrum gracile</i>	424,8	82,9	37
<i>Corythodinium tessellatum</i>	0,2	0,0	75	<i>Prorocentrum micans</i>	9,2	1,5	63
<i>Dictyocha fibula</i>	33,6	4,0	50	<i>Protoperidinium conicum</i>	0,4	0,0	85
<i>Dinophysis acuminata</i>	0,4	0,0	58	<i>Protoperidinium depressum</i>	0,4	0,0	130
<i>Dinophysis caudata</i>	4,0	0,9	88	<i>Protoperidinium divergens</i>	0,4	0,0	95
<i>Dinophysis rotundata</i>	0,8	0,1	53	<i>Protoperidinium leonis</i>	0,4	0,1	70
<i>Dinophysis schroederi</i>	0,4	0,0	40	<i>Protoperidinium pedunculatum</i>	0,0	0,1	70
<i>Diplopsalis minor</i>	1,6	0,8	56	<i>Protoperidinium pellucidum</i>	1,6	0,4	50
<i>Distephanus speculum</i>	0,8	0,2	50	<i>Protoperidinium pyrum</i>	1,6	0,5	65
<i>Eutreptiella marina</i>	0,4	0,2	50	<i>Protoperidinium steinii</i>	0,4	0,1	85
<i>Gonyaulax polygramma</i>	2,4	0,2	75	<i>Pyrocystis lunula</i>	0,4	0,1	118
<i>Gonyaulax taylorii</i>	0,8	0,1	50				

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,1 y 115,8  $\mu\text{g Cl-a/L}$ . Las secciones verticales muestran la distribución de los valores, entre la superficie y los 10 m de profundidad, siguiendo el mismo patrón que la abundancia de los flagelados *P. gracile* y *A. sanguinea*, exhibiendo un foco principal en Chucumata (20°30'S) con el máximo de 115,8  $\mu\text{g Cl-a/L}$  localizado en superficie. En Arica (18°25'S) el foco se mantuvo cercano a los 25,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$ , entre la superficie y los 5 m de profundidad, y en Mejillones (23°00'S) se registraron 48,1  $\mu\text{g Cl-a/L}$  a 10 m y a 1 mn. Bajo los 10 m, la columna de agua se encontró dominada por biomásas inferiores a 10,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$  en todas las localidades (Figura 46).

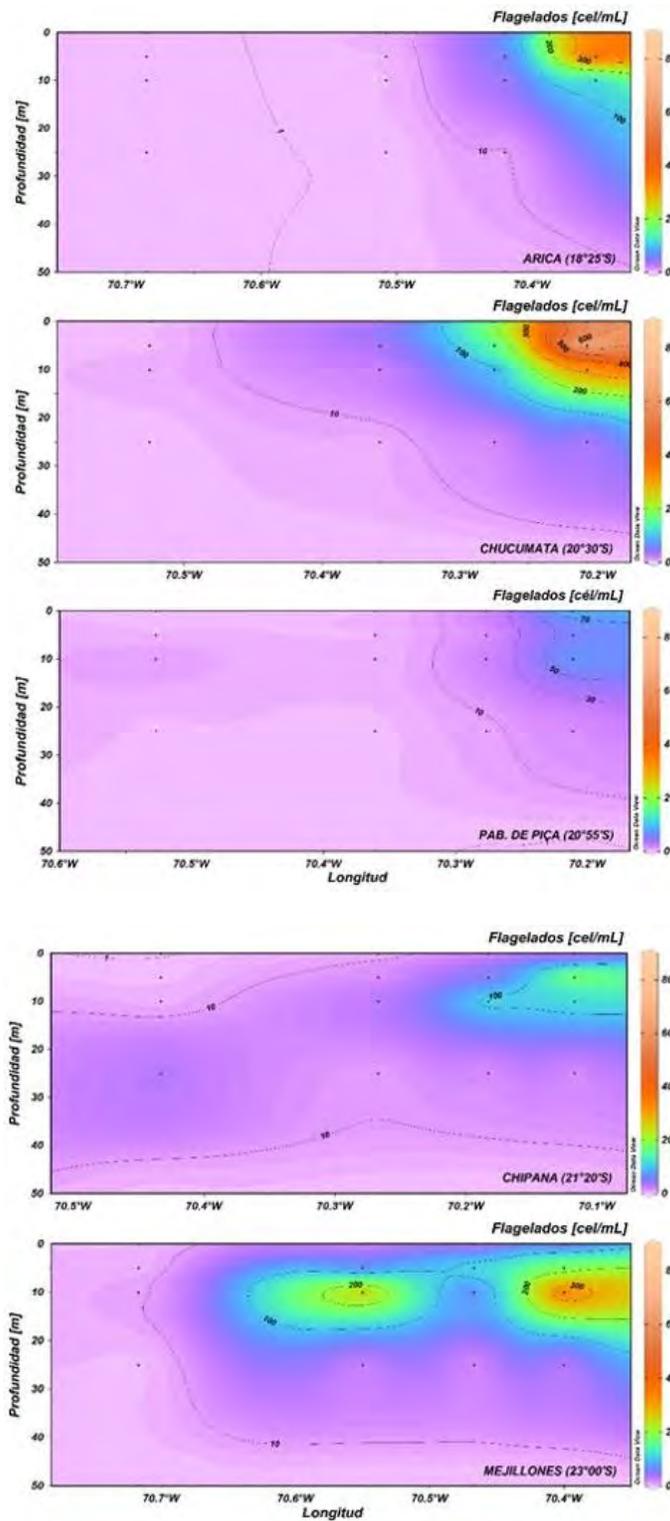


Figura 42. Distribución vertical de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

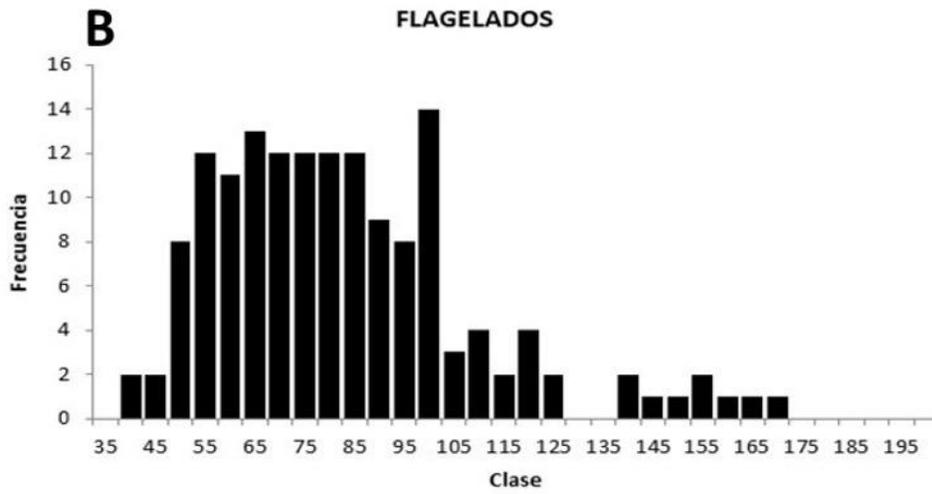
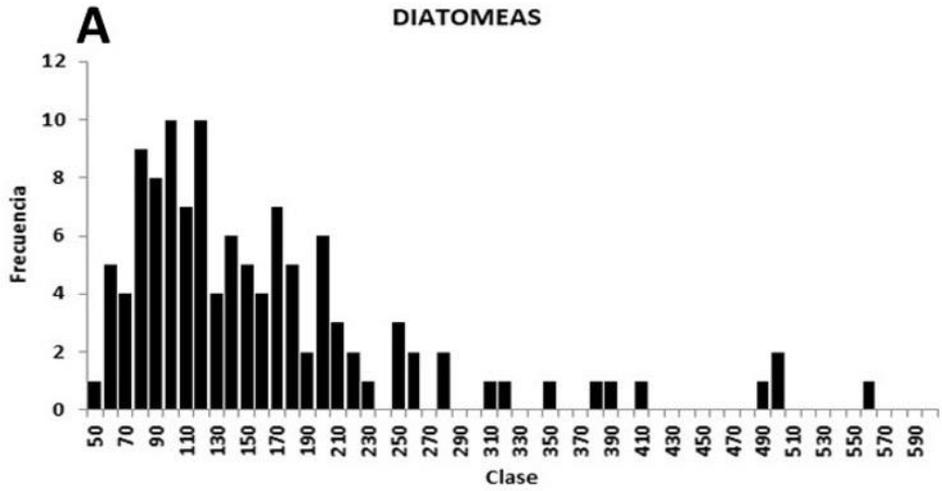


Figura 43. Frecuencia de tamaños ( $\mu\text{m}$ ) de A: diatomeas y B: microflagelados, entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

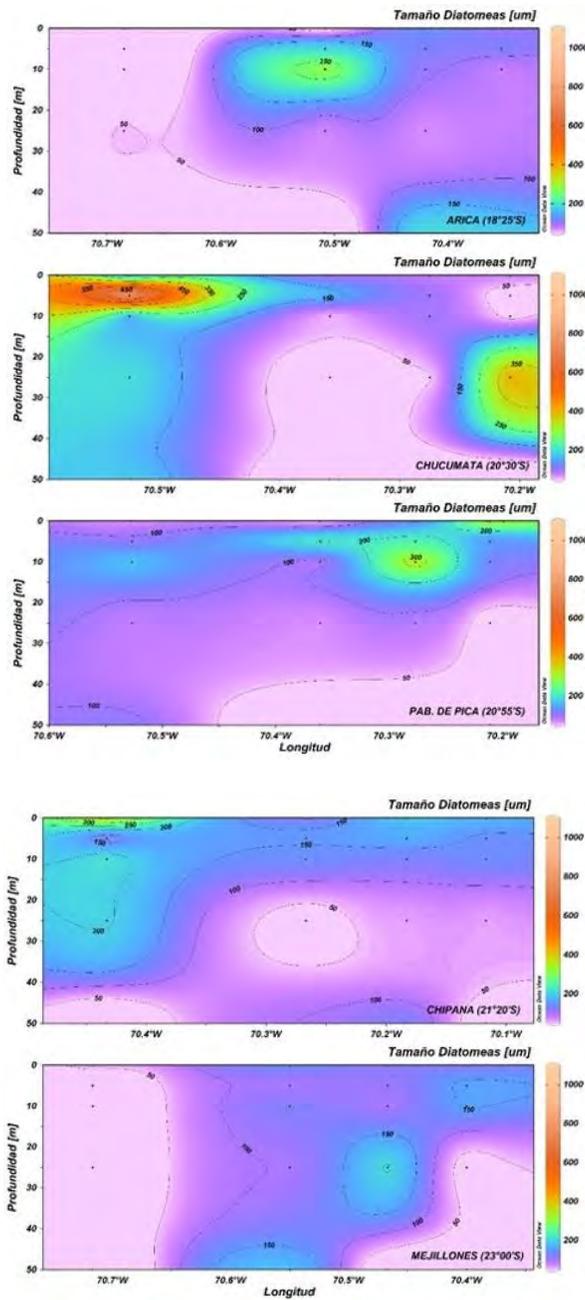


Figura 44. Distribución vertical del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de las diatomeas entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

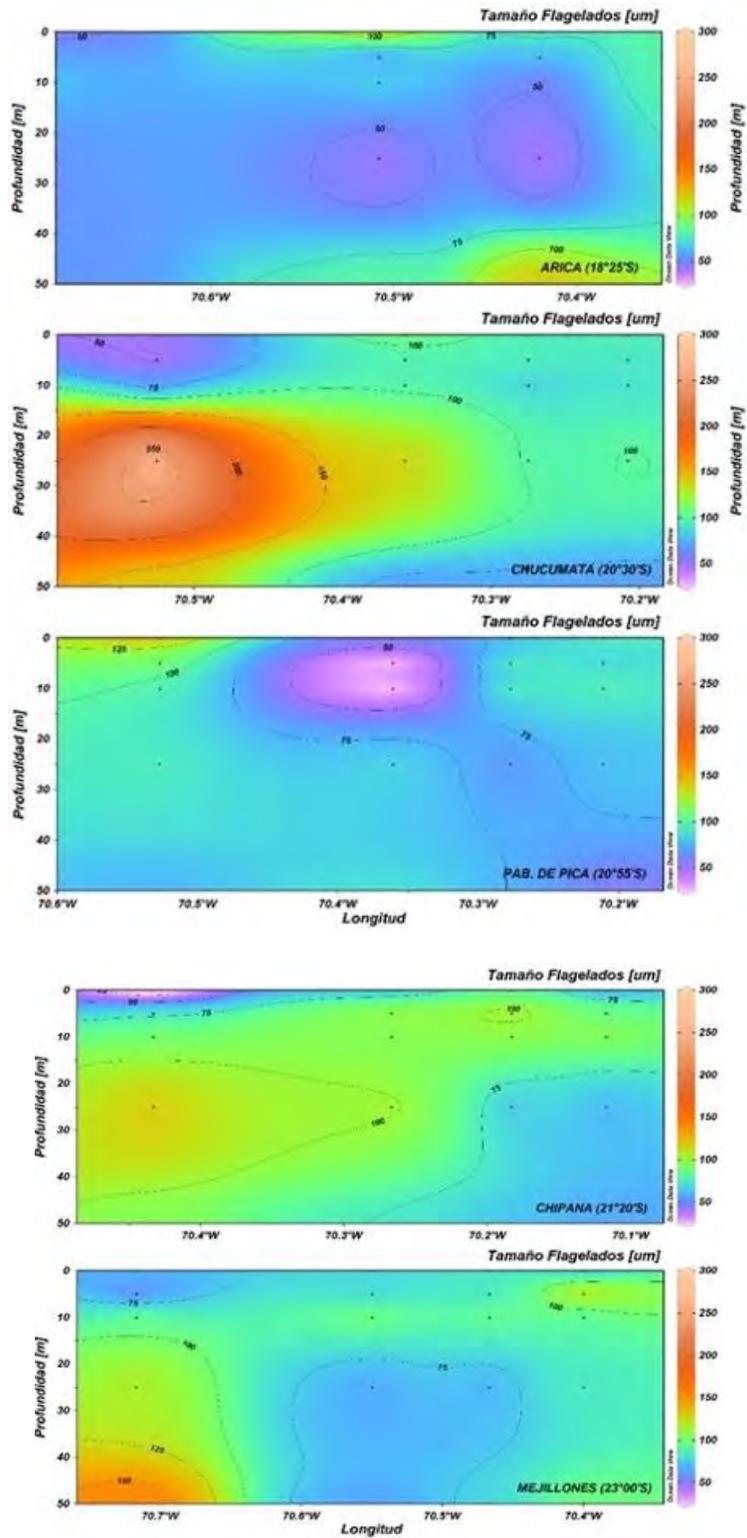


Figura 45. Distribución vertical del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de los flagelados entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

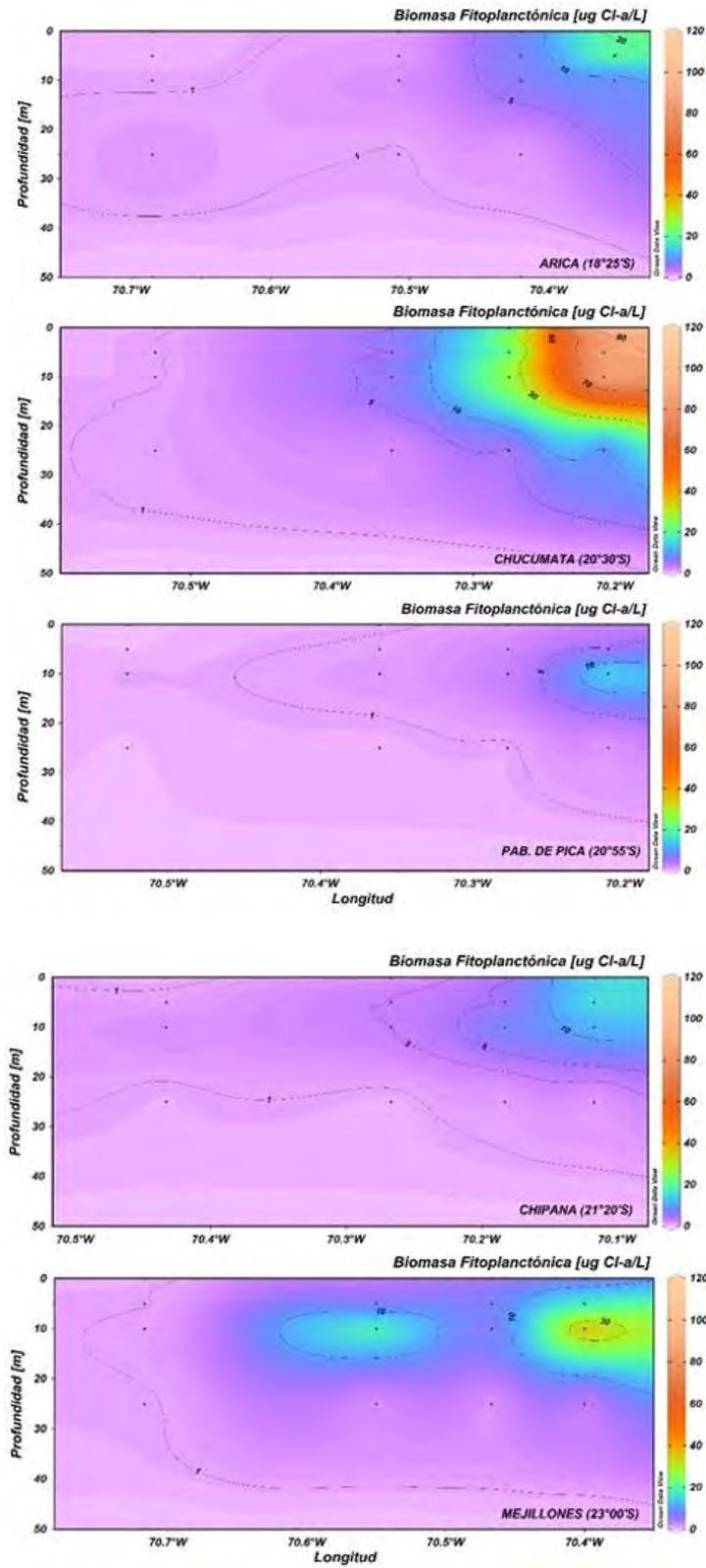


Figura 46. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu\text{g C1-a/L}$ ) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

## Microzooplancton

Se identificó un total de 14 representantes del microzooplancton en las categorías de holoplancton y meroplancton. La abundancia total fluctuó entre 0,1 y 109,7 ind/mL. Los grupos más abundantes, pertenecientes al holoplancton, fueron los estadios naupliares y tintinidos, que exhibieron concentraciones máximas superiores a los 50 ind/mL, con aportes al total mayores al 60%, y entre el meroplancton destacó el componente huevo, con 33,6 ind/mL y una contribución superior al 50% (Tabla 15).

**Tabla 15. Abundancia máxima (AM) (cél/mL), aporte porcentual (AP) (%) y tamaño promedio ( $\mu\text{m}$ ) de los grupos microzooplanctónicos presentes durante el periodo entre el 28 de enero y 01 de febrero de 2020.**

CATEGORÍA	GRUPOS	AM	AP	TP
HOLOPLANCTON	Ciliados	36,8	29,7	124
	Estadios copepoditos	10,8	9,4	499
	Estadios naupliares	60,8	67,3	190
	Foraminifera	0,2	0,1	88
	Heliozoa	4,0	0,8	69
	Larvas de Appendicularia	1,7	2,3	237
	Radiolarios	19,2	13,4	146
	Rotíferos	1,6	1,3	244
MEROPLANCTON	Tintinidos	101,4	81,4	147
	Huevos	33,6	53,9	129
	Larvas de Bivalvia	2,2	1,1	143
	Larvas de Echinodermata	0,1	0,1	282
	Larvas de Gastropoda	0,1	0,0	150
	Larvas de Polychaeta	0,4	1,1	319

Al analizar la distribución de la abundancia por localidad, las secciones transversales mostraron la presencia del foco principal, con la máxima concentración de microzooplancton (109,7 ind/mL), en Arica (18°25'S), extendiéndose entre 1 y 5 mn y entre la superficie y los 5 m de profundidad. Este foco se debió a la presencia de los estadios naupliares, que alcanzaron un máximo de 101,4 ind/mL realizando un aporte del 81,4% al total. Este grupo también fue responsable del foco de 73,6 ind/mL registrado en Chucumata (20°30'S), donde contribuyó con un 67,3%. En las otras localidades de más al sur, se detectaron pequeños focos que no superaron los 50 ind/mL y resultaron de las concentraciones que exhibieron ciliados y huevos (Figura 47).

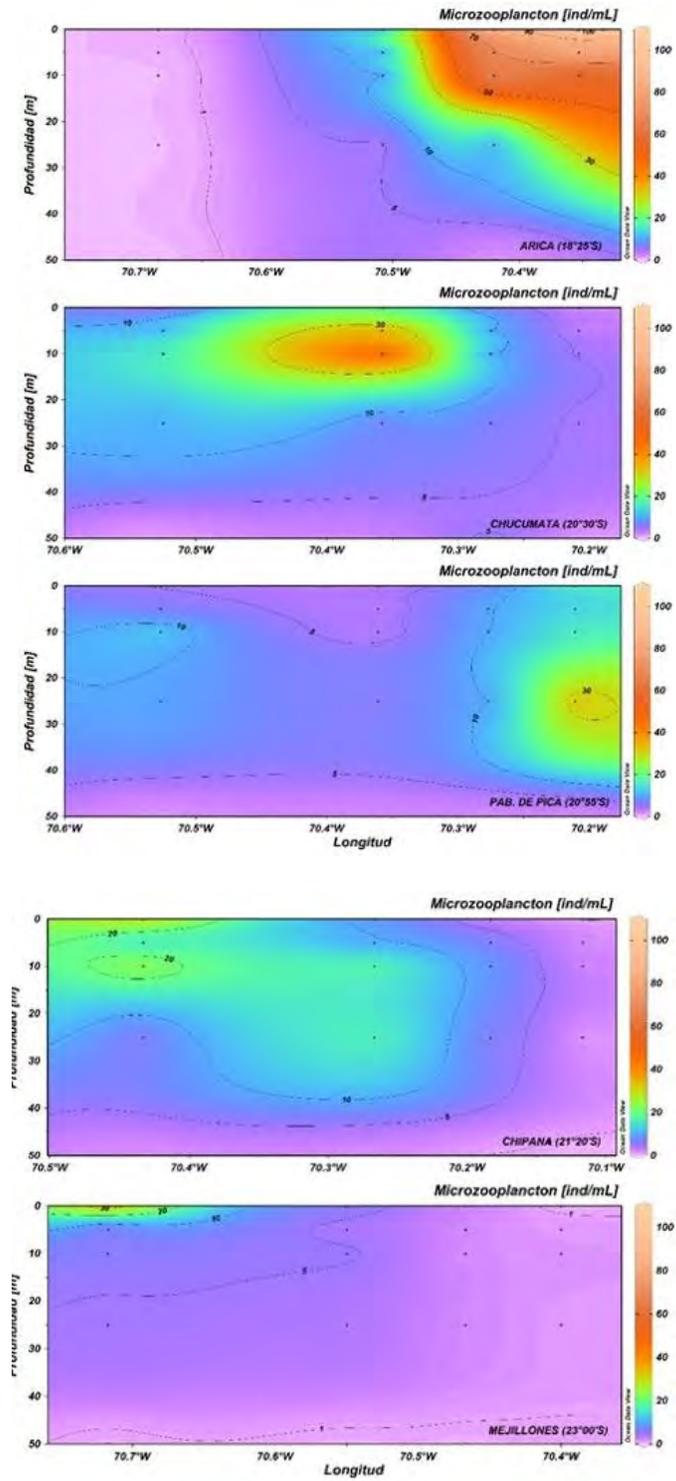
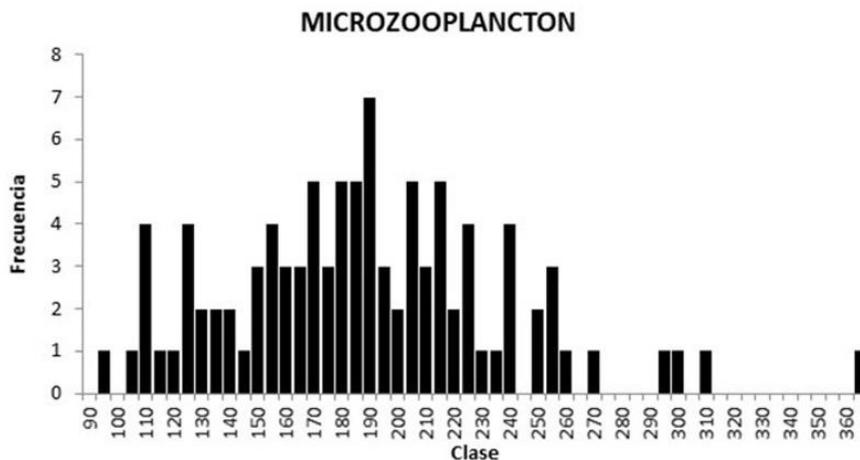


Figura 47. Distribución vertical de la abundancia del microzooplancton (ind/mL) entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

En relación con los tamaños, la longitud promedio de los grupos microzooplanctónicos estuvo entre 69 y 499  $\mu\text{m}$  (Tabla 15), con una mayor frecuencia de formas entre los 170 y 240  $\mu\text{m}$  (Figura 48). En las secciones verticales se observan tamaños iguales e inferiores a 170  $\mu\text{m}$  asociados a la presencia de los estadios naupliares en Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S). Los huevos se mantuvieron dentro del mismo rango, mientras que los ciliados exhibieron longitudes superiores 150  $\mu\text{m}$ . Hacia los 50 m se detectó un incremento de los tamaños de los representantes microzooplanctónicos, que superaron las 300  $\mu\text{m}$  (Figura 49).



**Figura 48.** Frecuencia de tamaños ( $\mu\text{m}$ ) del microzooplancton entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

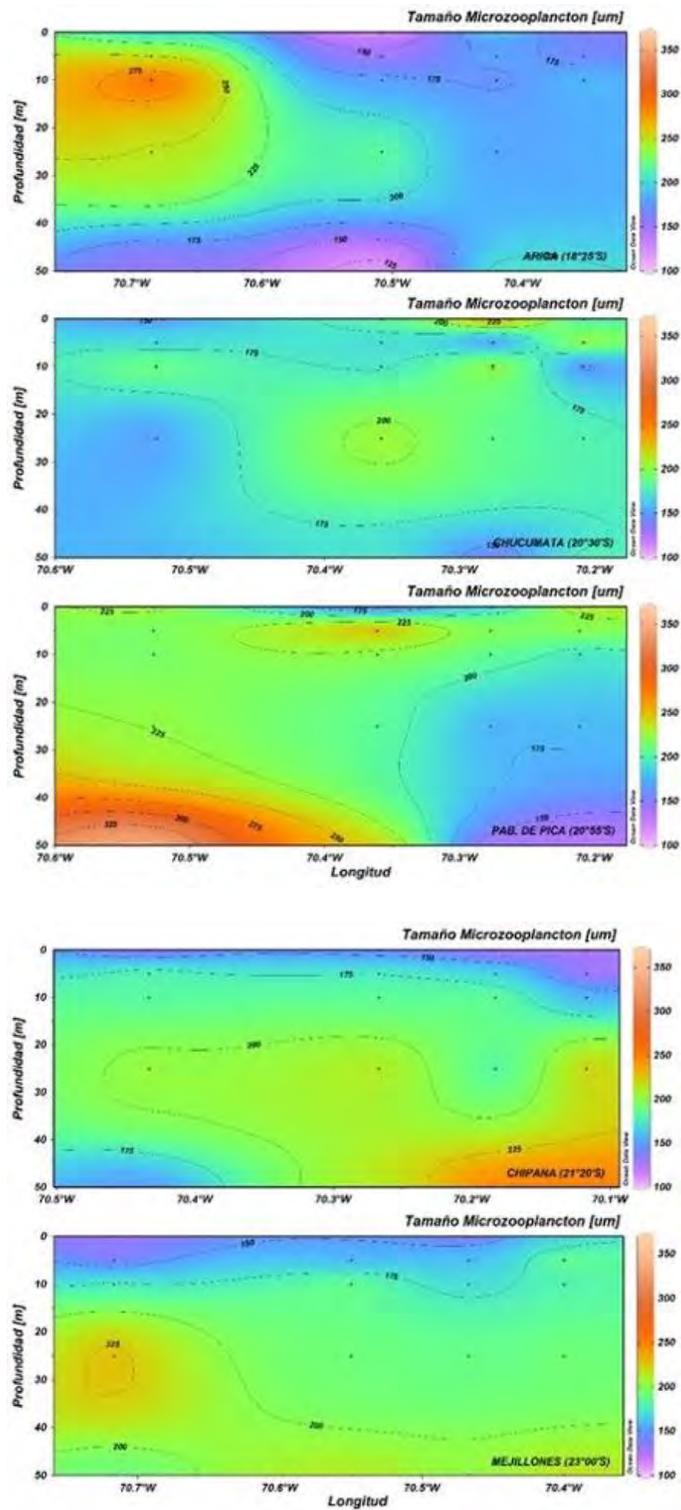


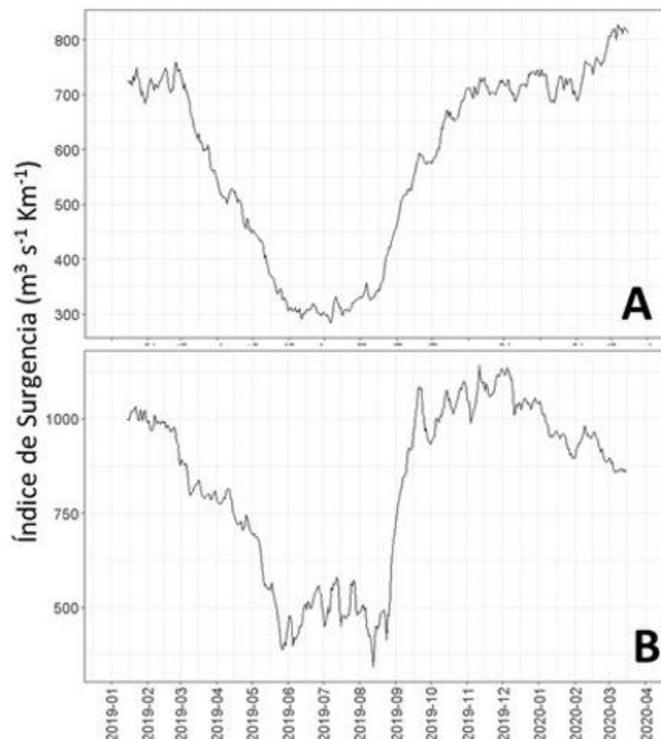
Figura 49. Distribución vertical del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) del microzooplancton entre los días 28 de enero y 01 de febrero de 2020.

#### 4.1.1.2 Enfoque Mensual

##### Condiciones ambientales

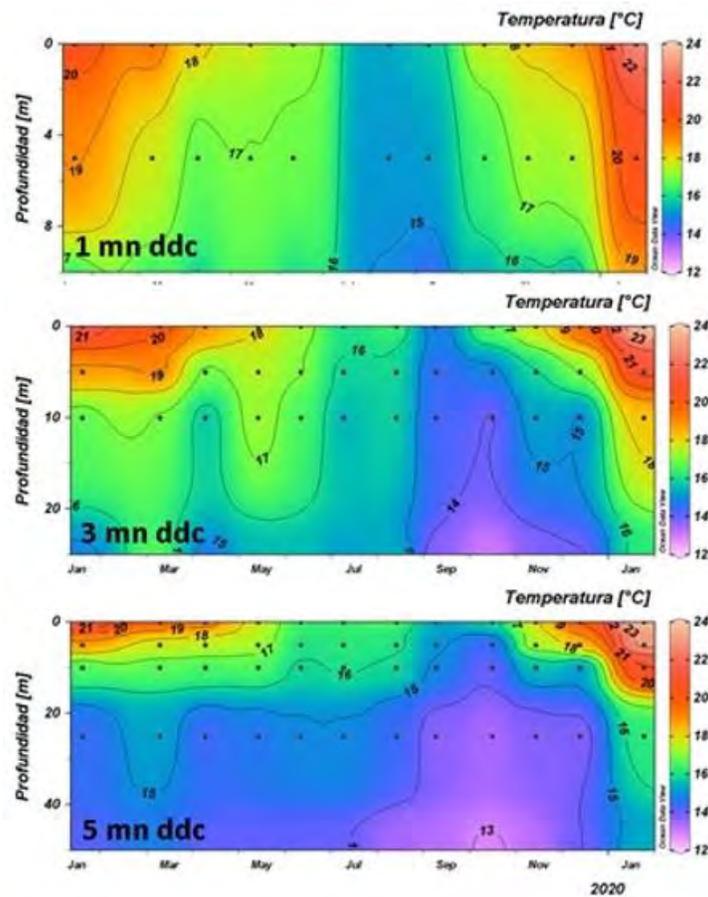
En Arica el índice de surgencia (IS) reveló la predominancia de valores cercanos a  $700 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  desde enero a marzo de 2019. Desde abril en adelante se registró una fuerte disminución llegando a valores inferiores a  $400 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  entre junio y mediados de agosto. Desde finales de agosto y comienzos de septiembre (final del invierno), el índice se elevó progresivamente hasta alcanzar magnitudes superiores a  $700 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ , las que se mantuvieron hasta enero de 2020, alcanzando sobre los  $800 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  a comienzos de febrero de 2020 (**Figura 50A**).

La serie de Antofagasta mostró una tendencia similar, con un inicio de año con valores de  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  que descendieron paulatinamente a contar de abril de 2019 hasta mediados de agosto, mes en que los valores cercanos a los  $500 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ . Al final del invierno el índice se incrementó por sobre los  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  y se mantuvo hasta finales de 2019. En enero de 2020 comenzó un descenso gradual con valores inferiores a  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  (**Figura 50B**).



**Figura 50. Variabilidad diaria del índice de surgencia, calculado de vientos provenientes de los aeropuertos de Arica (A) y Antofagasta (B). La serie corresponde a un promedio móvil cada 30 días para una serie diaria.**

La estructura termal en Arica (18°25'S), a 5 mn de la costa, mostró una capa hasta los 15 m de profundidad, con temperaturas superiores a 18°C y una capa subsuperficial (bajo los 20 m) más fría con valores inferiores a 16°C. La evolución temporal de la columna de agua transitó desde temperaturas mayores a 18°C, registradas en enero, a temperaturas menores a 16°C observadas durante agosto de 2019, revelando el ciclo anual característico de esta variable. Desde agosto y hasta finales de octubre de 2019, la columna de agua, entre la superficie y los 50 m de profundidad, se enfrió en concordancia con el aumento del índice de surgencia, lo que puede observarse en los cambios de la profundidad de la isoterma de 15°C. A contar de noviembre se comenzó a observar el calentamiento propio de verano, con las mayores temperaturas detectadas en enero 2020 (~ 24°C). En las estaciones de 1 y 3 mn se observó el mismo comportamiento, sólo que la estación localizada a 1 mn se mostró más cálida (**Figura 51**).



**Figura 51.** Progresión mensual de la temperatura (°C) en Arica (18°25'S), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

En Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) se observaron menores temperaturas, pero el patrón de variabilidad fue similar. La estación localizada a 5 mn de la costa mostró una capa superficial (0-10 m) con valores superiores a  $15^{\circ}C$  y una capa subsuperficial (bajo los 15 m) más fría ( $< 14^{\circ}C$ ). Temporalmente, la columna de agua varió de temperaturas superiores a  $15^{\circ}C$ , registradas en enero de 2019, a temperaturas menores a  $15^{\circ}C$  observados entre julio y agosto, reflejando el ciclo anual característico de la temperatura. A contar de agosto y hasta finales de octubre de 2019, la columna de agua se enfrió en concordancia con el aumento del índice de surgencia, lo que se visualizó con la profundidad de localización de la isoterma de  $14^{\circ}C$ . En la capa superficial, a contar de noviembre, se comenzó a observar el calentamiento propio de verano, con las mayores temperaturas detectadas en enero 2020 ( $\sim 22^{\circ}C$ ). En las estaciones de 1 y 3 mn se observó el mismo comportamiento, sólo que la estación localizada a 1 mn se mostró más cálida (Figura 52).

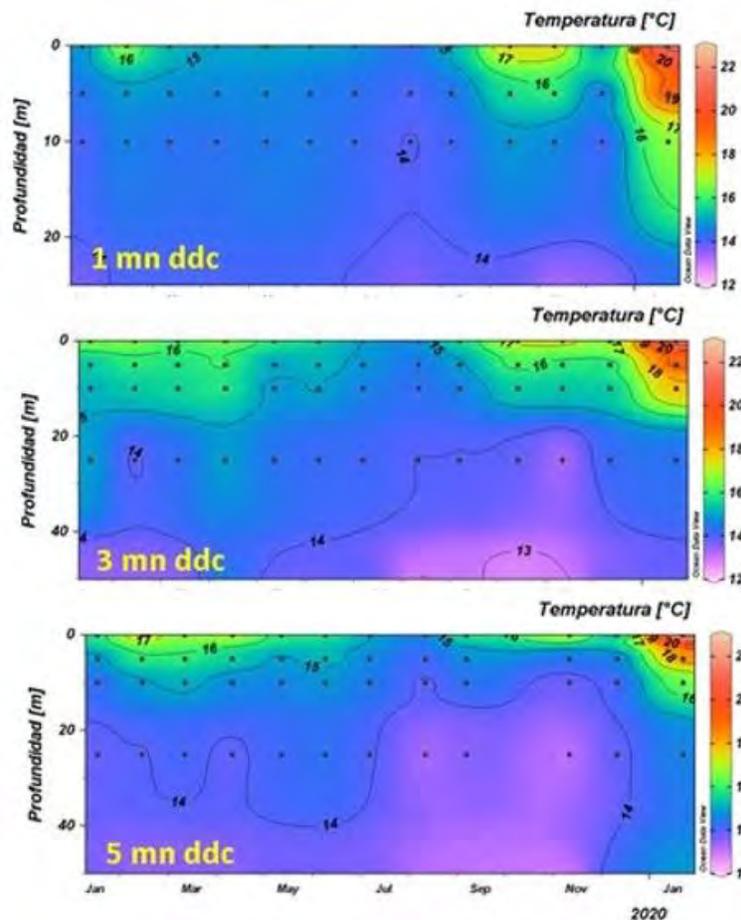
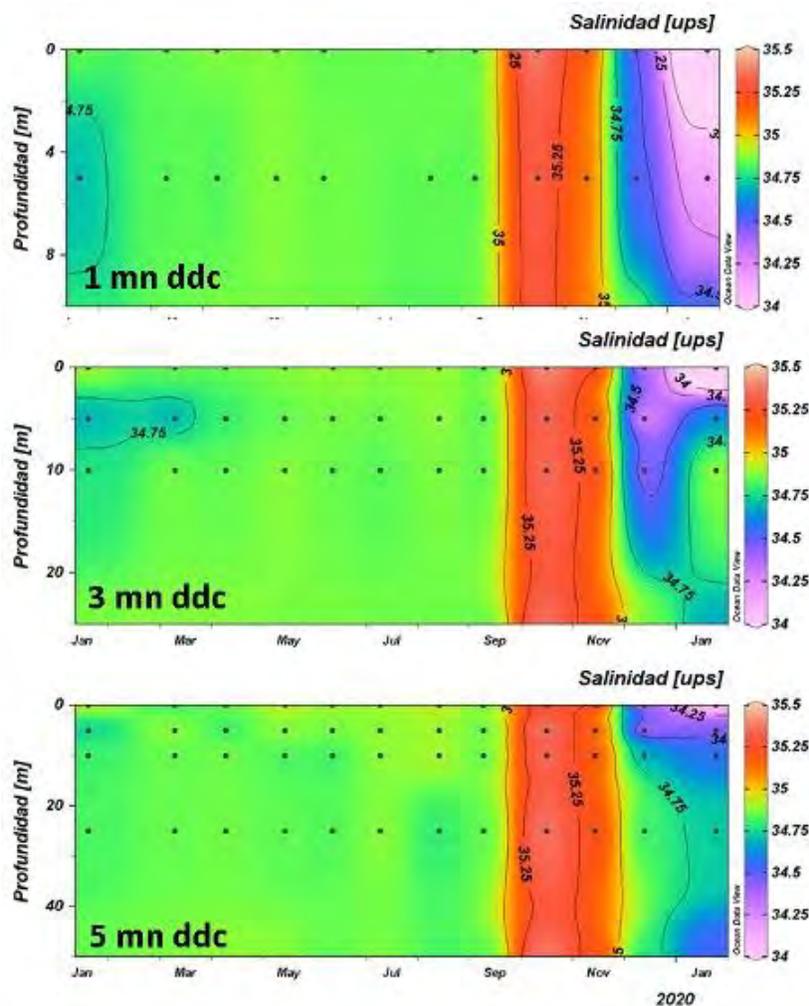


Figura 52. Progresión mensual de la temperatura ( $^{\circ}C$ ) en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

La estructura halina, en la estación de 5 mn de Arica (18°25'S), se caracterizó por una columna de agua homogénea con salinidades predominantemente entre 34,8 ups y 34,9 ups, destacando que, en la capa superficial, desde enero a abril, se observaron puntualmente núcleos de menores valores (< 34,7 ups) especialmente en las estaciones de 1 y 3 mn de la costa. A contar de septiembre, y en concordancia con el enfriamiento de la columna de agua, la salinidad aumentó significativamente, denotando una mayor presencia de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Hacia el verano de 2020, las salinidades en superficie, y especialmente en la estación de 1 mn, disminuyeron notoriamente (**Figura 53**).



**Figura 53.** Progresión mensual de la salinidad (ups) en Arica (18°25'S), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

En Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) se observó una columna de agua más heterogénea, con salinidades menores a 34,7 ups entre enero y junio, y especialmente en la capa superficial de las estaciones ubicadas a 3 y 5 mn de la costa. A contar de septiembre, y en concordancia con el enfriamiento de la columna de agua, la salinidad aumentó denotando una mayor presencia de AESS. Hacia el verano de 2020, las salinidades en superficie y especialmente en la estación de 1 mn disminuyeron notoriamente (Figura 54).

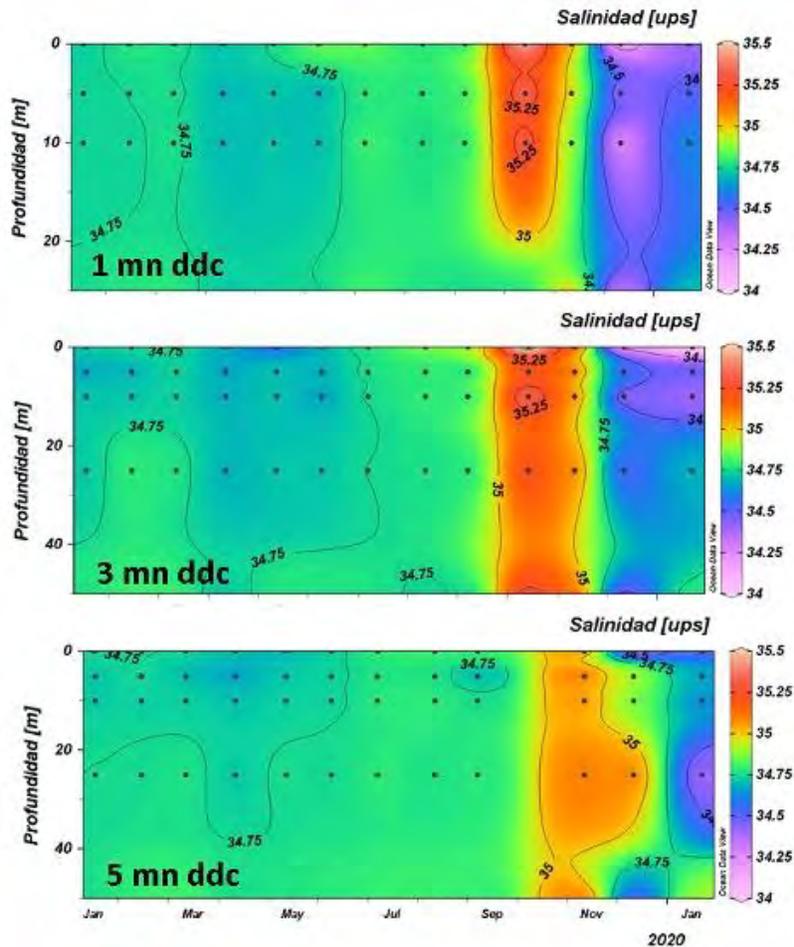


Figura 54. Progresión mensual de la salinidad (ups) en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

Respecto del oxígeno disuelto, en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) a 5 mn de la costa, la distribución dividió la columna de agua en dos estratos, uno superficial (0-20 m) con valores superiores a  $4,0 \text{ mL O}_2/\text{L}$ , y otro subsuperficial con condiciones que variaron entre hipoxia ( $2,0$  a  $4,0 \text{ mL O}_2/\text{L}$ ) y anoxia ( $< 1,0 \text{ mL O}_2/\text{L}$ ). En las estaciones más cercanas a la costa (1-3 mn) se observaron condiciones de anoxia

entre enero y marzo, y entre septiembre y noviembre de 2019 (Figura 55). En Mejillones (23°00'S) la capa entre la superficie y los 20 m de profundidad mostró niveles de oxígeno disuelto mayores a 4,0 mL O<sub>2</sub>/L. Hacia los estratos más profundos se registró una capa de mínimos valores que se mantuvo en todas las estaciones y meses analizados (Figura 56).

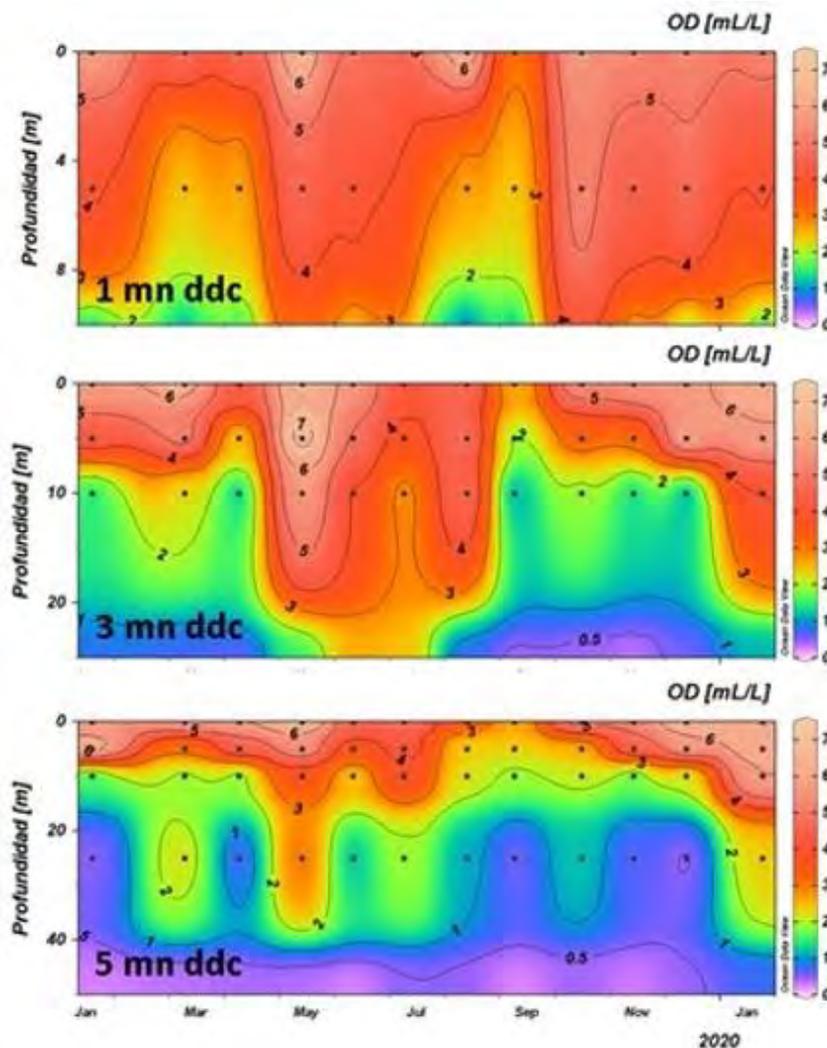


Figura 55. Progresión mensual de la concentración de oxígeno disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) en Arica (18°25'S), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

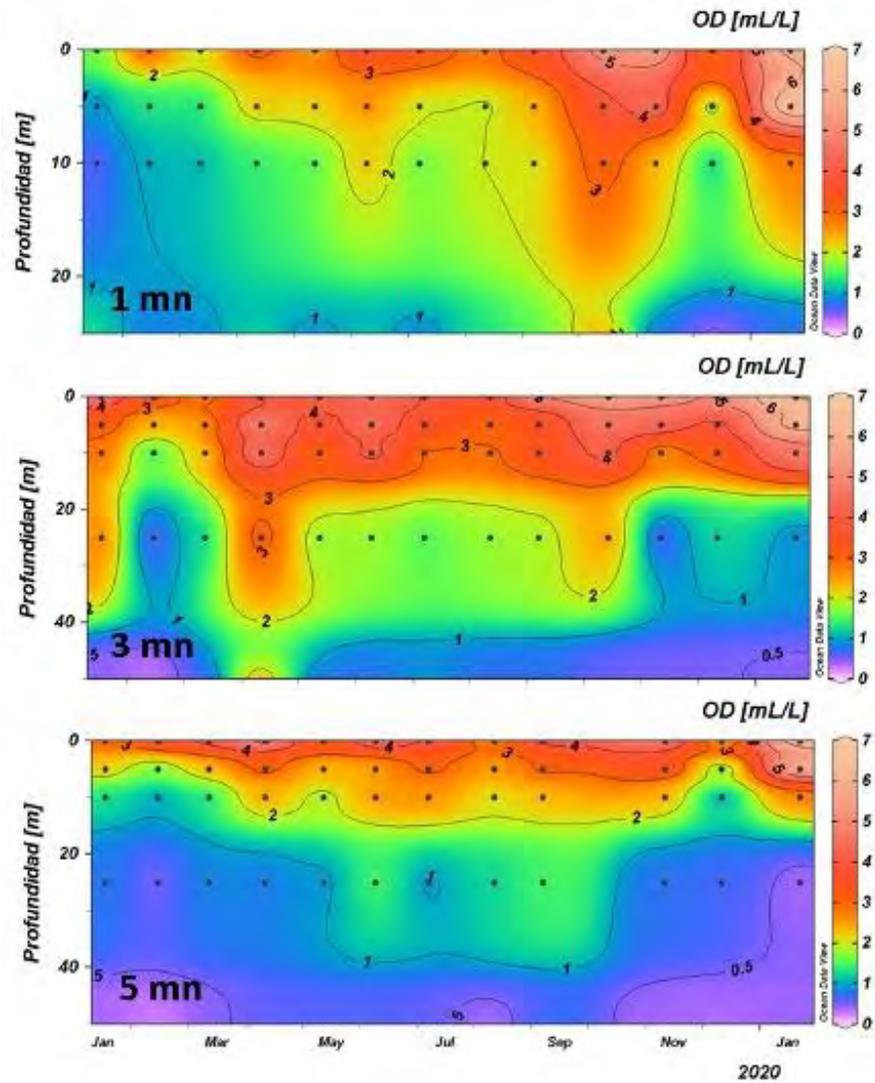


Figura 56. Progresión mensual de la concentración de oxígeno disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) en Mejillones (23°00'S), entre enero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

## Estructura de la comunidad Microplanctónica

### Fitoplancton

En Arica (18°25'S) se identificó un total de 53 representantes de diatomeas entre géneros y especies.

No se registraron cambios en la composición específica entre 1 y 5 mn, pero sí un incremento en el número de especies. Las abundancias máximas fluctuaron entre 0,1 y 1.131 cél/mL con una dominancia de formas en cadena, especialmente del género *Chaetoceros*. Las especies que presentaron las mayores concentraciones (>300 cél/mL) fueron *Dactyliosolen fragilissimus*, *Guinardia delicatula* y *Thalassiosira rotula*, realizando en conjunto un aporte al total superior al 70% (Tabla 16). La variabilidad temporal mostró un incremento de las abundancias desde fines del verano (marzo) a la primavera de 2019 (octubre), periodo en el cual se registraron proliferaciones a 1 y 3 mn que superaron las 300 cél/mL y que ocuparon los primeros 10 m de la columna de agua. De éstas fue responsable *G. delicatula* que exhibió un máximo de 1.131 cél/mL, junto a *D. fragilissimus* y *T. rotula* que aportaron con 387 y 326 cél/mL respectivamente. A 5 mn de la costa se observó un foco de 531 cél/mL al cual *G. delicatula* aportó con el 55,8% (Figura 57).

En Mejillones (23°30'S) se identificó un total de 49 representantes de las diatomeas entre géneros y especies. En esta localidad tampoco se observó un cambio en la composición específica entre 1 y 5 mn, pero sí en el número de especies hacia las 5 mn de la costa, el cual se incrementó. Las abundancias máximas fluctuaron entre 0,1 y 698 cél/mL manteniéndose la dominancia de formas en cadena y del género *Chaetoceros*. Con abundancias máximas superiores a 100 cél/mL se encontró a las especies *Chaetoceros curvisetus*, *Guinardia delicatula* y *Thalassionema nitzschioides*, las que realizaron, en conjunto, un aporte al total cercano al 60% a 1 y 3 mn (Tabla 17). La variabilidad temporal a 1 mn de la costa, mostró la generación de proliferaciones superficiales cercanas a las 300 cél/mL en otoño (abril), cuando predominó *T. nitzschioides*, en invierno (julio) con *C. curvisetus*, y a fines de la primavera de 2019 (diciembre) de la que fue responsable *G. delicatula*. Este foco de primavera exhibió un máximo de 1.063 cél/mL a 3 mn y *G. delicatula* aportó con más del 50%. A 5 mn de la costa las abundancias se redujeron manteniéndose cercanas a las 100 cél/mL (Figura 58).

**Tabla 16. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Arica (18°25'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	1 mn	3 mn	5 mn	DIATOMEAS	1 mn	3 mn	5 mn
	AM	AM	AM		AM	AM	AM
<i>Actinocyclus curvatus</i> (S)	0,2			<i>Eucampia zodiacus</i>	10,4	26,4	4,0
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	8,8	3,8	96,0	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	1,2	4,8	3,6
<i>Asteromphalus arachne</i> (S)	2,0	0,4	0,2	<i>Guinardia delicatula</i>	363,8	1.131,2	422,8
<i>Asteromphalus heptactis</i> (S)	0,2	0,2		<i>Guinardia striata</i>	12,8	3,9	1,8
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>		3,6	2,8	<i>Hemiaulus sinensis</i>	0,4	0,8	0,8
<i>Cerataulina pelagica</i>	1,2	0,3		<i>Lauderia annulata</i>	0,8		
<i>Chaetoceros affinis</i>		1,6		<i>Leptocylindrus danicus</i>	86,2	13,6	6,8
<i>Chaetoceros compressus</i>	0,2	21,6	41,6	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	0,6	1,8	0,6
<i>Chaetoceros constrictus</i>	4,4	2,8		<i>Lioloma delicatulum</i> (S)	0,1	0,4	0,1
<i>Chaetoceros convolutus</i>		8,8		<i>Lithodesmium undulatum</i>	3,2	2,4	1,4
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	9,4	31,2	37,9	<i>Nitzschia longissima</i> (S)		0,2	0,0
<i>Chaetoceros danicus</i>	1,6		0,2	<i>Odontella longicruris</i>	1,4	2,4	1,4
<i>Chaetoceros diadema</i>		2,8		<i>Planktoniella sol</i> (S)	0,4	0,2	0,2
<i>Chaetoceros dichæta</i>			0,8	<i>Proboscia alata</i>	0,4		0,2
<i>Chaetoceros eibonii</i>			1,2	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	127,2	89,4	31,0
<i>Chaetoceros lacinosus</i>			1,6	<i>Rhizosolenia imbricata</i>		0,4	0,2
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	8,8	94,0	0,8	<i>Rhizosolenia imbricata var. minuta</i>		2,0	
<i>Chaetoceros protuberans</i>	2,8	3,2	2,4	<i>Rhizosolenia setigera</i>	8,8	8,8	14,4
<i>Chaetoceros radicans</i>			1,3	<i>Skeletonema sp.</i>	16,6	84,0	34,6
<i>Corethron criophilum</i> (S)		0,4	0,1	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>		1,2	0,4
<i>Coscinodiscus centralis</i> (S)	1,4	1,2	0,2	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	43,2	18,6	1,6
<i>Coscinodiscus granii</i> (S)			0,4	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	20,0	4,0	9,0
<i>Cylindrotheca closterium</i> (S)	56,4	40,4	60,4	<i>Thalassiosira angustelineata</i>	7,2	180,8	4,0
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	1,4	386,8	124,4	<i>Thalassiosira decipiens</i>		7,2	
<i>Detonula pumila</i>	6,8	7,6	40,0	<i>Thalassiosira minuscula</i>	9,2	12,4	12,0
<i>Ditylum brightwellii</i>	0,6	0,7	0,9	<i>Thalassiosira rotula</i>	26,2	326,4	8,1
<i>Eucampia cornuta</i>		0,8					

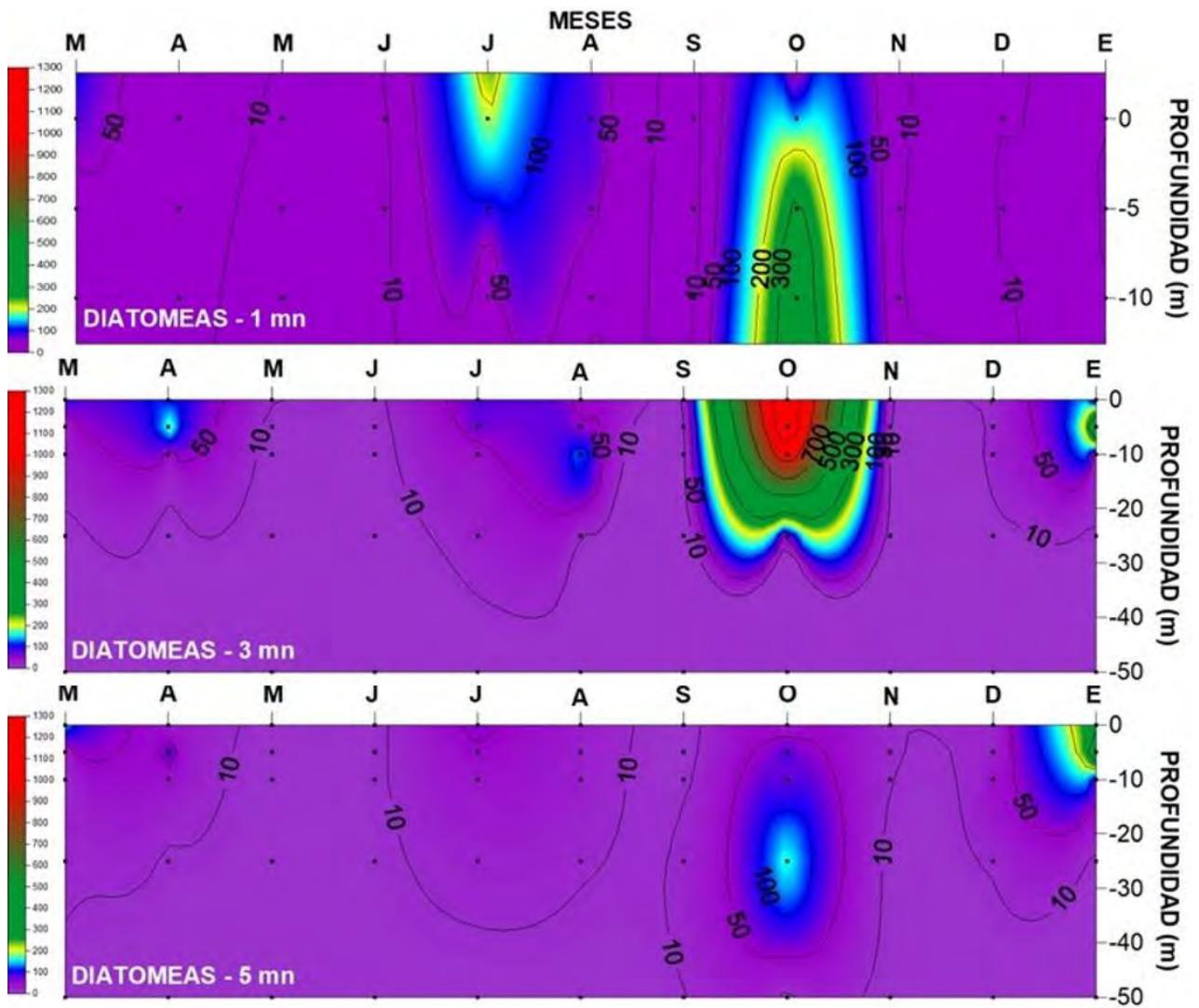
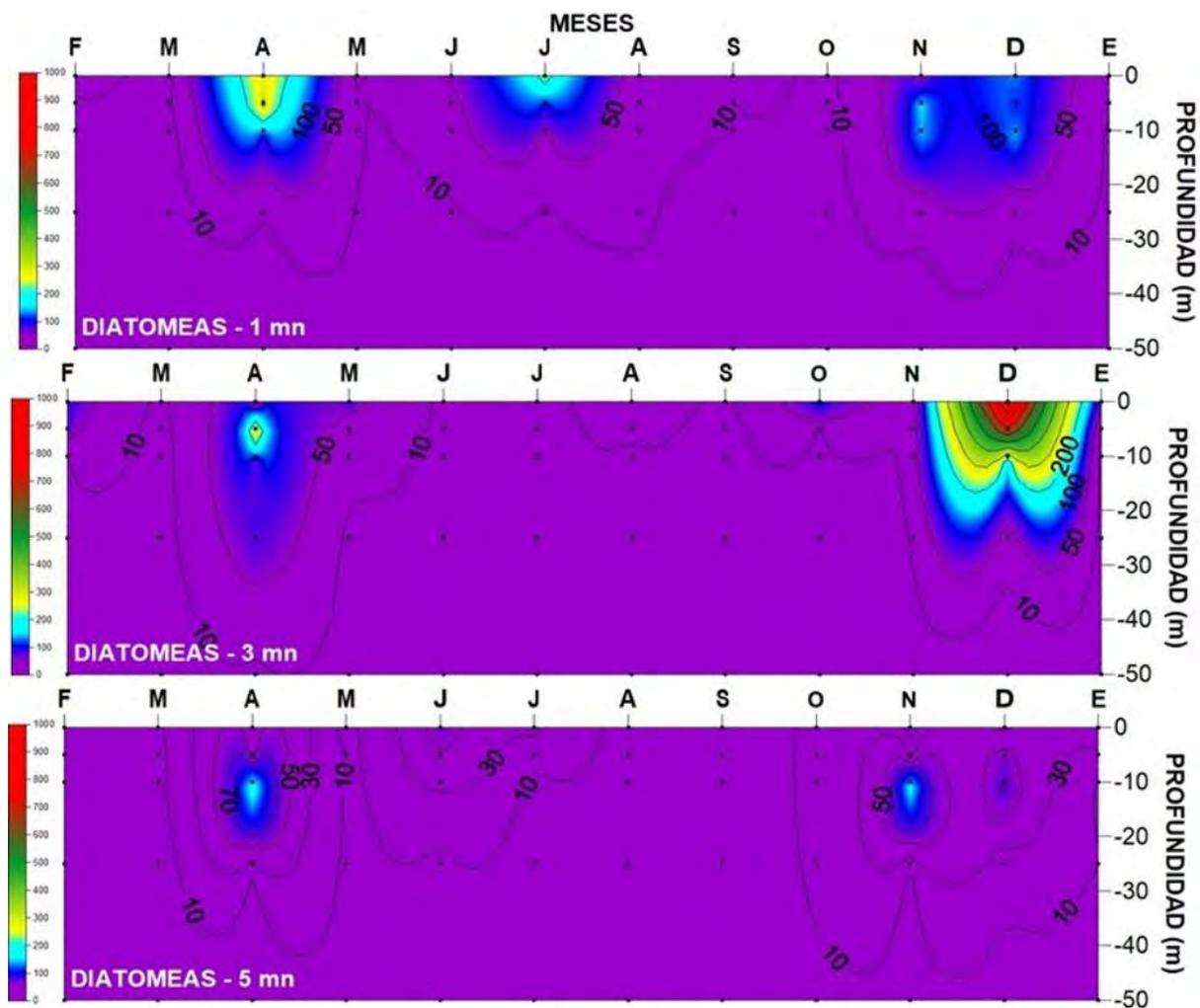


Figura 57. Progresión mensual de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en Arica (18°25'S) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

**Tabla 17. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Mejillones (23°00'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	1 mn	3 mn	5 mn	DIATOMEAS	1 mn	3 mn	5 mn
	AM	AM	AM		AM	AM	AM
<i>Actinocyclus curvatus</i> (S)			0,1	<i>Eucampia zodiacus</i>	9,6	55,2	14,6
<i>Asterionellopsis glacialis</i>		0,1		<i>Fragilariopsis doliolus</i>	21,8	3,2	22,4
<i>Asteromphalus arachne</i> (S)	0,4	0,4	1,0	<i>Guinardia delicatula</i>	141,2	697,6	38,0
<i>Asteromphalus heptactis</i> (S)	0,2	0,6	0,4	<i>Guinardia striata</i>	2,0	8,0	10,8
<i>Cerataulina pelagica</i>	0,8		0,8	<i>Hemiaulus sinensis</i>		0,6	1,0
<i>Chaetoceros coarctatus</i>		2,3	0,8	<i>Lauderia annulata</i>		0,8	0,2
<i>Chaetoceros compressus</i>	69,6	14,4	70,0	<i>Leptocylindrus danicus</i>	12,8	28,8	24,8
<i>Chaetoceros constrictus</i>			1,6	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	3,0	18,2	2,2
<i>Chaetoceros convolutus</i>		0,2	2,4	<i>Lioloma delicatulum</i> (S)		0,2	0,4
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	137, 2	4,8	31,6	<i>Lioloma pacificum</i> (S)		0,2	0,1
<i>Chaetoceros danicus</i>	2,4	5,6	13,6	<i>Lithodesmium undulatum</i>	3,2	1,5	0,8
<i>Chaetoceros diadema</i>		1,4		<i>Nitzschia longissima</i> (S)	0,2	0,0	0,0
<i>Chaetoceros eibenii</i>		0,8		<i>Planktoniella sol</i> (S)	0,2	0,2	2,4
<i>Chaetoceros lacinosus</i>			3,2	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	21,6	282,4	26,4
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	5,0	4,8	56,8	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	1,6	1,8	2,0
<i>Chaetoceros protuberans</i>	19,2	7,2	7,4	<i>Rhizosolenia imbricata</i> var. <i>minuta</i>	0,4		0,9
<i>Chaetoceros radicans</i>	35,2	1,0	4,8	<i>Rhizosolenia setigera</i>	2,0	7,2	7,6
<i>Chaetoceros teres</i>	0,4	0,2		<i>Skeletonema</i> sp.	14,0	2,4	5,8
<i>Corethron criophilum</i> (S)	0,6	0,1	0,9	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>			0,3
<i>Coscinodiscus centralis</i> (S)	2,0	0,2	0,4	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	312,0	228,6	168,4
<i>Coscinodiscus concinnus</i> (S)			0,2	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	6,6	1,8	1,6
<i>Coscinodiscus granii</i> (S)			0,4	<i>Thalassiosira angustelineata</i>	2,0	6,0	5,6
<i>Cylindrotheca closterium</i> (S)	9,2	88,4	4,6	<i>Thalassiosira minuscula</i>	18,8		45,0
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>		0,6	1,6	<i>Thalassiosira rotula</i>	3,6	1,1	1,6
<i>Detonula pumila</i>	16,0	3,2	1,6				



**Figura 58. Progresión mensual de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.**

En el grupo de los flagelados, en Arica (18°25'S) se identificó un total de 44 representantes entre géneros y especies. No se registraron cambios en la composición específica entre 1 y 5 mn ni tampoco en el número de especies. Las abundancias máximas del grupo fluctuaron entre 0,1 y 204 cél/mL con una dominancia de dinoflagelados tecados, principalmente de los géneros *Ceratium*, *Dinophysis* y *Protoperidinium*. Entre las formas tecadas presentaron las mayores concentraciones (>50 cél/mL) *Ceratium furca*, *Prorocentrum gracile*, *P. micans* y *P. minimum*, y entre los atecados la especie *Akashiwo sanguinea* y el género *Gymnodinium*, las que, en conjunto, contribuyeron al total con más del 75% (Tabla 18). La variabilidad temporal mostró la ocurrencia a 1 mn de proliferaciones debidas a la presencia de las formas atecadas en el periodo de otoño (abril-mayo) e invierno (agosto) de 2019, mientras que a finales de la primavera (diciembre) de 2019 destacaron

*C. furca* y las especies del género *Prorocentrum*. A 3 y 5 mn se registró sólo la proliferación de otoño con la especie *A. sanguinea* y el género *Gymnodinium* (Figura 59).

**Tabla 18. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de flagelados identificados en Arica (18°25'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados.**

FLAGELADOS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM	FLAGELADOS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM
<i>Akashiwo sanguinea</i> (A)	63,0	27,4	0,2	<i>Gymnodinium sp.</i> (A)	203,6	177,6	53,4
<i>Ceratium azoricum</i>	0,4		0,4	<i>Gyrodinium sp.</i> (A)	2,4	51,4	2,0
<i>Ceratium dens</i>	0,8	5,6		<i>Karenia sp.</i> (A)	1,0	0,6	0,5
<i>Ceratium furca</i>	68,4	6,4	4,8	<i>kofoidinium splendens</i> (A)	0,2		
<i>Ceratium fusus</i>	1,2	19,2	3,2	<i>Lingulodinium polyedrum</i>		0,1	2,0
<i>Ceratium massiliense</i>	0,4	0,4	0,8	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	22,2	4,8	1,2
<i>Ceratium pulchellum</i>		0,4		<i>Podolampas palmipes</i>	0,2	0,4	0,1
<i>Cochlodinium sp.</i>			0,4	<i>Polykrikos kofoidii</i>	32,0	0,8	0,4
<i>Dictyocha fibula</i> (A)	2,8	8,8	3,2	<i>Prorocentrum gracile</i>	136,4	59,8	43,6
<i>Dinophysis acuminata</i>	1,2	0,4	1,2	<i>Prorocentrum micans</i>	99,6	35,2	2,4
<i>Dinophysis caudata</i>	2,0	0,8	0,2	<i>Prorocentrum minimum</i>	84,2	118,0	85,2
<i>Dinophysis hastata</i>	0,4			<i>Protoceratium reticulatum</i>		0,4	
<i>Dinophysis mitra</i>			0,1	<i>Protoperidinium claudicans</i>	0,4	0,4	0,1
<i>Dinophysis ovum</i>	0,4	0,2		<i>Protoperidinium conicum</i>	0,4		0,2
<i>Dinophysis rotundata</i>			0,4	<i>Protoperidinium depressum</i>			0,4
<i>Diplopsalis lenticula</i>		0,1	0,1	<i>Protoperidinium divergens</i>			0,8
<i>Diplopsalis minor</i>	1,2	2,4	3,2	<i>Protoperidinium leonis</i>	0,4	1,6	0,1
<i>Distephanus speculum</i> (A)	1,2	7,4	2,4	<i>Protoperidinium pellucidum</i>	1,2	1,6	1,2
<i>Eutreptiella marina</i> (A)	2,0	5,2	10,3	<i>Protoperidinium pyrum</i>	0,2	0,8	0,4
<i>Gonyaulax polygramma</i>	0,8		0,4	<i>Protoperidinium steinii</i>			0,1
<i>Gonyaulax spinifera</i>	0,4	0,4		<i>Pyrocystis lunula</i> (A)		0,1	1,2
<i>Gonyaulax taylorii</i>	5,2	3,2	22,0	<i>Pyrophacus horologium</i>			0,4

En Mejillones (23°30'S) se identificó un total de 47 formas flageladas. No se registraron cambios en la composición específica ni en el número de especies entre 1 y 5 mn. En esta localidad, las abundancias máximas del grupo fluctuaron entre 0,1 y 798 cél/mL, registrándose el dominio, por el número de representantes, del con una dominancia de dinoflagelados tecados, principalmente de los géneros *Ceratium*, *Dinophysis* y *Protoperidinium*. Las especies que presentaron las mayores concentraciones fueron el dinoflagelado tecado *Prorocentrum gracile* y los atecados *Akashiwo sanguinea* y el género *Gymnodinium*, que superaron las 500 cél/mL y aportaron con más del 50% al total (Tabla 19). Al analizar la variabilidad mensual, a 1 mn y 5 mn se registraron focos a fines del verano de 2019. En la costa (1 mn) la concentración máxima fue de 800 cél/mL y *A. sanguinea* aportó con 798 cél/mL, mientras que a 5 mn la proliferación alcanzó las 450 cél/mL a la que el

género *Gymnodinium* contribuyó con el 90%. De igual manera, a 1 mn se observó en primavera (diciembre) una concentración de 540 cél/ml debido a la presencia de *Prorocentrum gracile* que exhibió un máximo de 538 cél/mL (Figura 60).

**Tabla 19. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) de los géneros y especies de flagelados identificados en Mejillones (23°00'S) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados.**

FLAGELADOS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM	FLAGELADOS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM
<i>Akashiwo sanguinea (A)</i>	797,6	33,6	31,6	<i>Karenia sp. (A)</i>	0,8	7,2	22,8
<i>Amphisolenia bidentata</i>		0,1		<i>Kofooidinium splendens (A)</i>	0,1		
<i>Ceratium azoricum</i>	0,4	0,2	0,4	<i>Lingulodinium polyedrum</i>		7,8	0,6
<i>Ceratium dens</i>		0,9	0,2	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	0,2	0,8	0,6
<i>Ceratium furca</i>	4,0	31,2	2,0	<i>Podolampas palmipes</i>			0,2
<i>Ceratium fusus</i>	42,0	94,8	30,0	<i>Podolampas spinifera</i>	0,4	0,0	0,0
<i>Ceratium massiliense</i>	0,4	2,0	2,0	<i>Polykrikos kofoidii</i>		0,8	4,0
<i>Cochlodinium sp.</i>	1,0	0,6	0,2	<i>Prorocentrum gracile</i>	537,6	21,6	78,8
<i>Corythodinium longiceps</i>			0,4	<i>Prorocentrum micans</i>	4,0	6,4	8,4
<i>Dictyocha fibula (A)</i>	0,4	0,4	1,0	<i>Protoceratium reticulatum</i>		0,1	
<i>Dinophysis acuminata</i>	0,9	0,8	0,8	<i>Protopteridinium conicum</i>	0,4	0,1	0,4
<i>Dinophysis caudata</i>	0,8	3,4	5,6	<i>Protopteridinium crassipes</i>		0,1	
<i>Dinophysis parvulum</i>	0,4		1,2	<i>Protopteridinium depressum</i>	0,4		0,8
<i>Dinophysis rotundata</i>	0,4			<i>Protopteridinium divergens</i>	0,1	4,6	0,2
<i>Dinophysis tripos</i>			0,2	<i>Protopteridinium latissimum</i>	0,4		
<i>Diplopsalis lenticula</i>	0,2			<i>Protopteridinium leonis</i>	0,2	0,2	0,1
<i>Diplopsalis minor</i>	2,0	0,8	1,6	<i>Protopteridinium oceanicum</i>			0,1
<i>Distephanus speculum (A)</i>	0,4	0,8	0,8	<i>Protopteridinium pedunculatum</i>	0,4		
<i>Eutreptiella marina (A)</i>	2,8	34,8	43,4	<i>Protopteridinium pellucidum</i>	2,8	0,8	1,8
<i>Goniodoma polyedricum</i>			0,2	<i>Protopteridinium pyrum</i>	1,8	0,4	3,0
<i>Gonyaulax polygramma</i>	2,8	1,0	12,1	<i>Pyrocystis lunula (A)</i>		0,2	
<i>Gonyaulax taylorii</i>	1,6	23,0	4,8	<i>Pyrophacus horologium</i>	0,8	0,2	0,4
<i>Gymnodinium sp. (A)</i>	571,0	121,2	405,6	<i>Scrippsiella sp.</i>		4,2	16,0
<i>Gyrodinium sp. (A)</i>	7,2	4,0	4,2				

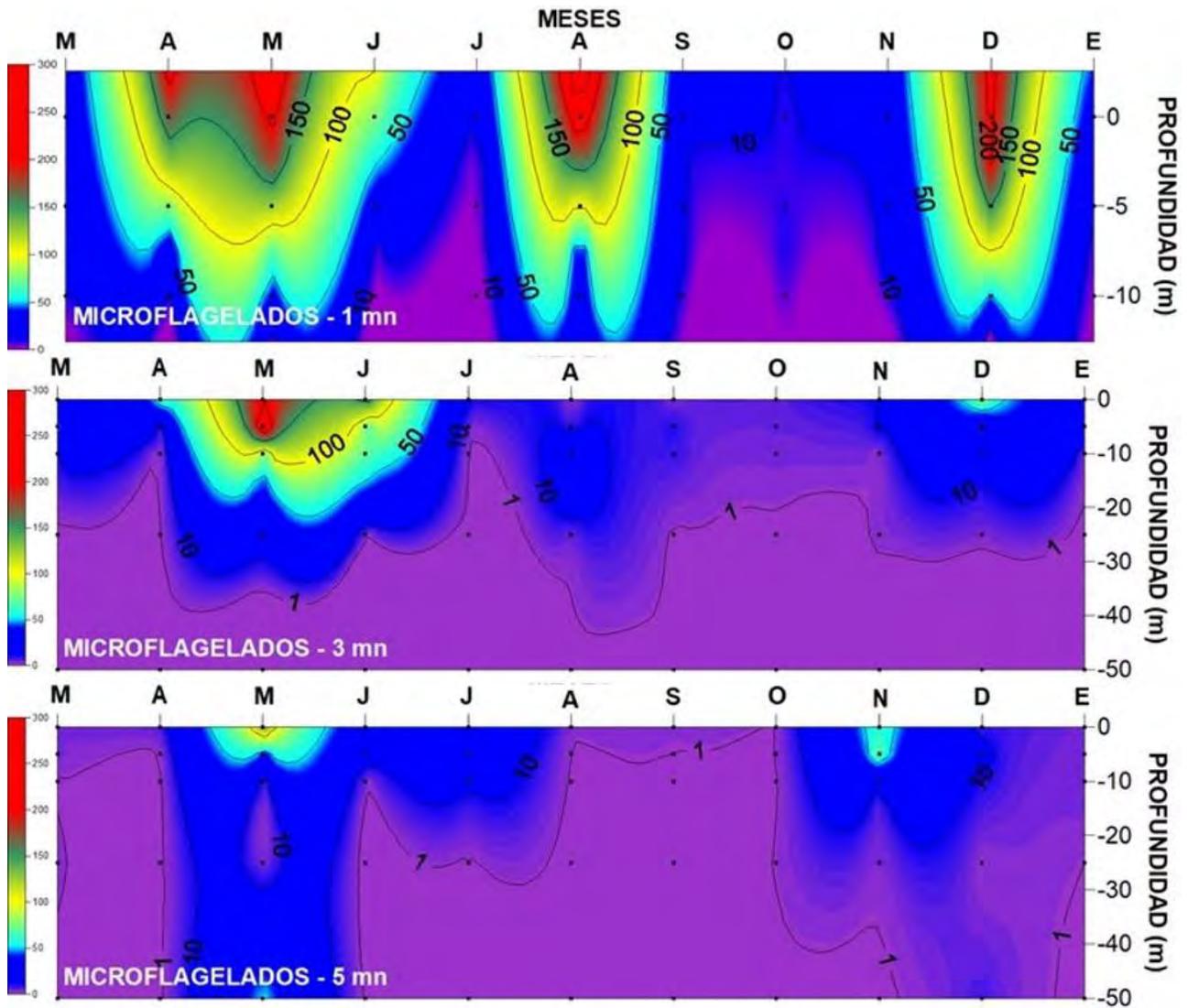


Figura 59. Progresión mensual de la abundancia de flagelados (cél/mL) en Arica (18°25'S) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

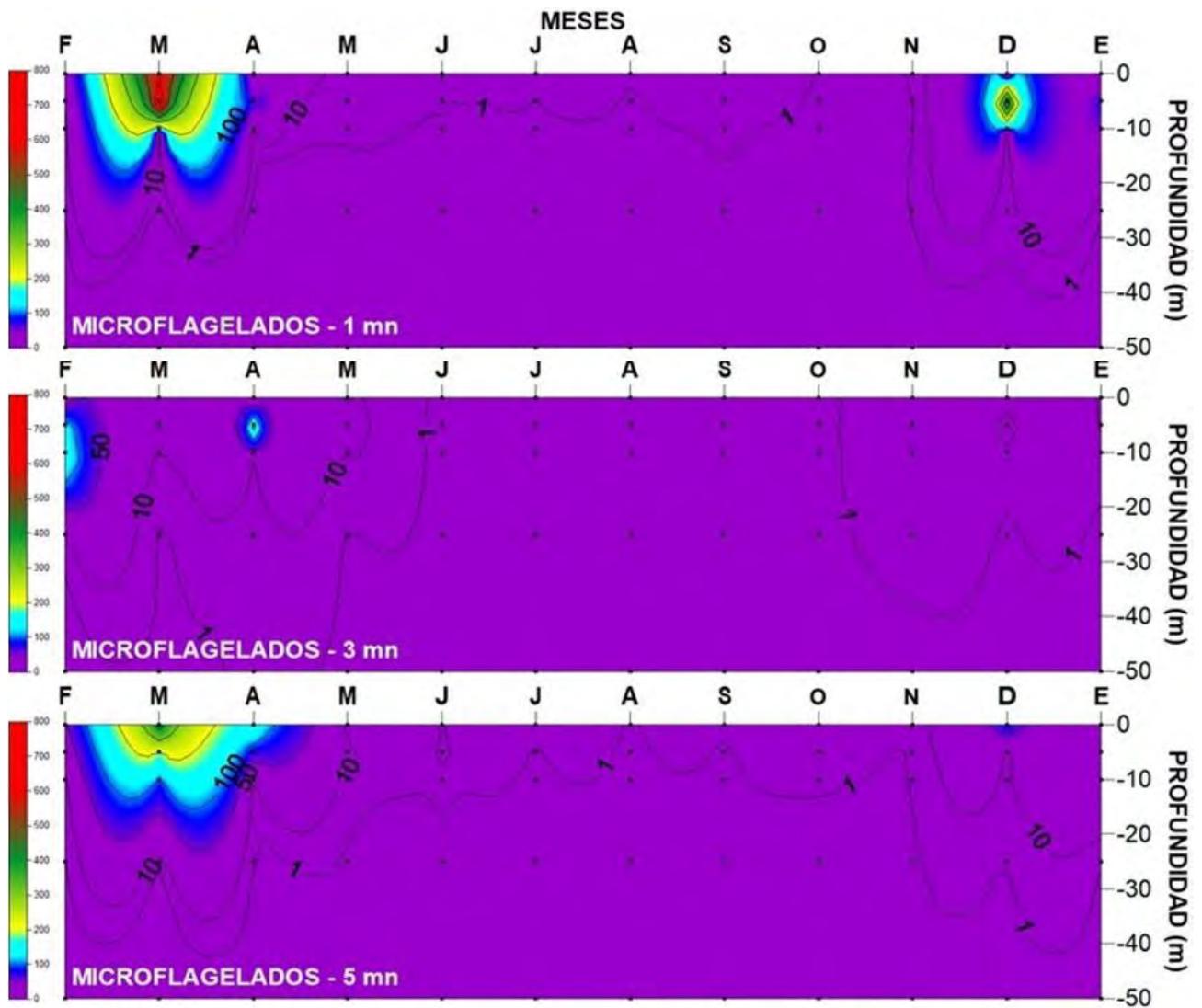
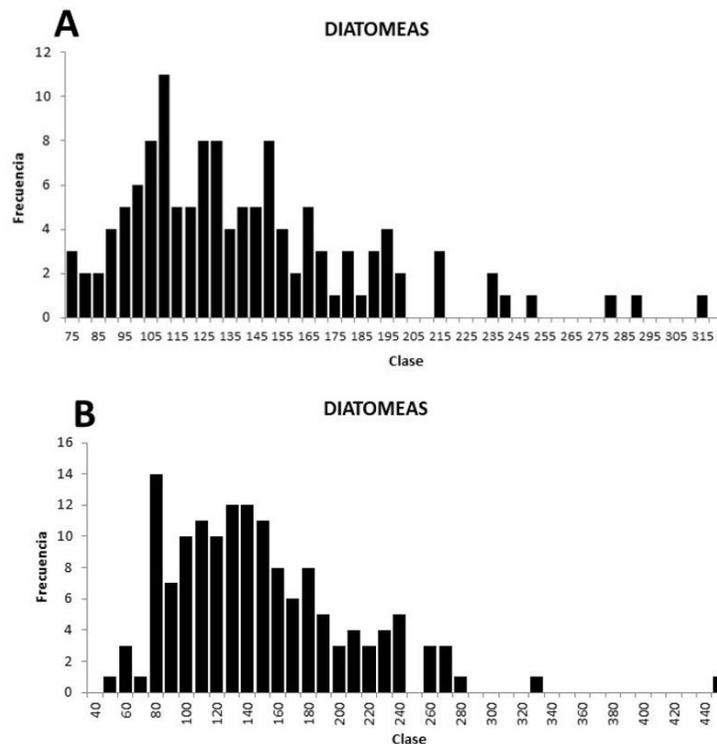


Figura 60. Progresión mensual de la abundancia de flagelados (cél/mL) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

Con relación al espectro de tamaños, en Arica (18°25'S) las diatomeas presentaron tamaños promedio entre 52 y 2.053  $\mu\text{m}$  (Tabla 20), con una mayor frecuencia de formas entre los 100 y 150  $\mu\text{m}$  (Figura 61A). La variabilidad temporal, asociada a los cambios en la abundancia de las especies, reveló que aquellas que exhibieron la mayor concentración en el periodo de primavera de 2019, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Guinardia delicatula* y *Thalassiosira rotula*, correspondieron a formas con longitudes entre 100 y 125  $\mu\text{m}$ . Por otra parte, hacia las 3 y 5 mn los tamaños se

incrementaron manteniendo una distribución relativamente homogénea en la columna de agua (Figura 62).



**Figura 61. Frecuencia de tamaños (µm) del grupo de las diatomeas en A: Arica (18°25'S) y B: en Mejillones (23°00'S) durante el periodo marzo de 2019 a enero de 2020.**

En Mejillones (23°00'S) el rango de tamaño promedio de las diatomeas fluctuó entre 55 y 3.062 µm) (Tabla 21) con una mayor frecuencia de formas entre los 80 y 120 µm (Figura 61B). De igual manera, la variabilidad temporal mostró el dominio de formas de longitud menor a 150 µm en los periodos de las proliferaciones de *Chaetoceros curvisetus*, *Guinardia delicatula* y *Thalassionema nitzchioides* a 1 y a 3 mn de la costa. A las 5 mn la distribución fue similar, manteniéndose la homogeneidad en la columna de agua (Figura 63).

Dentro del grupo de los flagelados, en Arica (18°25'S) los tamaños promedio variaron entre 15 y 225 µm (Tabla 22), con una mayor frecuencia de formas entre los 50 y 70 µm (Figura 64A). La variabilidad temporal a 1 mn, mostró el predominio de tamaños iguales o mayores a 70 µm durante todo el 2019 e inicios de 2020, excepto en los meses de invierno (junio, julio y agosto) de 2019 en los cuales se detectó una disminución de los tamaños, lo cual asoció a la presencia de las formas atecadas *Akashiwo sanguinea* y *Gymnodinium* durante otoño e invierno respectivamente. Hacia

finales de primavera nuevamente se observó el predominio de longitudes entre 70 y 80  $\mu\text{m}$  por el dominio de *Ceratium furca* y del género *Prorocentrum*. Hacia las 3 y 5 mn se registraron mayores tamaños, especialmente a comienzos de la primavera, dada la presencia de especies del género *Protoperdinium* (Figura 65).

En Mejillones (23°00'S) el rango de tamaño promedio de los flagelados fluctuó entre 36 y 375  $\mu\text{m}$  (Tabla 23), con una mayor frecuencia de formas entre los 60 y 85  $\mu\text{m}$  (Figura 64B). Estos tamaños predominaron durante todo el periodo y en la columna de agua, incluyendo la época de otoño de 2019 en la cual se registró la máxima abundancia generada por *Akashiwo sanguinea* y el género *Gymnodinium*, y el foco de *Prorocentrum gracile* (Figura 66).

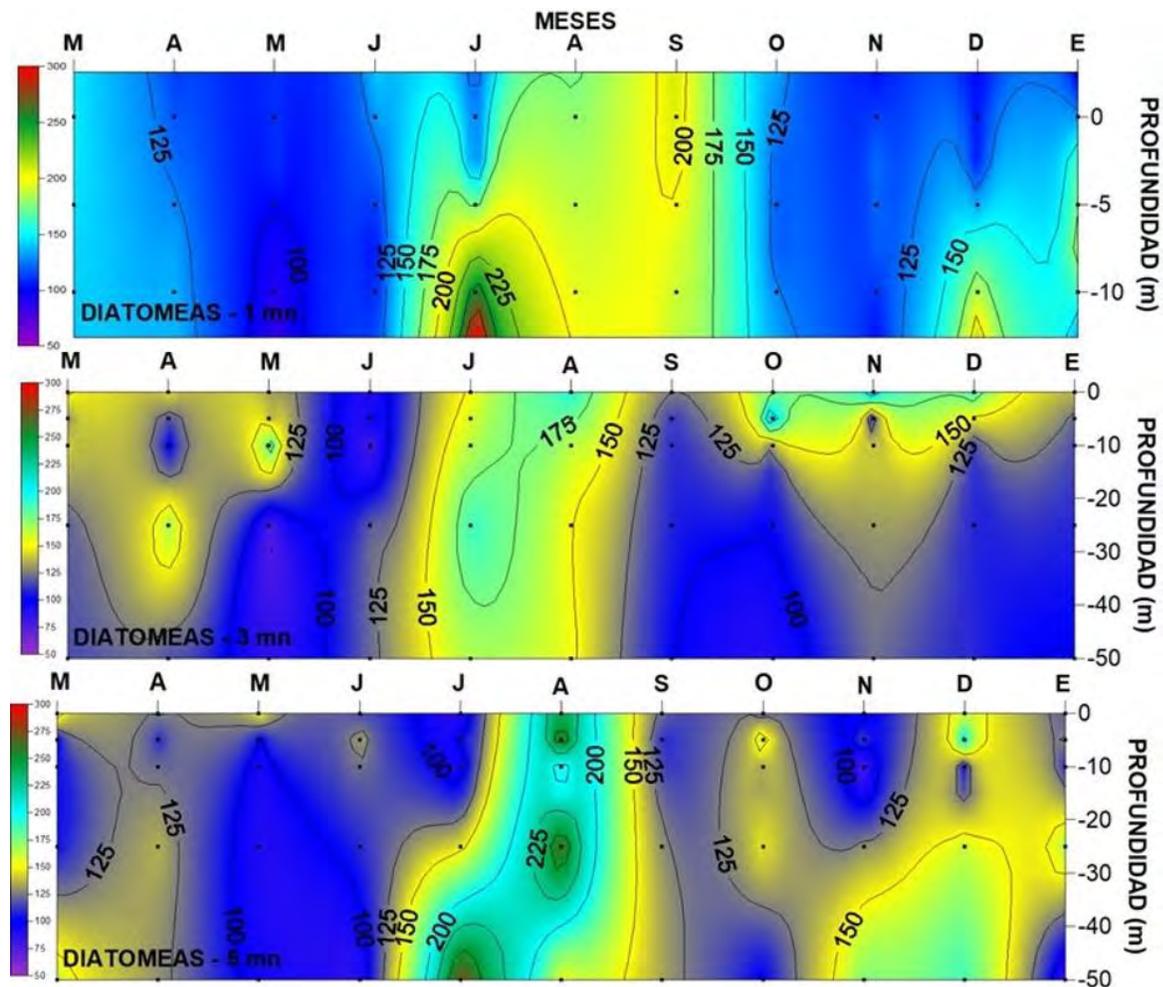


Figura 62. Progresión mensual del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de las diatomeas en Arica (18°25'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

**Tabla 20. Tamaño promedio ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	1 mn	3 mn	5 mn	DIATOMEAS	1 mn	3 mn	5 mn
	AM	AM	AM		AM	AM	AM
<i>Actinocyclus curvatus</i> (S)	85			<i>Eucampia zodiacus</i>	129	128	157
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	127	106	92	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	55	61	61
<i>Asteromphalus arachne</i> (S)	70	56	48	<i>Guinardia delicatula</i>	161	135	144
<i>Asteromphalus heptactis</i> (S)	75	75		<i>Guinardia striata</i>	165	174	180
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>		165	133	<i>Hemiaulus sinensis</i>	68	93	80
<i>Cerataulina pelagica</i>	52	56		<i>Lauderia annulata</i>	88		
<i>Chaetoceros affinis</i>		150		<i>Leptocylindrus danicus</i>	120	112	122
<i>Chaetoceros compressus</i>	150	194	237	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	84	139	105
<i>Chaetoceros constrictus</i>	200	192		<i>Lioloma delicatulum</i> (S)	2275	2155	1515
<i>Chaetoceros convolutus</i>		457		<i>Lithodesmium undulatum</i>	151	127	218
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	283	177	407	<i>Nitzschia longissima</i> (S)		208	175
<i>Chaetoceros danicus</i>	147		300	<i>Odontella longicruris</i>	61	63	70
<i>Chaetoceros diadema</i>		125		<i>Planktoniella sol</i> (S)	130	78	100
<i>Chaetoceros dictyota</i>			80	<i>Proboscia alata</i>	765		900
<i>Chaetoceros eibonii</i>			150	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	110	117	110
<i>Chaetoceros laciniosus</i>			90	<i>Rhizosolenia imbricata</i>		228	313
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	176	178	198	<i>Rhizosolenia imbricata</i> var. <i>minuta</i>		645	
<i>Chaetoceros protuberans</i>	475	178	250	<i>Rhizosolenia setigera</i>	325	301	272
<i>Chaetoceros radicans</i>			320	<i>Skeletonema</i> sp.	105	99	108
<i>Corethron criophilum</i> (S)		132	175	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>		150	180
<i>Coscinodiscus centralis</i> (S)	150	145	147	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	71	83	80
<i>Coscinodiscus granii</i> (S)			175	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	221	262	181
<i>Cylindrotheca closterium</i> (S)	112	101	113	<i>Thalassiosira angustelineata</i>	92	120	107
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>			117	<i>Thalassiosira decipiens</i>		72	
<i>Detonula pumila</i>	86	74	89	<i>Thalassiosira minuscula</i>	123	158	110
<i>Ditylum brightwellii</i>	215	208	235	<i>Thalassiosira rotula</i>	139	151	109
<i>Eucampia cornuta</i>		113					

**Tabla 21. Tamaño promedio ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de diatomeas identificadas en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM	DIATOMEAS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM
<i>Actinocyclus curvatus</i> (S)			75	<i>Eucampia zodiacus</i>	127	134	107
<i>Asterionellopsis glacialis</i>		85		<i>Fragilariopsis doliolus</i>	58	63	63
<i>Asteromphalus arachne</i> (S)	60	60	52	<i>Guinardia delicatula</i>	163	144	106
<i>Asteromphalus heptactis</i> (S)	65	64	70	<i>Guinardia striata</i>	193	173	163
<i>Cerataulina pelagica</i>	55		50	<i>Hemiaulus sinensis</i>		67	108
<i>Chaetoceros coarctatus</i>		363	460	<i>Lauderia annulata</i>		252	100
<i>Chaetoceros compressus</i>	259	171	221	<i>Leptocylindrus danicus</i>	145	154	121
<i>Chaetoceros constrictus</i>			400	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	145	135	130
<i>Chaetoceros convolutus</i>		438	200	<i>Lioloma delicatulum</i> (S)		3062	2125
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	212	111	182	<i>Lioloma pacificum</i> (S)		800	342
<i>Chaetoceros danicus</i>	215	211	242	<i>Lithodesmium undulatum</i>	257	206	198
<i>Chaetoceros diadema</i>		170		<i>Nitzschia longissima</i> (S)	195	190	188
<i>Chaetoceros eibonii</i>		100		<i>Planktoniella sol</i> (S)	83	80	75
<i>Chaetoceros laciniosus</i>			170	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	121	106	111
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	252	207	208	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	375	420	465
<i>Chaetoceros protuberans</i>	232	201	234	<i>Rhizosolenia imbricata var. minuta</i>	130		1635
<i>Chaetoceros radicans</i>	153	87	143	<i>Rhizosolenia setigera</i>	263	312	297
<i>Chaetoceros teres</i>	268	260		<i>Skeletonema sp.</i>	76	128	72
<i>Corethron criophilum</i> (S)	150	174	132	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>			150
<i>Coscinodiscus centralis</i> (S)	143	150	149	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	68	76	72
<i>Coscinodiscus concinnus</i> (S)			300	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	254	185	127
<i>Coscinodiscus granii</i> (S)			240	<i>Thalassiosira angustelineata</i>	130	99	105
<i>Cylindrotheca closterium</i> (S)	117	109	109	<i>Thalassiosira minuscula</i>	160		125
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>		140	85	<i>Thalassiosira rotula</i>	144	138	187
<i>Detonula pumila</i>	213	148	75				

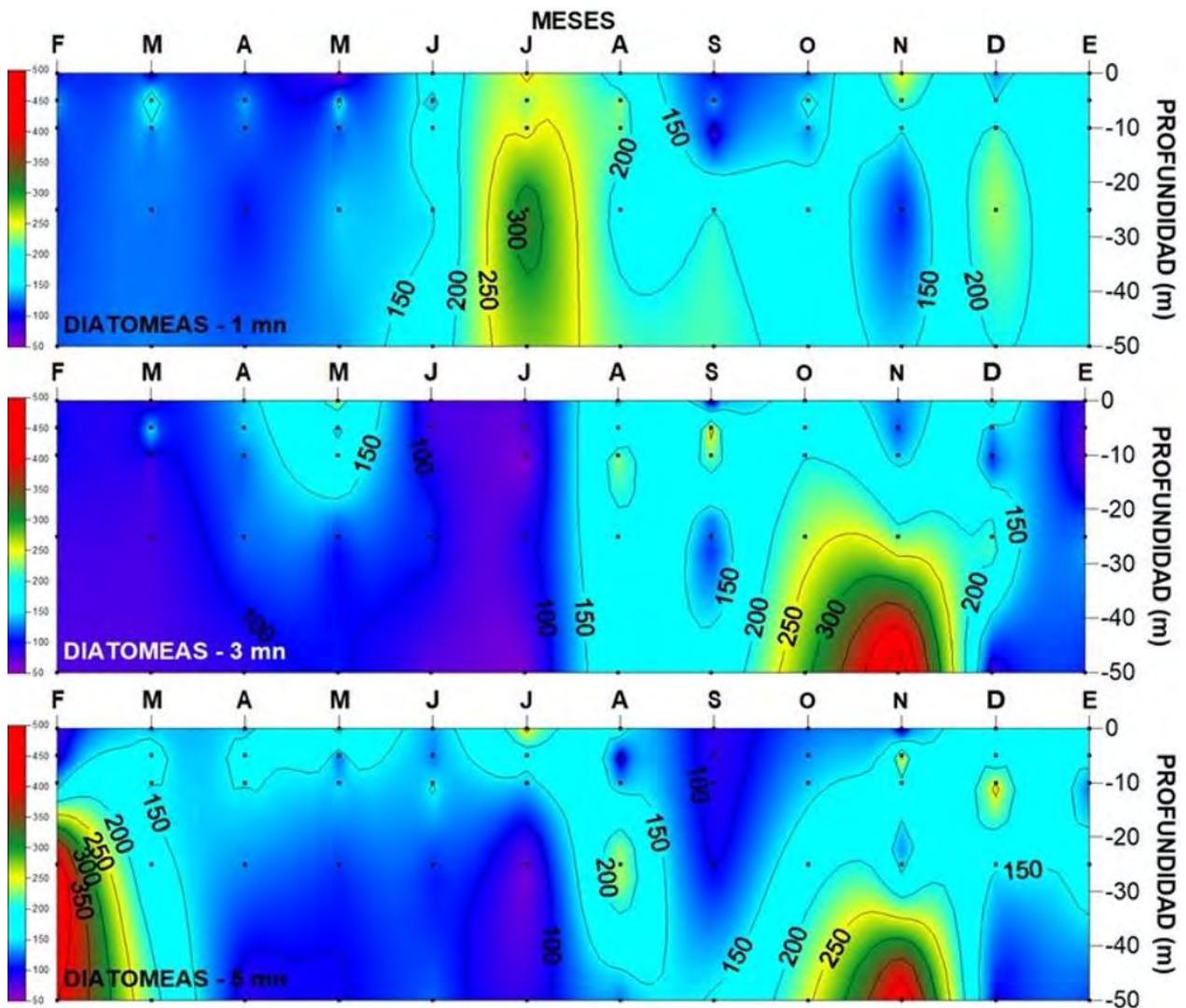
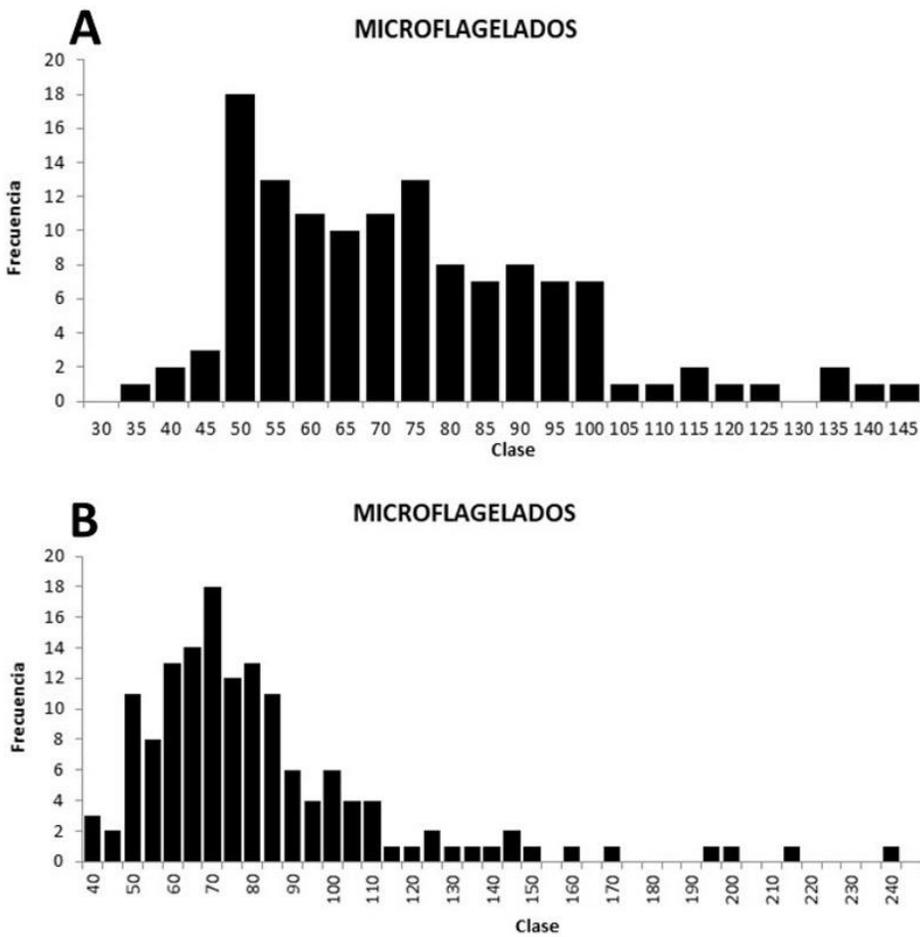


Figura 63. Progresión mensual del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de las diatomeas en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

**Tabla 22. Tamaño promedio ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de flagelados identificados en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados.**

FLAGELADOS	1 mn	3 mn	5 mn	FLAGELADOS	1 mn	3 mn	5 mn
	AM	AM	AM		AM	AM	AM
<i>Akashiwo sanguinea</i> (A)	115	84	105	<i>Gymnodinium sp.</i> (A)	54	63	43
<i>Ceratium azoricum</i>	138		113	<i>Gyrodinium sp.</i> (A)	77	81	80
<i>Ceratium dens</i>	151	137		<i>Karenia sp.</i> (A)	33	40	40
<i>Ceratium furca</i>	147	163	145	<i>kofoidinium splendens</i> (A)	225		
<i>Ceratium fusus</i>	188	210	192	<i>Lingulodinium polyedrum</i>		60	60
<i>Ceratium massiliense</i>	43	152	218	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	65	70	71
<i>Ceratium pulchellum</i>		202		<i>Podolampas palmipes</i>	100	108	100
<i>Cochlodinium sp.</i>			60	<i>Polykrikos kofoidii</i>	131	109	98
<i>Dictyocha fibula</i> (A)	52	42	43	<i>Prorocentrum gracile</i>		50	
<i>Dinophysis acuminata</i>	93	51	53	<i>Prorocentrum micans</i>	37	39	40
<i>Dinophysis caudata</i>	75	72	85	<i>Prorocentrum minimum</i>	56	57	58
<i>Dinophysis hastata</i>	65			<i>Protoceratium reticulatum</i>	15	16	16
<i>Dinophysis mitra</i>			65	<i>Protopteridinium claudicans</i>	100	108	110
<i>Dinophysis ovum</i>	56	60		<i>Protopteridinium conicum</i>	97		84
<i>Dinophysis rotundata</i>			50	<i>Protopteridinium depressum</i>			125
<i>Diplopsalis lenticula</i>		80	80	<i>Protopteridinium divergens</i>			75
<i>Diplopsalis minor</i>	51	55	53	<i>Protopteridinium leonis</i>	78	65	40
<i>Distephanus speculum</i> (A)	62	48	46	<i>Protopteridinium pellucidum</i>	49	47	50
<i>Eutreptiella marina</i> (A)	60	56	52	<i>Protopteridinium pyrum</i>	52	53	55
<i>Gonyaulax polygramma</i>	58		65	<i>Protopteridinium steinii</i>			80
<i>Gonyaulax spinifera</i>	59	62		<i>Pyrocystis lunula</i> (A)		100	98
<i>Gonyaulax taylorii</i>	78	51	54	<i>Pyrophacus horologium</i>			85



**Figura 64.** Frecuencia de tamaños ( $\mu\text{m}$ ) del grupo de los flagelados en **A:** Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y **B:** en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) durante el periodo marzo de 2019 a enero de 2020.

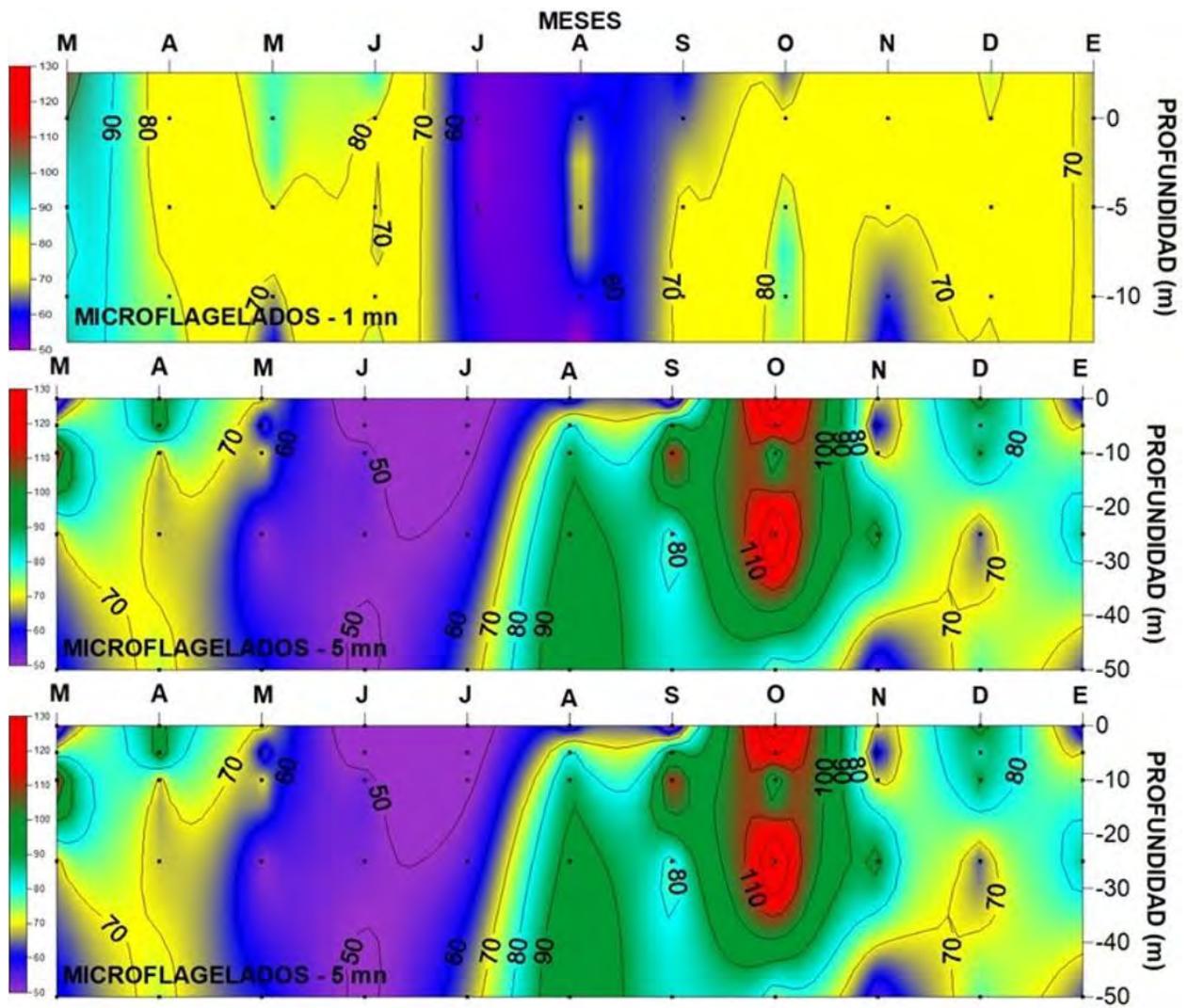


Figura 65. Progresión mensual del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de los flagelados en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

**Tabla 23. Tamaño promedio ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de flagelados identificados en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020. (A): flagelados atecados.**

FLAGELADOS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM	FLAGELADOS	1 mn AM	3 mn AM	5 mn AM
<i>Akashiwo sanguinea (A)</i>	75	83	80	<i>Karenia sp. (A)</i>	44	43	37
<i>Amphisolenia bidentata</i>		170		<i>Kofooidinium splendens (A)</i>	375		
<i>Ceratium azoricum</i>	113	98	95	<i>Lingulodinium polyedrum</i>		62	58
<i>Ceratium dens</i>		130	130	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	65	61	62
<i>Ceratium furca</i>	149	138	176	<i>Podolampas palmipes</i>			100
<i>Ceratium fusus</i>	188	183	185	<i>Podolampas spinifera</i>	125	175	120
<i>Ceratium massiliense</i>	182	176	210	<i>Polykrikos kofoidii</i>		86	101
<i>Cochlodinium sp.</i>	54	73	50	<i>Prorocentrum gracile</i>	36	36	37
<i>Corythodinium longiceps</i>			60	<i>Prorocentrum micans</i>	55	55	57
<i>Dictyocha fibula (A)</i>	48	44	45	<i>Protoceratium reticulatum</i>		50	
<i>Dinophysis acuminata</i>	51	51	50	<i>Protooperidinium conicum</i>	85	100	100
<i>Dinophysis caudata</i>	82	83	85	<i>Protooperidinium crassipes</i>		100	
<i>Dinophysis parvulum</i>	50		51	<i>Protooperidinium depressum</i>	135		137
<i>Dinophysis rotundata</i>	50			<i>Protooperidinium divergens</i>	75	70	70
<i>Dinophysis tripos</i>			100	<i>Protooperidinium latissimum</i>	63		
<i>Diplopsalis lenticula</i>	120			<i>Protooperidinium leonis</i>	90	60	75
<i>Diplopsalis minor</i>	55	56	57	<i>Protooperidinium oceanicum</i>			200
<i>Distephanus speculum (A)</i>	50	47	51	<i>Protooperidinium pedunculatum</i>	63		65
<i>Eutreptiella marina (A)</i>	53	51	51	<i>Protooperidinium pellucidum</i>	49	48	50
<i>Goniodoma polyedricum</i>			60	<i>Protooperidinium pyrum</i>	52	53	54
<i>Gonyaulax polygramma</i>	76	75	80	<i>Pyrocystis lunula (A)</i>		105	
<i>Gonyaulax taylorii</i>	49	50	51	<i>Pyrophacus horologium</i>	70	70	75
<i>Gymnodinium sp. (A)</i>	57	59	61	<i>Scrippsiella sp.</i>		45	45
<i>Gyrodinium sp. (A)</i>	78	79	82				

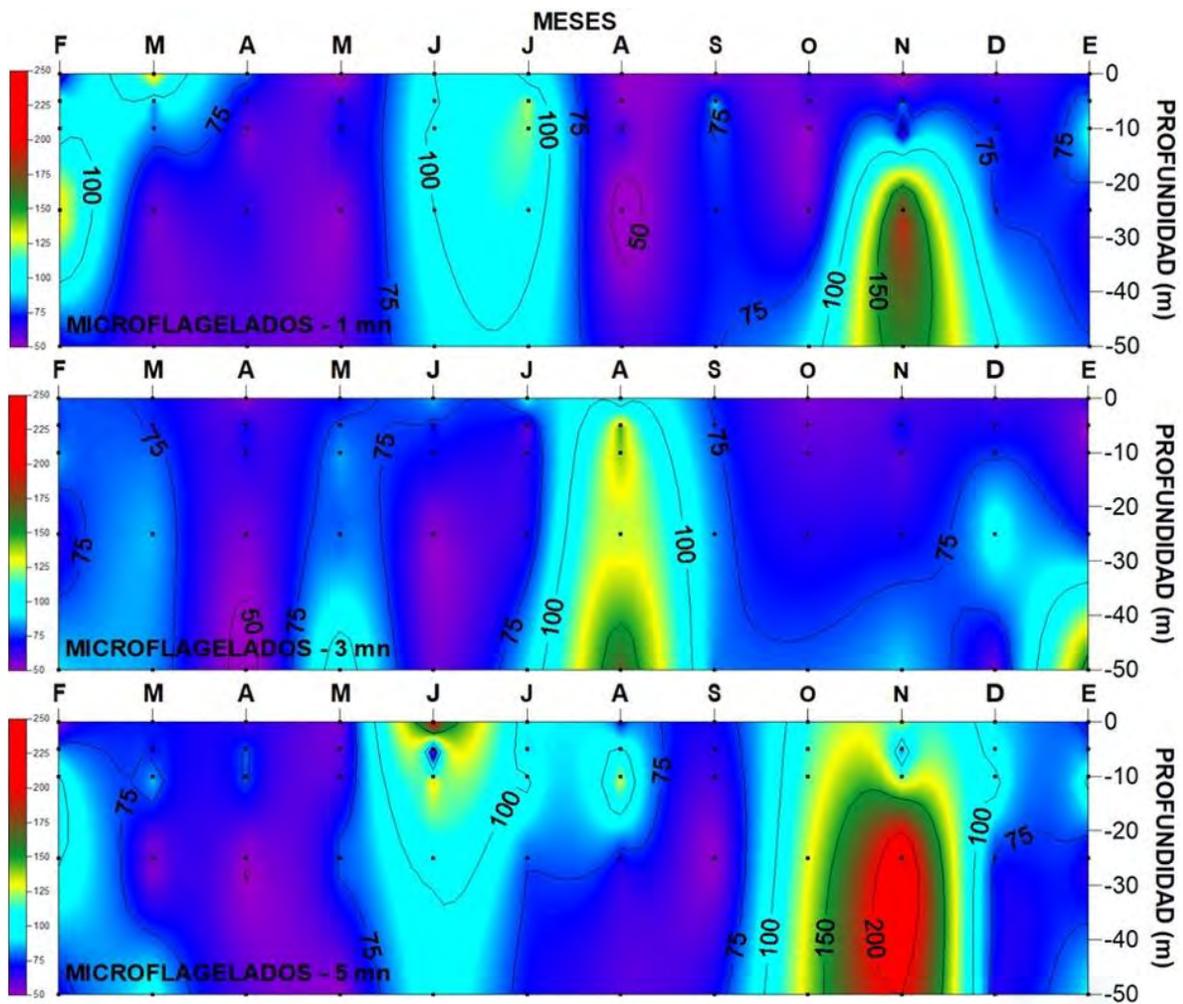


Figura 66. Progresión mensual del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de los flagelados en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

La biomasa fitoplanctónica en Arica (18°25'S) fluctuó entre 0,01 y 65,6  $\mu\text{g Cl-a/L}$ . La variabilidad temporal y las máximas concentraciones pigmentarias estuvieron asociadas principalmente al grupo de los flagelados. Focos superiores a 30,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$  se registraron a 1 y 3 mn durante el periodo de otoño (mayo) de 2019, con el máximo de 65,6  $\mu\text{g Cl-a/L}$  localizado a 1 mn y a nivel superficial. Biomásas cercanas a los 15,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$  se detectaron durante la primavera (octubre) de 2019, junto a las máximas concentraciones de diatomeas. En el resto del periodo y bajo los 10 m de profundidad, predominaron valores iguales o inferiores a 5,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$  (Figura 67).

En Mejillones (23°00'S) la biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,2 y 37,8  $\mu\text{g Cl-a/L}$ . Al igual que en Arica (18°25'S), el valor máximo de 37,8  $\mu\text{g Cl-a/L}$  coincidió con la mayor abundancia del grupo de los flagelados, registrada a fines del verano (marzo) de 2019. A 3 mn y hacia fines de la primavera (diciembre) de 2019, un foco de 12,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$  coincidió con la concentración máxima de las diatomeas. En el resto del periodo y bajo los 10 m de profundidad, predominaron valores iguales o inferiores a 3,0  $\mu\text{g Cl-a/L}$  (Figura 68).

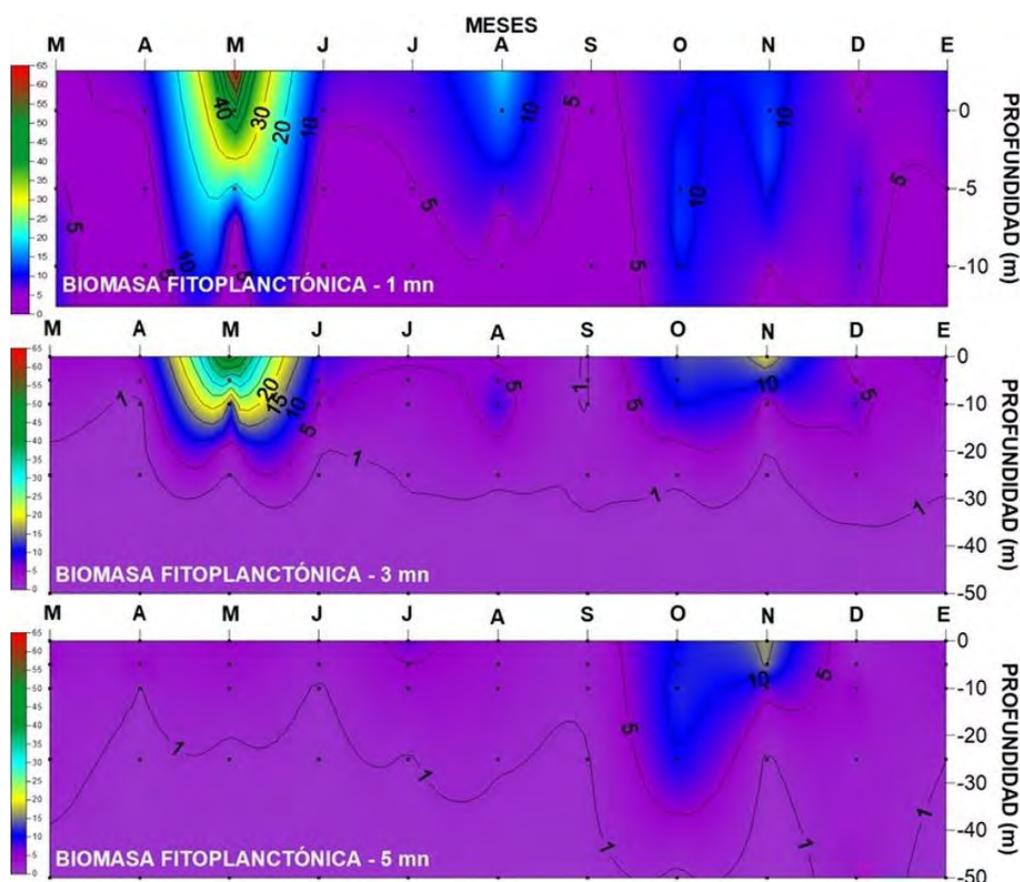


Figura 67. Progresión mensual de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu\text{g Cl-a/L}$ ) en Arica (18°25'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

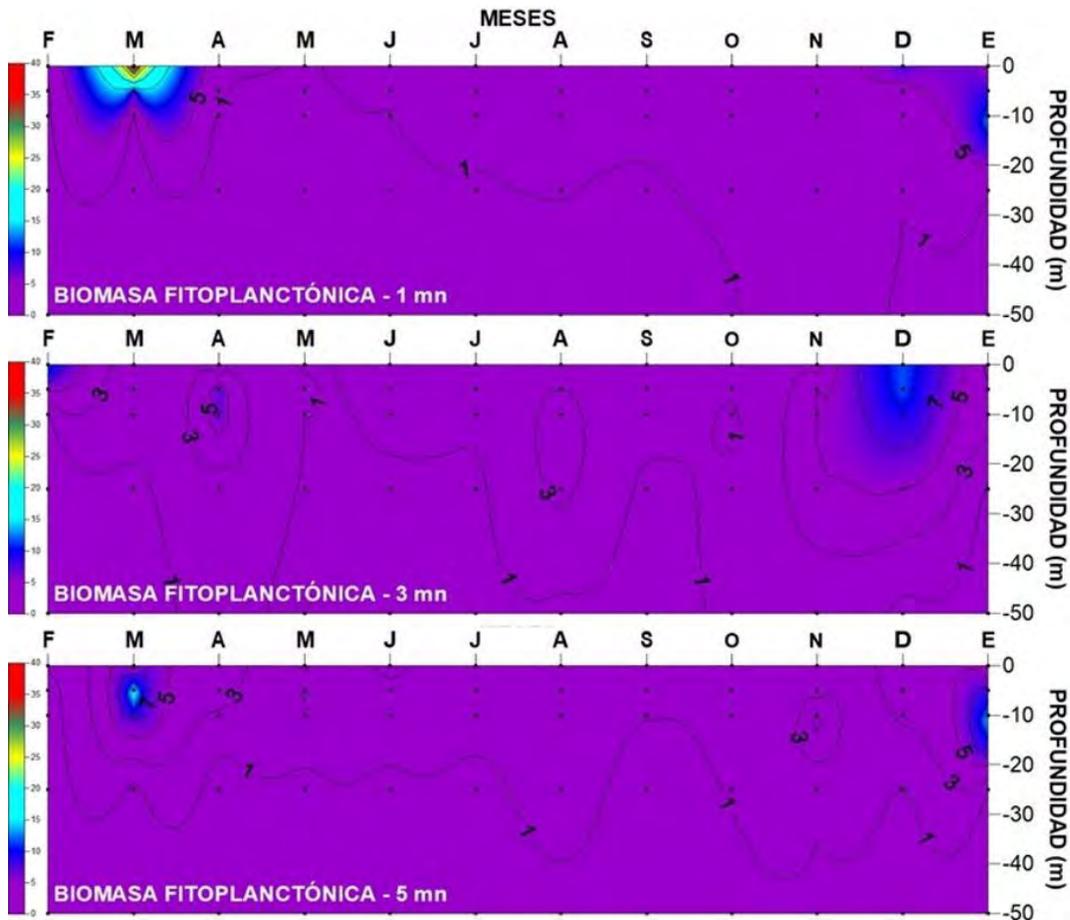


Figura 68. Progresión mensual de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu\text{g Chl-a/L}$ ) en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

### Microzooplancton

En Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) se identificó un total de 13 representantes del microzooplancton pertenecientes a las categorías de holoplancton y meroplancton. La abundancia máxima fluctuó entre 0,1 y 45 ind/mL. El grupo más abundante, perteneciente al holoplancton, fue Tintinnida, que exhibió la máxima concentración con un aporte al total superior al 50%, le siguieron los ciliados con un máximo de 16 ind/mL y un aporte cercano al 22%. Entre los grupos meroplanctónicos destacó el componente huevo con 17 ind/mL y una contribución cercana al 20% (Tabla 24). La variabilidad temporal a 1 mn, mostró la presencia de focos superiores a 20 ind/mL en el periodo de otoño (abril) de 2019 y a fines de la primavera (diciembre) de 2019 y comienzos del verano (enero) de 2020. Este último fue el más importante, se debió a la presencia de Tintinnida, y persistió a las 3 mn. En

el resto del periodo de estudio, y dominando toda la columna de agua, la presencia del microzooplancton estuvo representada por concentraciones inferiores a 5 ind/mL (**Figura 69**).

En Mejillones (23°00'S) se mantuvo el número de representantes pertenecientes al holoplancton y meroplancton, pero la abundancia máxima fue sólo de 9 ind/mL. Persiste la dominancia de Tintinnida con un máximo de 9 ind/mL y de los ciliados con 5 ind/mL, equivalentes a aportes al total de 42 y 31% respectivamente (**Tabla 25**). Al analizar la variabilidad temporal, se observa al igual que en Arica (18°25'S) la máxima abundancia durante la primavera (noviembre-diciembre) de 2019 y comienzos del verano (enero) de 2020. Este foco, donde ciliado y tintinidos aportaron con el 70%, exhibió se mantuvo entre 1 y 5 mn con el máximo localizado a 5 mn restringido al estrato superficial (0-10 m). En el resto del periodo de estudio, y dominando toda la columna de agua, la presencia del microzooplancton estuvo representada por concentraciones cercanas a 5 ind/mL (**Figura 70**).

En relación con los tamaños, la longitud promedio de los grupos microzooplanctónicos en Arica (18°25'S) fluctuó entre 83 y 530  $\mu\text{m}$  (**Tabla 24**), con una mayor frecuencia de formas entre los 90 y 220  $\mu\text{m}$  (**Figura 71A**). La variabilidad temporal a 1 mn, mostró el predominio de tamaños inferiores a 200  $\mu\text{m}$  distribuidos en todo el periodo y en toda la columna de agua, evidenciando que los grupos dominantes se mantuvieron dentro del rango entre 100 y 200  $\mu\text{m}$ . Hacia las 3 y 5 mn se registró un incremento en los tamaños, principalmente en el periodo entre fines del verano (marzo) y el invierno de 2019, hacia los estratos más profundos (**Figura 72**).

En Mejillones (23°00'S), el microzooplancton exhibió un rango de tamaño promedio entre 65 y 568  $\mu\text{m}$  (**Tabla 25**), con una mayor frecuencia de formas entre los 130 y 185  $\mu\text{m}$  (**Figura 71B**). La variabilidad temporal mostró el predominio de tamaños entre 200 y 250  $\mu\text{m}$  distribuidos en todo el periodo a 3 y 5 mn, y abarcando toda la columna de agua, lo que evidenció que los grupos dominantes, ciliados y tintinidos, estuvieron dentro de ese rango. Sólo a 1 mn se detectó el predominio de formas inferiores a 100  $\mu\text{m}$  en longitud, que ocuparon la columna de agua desde el invierno (agosto) de 2019 al verano (enero) de 2020 (**Figura 73**).

**Tabla 24. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) ( $\mu\text{m}$ ) de los grupos microzooplanctónicos presentes en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde marzo de 2019 a enero de 2020.**

CATEGORÍA	GRUPOS	1 mn		3 mn		5 mn	
		AM	TP	AM	TP	AM	TP
HOLOPLANCTON	Ciliados	16,0	130	3,3	83	8,8	86
	Estadios copepoditos	2,4	493	0,2	489	0,3	530
	Estadios naupliares	1,4	188	0,4	182	1,5	180
	Foraminifera	0,1	88	0,1	93		
	Larvas de Appendicularia	0,6	259	0,2	450	0,2	468
	Radiolaria	0,3	153	0,1	127	0,4	140
	Rotifera	0,4	258	0,4	166	0,9	194
	Tintinnida	45,0	167	12,6	135	11,8	148
MEROPLANCTON	Huevos	17,3	89	0,8	159	3,1	107
	Larva Cifonauta	0,1	355			0,1	225
	Larvas de Echinodermata	0,1	250				
	Larva de Mollusca	0,1	190	0,1	165	0,1	135
	Larvas de Polychaeta	0,1	299	0,1	381	0,2	323

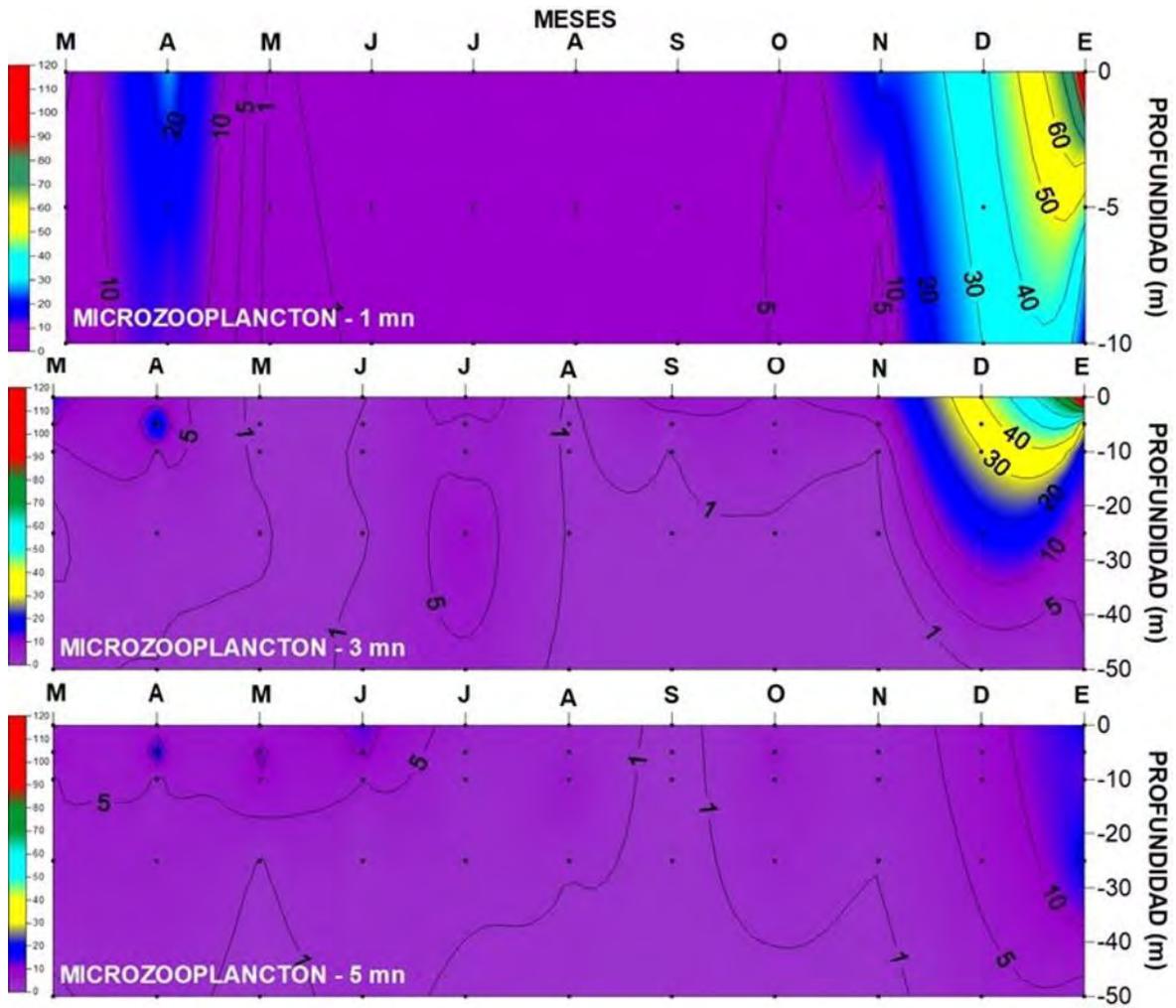


Figura 69. Progresión mensual de la abundancia del microzooplancton (mL/L) en Arica (18°25'S) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

**Tabla 25. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) ( $\mu\text{m}$ ) de los grupos microzooplanctónicos presentes en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) a 1, 3 y 5 millas náuticas (mn) de la costa durante los muestreos mensuales desde febrero de 2019 a enero de 2020.**

CATEGORÍA	GRUPOS	1 mn		3 mn		5 mn	
		AM	TP	AM	TP	AM	TP
HOLOPLANCTON	Ciliados	5,4	81	2,1	83	4,1	76
	Estadios copepoditos	0,3	473	0,3	568	0,3	539
	Estadios naupliares	1,1	159	0,5	174	0,9	176
	Foraminifera	0,1	75	0,1	65	0,1	75
	Larvas de Appendicularia	0,1	195	0,1	297	0,1	284
	Radiolaria	0,2	157	0,1	226	0,6	148
	Rotifera	1,1	174	0,2	201	0,3	235
	Tintinnida	8,1	135	5,3	138	8,8	137
MEROPLANCTON	Huevos	1,8	94	1,4	102	0,8	105
	Larva Cifonauta	0,1	355			0,1	347
	Larvas de Echinodermata	0,1	500			0,1	475
	Larva de Mollusca	0,1	153	0,1	192	0,1	173
	Larvas de Polychaeta	0,1	347	0,1	337	0,9	409

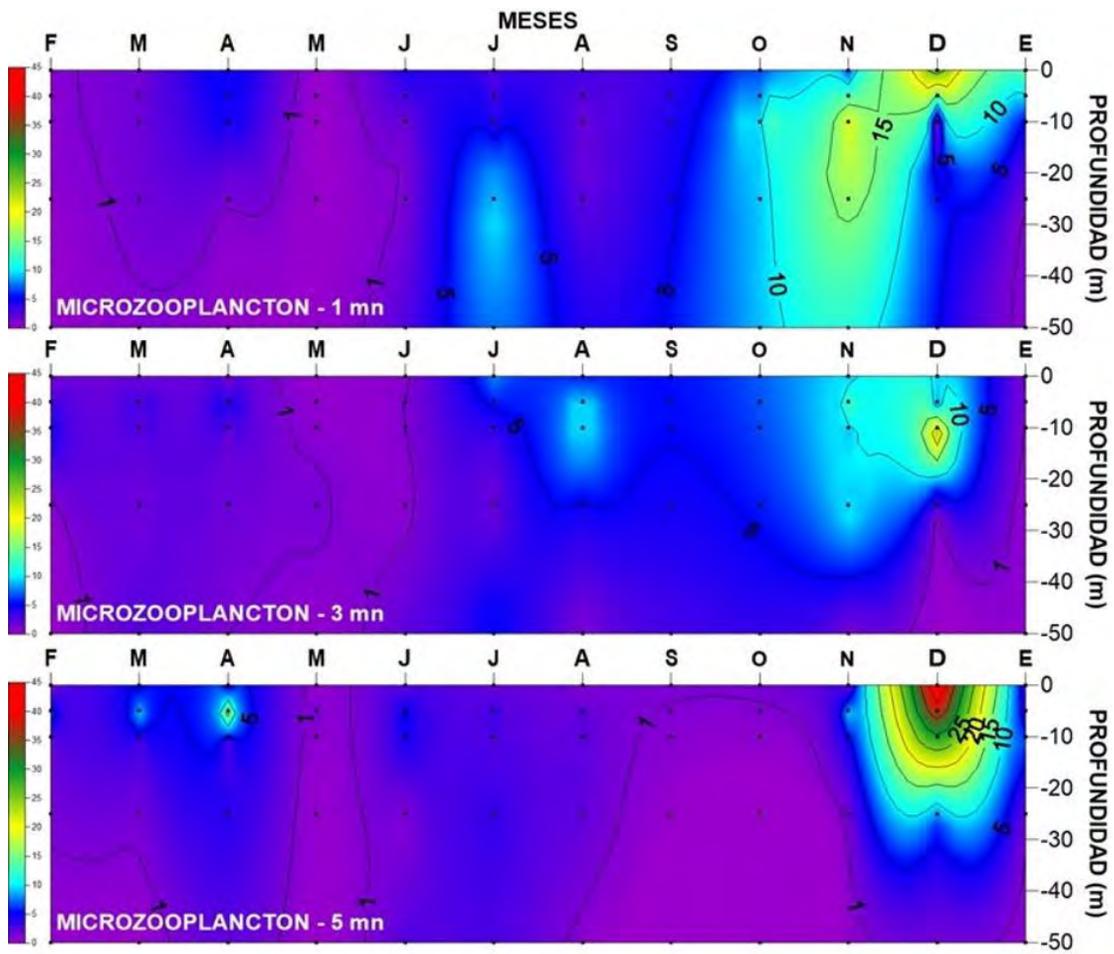


Figura 70. Progresión mensual de la abundancia del microzooplancton (mL/L) en Mejillones (23°00'S) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

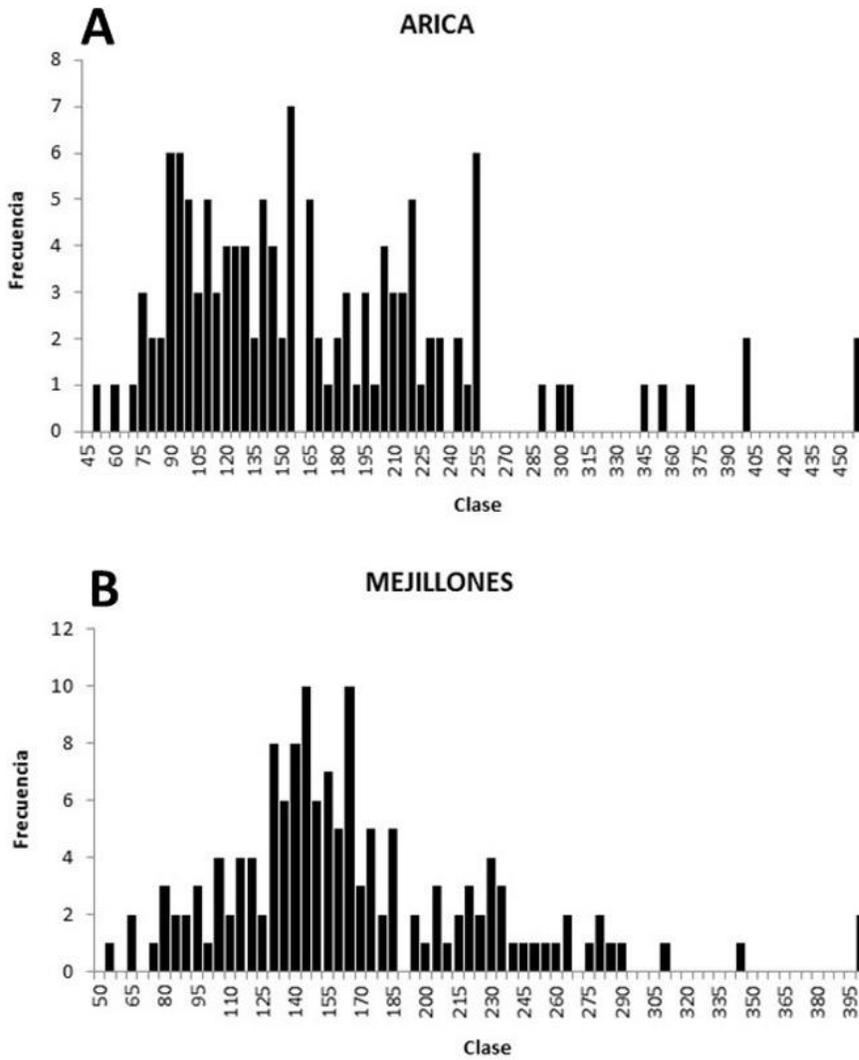


Figura 71. Frecuencia de tamaños (µm) del microzooplankton en A: Arica (18°25'S) y B: Mejillones (23°00'S) durante el periodo febrero de 2019 a enero de 2020.

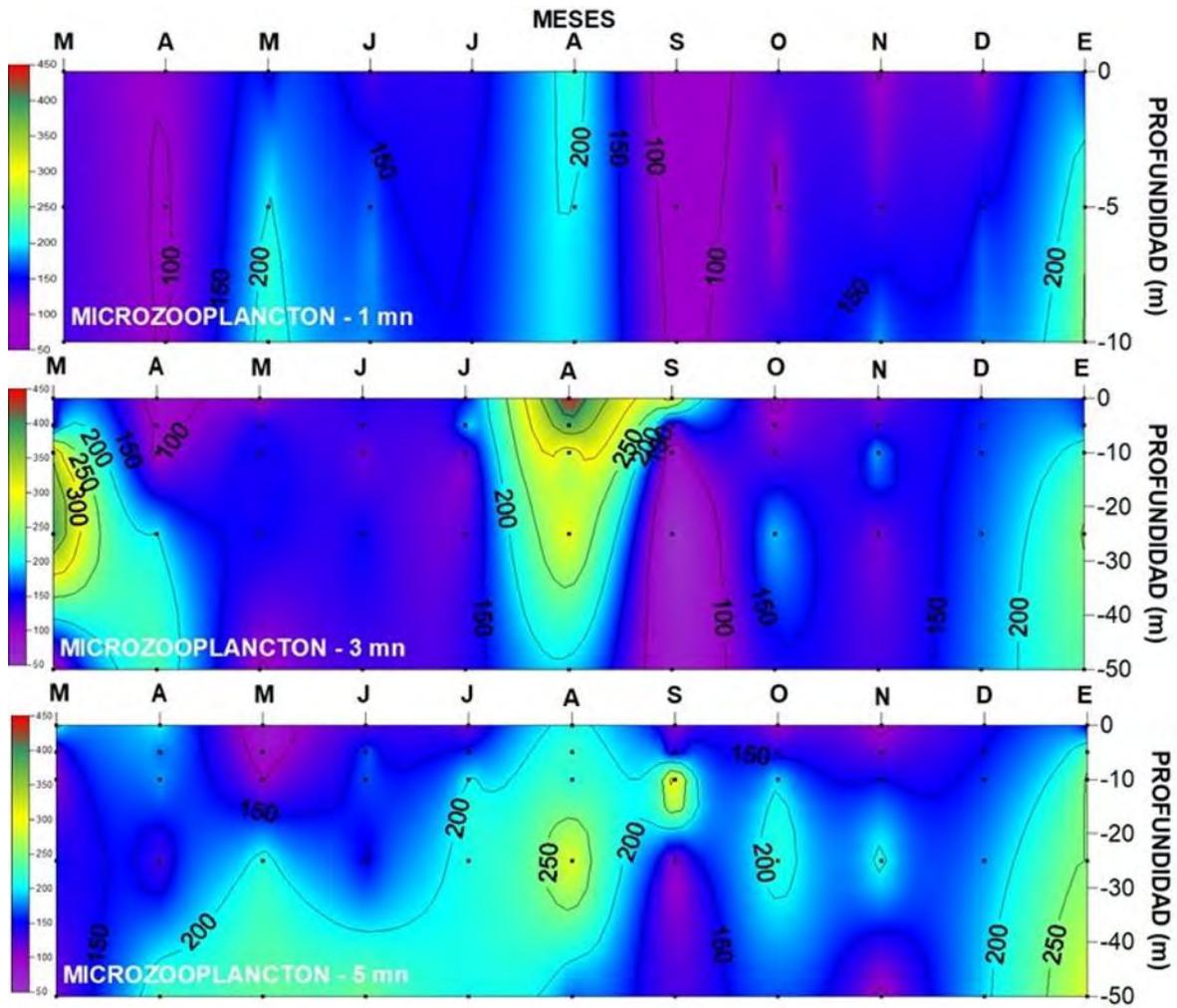


Figura 72. Progresión mensual del tamaño del microzooplancton ( $\mu\text{m}$ ) en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) entre marzo de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

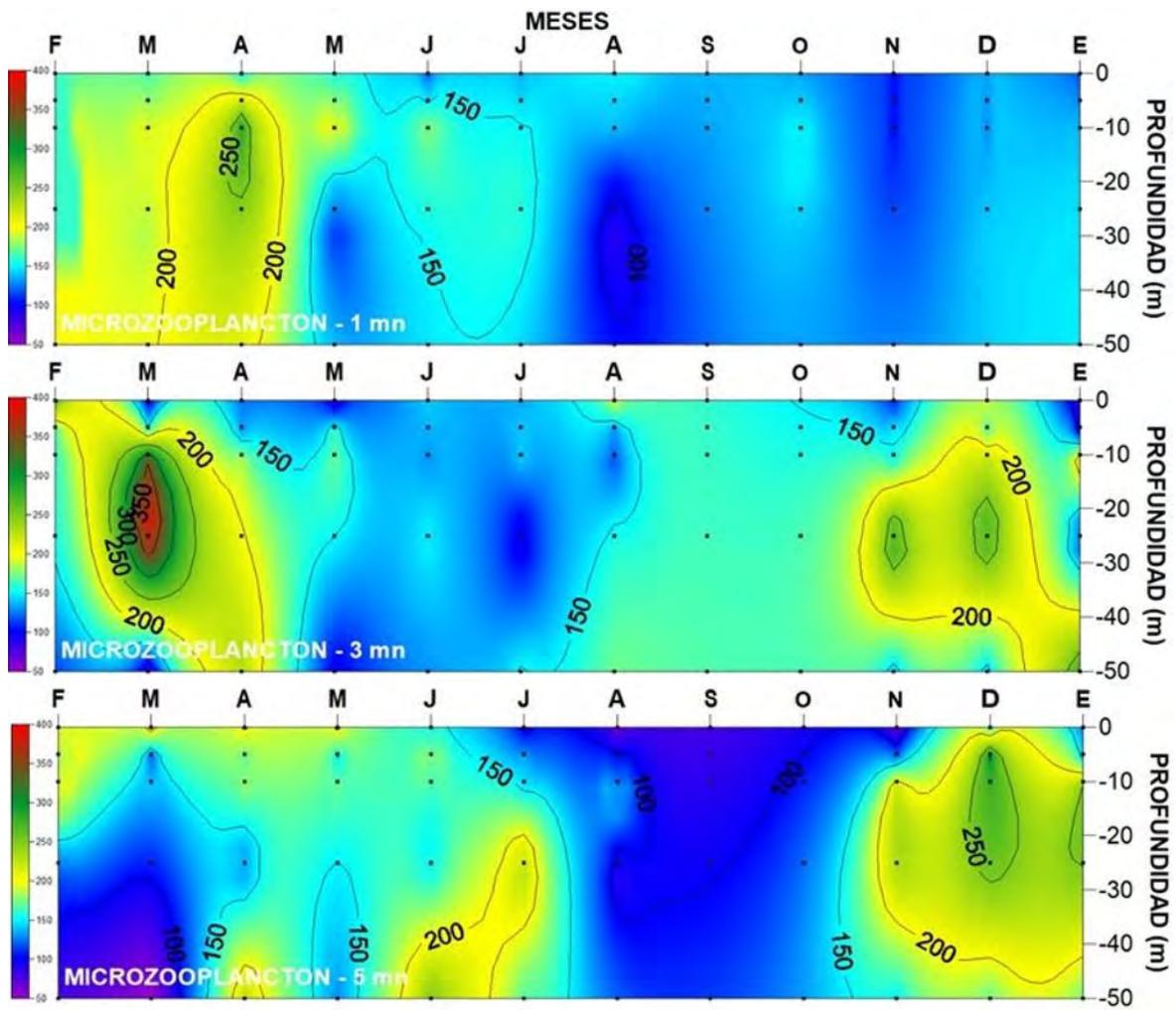
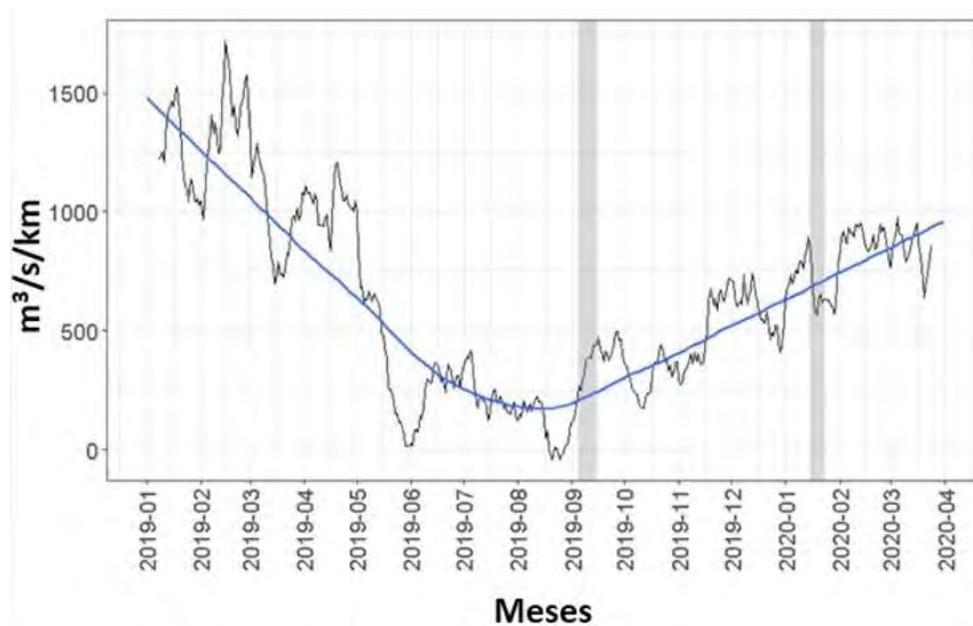


Figura 73. Progresión mensual del tamaño del microzooplancton ( $\mu\text{m}$ ) en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) entre febrero de 2019 y enero de 2020, a 1, 3 y 5 mn de la costa.

### 4.1.1.3 Enfoque Diario

#### Condiciones ambientales

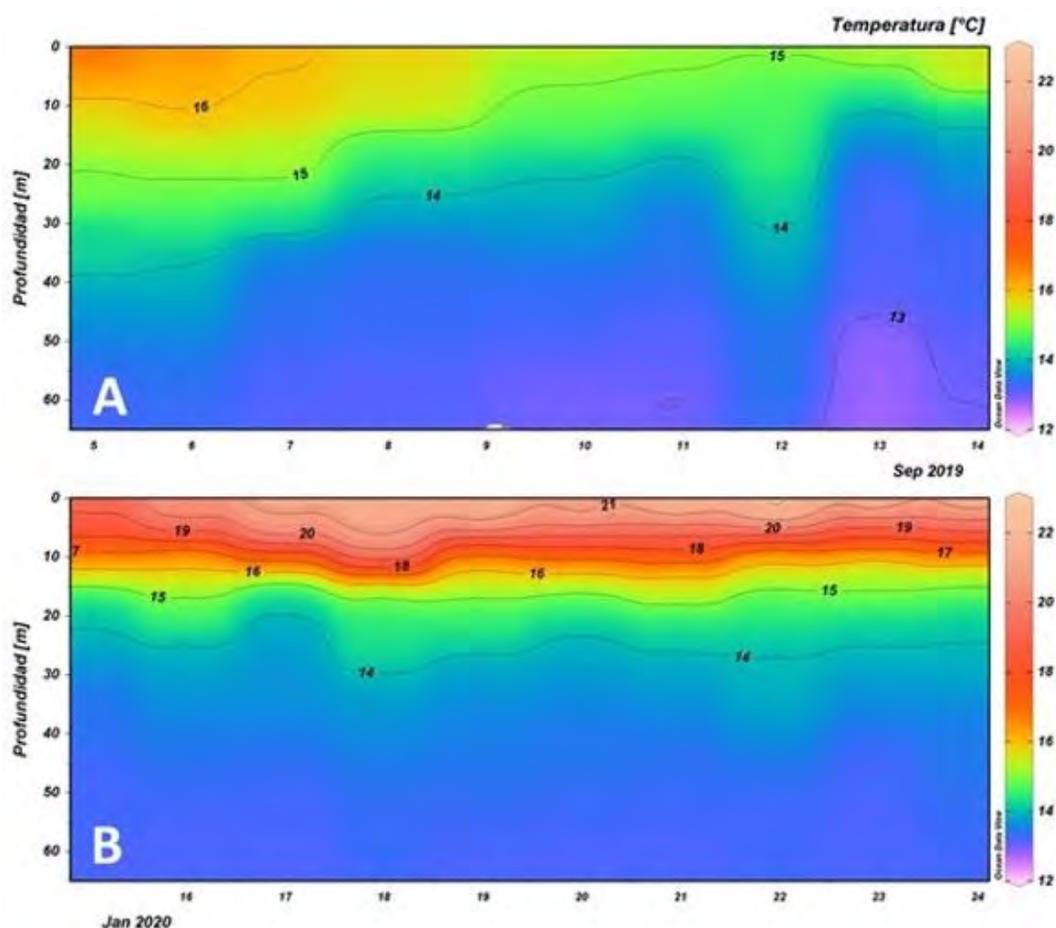
Los valores del índice de surgencia (IS) fueron contrastantes entre el invierno de 2019 y el verano de 2020. Durante el invierno los valores de viento indicaron que los muestreos se realizaron durante una fase de intensificación que favorece la generación de surgencia costera. El promedio móvil del IS cada 30 días, indicó una fase de relajación de los eventos previa al inicio de las campañas, los que aumentaron progresivamente, predominando valores inferiores a  $500 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ . En verano, la señal del IS mostró una tendencia a la relajación de los eventos luego de alcanzar un máximo los días previos al muestreo (Figura 74), sin embargo, los valores del IS siempre se mantuvieron sobre los  $500 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ . A lo largo del año, el IS mostró una clara señal estacional que explica las diferencias entre los periodos en que se realizaron las campañas.



**Figura 74.** Variabilidad diaria del índice de surgencia, calculado de vientos provenientes del aeropuerto de Iquique. La zona achurada corresponde a los días de muestreo. La línea continua es el promedio móvil cada 30 días, la línea azul es un ajuste LOESS para marcar tendencia.

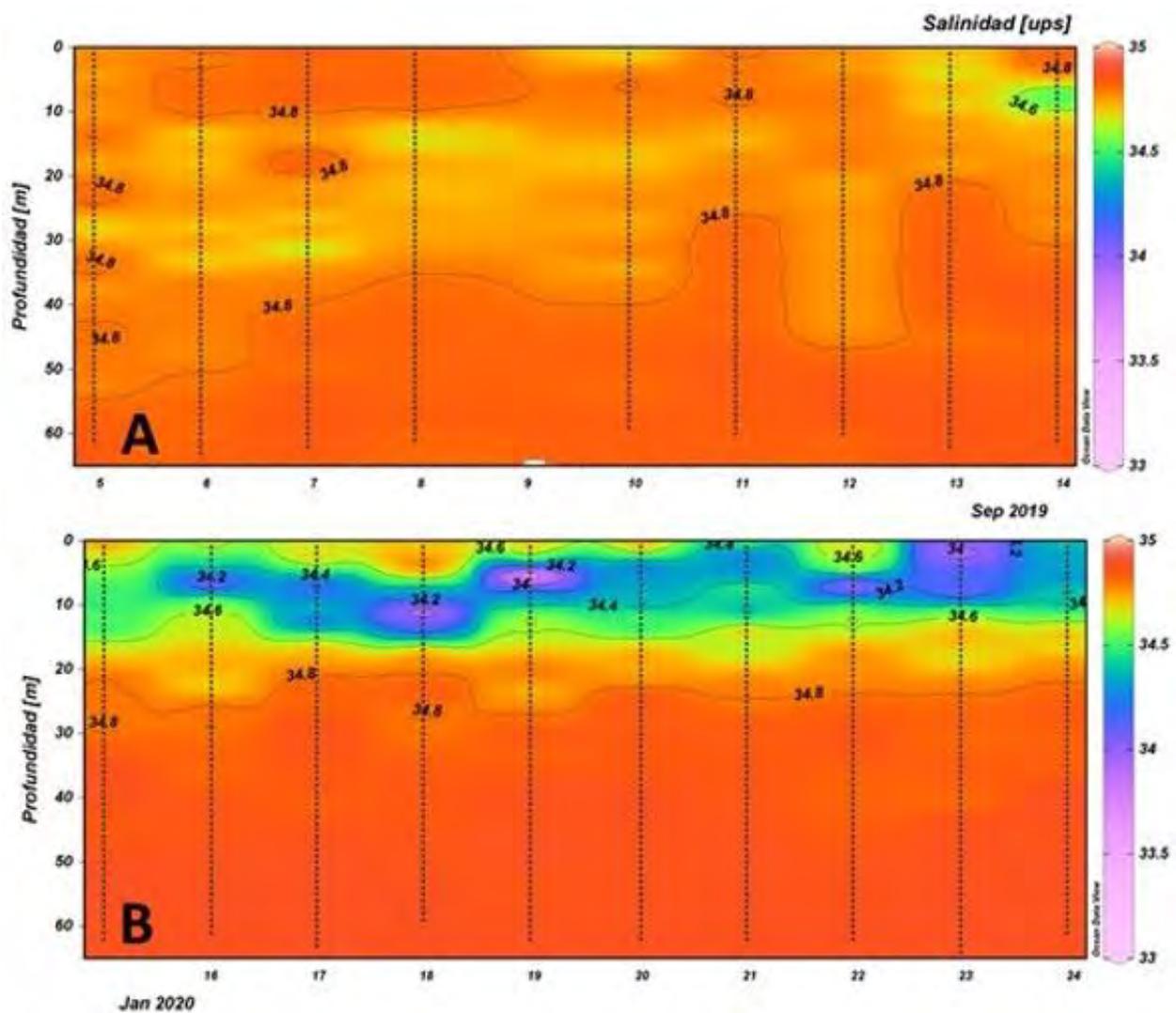
Durante la campaña de invierno, realizada en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ), la estructura termal de la columna de agua mostró, al inicio, una capa superficial, hasta los 20 m de profundidad, con temperaturas

mayores a 16°C y una capa subsuperficial (bajo los 20 m) más fría (< 14°C). La evolución temporal se caracterizó por el enfriamiento de la capa superficial, desde valores superiores a 16°C, registrados entre el 5 y 8 de septiembre, a valores cercanos a 15°C, lo que se asoció a la elevación de las isoterma hacia el final del periodo analizado, en concordancia con la evolución del índice de surgencia. Lo anterior se visualizó en los cambios de la profundidad de localización de la isoterma de 15°C, la cual a contar del 10 de septiembre se hace muy somera (< 10 m), mientras que en la capa bajo los 40 m se observan temperaturas cercanas a 13°C (**Figura 75A**). En la campaña de verano (15-24 de enero de 2020), la columna de agua mostró una mayor estratificación de la temperatura durante todos los días de muestreo, definiéndose una capa superficial (0-15 m) con temperaturas superiores a 21°C entre el 17 y 23 de enero, y una capa subsuperficial (bajo los 20 de profundidad), homogénea con temperaturas cercanas a 14°C (**Figura 75B**).



**Figura 75. Progresión diaria de la temperatura (°C) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.**

La estructura halina, durante invierno, mostró una columna de agua muy homogénea, con el predominio de salinidades entre 34,8 y 34,9 ups durante todo el periodo analizado, observándose una tendencia al ascenso de la isohalina de 34,8 hacia la superficie al final del periodo, concordante con el comportamiento de la temperatura y la evolución del IS. En verano, se registró marcada estratificación, con una capa superficial (0-20 m) de salinidades < 34,8 ups y que persistieron durante todo el periodo, alcanzando la superficie hacia finales del mes, con focos puntuales de valores cercanos a 34,9 en superficie. La capa bajo los 40 m de profundidad estuvo dominada por valores superiores a 34,8 ups (**Figura 76A**).



**Figura 76.** Progresión diaria de la salinidad (ups) en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno y B: verano.

La densidad ( $\sigma_t$ ) mostró un patrón similar al descrito para la temperatura y salinidad. En invierno de 2019 la capa superficial (0-20 m), al comienzo del periodo de estudio, reveló densidades inferiores a 25,8 que tendieron a hacerse más someras a lo largo de los días, para casi desaparecer después del 10 de septiembre, mientras la columna de agua comenzó a ser ocupada por densidades mayores a 26,0, concordante con la variabilidad del IS (**Figura 77A**). En verano de 2020, la columna de agua se observó fuertemente estratificada, con una marcada pycnoclina entre los 10 y 20 m de profundidad, que persistió durante todo el periodo de muestreo (**Figura 77B**).

Respecto del oxígeno disuelto, la distribución vertical, durante la campaña de invierno de 2019, separó la columna de agua en un estrato superficial oxigenado (0-20 m), con valores mayores a 3,0 mL O<sub>2</sub>/L, y una capa subsuperficial con condiciones de anoxia (< 1,0 mL O<sub>2</sub>/L). Siguiendo la evolución de la estructura termal, la capa superficial oxigenada se fue haciendo cada vez más somera, desde los 35 m, al inicio del periodo, a menos de 15 m de profundidad hacia el final, y de manera concordante la capa de mínima concentración de oxígeno (CMO) fue ocupando un mayor volumen de la columna de agua (**Figura 78A**). Durante la campaña de verano de 2020, consistente con la estratificación imperante, la capa oxigenada (> 3,0 mL O<sub>2</sub>/L) superficial se limitó a los 10 m de profundidad durante todo el periodo de estudio, y bajo los 20 m dominaron valores inferiores a 1,0 mL O<sub>2</sub>/L, revelando la presencia de la CMO (**Figura 78B**).

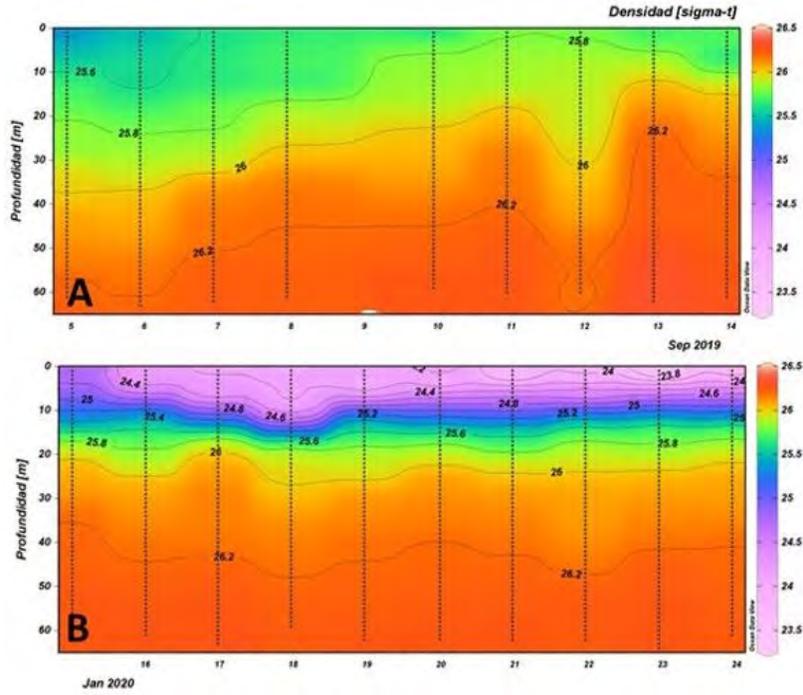


Figura 77. Progresión diaria de la densidad ( $\sigma\text{-t}$ ) en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno y B: verano.

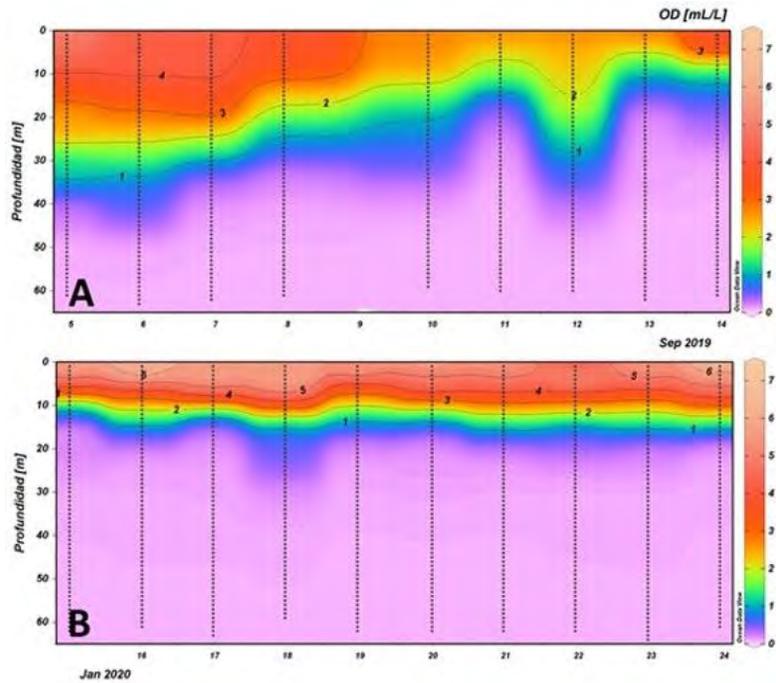


Figura 78. Progresión diaria del oxígeno disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno y B: verano.

## Estructura de la comunidad Microplanctónica

### Fitoplancton

Durante el periodo de invierno, se identificó un total de 22 representantes del grupo de las diatomeas, entre géneros y especies. Las abundancias máximas de los géneros y especies fluctuaron entre 0,1 y 42,8 cél/mL, registrándose el característico dominio de las formas en cadena y, en particular, del género *Chaetoceros*. Las especies que presentaron las mayores concentraciones (>10 cél/mL) fueron *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros curvisetus*, *Guinardia delicatula* y *Thalassionema nitzschioides*, las que realizaron, en conjunto, un aporte al total cercano al 70% (Tabla 26). La variabilidad temporal mostró un incremento de las abundancias desde el día 9 y hasta el final del periodo, las que se restringieron a los primeros 10 m de profundidad. El último día de la serie, el grupo alcanzó una concentración máxima de 68,0 cél/mL (Figura 79A). Esta evolución se asoció a los cambios en la abundancia de las especies señaladas. Aquellas del género *Chaetoceros* y *G. delicatula* se mantuvieron dentro del mismo rango de abundancia y *T. nitzschioides* incrementó su concentración para contribuir con el 63% al total (Tabla 27).

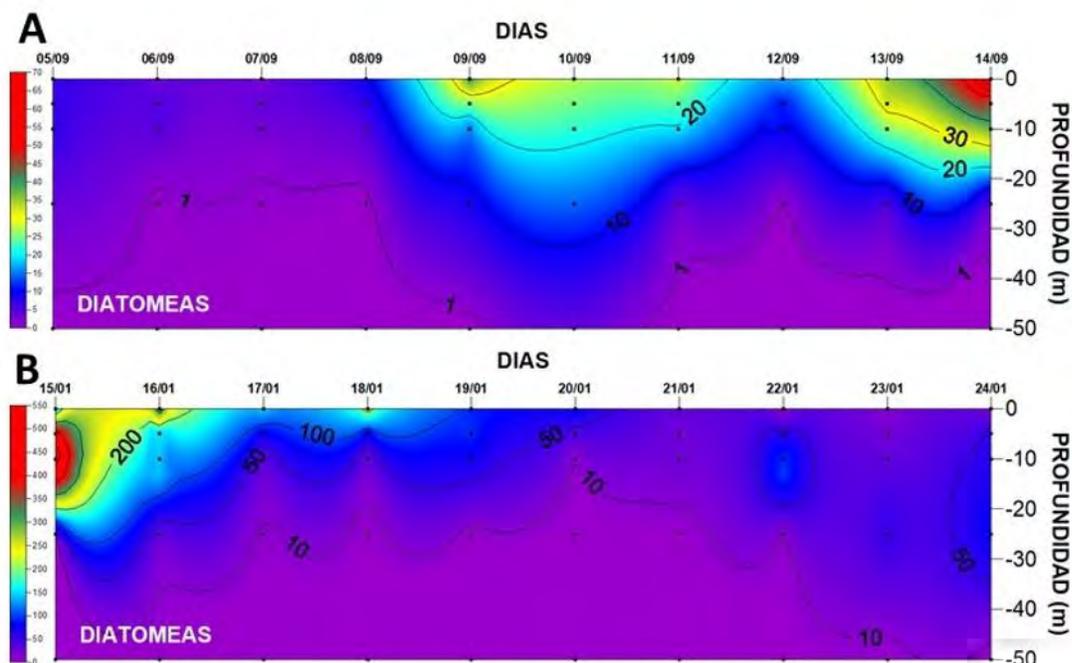
En verano de 2020 se identificó un total de 32 representantes de las diatomeas entre géneros y especies. Las abundancias máximas de los géneros y especies fluctuaron entre 0,1 y 573 cél/mL. Se mantuvo el dominio de las formas en cadena y del género *Chaetoceros*. La especie que exhibió la mayor concentración, superando las 500 cél/mL fue *Guinardia delicatula*, seguida de otras que fluctuaron entre 25 y 45 cél/mL, pero que en forma individual o en conjunto contribuyeron al total con más del 50% (Tabla 26). La variabilidad temporal mostró la presencia de abundancias superiores a 50 cél/mL (restringidas a los primeros 10 m de profundidad) entre el inicio del muestreo (15 de enero de 2020) hasta el día 20 de enero de 2020, para luego descender a valores cercanos a las 10 cél/mL (Figura 79B). El foco principal de 586 cél/mL se registró el 15 de enero de 2020 y *G. delicatula* aportó con más del 90%. Esta especie se mantuvo hasta el día 20, evidenciando una disminución de sus abundancias. Hacia el final del periodo, las abundancias resultaron de un conjunto de especies que exhibió máximas similares, especialmente en el último día del muestreo (24 de enero de 2020) (Tabla 27).

**Tabla 26. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de diatomeas presentes en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante el periodo de invierno y verano. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	INVIERNO		VERANO		DIATOMEAS	INVIERNO		VERANO	
	AM	TP	AM	TP		AM	TP	AM	TP
<i>Actinocyclus curvatus</i> (S)	0,8	100			<i>Guinardia striata</i>	0,6	230	1,5	280
<i>Asterionellopsis glacialis</i>			0,2	100	<i>Hemiaulus sinensis</i>			2,0	210
<i>Asteromphalus arachne</i> (S)			0,4	65	<i>Leptocylindrus danicus</i>			2,6	320
<i>Chaetoceros compressus</i>	17,0	225	26,4	120	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	0,7	230	3,4	226
<i>Chaetoceros convolutus</i>			0,1	500	<i>Lioloma delicatulum</i> (S)	0,2	2650	0,1	2050
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	17,8	208	3,6	300	<i>Lithodesmium undulatum</i>	2,4	290		
<i>Chaetoceros danicus</i>			1,6	492	<i>Nitzschia longissima</i> (S)			21,4	318
<i>Chaetoceros eibenii</i>	0,6	200	0,8	400	<i>Planktoniella sol</i> (S)	0,1	100	0,2	75
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	5,2	265	0,7	350	<i>Proboscia alata</i>			0,4	830
<i>Chaetoceros protuberans</i>	5,6	240	1,6	250	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	2,6	177	43,0	605
<i>Chaetoceros radicans</i>	10,8	200	9,0	230	<i>Rhizosolenia imbricata</i>			0,2	850
<i>Corehtron criophilum</i> (S)	0,2	175	0,2	150	<i>Rhizosolenia setigera</i>	0,2	225	0,8	460
<i>Coscinodiscus granii</i> (S)			0,4	103	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>			0,6	230
<i>Cylindrotheca closterium</i> (S)	1,8	135	51,8	217	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	42,8	111	2,8	183
<i>Detonula pumila</i>			1,3	86	<i>Thalassiosira aestivalis</i>			45,1	330
<i>Ditylum brightwellii</i> (S)	0,2	165			<i>Thalassiosira angustelineata</i>	0,2	100		
<i>Eucampia zodiacus</i>			7,2	227	<i>Thalassiosira rotula</i>	2,8	500		
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	4,8	75	1,6	65	<i>Thalassiosira subtilis</i>			1,2	80
<i>Guinardia delicatula</i>	10,0	179	572,8	533					

**Tabla 27. Géneros y especies de diatomeas con las mayores abundancias (cél/mL) durante el periodo de invierno y verano. (S): diatomeas solitarias.**

DIATOMEAS	INVIERNO 2019 (días septiembre)									
	05	06	07	08	10	11	12	13	14	
<i>Chaetoceros compressus</i>	3,6	3,8	0,8	6,4	9,8	12,6	3,4	17,0	13,8	
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0,8	1,6		1,2	7,2	8,8	3,8	17,8	5,4	
<i>Chaetoceros radicans</i>					9,2	10,8		3,8	8,6	
<i>Guinardia delicatula</i>	0,2		1,6		0,8		1,2	2,8	10,0	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0,9		0,4	0,4	19,2	4,6	3,6	4,2	42,8	
	VERANO 2020 (días enero)									
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Chaetoceros compressus</i>				0,4				0,9	26,4	2,4
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0,4	1,6	0,2	2,4	2,8	22,8	0,8	2,2	3,7	51,8
<i>Guinardia delicatula</i>	572,8	336,8	145,2	218,4	91,8	53,2	28,6	85,0	23,2	8,0
<i>Nitzschia longissima</i>		0,4				0,8	0,3	0,4	0,8	21,4
<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	0,4	3,6	0,4	2,2	0,4	4,0	2,0	25,4	5,2	43,0
<i>Thalassiosira aestivalis</i>										45,1



**Figura 79. Progresión diaria de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno y B: verano.**

Las formas flageladas estuvieron representadas por 20 especies y/o género en el periodo de invierno. Las abundancias máximas de los géneros y especies fluctuaron entre 0,1 y 12,6 células/mL, registrándose el dominio de dinoflagelados tecados de los géneros *Ceratium* y *Protoperidinium*. El

silicoflagelado *Distephanus speculum*, exhibió un máximo de 13 cél/mL, con un aporte cercano al 35%, mientras que los otros representantes escasamente superaron las 2,0 cél/mL (Tabla 28). La variabilidad temporal mostró la presencia de proliferaciones superiores a 5 cél/mL, restringidas al estrato superficial (0-5 m), los días 6 y 11 de septiembre de 2019, mientras que en el resto del periodo predominaron valores inferiores a 2 cél/mL (Figura 80A). El primer foco alcanzó las 14 cél/mL y se debió a la presencia de *D. speculum*, y el segundo de 6 cél/mL se debió al dinoflagelado tecado *Ceratium furca* (Tabla 29).

En verano aumentó el número de especies a 31 y la abundancia máxima de género y especies las 536 cél/mL. Se mantuvo el dominio de dinoflagelados tecados y de los géneros *Ceratium* y *Protoperidinium*. El dinoflagelado *Ceratium fusus*, exhibió la concentración máxima de 536 cél/mL, realizando una contribución cercana al 70%, *D. speculum* ocupó un segundo lugar con 37 cél/mL. Los otros representantes escasamente superaron las 2,0 cél/mL (Tabla 28). La variabilidad temporal mostró un foco principal al comienzo del periodo (9 de septiembre), y luego las abundancias se mantuvieron bajo las 5 cél/mL (Figura 80B). Este foco alcanzó las 541,2 cél/mL donde *C. fusus* exhibió las 536 cél/mL (Tabla 29).

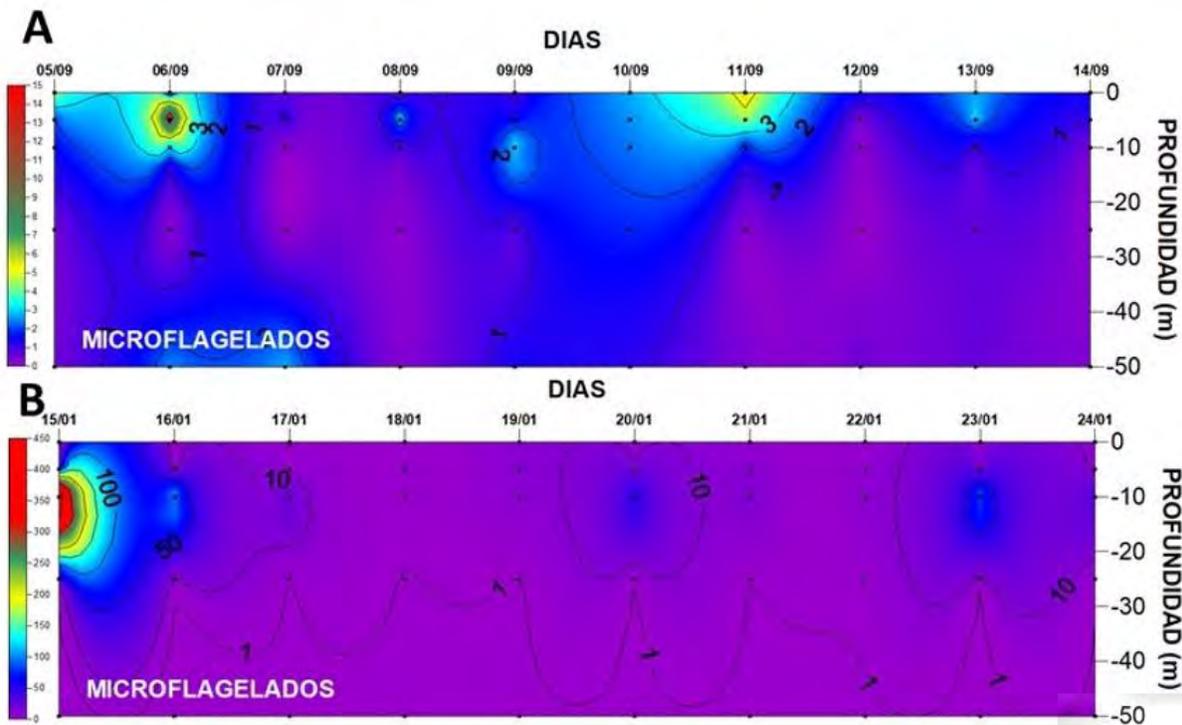


Figura 80. Progresión diaria de la abundancia de flagelados (cél/mL) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.

**Tabla 28. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) ( $\mu\text{m}$ ) de los géneros y especies de flagelados presentes en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante el periodo de invierno de 2019 (05 al 14 de septiembre) y verano de 2020 (15 al 24 de enero). (A): flagelados atecados.**

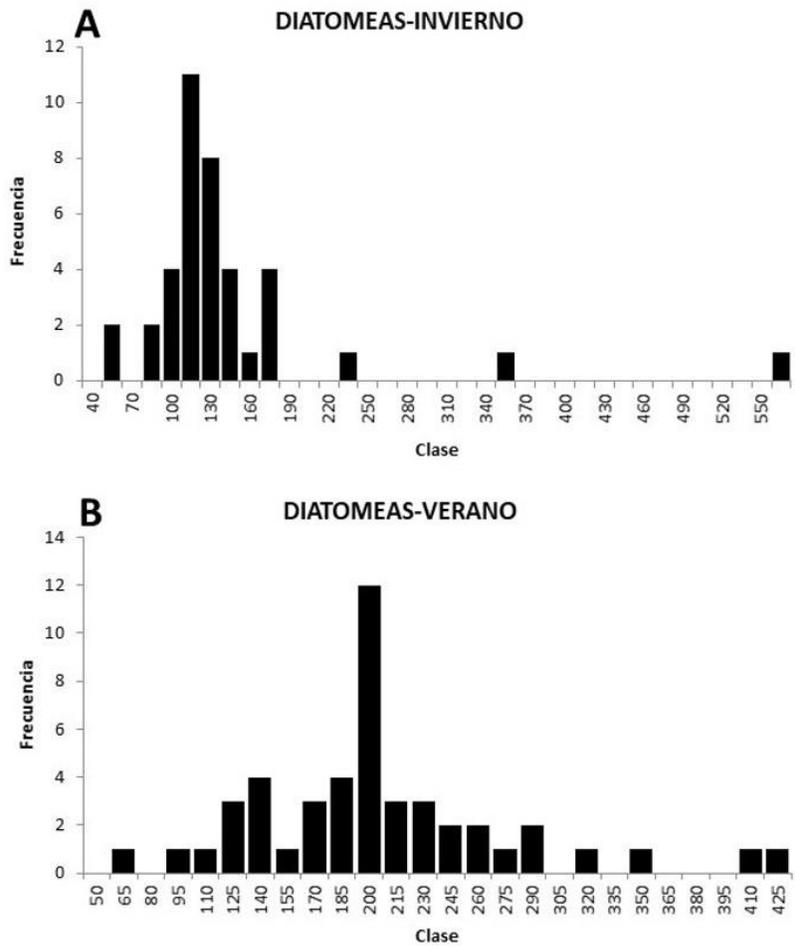
FLAGELADOS	INVIERNO		VERANO		FLAGELADOS	INVIERNO		VERANO	
	AM	TP	AM	TP		AM	TP	AM	TP
<i>Akashiwo sanguinea</i> (A)			83,0	80	<i>Gonyaulax polygramma</i>			0,4	65
<i>Amphisolenia bidentata</i>	0,1	185			<i>Gonyaulax taylorii</i>	1,0	50		
<i>Amylax triacantha</i>	0,2	50			<i>Gymnodinium sp. (A)</i>	0,6	43	2,0	50
<i>Ceratium azoricum</i>			0,8	100	<i>Gyrodinium sp. (A)</i>	2,7	98	10,6	115
<i>Ceratium furca</i>	2,2	191	0,4	125	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>			0,2	65
<i>Ceratium fusus</i>			536,0	251	<i>Podolampas palmipes</i>			0,4	120
<i>Ceratium massiliense</i>	0,1	225	0,3	288	<i>Podolampas spinifera</i>	0,1	185	0,2	170
<i>Ceratium minutum</i>			0,2	100	<i>Polykrikos kofoidii</i>			0,8	135
<i>Ceratium pulchellum</i>			0,4	190	<i>Prorocentrum gracile</i>	1,8	38	2,4	35
<i>Corythodinium tessellatum</i>			0,1	70	<i>Prorocentrum micans</i>	0,1	55	2,0	55
<i>Dictyocha fibula</i> (A)	0,4	50	0,1	43	<i>Protooperidinium claudicans</i>			0,2	150
<i>Dinophysis acuminata</i>	1,0	60	0,2	50	<i>Protooperidinium conicum</i>	0,2	100	0,4	85
<i>Dinophysis caudata</i>			1,4	115	<i>Protooperidinium depressum</i>			0,4	130
<i>Dinophysis ovum</i>			0,1	70	<i>Protooperidinium divergens</i>	0,1	75		
<i>Dinophysis parvulum</i>	0,1	50	0,4	50	<i>Protooperidinium oceanicum</i>			0,2	145
<i>Diplopsalis minor</i>			0,4	53	<i>Protooperidinium pellucidum</i>	0,4	58	1,6	68
<i>Distephanus speculum</i> (A)	12,6	55	36,6	55	<i>Protooperidinium pyrum</i>	0,4	50	0,8	50
<i>Eutreptiella marina</i> (A)	0,6	50	0,8	60	<i>Pyrophacus horologium</i>	0,4	100		

**Tabla 29. Géneros y especies de flagelados con las mayores abundancias (cél/mL) durante el periodo de invierno de 2019 (05 al 14 de septiembre) y verano de 2020 (15 al 24 de enero). (S): diatomeas solitarias.**

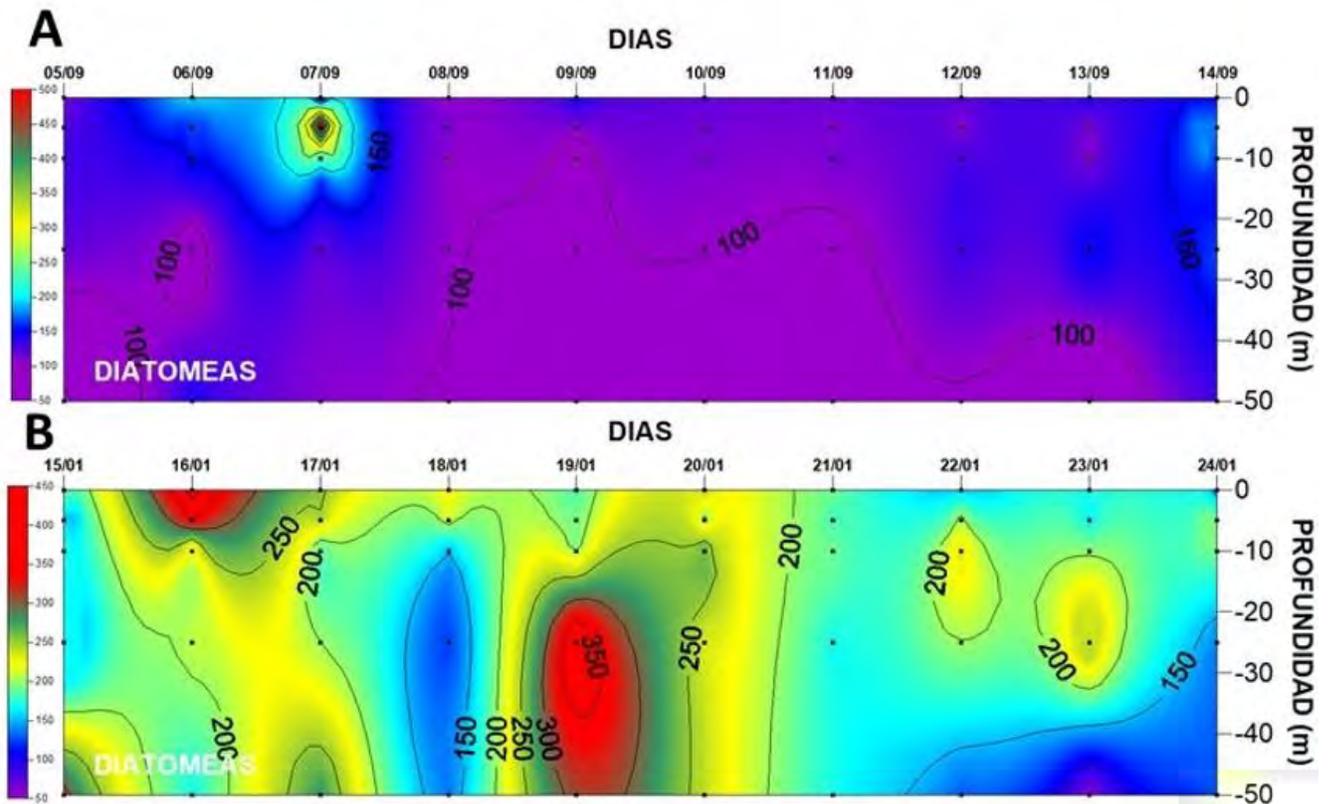
FLAGELADOS	INVIERNO 2019 (días septiembre)									
	05	06	07	08	10	11	12	13	14	
Ceratium furca	2,0	0,4			0,4	2,0	0,2	0,6	0,4	
Distephanus speculum	1,2	12,6	0,8	1,4	0,8	0,2	0,2	0,4	0,2	
Gyrodinium sp.	0,3	2,3	2,7	0,4	1,4	0,4	0,4	0,6	0,4	
	VERANO 2020 (días enero)									
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Akashiwo sanguinea		58,8	23,0	0,2	0,4	8,0	0,2	4,0	83,0	3,2
Ceratium fusus	536,0	43,2	0,8	0,6	4,8	41,2	9,4	2,4	9,8	31,2
Distephanus speculum	36,6	2,4	0,2			2,0	0,2	0,8	0,2	0,2
Gyrodinium sp.	1,7	4,4	0,4	0,8	0,3	0,6	10,6	1,7	1,8	0,5

Con relación al espectro de tamaños, durante el invierno, las diatomeas exhibieron un rango que fluctuó entre 75 y 2.650  $\mu\text{m}$  (Tabla 26), con una mayor frecuencia de formas entre los 115 y 130  $\mu\text{m}$  (Figura 81A). La distribución temporal muestra la predominancia de este rango de tamaños durante todo el periodo, y en toda la columna de agua, con una tendencia a la disminución hacia los estratos más profundos (Figura 82A).

En verano de 2020 el rango de tamaños se encontró entre 65 y 2.050  $\mu\text{m}$  (Tabla 26), con una mayor frecuencia de formas con dimensiones alrededor de los 200  $\mu\text{m}$  (Figura 81B). De igual manera, la distribución temporal mostró la dominancia de formas de tamaños de 200 y mayor en todo el periodo y ocupando toda la columna de agua (Figura 82B).



**Figura 81.** Frecuencia de tamaños ( $\mu\text{m}$ ) de las diatomeas en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.



**Figura 82. Progresión diaria del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de diatomeas en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.**

Los flagelados en el invierno exhibieron tamaños entre 38 y 225  $\mu\text{m}$  (Tabla 28), con una mayor frecuencia de formas entre los 50 y 85  $\mu\text{m}$  (Figura 83A). La distribución temporal evidenció el dominio de formas pequeñas ( $<80 \mu\text{m}$ ) en el estrato superficial (0-10 m) y en los periodos de proliferaciones. Hacia los estratos más profundos se registró un incremento en este grupo durante todo el periodo analizado (Figura 84A).

En verano el rango de tamaños se mantuvo, fluctuando entre 35 y 288  $\mu\text{m}$  (Tabla 28), pero la mayor frecuencia se encontró entre los 90 y 105 (Figura 83B). Estas longitudes ocuparon la columna de agua durante todo el periodo, incluyendo el día 15 de enero cuando se registró la máxima concentración de *Ceratium fusus*. Se observó una disminución durante el 18 y 22 de enero, la cual estuvo asociada a la presencia de los flagelados *A. sanguinea*, *D. speculum* y *Gyrodinium* sp. Hacia los estratos más profundos en particular los estratos más profundos. De igual manera, la distribución temporal mostró la dominancia de formas de tamaños de 200 y mayor en todo el periodo y ocupando toda la columna de agua (Figura 84B).

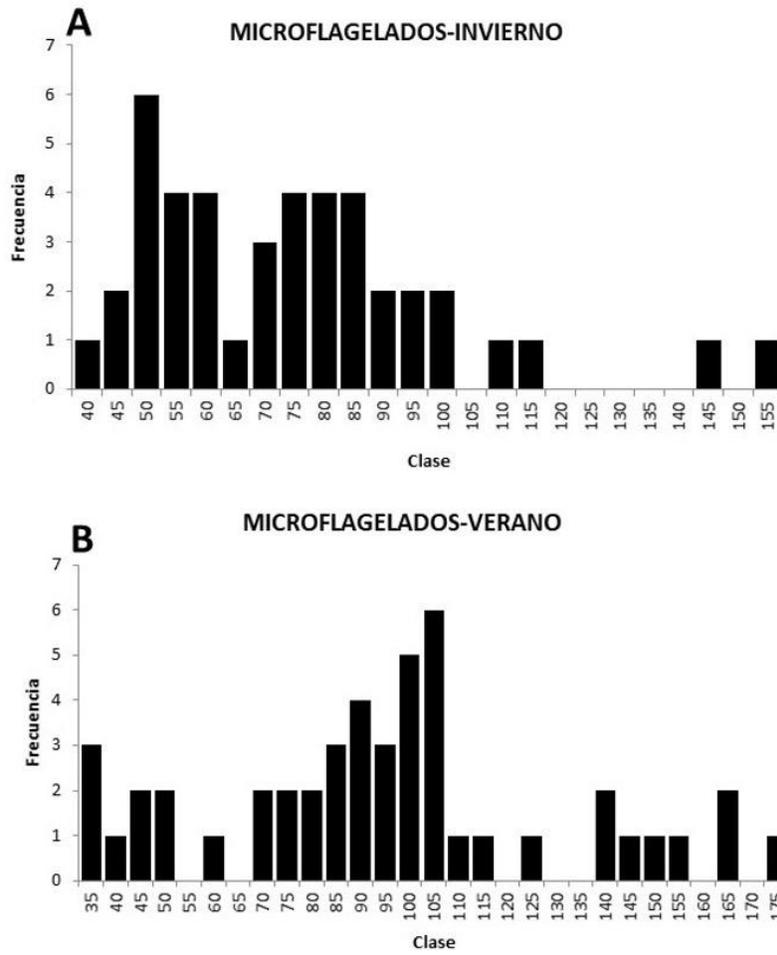
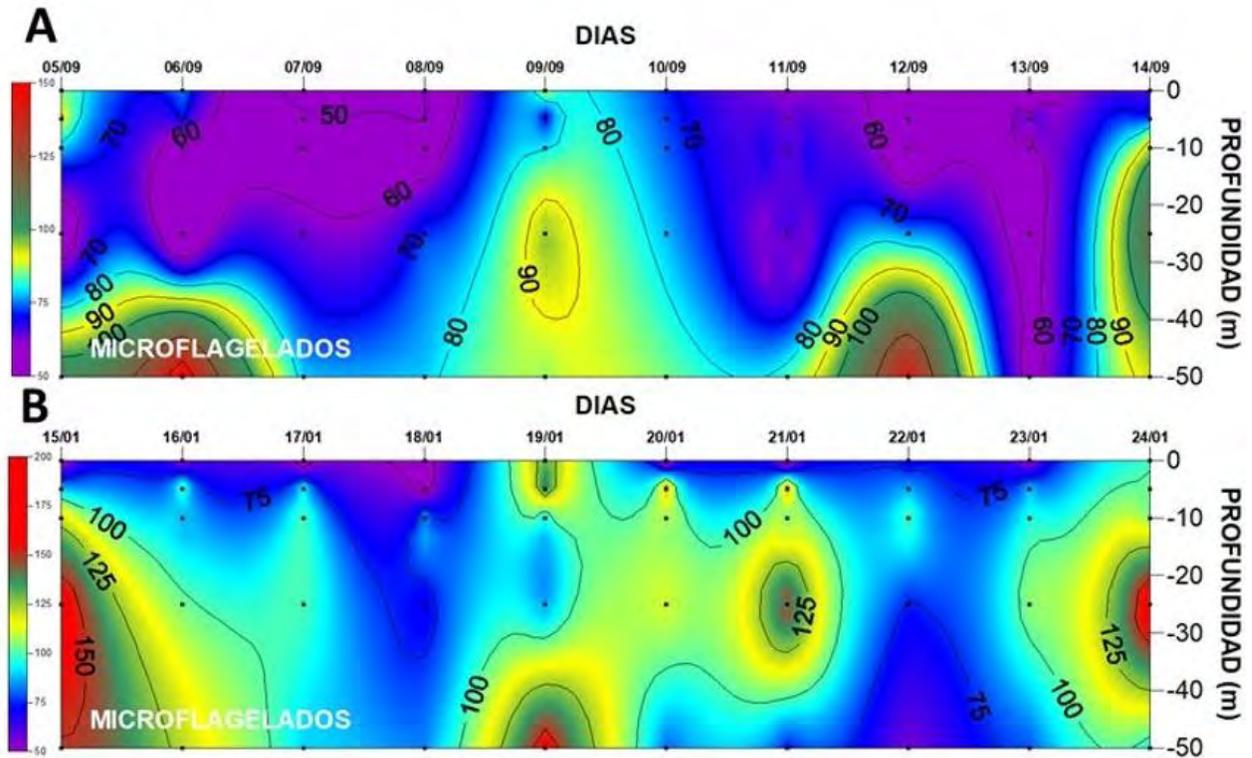


Figura 83. Frecuencia de tamaños ( $\mu\text{m}$ ) de los flagelados en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.



**Figura 84.** Progresión diaria del tamaño ( $\mu\text{m}$ ) de flagelados en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante **A:** invierno de 2019 y **B:** verano de 2020.

La biomasa fitoplanctónica en el periodo de invierno de 2019, presentó valores extremos de 0,1 y 3,6. La distribución temporal estuvo asociada a la presencia de diatomeas y flagelados, registrándose valores por sobre  $1,5 \mu\text{g Cl-a/L}$  durante todo el periodo en el estrato entre 0 y 10 m de profundidad. El valor máximo ( $3,6 \mu\text{g Cl-a/L}$ ) se registró el día 14 de septiembre (**Figura 85A**) junto a la proliferación de *Chaetoceros*, *G. delicatula* y *T. nitzschoides*.

Durante el verano la concentración pigmentaria aumentó, encontrándose entre 0,1 y  $16,8 \mu\text{g Cl-a/L}$ . De igual forma, la distribución se asoció a la presencia de ambos grupos, con el máximo ( $16,8 \mu\text{g Cl-a/L}$ ) registrado el día 15 de enero, junto a las proliferaciones de *G. delicatula* y *C. fusus*. Los días siguientes, y en toda la columna de agua, las biomásas descendieron de  $1,0 \mu\text{g Cl-a/L}$  (**Figura 85B**).

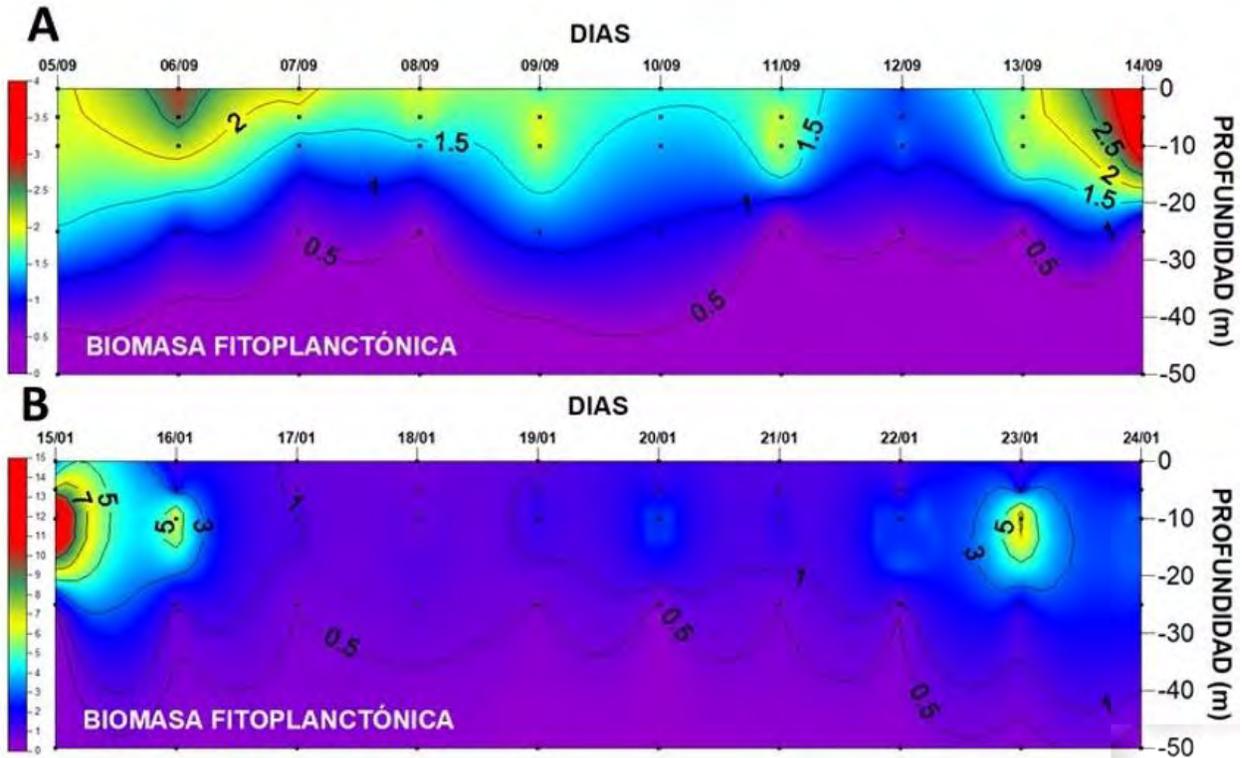


Figura 85. Progresión diaria de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu\text{g Chl-a/L}$ ) en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.

### Microzooplancton

Durante el periodo de invierno, se identificó un total de 13 representantes del microzooplancton pertenecientes a las categorías de holoplancton y meroplancton, con abundancias máximas que fluctuaron entre 0,1 y 169 ind/mL. El grupo más abundante, perteneciente al holoplancton, fue el de los ciliados, que realizó aportes al total superiores al 50% en gran parte del periodo de manera individual o junto al grupo Tintinnida (Tabla 30). La variabilidad temporal reveló la presencia de un máximo de 178 ind/mL el día 7 de septiembre localizado a 5 m de profundidad, donde los ciliados aportaron con el 95%. En el resto del periodo, y de la columna de agua, la abundancia del microzooplancton se mantuvo cercana a los 5 ind/mL (Figura 77A).

En verano, el número de representantes pertenecientes al holoplancton y meroplancton fueron 12, y la abundancia máxima de los grupos alcanzó los 159 ind/mL. Durante este periodo, se registró la dominancia de Tintinnida en un foco de 180 ind/mL, registrado el día 16 de enero, donde el grupo aportó con el 88% al total (Tabla 30). Entre los días 18 y 22 de enero se detectaron abundancias

cercanas a los 90 ind/mL persistiendo este grupo, junto al componente huevo y a los ciliados que aumentaron sus concentraciones entre los días 22 y 24 de enero. Bajo los 30 m el microzooplancton descendió de los 30 ind/mL (**Figura 86B**).

**Tabla 30. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y tamaño promedio (TP) ( $\mu\text{m}$ ) de los grupos microzooplanctónicos presentes en Chipana (21°20'S) durante el periodo de invierno de 2019 (05 al 14 de septiembre) y verano de 2020 (15 al 24 de enero).**

CATEGORIA	GRUPOS	INVIERNO		VERANO	
		AM	TP	AM	TP
HOLOPLANCTON	Ciliados	168,6	107	170,0	120
	Estadios copepoditos	1,6	714	5,0	578
	Estadios naupliares	5,0	303	10,8	210
	Foraminifera	0,1	82	0,1	140
	Larvas de Appendicularia	0,2	530	0,6	301
	Radiolaria	0,4	162	5,0	184
	Rotifera	0,8	229	2,2	269
	Tintinnida	27,9	137	158,8	226
MEROPLANCTON	Huevos	2,2	192	79,6	137
	Larva Cifonauta	0,0	380		
	Larvas de Echinodermata	0,1	243	0,4	151
	Larva de Mollusca	1,7	272	2,4	143
	Larvas de Polychaeta	0,4	179	7,0	474

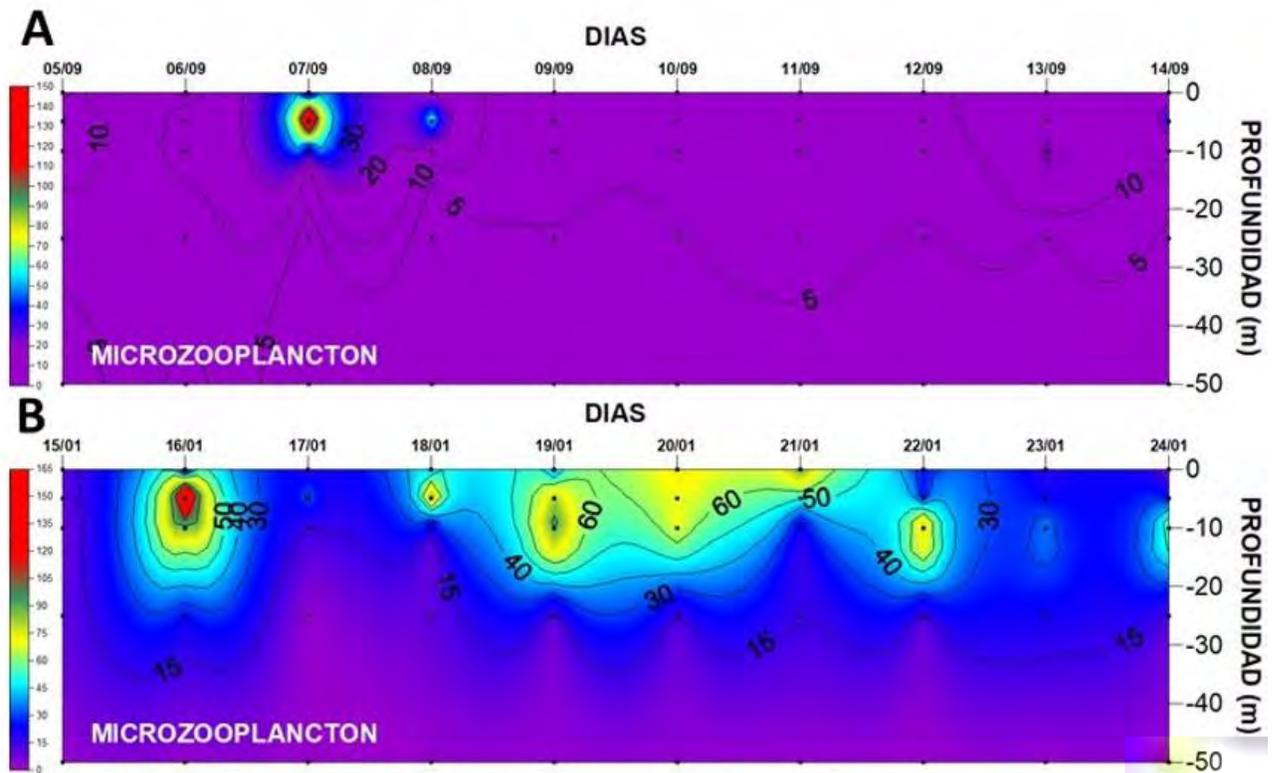


Figura 86. Progresión diaria de la abundancia del microzooplancton (ind/mL) en Chipana (21°20'S) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.

En relación con los tamaños, la longitud promedio de los grupos microzooplanctónicos, en el invierno de 2019, fluctuó entre 62 y 1.027  $\mu\text{m}$  (Tabla 30), con una mayor frecuencia de formas de 130  $\mu\text{m}$  (Figura 87A). El análisis temporal mostró que los individuos pertenecientes a esta fracción de tamaño predominaron durante todos los días principalmente en la capa entre la superficie y los 10 m de profundidad, encontrándose representados principalmente por ciliados (Figura 88).

En el verano, el microzooplancton exhibió un rango de tamaño promedio entre 70 y 1.583  $\mu\text{m}$  (Tabla 30), con una mayor frecuencia de formas entre los 165 y 175  $\mu\text{m}$  (Figura 87B). La variabilidad temporal mostró el predominio de estos tamaños durante todo el periodo asociados a la presencia de Tintinnida (Figura 88B).

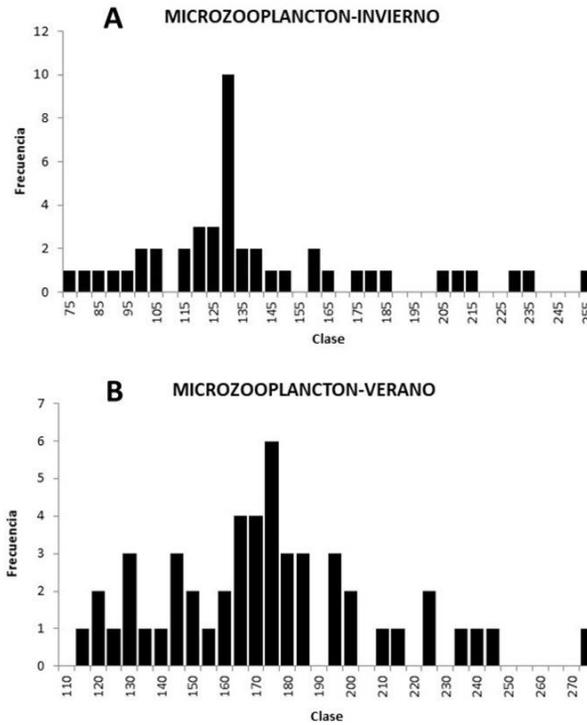


Figura 87. Frecuencia de tamaños ( $\mu\text{m}$ ) de los flagelados en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.

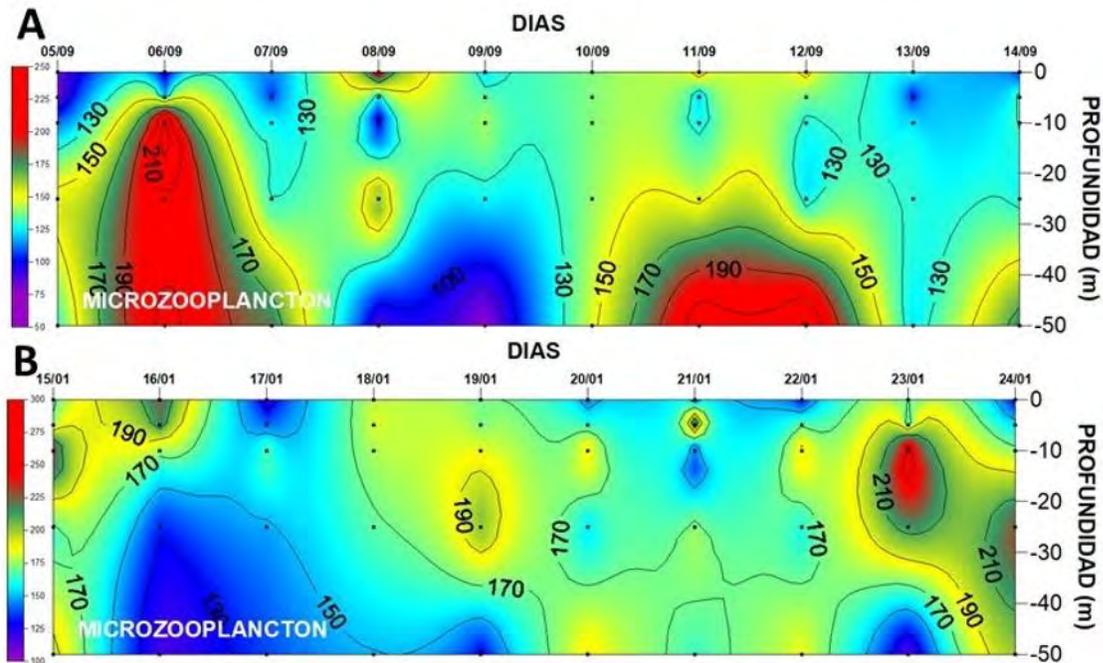


Figura 88. Progresión diaria de los tamaños del microzooplankton ( $\mu\text{m}$ ) en Chipana ( $21^{\circ}20'S$ ) durante A: invierno de 2019 y B: verano de 2020.

### 4.1.2 Análisis Estadístico

Como una primera aproximación se realizó un análisis exploratorio a través de correlaciones entre la abundancia de las larvas y huevos de anchoveta y el componente microplañctónico y las variables ambientales. En el caso de las larvas de anchoveta, éstas mostraron una correlación significativa con el microzooplancton ( $r = 0,284$ ,  $p < 0,001$ ), mientras que con las variables ambientales solo se detectó una correlación significativa con el índice de estabilidad ( $r = 0,320$ ,  $p < 0,001$ ). Por otra parte, al realizar este mismo análisis con los huevos de anchoveta, se encontraron correlaciones significativas con el microzooplancton ( $r = 0,234$ ,  $p < 0,01$ ) y con las diatomeas ( $r = 0,260$ ;  $p < 0,01$ ), mientras entre las variables ambientales destacó la asociación con el índice de estabilidad ( $r = 0,410$ ,  $p < 0,001$ ), temperatura ( $r = 0,211$ ,  $p < 0,05$ ), concentración de oxígeno disuelto ( $r = 0,284$ ,  $p < 0,001$ ) y la profundidad del límite superior de la CMO (L\_CMO) ( $r = 0,302$ ;  $p < 0,001$ ).

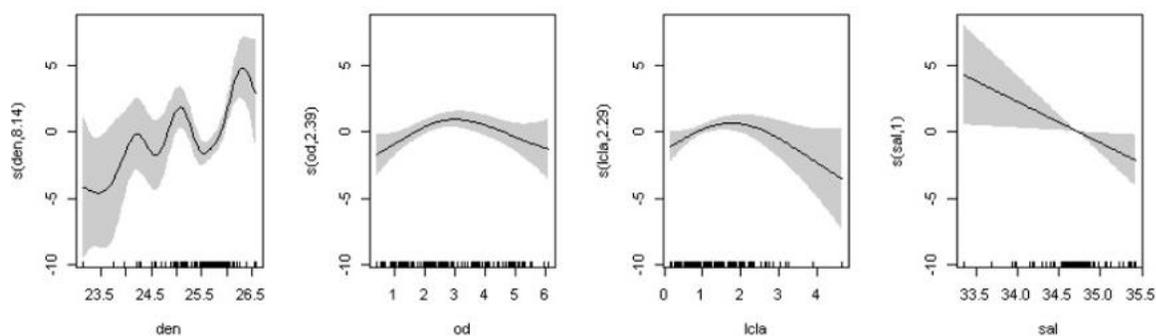
Los resultados del GAM para cada variable ambiental analizada individualmente se resumen en la **Tabla 31**, la cual muestra que, si bien los parámetros de suavizamiento son significativos para cada variable, los porcentajes de devianza son moderados ( $< 50\%$ ).

En el caso de las larvas de anchoveta la densidad del agua de mar fue el mejor predictor, con un 31% de devianza explicada, seguida de la concentración de oxígeno disuelto, la biomasa fitoplanctónica y la salinidad (17,9, 15,2 15,8 % de devianza explicada, respectivamente). Al analizar las interacciones de las variables predictoras con la abundancia de las larvas de anchoveta el mejor modelo fue aquel que incluyó la densidad del agua de mar, la concentración de oxígeno disuelto, la biomasa fitoplanctónica y la salinidad (% devianza de 47,1 %, GCV = 7,643,  $n = 132$ ) (**Figura 89**).

El GAM aplicado a la abundancia de los huevos de anchoveta mostró que la concentración de oxígeno disuelto, la biomasa fitoplanctónica y la densidad del agua de mar, fueron los que presentaron un mayor porcentaje de devianza explicada (25,9, 21,7 y 25,0 respectivamente) (**Tabla 32**). Al analizar las interacciones de las variables predictoras con la abundancia de los huevos de anchoveta el mejor modelo fue aquel que incluyó la concentración de oxígeno disuelto y la biomasa fitoplanctónica (% devianza de 42.9 %, GCV = 7.842,  $n = 133$ ) (**Figura 90**).

**Tabla 31. Resultados del análisis GAM realizado sobre la abundancia de larvas de anchoveta. Ordenados de acuerdo con el menor valor de GCV.**

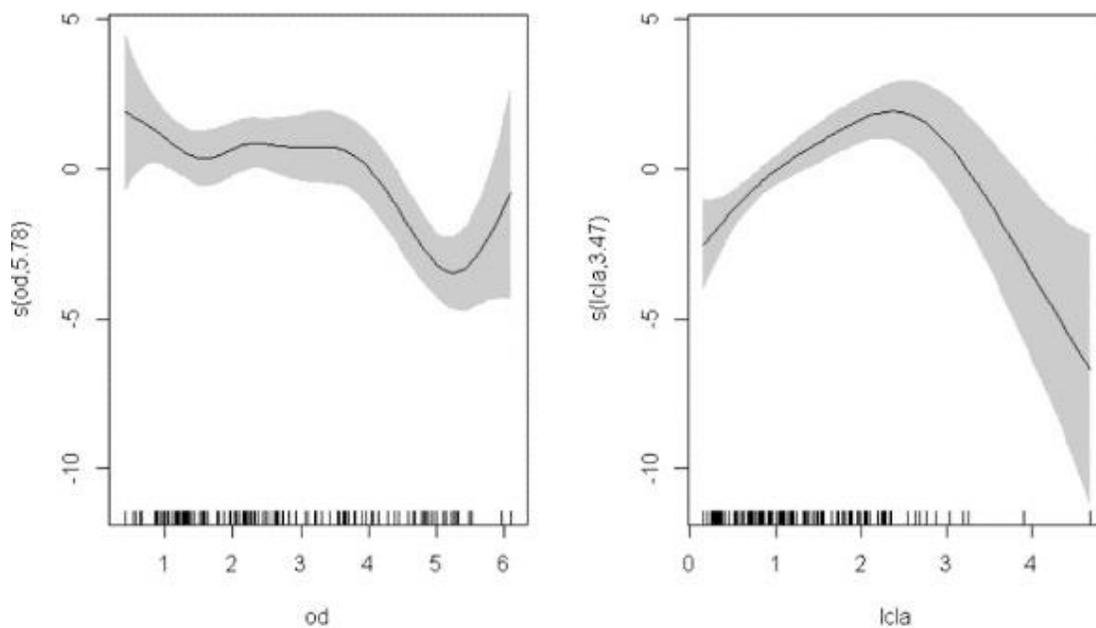
Variable	% deviance	GCV	n
Densidad (sigma-t)	30,80	9,07	132
Oxígeno (mL/L)	17,90	10,01	133
Biomasa fitoplanctónica (log $\mu\text{g Cl-a/L}$ )	15,20	10,15	133
Salinidad (ups)	15,80	10,28	132
Abundancia microzooplancton (log ind/mL)	8,86	10,34	121
Abundancia diatomeas (log cél/mL)	18,50	10,62	127
Índice de estabilidad	10,20	10,94	121
Frecuencia de Brunt-Väisälä (ciclos/h)	10,20	10,94	121
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	7,32	11,27	132
Profundidad L_CMO (m)	2,41	11,40	133
Abundancia Microflagelados (log cél/mL)	0,37	11,57	127



**Figura 89. Gráfico de la abundancia de larvas de anchoveta que muestra el efecto de la densidad (den, sigma-t), de la concentración de oxígeno disuelto (od, mL/L), de la biomasa fitoplanctónica (lcla, ug/L) y de la salinidad (sal, ups).**

**Tabla 32. Resultados del análisis GAM realizado sobre la abundancia de huevos de anchoveta. Ordenados de acuerdo con el menor valor de GCV.**

Variable	% deviance	GCV	n
Oxígeno (mL/L)	25,90	9,65	133
Biomasa fitoplanctónica (log $\mu\text{g Cl-a/L}$ )	21,70	9,73	133
Densidad (sigma-t)	25,00	10,00	132
Índice de estabilidad	16,80	10,38	121
Frecuencia de Brunt-Väisälä (ciclos/h)	16,80	10,38	121
Abundancia diatomeas (log cél/mL)	18,50	10,62	127
Profundidad L_CMO (m)	9,10	10,97	133
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	9,36	11,46	132
Salinidad (ups)	7,86	11,51	132
Abundancia Microflagelados (log cél/mL)	8,88	11,68	127
Abundancia microzooplancton (log ind/mL)	6,29	12,45	121



**Figura 90. Gráfico de la abundancia de huevos de anchoveta que muestra el efecto de la concentración de oxígeno disuelto (od, mL/L) y biomasa fitoplanctónica (lcla,  $\mu\text{g/L}$ ).**

### 4.1.3 Composición y abundancia de los potenciales predadores zooplanctónicos

Se describe a continuación, la abundancia de los grupos de quitinosos y gelatinosos, obtenidos de los cruceros diarios y estacionales que se desarrollaron en las regiones de Arica y Parinacota durante los años 2019 (invierno) y 2020 (verano):

#### 4.1.3.1 Descripción y comparación intra-estacional de la abundancia entre grupos (quitinosos y gelatinosos).

##### Cruceros estacionales

En invierno, se observó que la abundancia promedio del grupo gelatinoso fue mayor (2.237 ind/10 m<sup>2</sup> (85,7%)) a lo observado en quitinosos (300 ind/10m<sup>2</sup> (14,3%)) (**Tabla 33**). Tales diferencias de abundancia promedio entre los grupos fueron significativas (KW = 10,4;  $p = 0,0013$ ). En gelatinosos, los más abundantes fueron los quetognatos (8285 ind/10m<sup>2</sup> (79,32%)), seguidos de los sifonóforos (3,75%) y medusas (1,90%). En quitinosos, los grupos taxonómicos con mayor abundancia fueron los anfípodos (1.372 ind/10m<sup>2</sup> (13,14%)), seguidos por eufáusidos y megalopas, ambos con porcentajes menores a 1% (**Tabla 33**). En verano (2020), la mayor abundancia promedio total se presentó en gelatinosos (5.215 ind/10m<sup>2</sup> (91,13%)) respecto a lo registrado en quitinosos (total) (406 ind/10m<sup>2</sup> (8,87%)). Las diferencias de abundancia promedio entre grupos fueron significativas (KW = 8,07;  $p = 0,0045$ ). En quitinosos, los anfípodos presentaron la mayor abundancia (771 ind/10m<sup>2</sup> (3,37%)), seguida por eufáusidos (744 ind/10m<sup>2</sup> (3,25%)). En gelatinosos, los sifonóforos, quetognatos y medusas registraron los más altos valores (> 5.900 ind/10m<sup>2</sup> (> 26%)) (**Tabla 33**).

##### Cruceros diarios

En invierno, se observó alta abundancia promedio de gelatinosos (4.361 ind/10m<sup>2</sup> (97,22%)) en comparación a lo registrado en quitinosos (100 ind/10m<sup>2</sup> (2,78%)). Tales diferencias fueron significativas (KW = 3,95;  $P = 0,047$ ). La mayor abundancia de cada grupo se presentó en quetognatos (17.403 ind/10m<sup>2</sup> (96,97%)) y megalopas (342 ind/10m<sup>2</sup> (1,91%)), respectivamente (**Tabla 34**). En verano (2020), los gelatinosos fueron más abundantes que los quitinosos (promedio total: 3.068 ind/10m<sup>2</sup> (84,11%) vs. 464 ind/10m<sup>2</sup> (15,89%), respectivamente). Las diferencias en promedios entre los grupos fueron significativas (KW = 9,61;  $P = 0,0019$ ). Entre los gelatinosos, quetognatos y sifonóforos registraron los más altos valores (6.652 ind/10m<sup>3</sup> (45,59%) y 5.171

ind/10m<sup>2</sup> (35,45%)), mientras que entre los quitinosos fueron las zoeas (1.849 ind/10m<sup>2</sup> (12,68%)) (Tabla 34).

**Tabla 33. Abundancia promedio (DS: desviación estándar) y porcentaje (%) que cada grupo quitinoso y gelatinoso representa del total de potenciales predadores planctónicos, obtenidos durante los cruceros estacionales (26-28 agosto de 2019 (invierno) y 28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020 (verano)) (Prom. grupos: es el promedio aritmético de los grupos).**

		Abundancia estandarizada (ind/10m <sup>2</sup> )					
		invierno			verano		
Taxa		$\bar{x}$	DS	%	$\bar{x}$	DS	%
quitinosos	Zoeas	8	23,9	0,07	348	350,2	1,52
	Megalopas	52	73,1	0,5	169	223,5	0,74
	Eufáusidos	63	171,6	0,6	744	1998,1	3,25
	Anfípodos	1.372	5.722,5	13,14	771	1473,9	3,37
	Sergestes	3	14,5	0,03	0	0	0
	Prom grupos	300	2.566	4,34	406	1.145	8,87
gelatinosos	Medusas	198	561,3	1,9	5.958	13637,6	26,03
	Quetognatos	8.285	8.302,5	79,32	6.770	6366,6	29,58
	Sifonóforos	392	742,9	3,75	8.131	19320,4	35,52
	Ctenóforos	72	89,6	0,69	0	0	0
	Prom grupos	2.237	5.399	85,66	5.215	12.412	91,13

#### 4.1.3.2 Descripción y comparación inter-estacional de la abundancia por grupo (quitinosos y gelatinosos).

En los cruceros estacionales, se observó que los quitinosos presentaron una mayor abundancia promedio en verano (406 ind/10m<sup>2</sup> (8,87%)) en comparación a invierno (300 ind/10m<sup>2</sup> (14,34%)). Las diferencias de abundancia entre estaciones del año fueron significativas (KW = 10;  $p = 0,0015$ ) (Tabla 33).

Las abundancias totales de gelatinosos observada entre invierno y verano, no mostraron diferencias significativas (KW = 1,20;  $p = 0,273$ ) (Tabla 33).

**Tabla 34. Abundancia promedio (DS: desviación estándar) y porcentaje (%) que cada grupo quitinoso y gelatinoso representa del total de potenciales predadores planctónicos, obtenidos durante los cruceros diarios (5-14 septiembre de 2019 (invierno) y 15 - 24 enero de 2020 (verano)) en el sector de Chipana (Prom grupos: es el promedio aritmético de los grupos).**

		Abundancia estandarizada (ind/10m <sup>2</sup> )						
		invierno			verano			
	Taxa	$\bar{x}$	DS	%	$\bar{x}$	DS	%	
GRUPOS	quitinosos	Zoeas	37	66,7	0,20	1.849	1.304,8	12,68
		Megalopas	342	822,2	1,91	193	205,2	1,32
		Eufáusidos	0	0	0	276	312,4	1,89
		Anfípodos	121	363,2	0,67	0	0	0
		Sergestes	0	0	0	0	0	0
		Prom grupos	100	406	2,78	464	917	15,89
GRUPOS	gelatinosos	Medusas	2	5	0,01	449	471,1	3,08
		Quetognatos	17.403	31.761,1	96,97	6.652	5.696,1	45,59
		Sifonóforos	30	90,9	0,17	5171	4.055,7	35,45
		Ctenóforos	12	35	0,07	0	0	0
		Prom. grupos	4.361	16.997	97,22	3.068	4.465	84,11

En los cruceros diarios, la presencia de quitinosos fue mayor en verano (464 ind/10m<sup>2</sup> (15,89%)) en comparación a invierno (100 ind/10m<sup>2</sup> (2,78%)). Tales diferencias fueron significativas (KW = 9,14;  $p = 0,0025$ ) (Tabla 34). En el grupo de gelatinosos la mayor abundancia se observó en invierno (2019; 4.361 ind/10m<sup>2</sup> (97,22%)) en comparación a lo registrado en verano (2020; 3.068 ind/10m<sup>2</sup> (84,11%)), sin embargo, las diferencias en abundancia no fueron significativas (KW = 2,67;  $p = 0,103$ ) (Tabla 34).

En resumen, los potenciales depredadores gelatinosos fueron más abundantes que los quitinosos tanto en los cruceros inter-estacionales (escala espacial regional) como en los cruceros diarios (escala local). Los grupos más abundantes de gelatinosos variaron *inter-estacionalmente*: en invierno dominaron ampliamente los quetognatos y en verano los sifonóforos, quetognatos y medusas presentaron todos altos valores. En quitinosos, los anfípodos fueron ampliamente más abundantes en invierno, y en verano, eufáusidos y anfípodos fueron ambos dominantes. En los cruceros diarios (escala local), en invierno dominaron los quetognatos (gelatinosos), y durante verano predominaron los quetognatos y sifonóforos (ambos gelatinosos). Respecto al grupo

quitinosos, los taxa más abundantes en invierno (2019) y verano (2020), fueron las megalopas y zoeas, respectivamente.

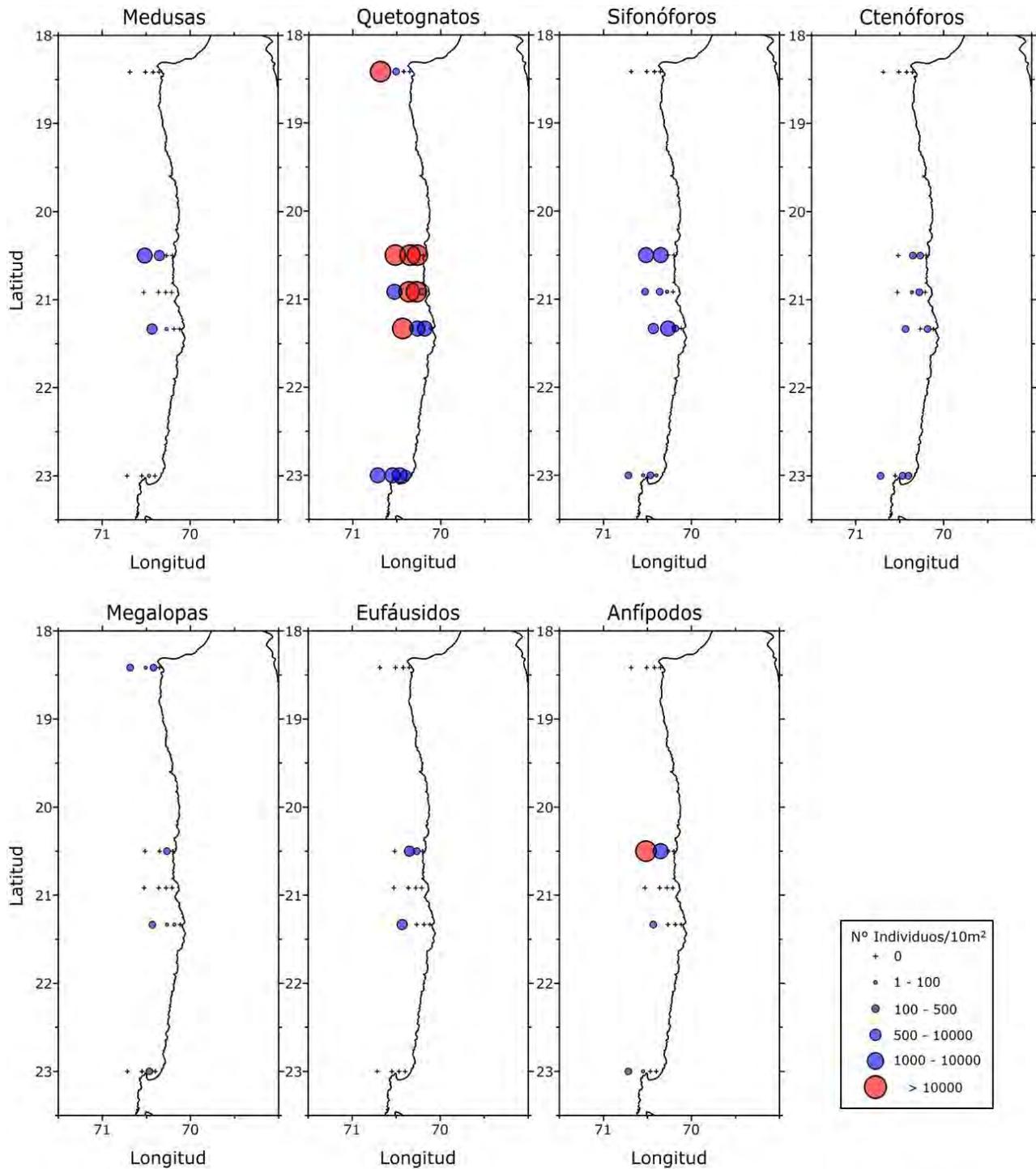
#### **4.1.3.4 Distribución de los principales grupos depredadores zooplanctónicos en la zona norte de Chile.**

La distribución de los principales grupos de zooplancton obtenidos de los cruceros estacionales que se desarrollaron en las regiones de Arica y Parinacota durante los años 2019 (invierno) y 2020 (verano) se presentan en la **Figura 91**.

#### **4.1.3.5 Distribución de los principales grupos de zooplancton en la zona de estudio durante el crucero estacional de invierno y verano.**

Durante invierno, las medusas (gelatinosos) se distribuyeron principalmente en las latitudes intermedias ( $20^{\circ}\text{S} - 21,5^{\circ}\text{S}$ ) del área de estudio, particularmente, en las estaciones más oceánicas, con abundancias entre 81 y 2395 ind/10m<sup>2</sup> (**Figura 91**). Los quetognatos (gelatinosos), presentaron la más alta abundancia promedio por estación, en comparación a los demás grupos (8285 ind/10m<sup>2</sup>, **Tabla 33**), distribuyéndose principalmente desde la zona media ( $20^{\circ}\text{S} - 21,5^{\circ}\text{S}$ ) hacia el norte del área de estudio ( $18,42^{\circ}\text{S}$ ), con abundancias que fluctuaron entre 318 y 27589 ind/10m<sup>2</sup> (**Figura 91**). Los sifonóforos se distribuyeron principalmente en la zona media ( $20^{\circ}\text{S} - 21,5^{\circ}\text{S}$ ) y sur ( $23,0^{\circ}\text{S}$ ) del área de estudio, fluctuando entre 84 a 2737 ind/10m<sup>2</sup> (**Figura 91**). Los ctenóforos, se distribuyeron en forma similar a los sifonóforos, pero con menores abundancias ( $< 252$  ind/10m<sup>2</sup>, **Figura 91**).

Entre los predadores quitinosos, las megalopas se localizaron en toda el área de estudio, con bajas abundancias que fluctuaron entre 52 y 226 ind/10m<sup>2</sup> (**Tabla 33**, **Figura 91**). Los eufáusidos se distribuyeron en la zona intermedia ( $20^{\circ}\text{S} - 21,5^{\circ}\text{S}$ ), con una abundancia de 147 a 583 ind/10m<sup>2</sup> (**Figura 91**). Los anfípodos se localizaron principalmente en estaciones oceánicas de la zona media y sur del área de estudio, presentando altos valores de abundancia en la porción media (74 a 25.663 ind/10m<sup>2</sup>) (**Figura 91**).



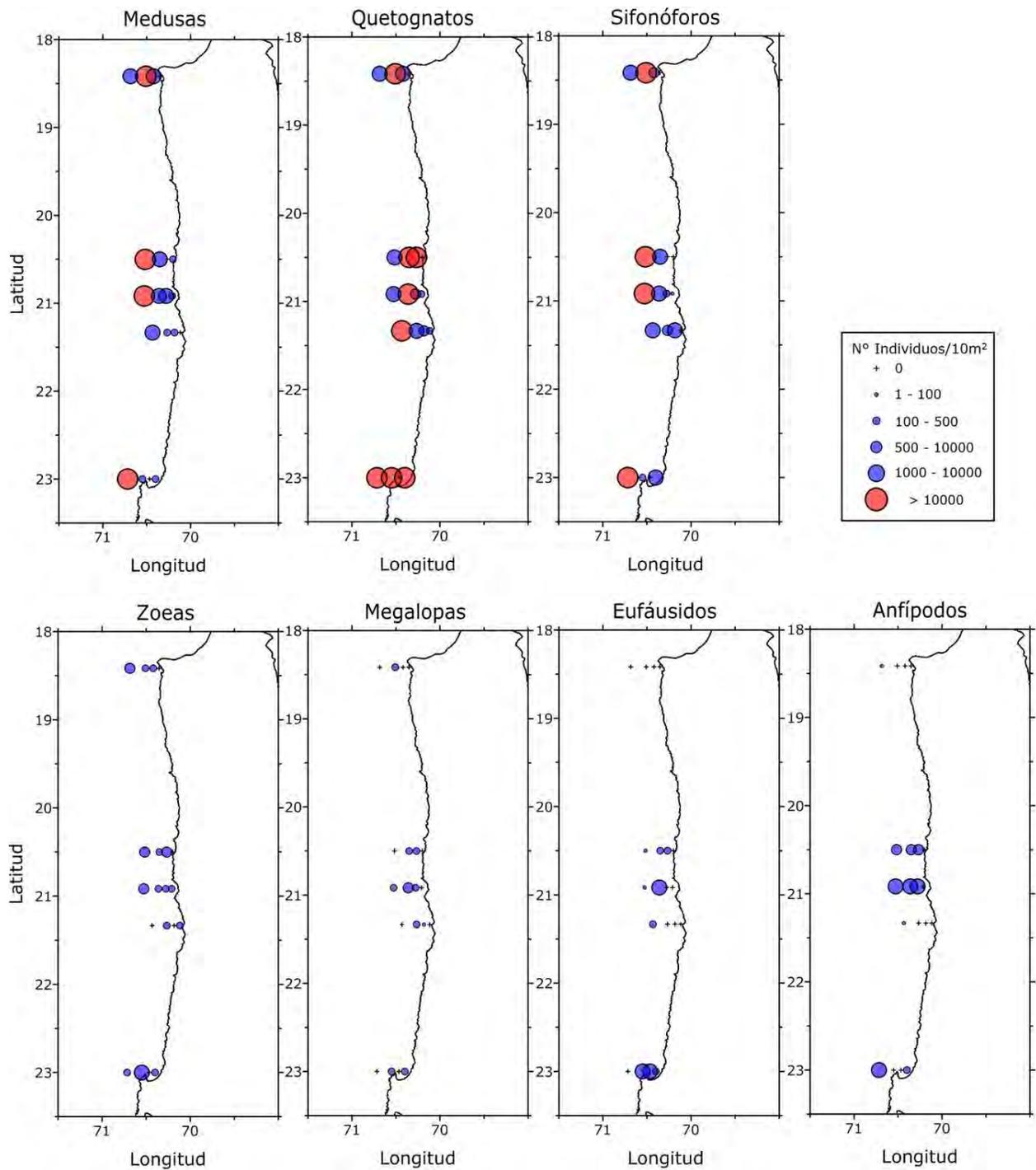
**Figura 91. Abundancia (ind/10m<sup>2</sup>) de los grupos de potenciales predadores zooplanctónicos gelatinosos (arriba) y quitinosos (abajo) durante el crucero estacional de invierno (26 al 28 de agosto de 2019).**

En verano del año 2020, todos los gelatinosos aumentaron en abundancia. Las medusas estuvieron localizadas en toda el área de estudio (18,42°S - 23,0°S) especialmente en las estaciones más oceánicas (< 61.000 ind/10m<sup>2</sup>) (Figura 92). Los quetognatos se distribuyeron en toda el área de

estudio (18,42°S - 23,0°S), especialmente en las estaciones más oceánicas donde presentaron una alta abundancia ( $> 1000$  ind/10m<sup>2</sup>) (**Figura 92**). Los sifonóforos, presentaron la mayor abundancia promedio respecto a los demás grupos (8.131 ind/10m<sup>2</sup>, **Tabla 33**) y su distribución fue similar a la de las medusas, con abundancias que fluctuaron entre 79 a 84.197 ind/10m<sup>2</sup> (**Figura 92**).

En quitinosos, las zoeas se extendieron en toda área de estudio, presentando abundancias que fluctuaron entre 139 a 1.458 ind/10m<sup>2</sup> (**Figura 92**). Las megalopas presentando una distribución similar a zoeas, pero con bajas abundancias ( $< 832$  ind/10m<sup>2</sup>, **Figura 92**). Los eufáusidos se distribuyeron desde latitudes intermedias (20°S – 21,5°S) hacia el sur del área de estudio (23,0°S), con 70 a 7.909 ind/10m<sup>2</sup>. Finalmente, los anfípodos se localizaron principalmente en la porción media y sur del área de estudio, con una abundancia mayor en la porción media (70 a 5.827 ind/10m<sup>2</sup>) (**Figura 92**).

En resumen, los gelatinosos presentaron amplia distribución y alta abundancia en las estaciones más oceánicas. Los quitinosos en cambio, presentaron menores abundancias, localizándose principalmente en la porción media y sur del área de estudio, a distancias variables desde la costa.



**Figura 92. Abundancia (ind/10m<sup>2</sup>) de los grupos de potenciales predadores zooplanctónicos gelatinosos (arriba) y quitinosos (abajo) durante el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020).**

#### 4.1.3.6 Descripción y comparación de la distribución y abundancia entre los estadios tempranos de anchoveta y grupos de zooplancton (quitinosos y gelatinosos) por crucero y año

##### Cruceros estacionales

###### a- Abundancias.

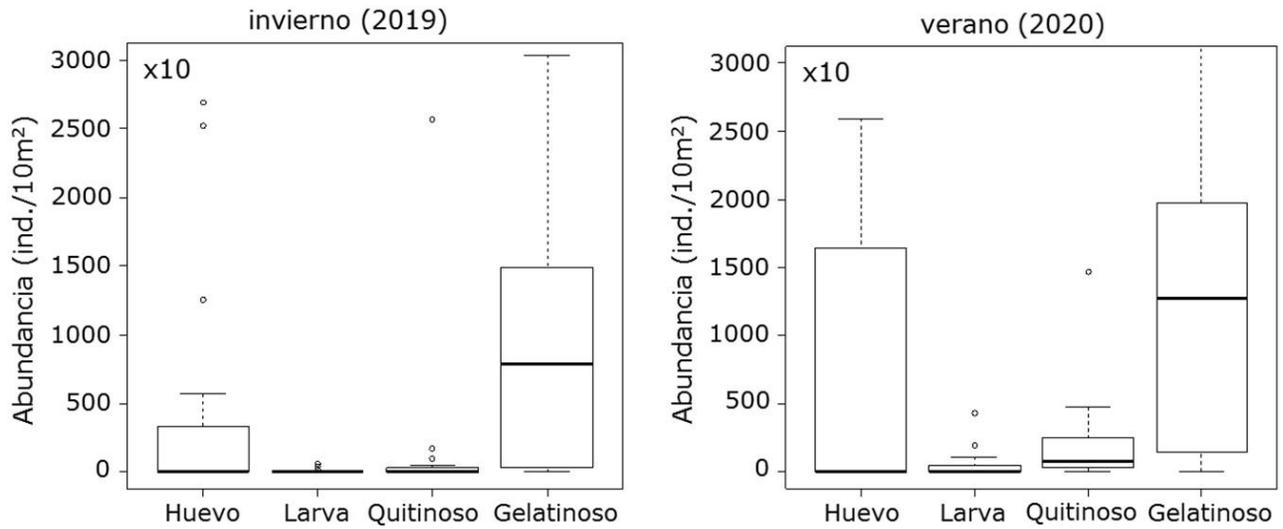
En invierno los huevos de anchoveta presentaron mayor abundancia ( $\bar{x}$ : 3940 huevos/10m<sup>2</sup> (x10)) que larvas de la misma especie ( $\bar{x}$ : 63 larvas/10m<sup>2</sup> (x10)) (KW = 4,03;  $p$  = 0,045). Se observaron diferencias significativas entre la abundancia de estadios tempranos de anchoveta y los potenciales predadores (huevos vs. predadores: KW = 11,412;  $p$  = 0,003; larvas vs. predadores: KW = 22,347;  $p$  = 1,40e-4). Las mayores abundancias correspondieron a predadores gelatinosos, seguidas por huevos de anchoveta, quitinosos y finalmente las larvas de anchoveta (**Figura 93**).

En verano se observó mayor abundancia de huevos de anchoveta en comparación a larvas (KW = 3,94;  $P$  = 0,047). La abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta y la abundancia promedio de quitinosos y gelatinosos exhibió diferencias significativas (huevos vs. predadores: KW = 9,892;  $p$  = 0,007; larvas vs. predadores: KW = 25,805;  $p$  = 2,49e-4), siendo mayores los valores observados en gelatinosos, seguido por huevos de anchoveta, quitinosos y finalmente las larvas de anchoveta (**Figura 93**).

###### b.- Distribución espacial.

Respecto a la distribución espacial (costa-océano) de huevos y larvas de anchoveta en invierno, se observaron diferencias significativas (huevos: KW = 9,99;  $p$  = 0,019; larvas: KW = 9,55;  $p$  = 0,023) en abundancia desde la costa hacia mar adentro, localizándose las mayores abundancias principalmente en la banda costera de la porción norte (18,42°S) y media (20°S – 21,5°S) del área de estudio (huevos: < 5 mn; larvas: 5 a 10mn). Los predadores quitinosos también presentaron diferencias significativas en su distribución costa-océano (KW = 8,25;  $p$  = 0,041) observándose altas abundancias en las estaciones más oceánicas (20mn). Los gelatinosos también mostraron diferencias significativas en abundancia entre estaciones costa-océano (KW = 8,42;  $p$  = 0,038), incrementando su presencia hacia las estaciones más oceánicas. Finalmente, al comparar la distribución espacial (abundancia costa-océano) de huevos y larvas de anchoveta versus la presencia de quitinosos y gelatinosos, se determinó que presentaron diferencias significativas (huevos: Fr = 6,5;  $p$  = 0,039; larvas: Fr = 7,6;  $p$  = 0,022). Los huevos y larvas de anchoveta se vincularon a la región costera asociados a una baja presencia de quitinosos (zoeas, megalopas,

sergestes, anfípodos y total) y de gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos y total) (Figura 94, Figura 95, Figura 96 y Figura 97).



**Figura 93. Abundancia de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, y los grupos de quitinoso y gelatinoso obtenidos durante los cruceros estacionales de invierno (2019) y verano (2020).**

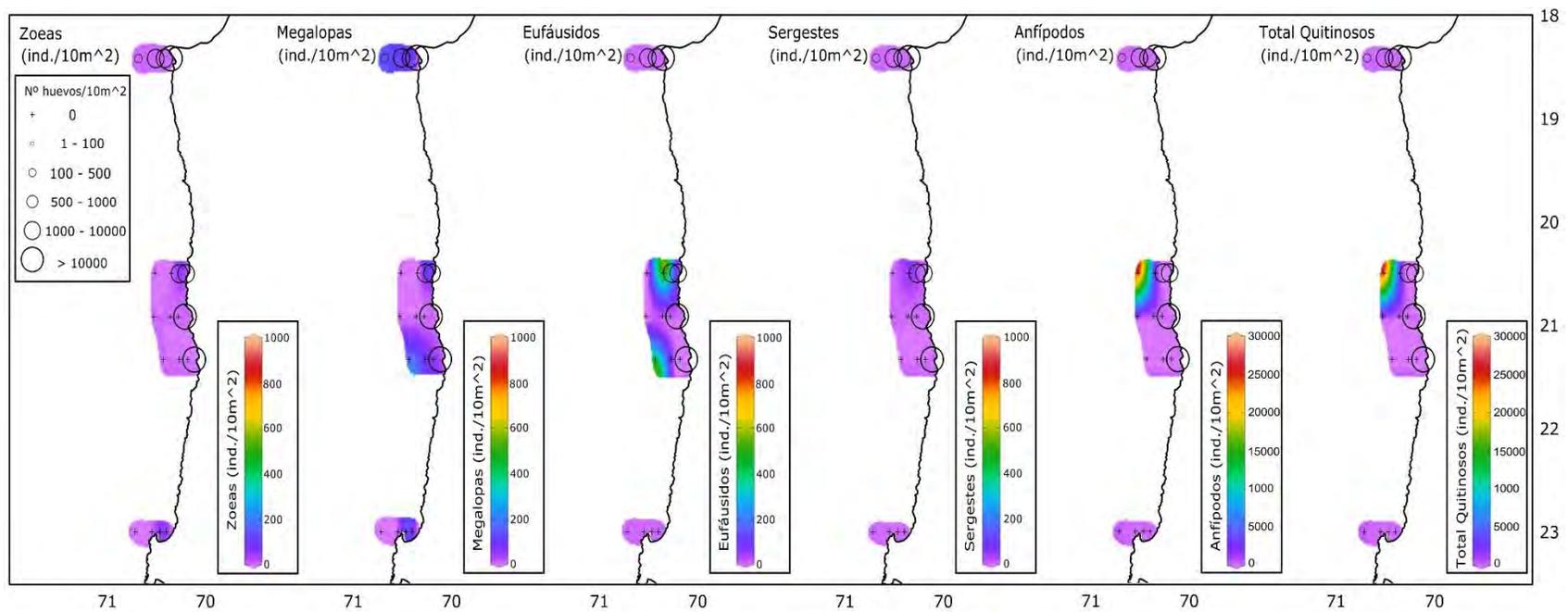


Figura 94. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, sergestes, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019).

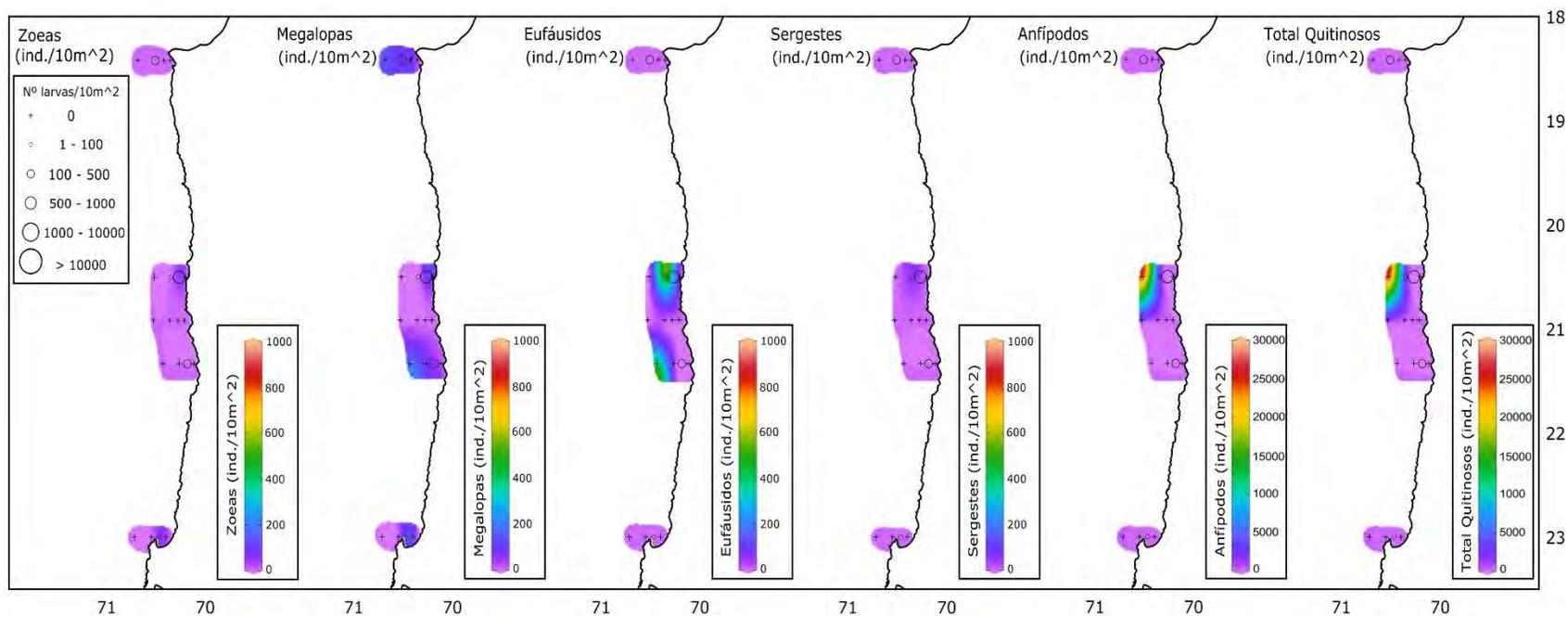
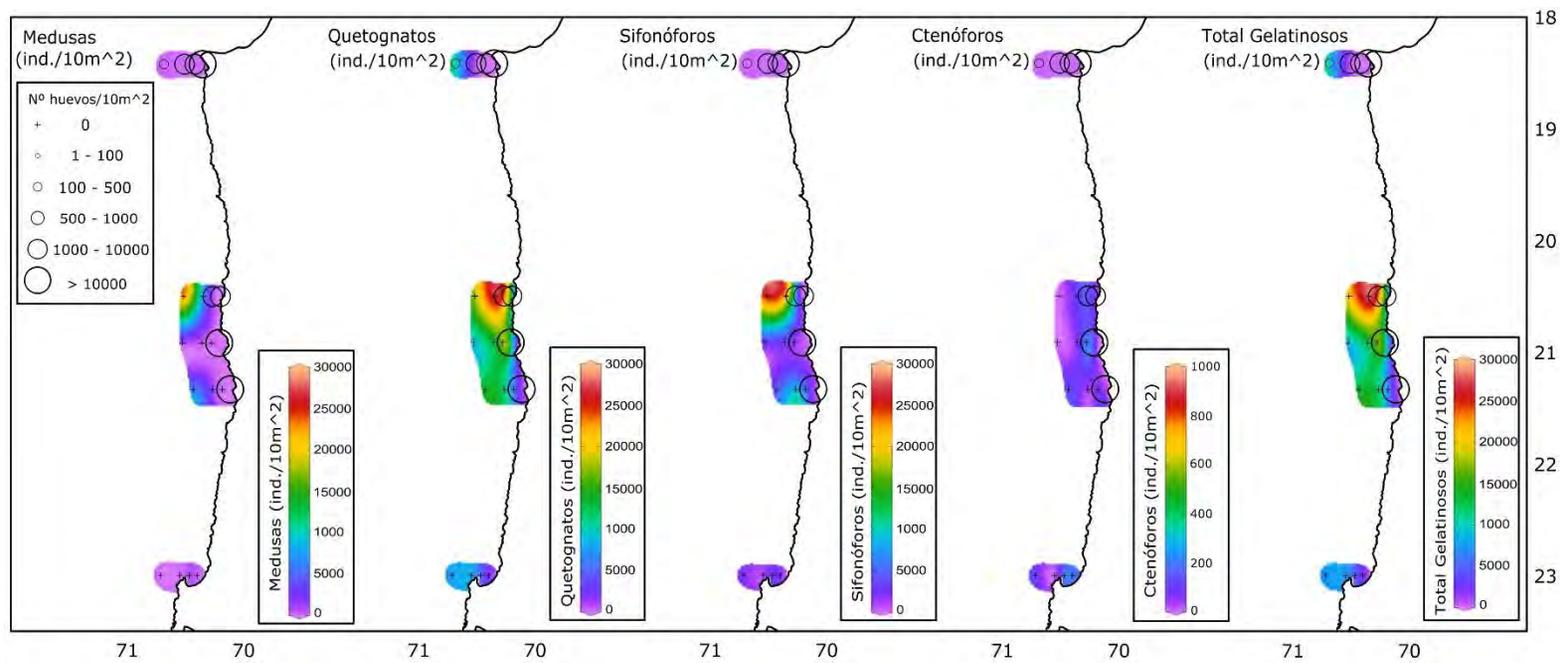
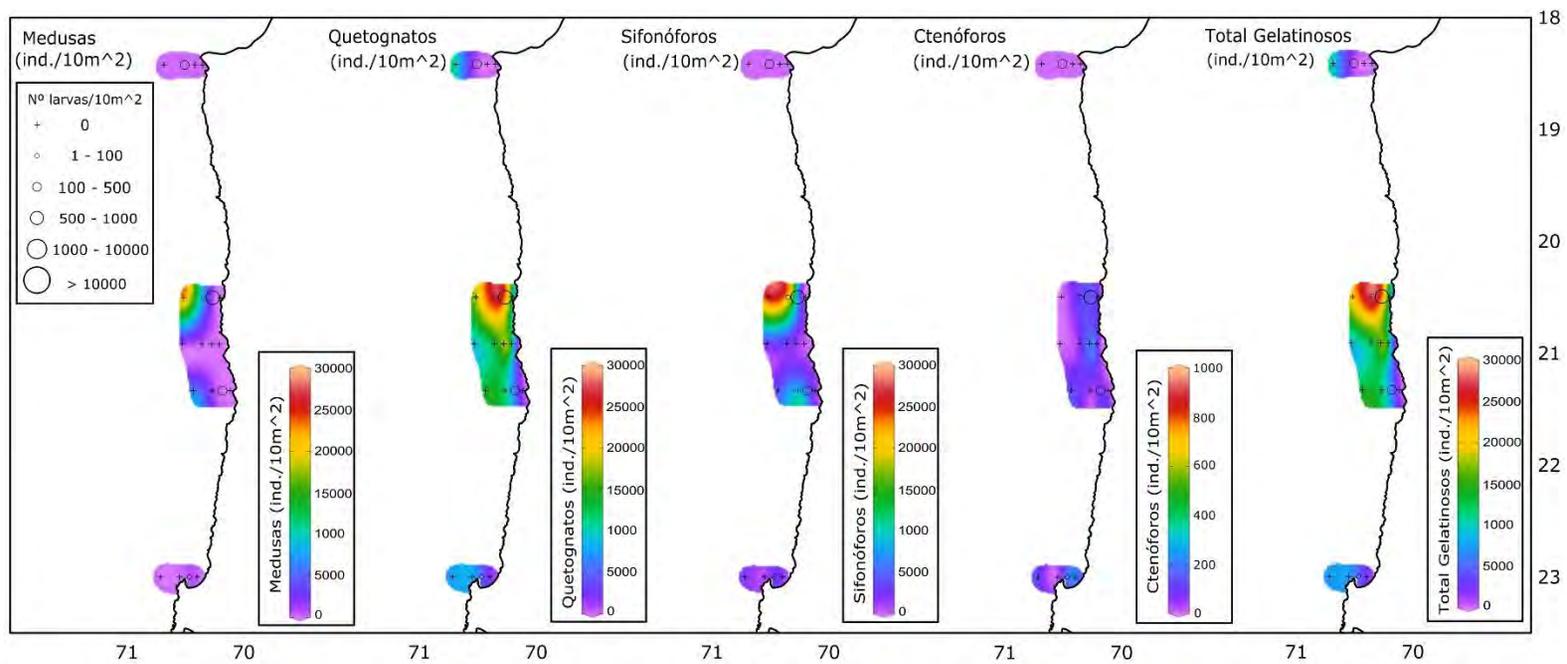


Figura 95. Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, sergestes, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019)



**Figura 96. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind./10m<sup>2</sup>; círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019).**



**Figura 97. Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind./10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos, ctenóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de invierno (26 - 28 agosto de 2019).**

En verano (2020) también se presentaron diferencias significativas en la distribución espacial (abundancia costa-océano) de huevos y larvas (huevos:  $KW = 11,66$ ;  $p = 0,009$ ; larvas:  $KW = 8,55$ ;  $p = 0,045$ ). Los huevos se localizaron principalmente en la franja costera ( $< 5$  mn) de la porción norte ( $18,42^{\circ}S$ ) y media ( $20^{\circ}S - 21,5^{\circ}S$ ) y las larvas se presentaron tanto en la banda costera ( $< 5$  mn) como en la intermedia (5 a 10mn) de latitudes medias ( $20,92^{\circ}S - 21,5^{\circ}S$ ) y altas ( $23,0^{\circ}S$ ). Se observó un leve incremento de las abundancias de quitinosos totales desde las estaciones costeras hacia las más oceánicas ( $> 10$ mn), sin embargo, no significativo ( $KW = 5,95$ ;  $p = 0,114$ ). Los gelatinosos, mostraron diferencias significativas en su distribución costa-océano ( $KW = 13,32$ ;  $p = 0,004$ ), observándose un incremento de la abundancia hacia estaciones más oceánicas ( $> 10$ mn). Finalmente, al comparar la abundancia costa-océano de los estadios tempranos de anchoveta versus la presencia de quitinosos y gelatinosos, se determinó que presentaron diferencias significativas (huevos:  $Fr = 5,6$ ;  $p = 0,044$ ; larvas:  $Fr = 6,5$ ;  $p = 0,039$ ), presentándose los huevos y larvas de anchoveta asociados a la banda costera con baja presencia de quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, anfípodos y total) y de gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos y total) (Figura 98, Figura 99, Figura 100 y Figura 101).

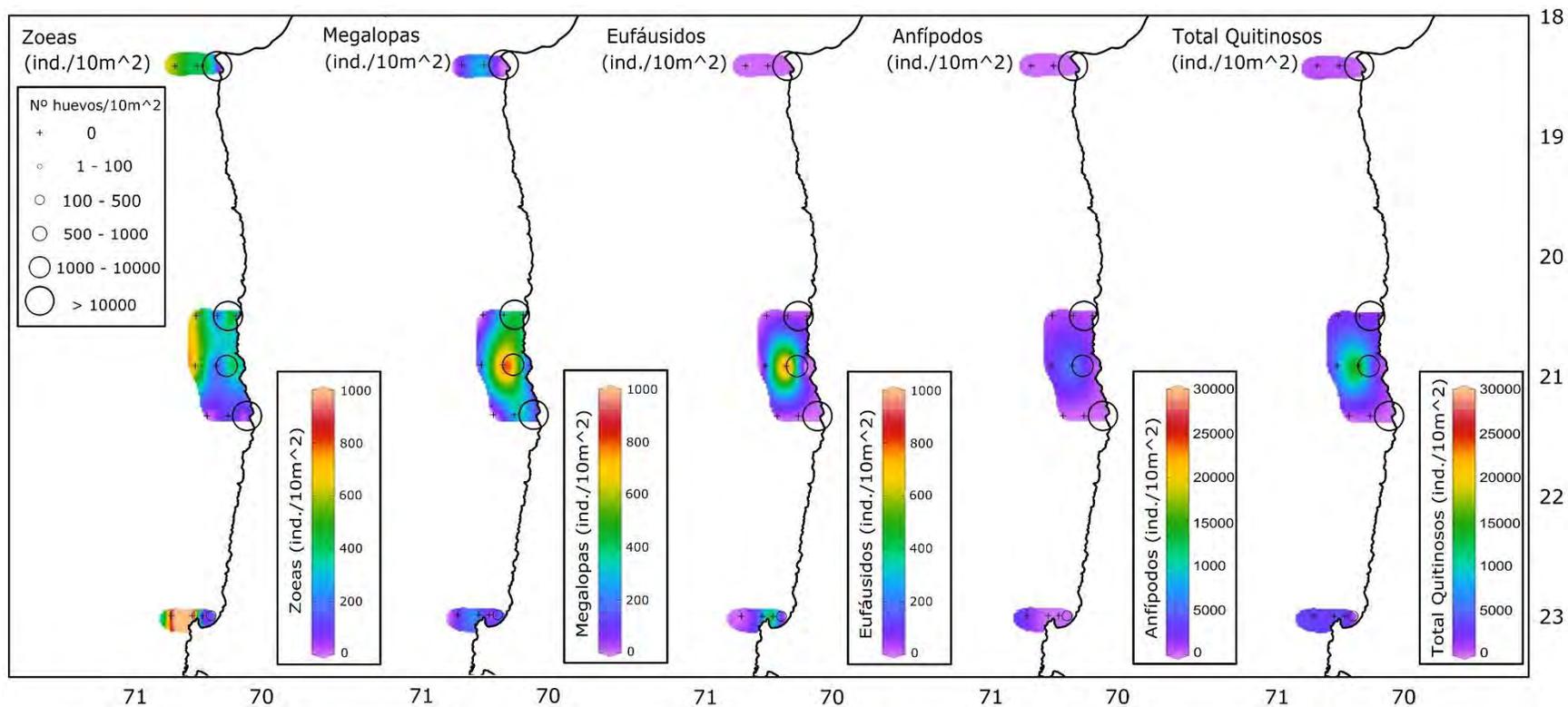
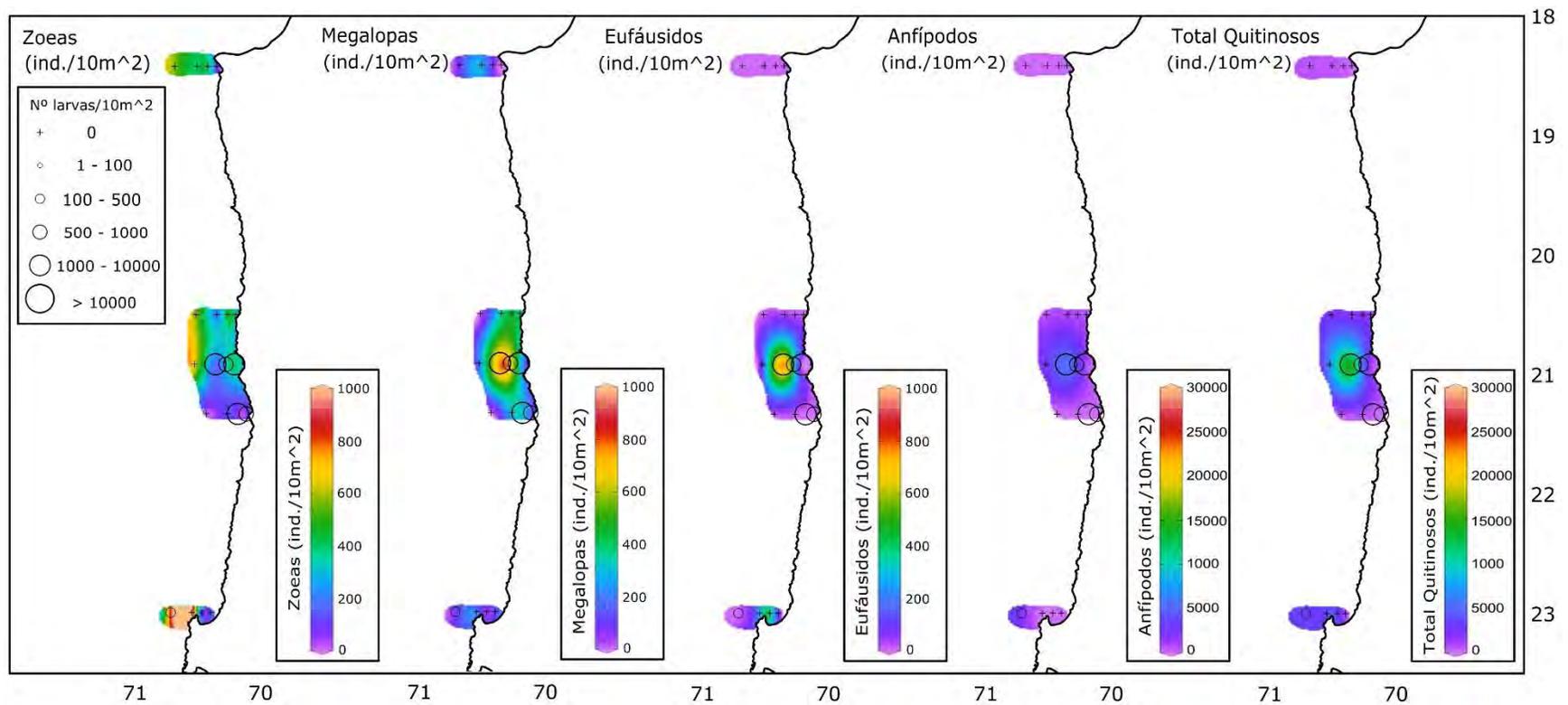
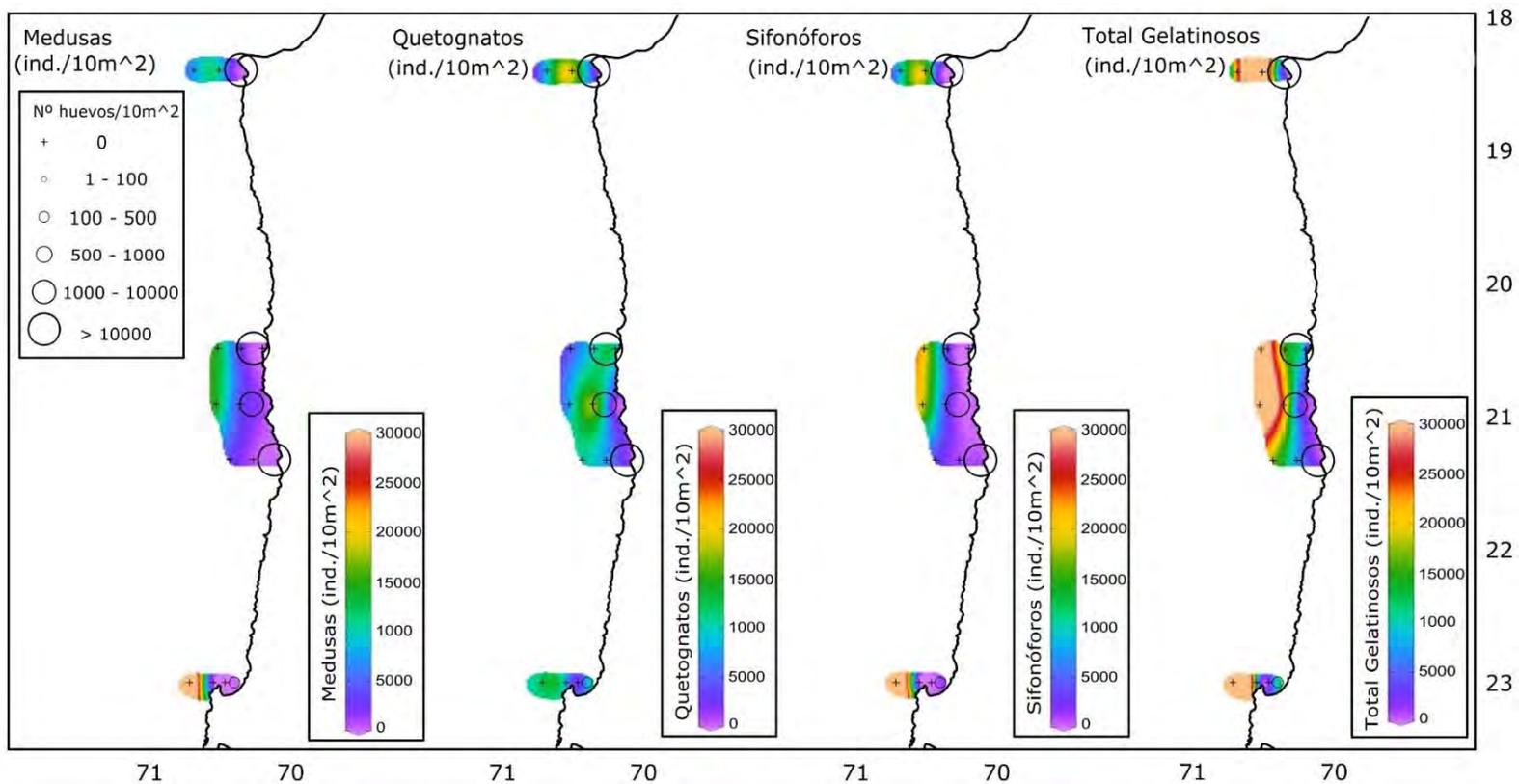


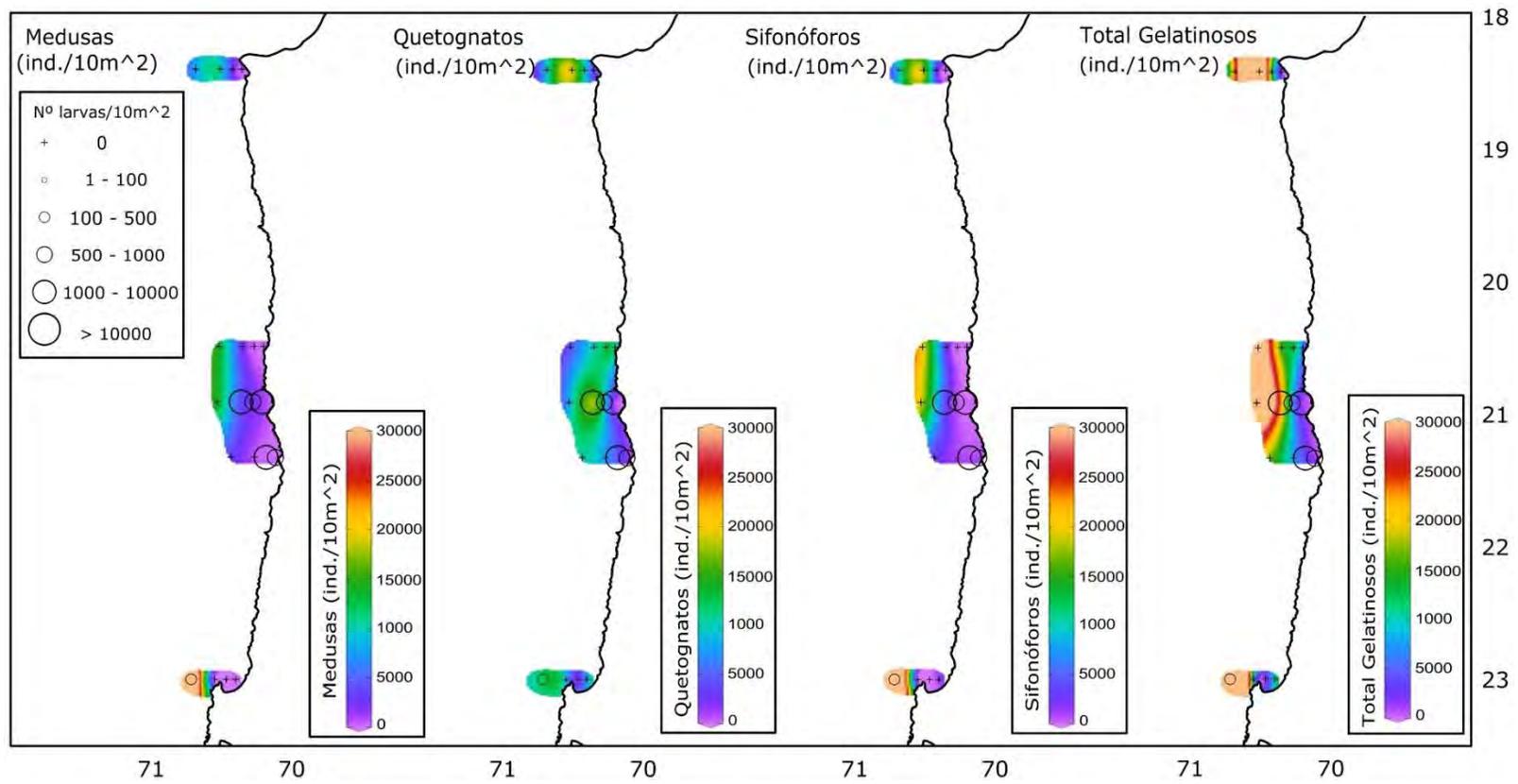
Figura 98. Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020).



**Figura 99. Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton quitinosos (zoeas, megalopas, eufáusidos, anfípodos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020)**



**Figura 100.** Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020).

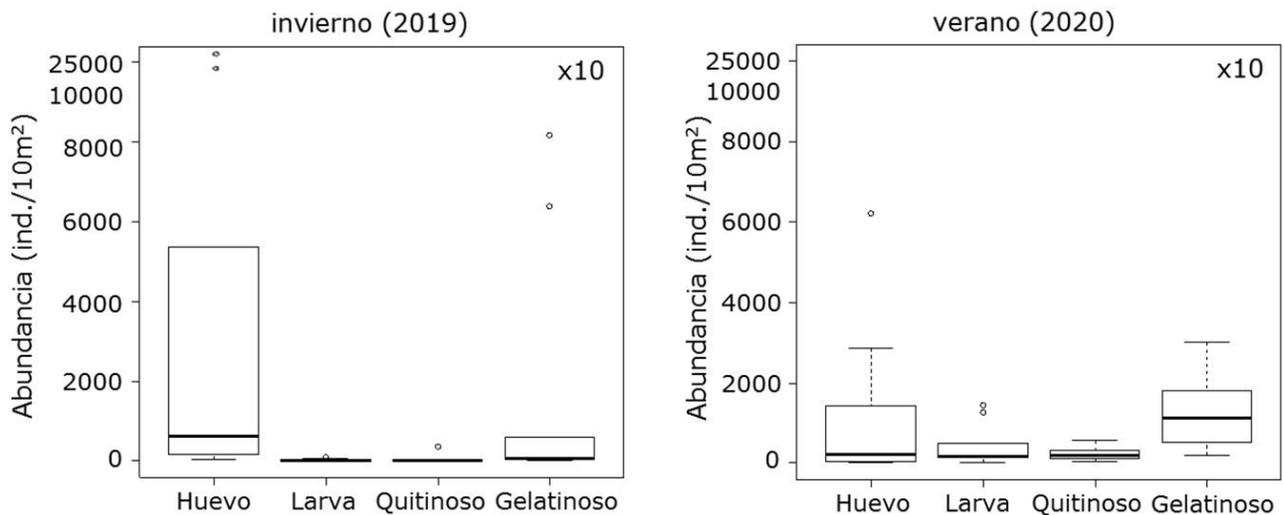


**Figura 101.** Sobreposición de abundancia de larvas de anchoveta (ind/10m<sup>2</sup>, círculos) sobre secciones horizontales de abundancia (contornos de colores) de los grupos de zooplancton gelatinosos (medusas, quetognatos, sifonóforos y total) obtenidos en el crucero estacional de verano (28 al 31 de enero y 1 de febrero de 2020).

## Cruceros diarios

### a.- Abundancias

En invierno se registraron diferencias significativas en la abundancia de estadios tempranos de anchoveta con la presencia de quitinosos y gelatinosos durante el periodo de muestreo diario (huevos:  $KW = 11,171$ ;  $p = 0,004$ ; larvas:  $KW = 6,132$ ;  $p = 0,047$ ). Los huevos, presentaron las mayores abundancias, seguidos por gelatinosos, larvas y quitinosos (**Figura 102a**). En verano (2020), la abundancia de huevos y larvas exhibió diferencias significativas respecto a la presencia de quitinosos y gelatinosos en el periodo de muestreo diario (huevos:  $KW = 7,812$ ;  $p = 0,02$ ; larvas:  $KW = 11,20$ ;  $p = 0,004$ ). Los huevos de anchoveta y gelatinosos, presentaron las mayores abundancias, seguidas de las larvas y finalmente los quitinosos (**Figura 102b**).



**Figura 102. Abundancia de huevos y larvas de anchoveta, y los grupos de quitinoso y gelatinoso obtenidos durante los cruceros de muestreo diarios de invierno de 2019 (a) y verano de 2020 (b) en el sector de Chipana.**

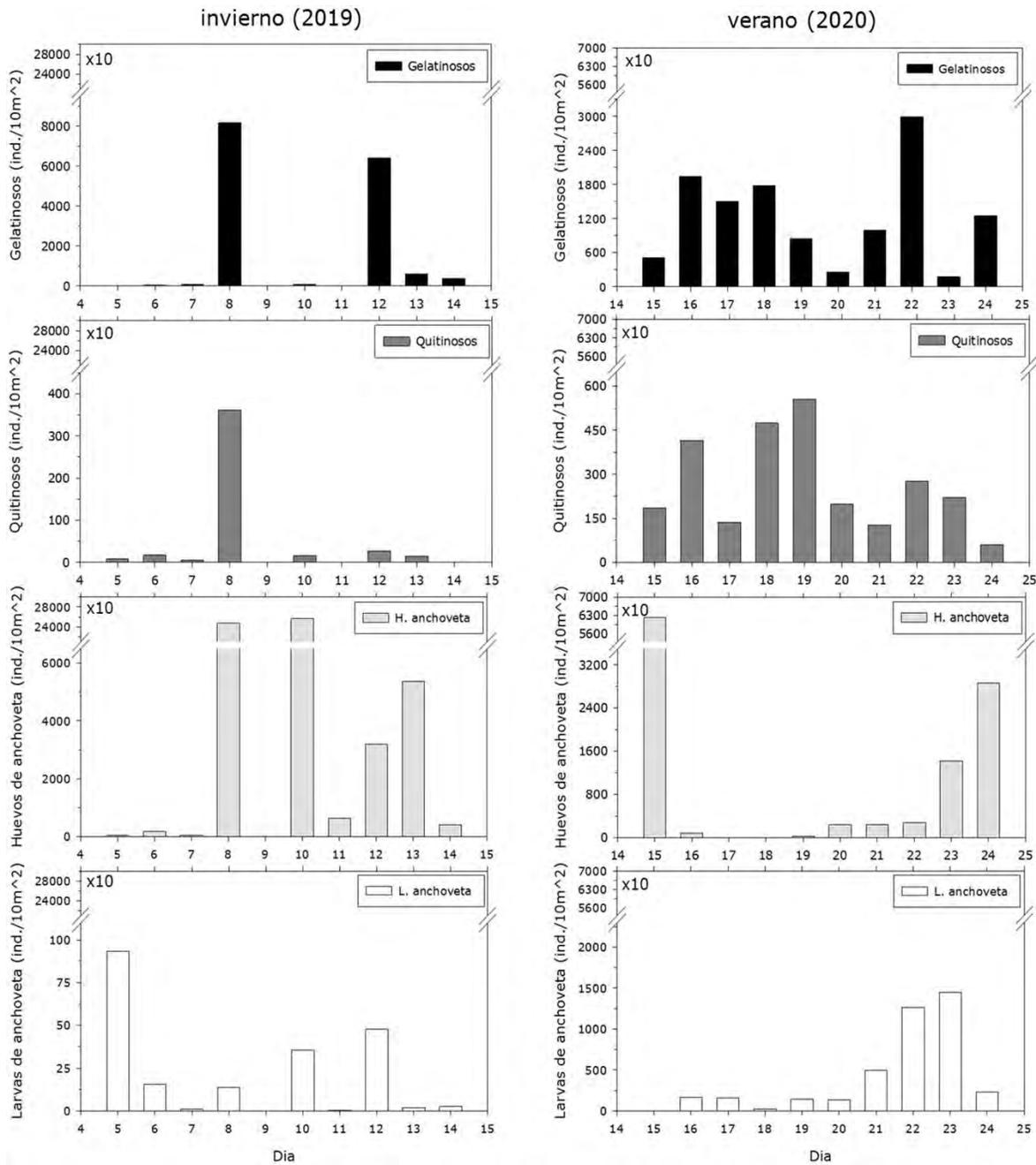
### b.- Distribución temporal

Durante la serie diaria de muestreo en invierno, se observaron diferencias significativas (huevos:  $Fr = 12,667$ ;  $p = 0,002$ ; larvas:  $Fr = 8,4$ ;  $p = 0,015$ ) entre las series de abundancia diaria (temporal, días 5 al 14 agosto) de huevos y larvas versus los grupos quitinosos y gelatinosos. La mayor presencia huevos de anchoveta ( $> 5.359 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)) se registró desde la mitad hasta el final

del periodo de muestreo (día 8 al 14). Las larvas se presentaron al inicio y final del periodo de muestreo (día 5 y 12,  $> 35 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)). En cambio, los quitinosos y gelatinosos presentaron altas abundancias en la mitad del periodo de muestreo (día 8, quitinosos:  $361 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10); gelatinosos:  $8172 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)) (**Figura 103**).

Durante la serie de muestreo diaria en verano, también se observaron diferencias significativas (huevos:  $Fr = 8,6$ ;  $p = 0,014$ ; larvas:  $Fr = 12,2$ ;  $p = 0,002$ ) al comparar la serie temporal de abundancias diaria (temporal, días 15 al 24 septiembre) de los estadios tempranos de anchoveta con los grupos quitinosos y gelatinosos. La mayor abundancia de huevos se presentó al inicio del periodo de muestreo (día 15,  $6.221 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)), observándose a la vez, un incremento sostenido de la abundancia desde la mitad hacia el final de este periodo de muestreo (días 19 al 24, 20 a  $2.868 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)). Las larvas, presentaron un aumento de la abundancia desde la mitad, inicio y final del periodo de muestreo (día 20 al 23, 136 a  $1.447 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)). Quitinosos y gelatinosos se presentaron en todo el periodo de muestreo (15 a 24 septiembre), con altos valores de gelatinosos en el inicio-mitad (día 16 al 18,  $> 1.499 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)) y final (día 22,  $2.995 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)) de este periodo. En cambio, los quitinosos se presentaron al inicio (día 16,  $313 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)) y mitad (día 18 al 19,  $> 457 \text{ ind}/10\text{m}^2$  (x10)) del periodo (**Figura 103**).

En resumen, se observó que las mayores abundancias de huevos y larvas de anchoveta se asociaron a una baja presencia de quitinosos y gelatinosos, tanto espacialmente (cruceros estacionales) como temporalmente (cruceros diarios).



**Figura 103.** Abundancia de grupos de predadores gelatinosos, quitinosos, huevos y larvas de anchoveta (ind./10m<sup>2</sup>) obtenidos en los cruceros de muestreos diarios de invierno (5-14 septiembre 2019 (panel izquierdo)) y verano (15 - 24 enero 2020 (panel derecho)) en el sector de Chipana

#### 4.1.3.7 Descripción de los rangos óptimos de la abundancia de los grupos zooplanctónicos (quitinosos y gelatinosos) asociados a la presencia de los estadios tempranos de anchoveta

En esta sección, se describen los rangos de las variables predictoras que presentaron un efecto positivo en la abundancia de huevos y larvas de anchoveta a través de los modelos aditivos generalizados (GAMs) (ver **Tabla 2**). Esta metodología se aplicó solo a los huevos y larvas provenientes de los cruceros estacionales de invierno de 2019 y verano de 2020, utilizándose para ello como variables predictoras la suma de los grupos quitinosos y gelatinosos. Debido al bajo número de datos (estaciones oceanográficas) y alto número de variables (los grupos taxonómicos de quitinosos y gelatinosos) no se pudieron llevar a cabo GAMs que incluyeran todos los distintos grupos zooplanctónicos separados. Del mismo modo, tampoco se pudo llevar a cabo GAMs con la data de las series de tiempo diarias (bajo número de días para un alto número de taxa).

#### Cruceros estacionales

Durante invierno se observó que los modelos, que incluyen ambos grupos de zooplancton (variables predictoras, **Tabla 2**), otorgan los mejores ajustes considerando el coeficiente de determinación ( $> 47$ ), desviación explicada ( $> 70\%$ ); así como los valores de la validación cruzada general (GCV), lo cual se resume en la **Tabla 35**. Los valores estimados por los modelos aditivos generalizados para establecer la relación entre la densidad de huevos y larvas de anchoveta, con las variables predictoras, se observan en la **Tabla 36**. En general, se encontró que las relaciones en los distintos modelos (modelo 2) son significativas ( $P < 0,05$ , **Tabla 36**).

En las **Figura 104** y **Figura 105**, se observa el efecto del predictor (quitinoso y gelatinoso) sobre la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Cuando el efecto es positivo, el predictor se relaciona positivamente con la densidad de huevos y larvas. En cambio, con un efecto negativo, el predictor se asocia negativamente con la variable respuesta (huevos y larvas). Finalmente, si el efecto es cero, indica que el predictor no tiene ningún efecto sobre la densidad de los estadios tempranos de anchoveta

Los rangos óptimos (positivo) de las variables evaluadas con relación a las mayores densidades de huevos y larvas de anchoveta, se muestran en la **Tabla 37**. En invierno, se observa que una baja presencia de quitinosos ( $< 167 \text{ ind}/10\text{m}^2$ ) y gelatinosos ( $< 404 \text{ ind}/10\text{m}^2$ ), presenta una asociación positiva con la densidad de huevos (**Tabla 37; Figura 104a**). Bajas densidades de los predictores

(quitinosos: < 978 ind/10m<sup>2</sup> y gelatinosos: < 4.566 ind/10m<sup>2</sup>), se asociaron positivamente a la presencia de larvas (Tabla 37; Figura 104b).

En verano se observó que los modelos que incluyeron simultáneamente a los quitinosos y gelatinosos (variables predictoras) mostraron los mejores ajustes, considerando los valores del coeficiente de determinación (> 50), varianza explicada (> 62%) y los valores de la validación cruzada general (GCV) (Tabla 35). Los parámetros estimados en los distintos modelos (modelo 2) son significativos ( $p < 0,05$ ) (Tabla 36).

**Tabla 35. Resultados de los modelos aditivos generalizados (GAMs) para la densidad de huevos y larvas de anchoveta en función de la presencia de quitinosos (Q) y gelatinosos (G) para los cruceros estacionales de invierno de 2019 y verano de 2020 (R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación, VE (%): Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general).**

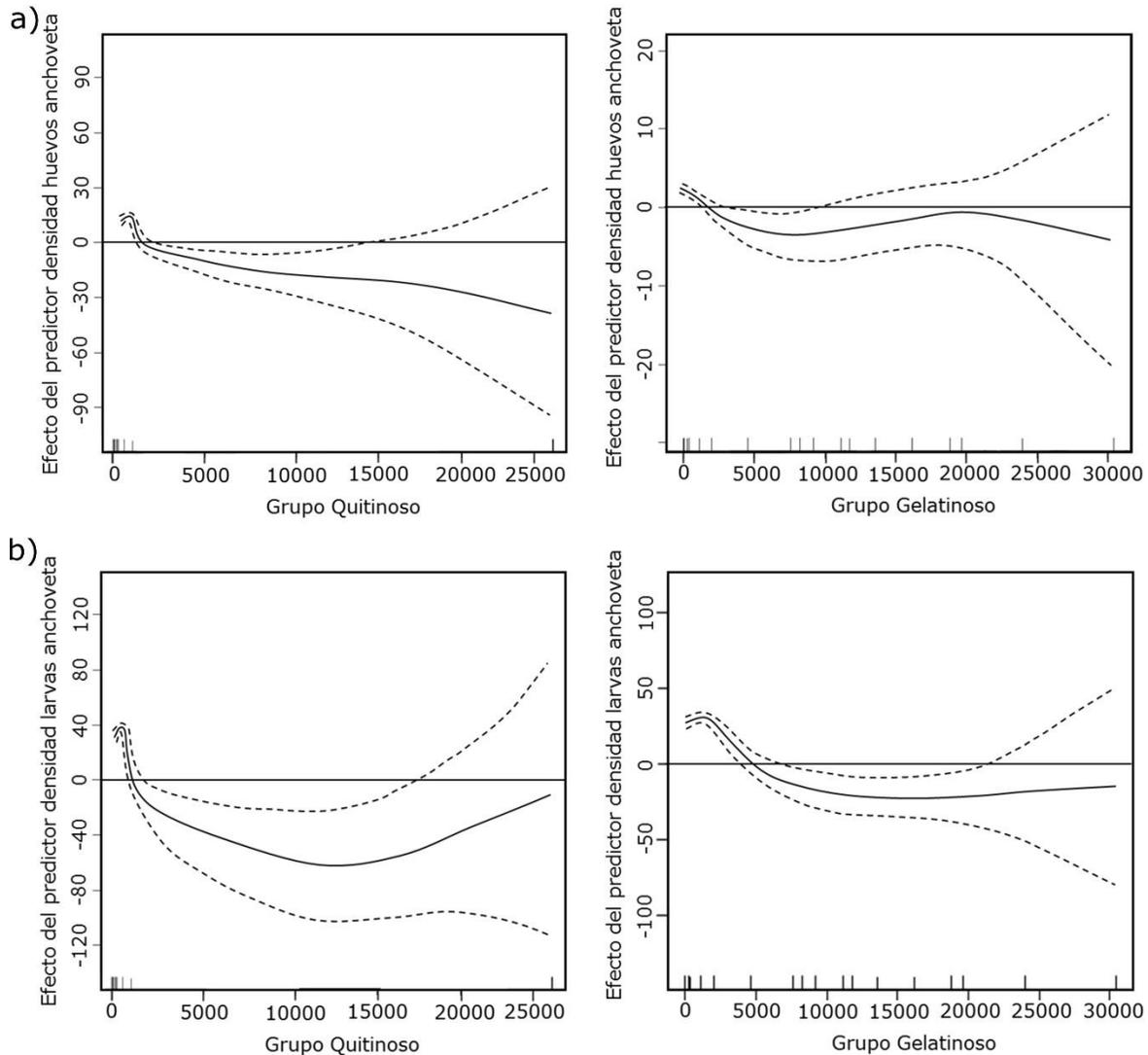
E° desarrollo	modelo	formula	Invierno (2019)			Verano (2020)		
			R <sup>2</sup>	VE	GVC	R <sup>2</sup>	VE	GVC
huevos	1	s(G)	0,40	62	561	0,45	57	587
	2	s(G) + s(Q)	0,47	70	514	0,54	65	500
larvas	1	s(G)	0,51	63	198	0,42	44	148
	2	s(G) + s(Q)	0,59	69	149	0,50	62	138

**Tabla 36. Resultados de los modelos GAM (modlo 2) en los estadios temprano de desarrollo de anchoveta de los cruceros estacionales del invierno de 2019 y verano de 2020 (Q: quitinosos, G: gelatinosos). En negrilla valores significativos ( $p < 0,05$ ), ES: Error standard.**

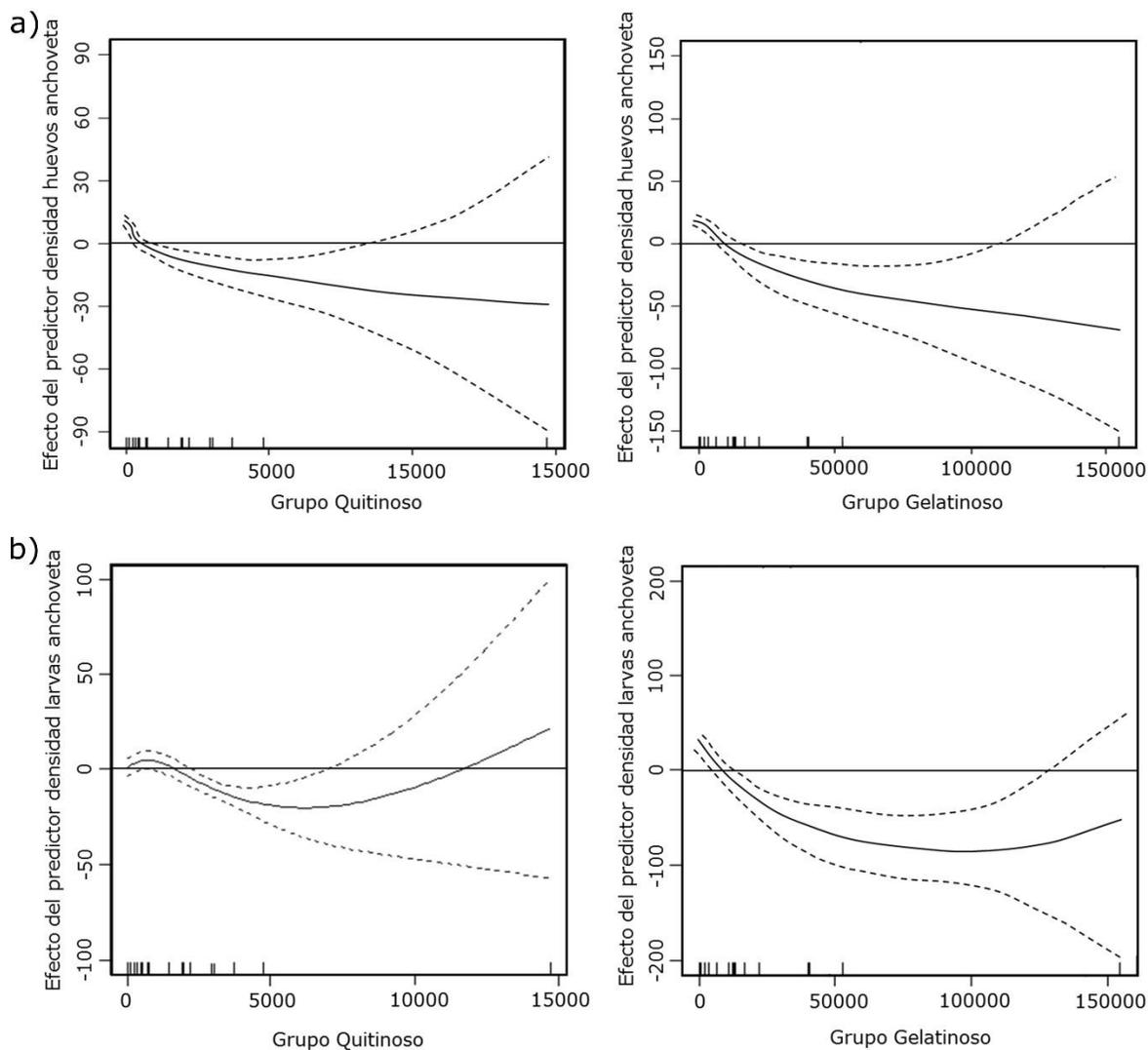
E° desarrollo	Parámetros	Invierno (2019)				Verano (2020)			
		Valor	Valor F	ES	p-valor	Valor	Valor F	ES	p-valor
huevos	Intercepto	1,68	-	1,41	9,11E-3	7,35	-	4,13	8,60E-3
	s(G)	1,85	3,65	-	3,15E-2	4,26	2,37	-	1,16E-2
	s(Q)	1,06	4,30	-	5,02E-2	2,78	0,09	-	9,80E-3
larvas	Intercepto	5,88	-	2,09	8,91E-10	5,7 4	-	0,59	1,27E-3
	s(G)	1,92	13,39	-	6,57E-4	2,51	13,62	-	4,10E-4
	s(q)	7,83	28,51	-	6,44E-10	5,78	18,28	-	3,47E-8

En verano, baja densidad de quitinosos (< 738 ind/10m<sup>2</sup>) y gelatinosos (< 12.721 ind/10m<sup>2</sup>), se relacionó positivamente con la presencia de huevos (Tabla 37; Figura 105a). Se observó que

abundancias de quitinosos con valores menores a 2185 ind/10m<sup>2</sup>, y gelatinosos menores a 10.360 ind/10m<sup>2</sup>, presentaron un efecto positivo sobre la densidad de larvas (Tabla 37; Figura 105b).



**Figura 104. Efectos de los predictores quitinoso y gelatinoso sobre la variable densidad de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, ajustado un modelo quasipoisson (función enlace: log (Sepúlveda et al. 2009)). . 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 a 95% (crucero estacional, invierno de 2019).**



**Figura 105. Efectos de los predictores quitinoso y gelatinoso sobre la variable densidad de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, ajustado un modelo quasipoisson (función enlsc: log (Sepulveda et al. 2009). 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 a 95%(crucero estacional, verano de 2020).**

En resumen, se observó que en ambos periodos (invierno del 2019 y verano del 2020) la mayor presencia de los estadios tempranos de anchoveta se asoció a una baja densidad de quitinosos y gelatinosos. Además, se detectó variación entre los periodos analizados en los rangos de los valores que reflejaban las asociaciones positivas, es decir, en invierno se observó que el efecto positivo en huevos y larvas ocurría en rangos de abundancia quitinosos y gelatinosos más bajos a lo registrado durante verano.

**Tabla 37. Rango óptimo de las variables predictoras (grupo quitinoso y gelatinoso) asociado a las principales densidades de huevos y larvas de anchoveta por crucero estacional, invierno (2019) y verano (2020). (Valores en paréntesis debajo de Quitinosos y Gelatinosos corresponden a las medianas estacionales y abundancia máxima de todos los individuos).**

		Abundancia (ind/10m2)			
		invierno		verano	
Estado de desarrollo		Quitinosos (Md: 80 Máx. 25.663)	Gelatinosos (Md: 7.916 Máx. 30.374)	Quitinosos (Md: 729 Máx.14.707)	Gelatinosos (Md:12.687 Máx 154.508)
	huevos	rango	0 - 167	0 - 404	0 - 738
larvas	rango	68 - 978	69 - 4.566	0 - 2.185	0 - 10.360

#### 4.1.3.7 Asociación de los estadios tempranos de anchoveta (huevos y larvas) y los grupos funcionales (quitinosos y gelatinosos) con las variables ambientales.

##### Crucero estacional

La comparación promedio de las variables ambientales (10 m de profundidad), mostró diferencias entre las estaciones estudiadas (invierno 2019; verano 2020). La temperatura promedio (10m de profundidad), varió estacionalmente, con altos valores en verano (18,21°C) y bajos valores en invierno (16,1°C). Las diferencias estacionales observadas, fueron significativas (KW = 9,64;  $p = 0,0019$ ). La salinidad promedio (10m de profundidad) fue mayor en invierno (34,81 psu) que en verano (34,6 psu). Estas diferencias, fueron significativas (KW = 13,95;  $p = 0,0002$ ) (Tabla 38).

##### Cruceros diarios

Los valores promedios de las variables ambientales medidas a 10 m de profundidad revelan que las condiciones hidrográficas fueron diferentes entre invierno (2019) y verano (2020). La temperatura promedio, vario estacionalmente, con altos valores en verano (17°C) y valores más bajos en invierno (15,12°C). Estas diferencias, fueron significativas (KW = 12,91;  $p = 0,0003$ ). La salinidad promedio fue mayor en invierno (34,77 psu) que en verano (34,42 psu). Las diferencias registradas, fueron significativas entre los sectores (KW = 13,26;  $p = 0,0003$ ) (Tabla 38).

En resumen, la data hidrográfica obtenida a 10 de profundidad mostró que hubo agua más cálida y de menor salinidad en verano que en invierno (Tabla 38).

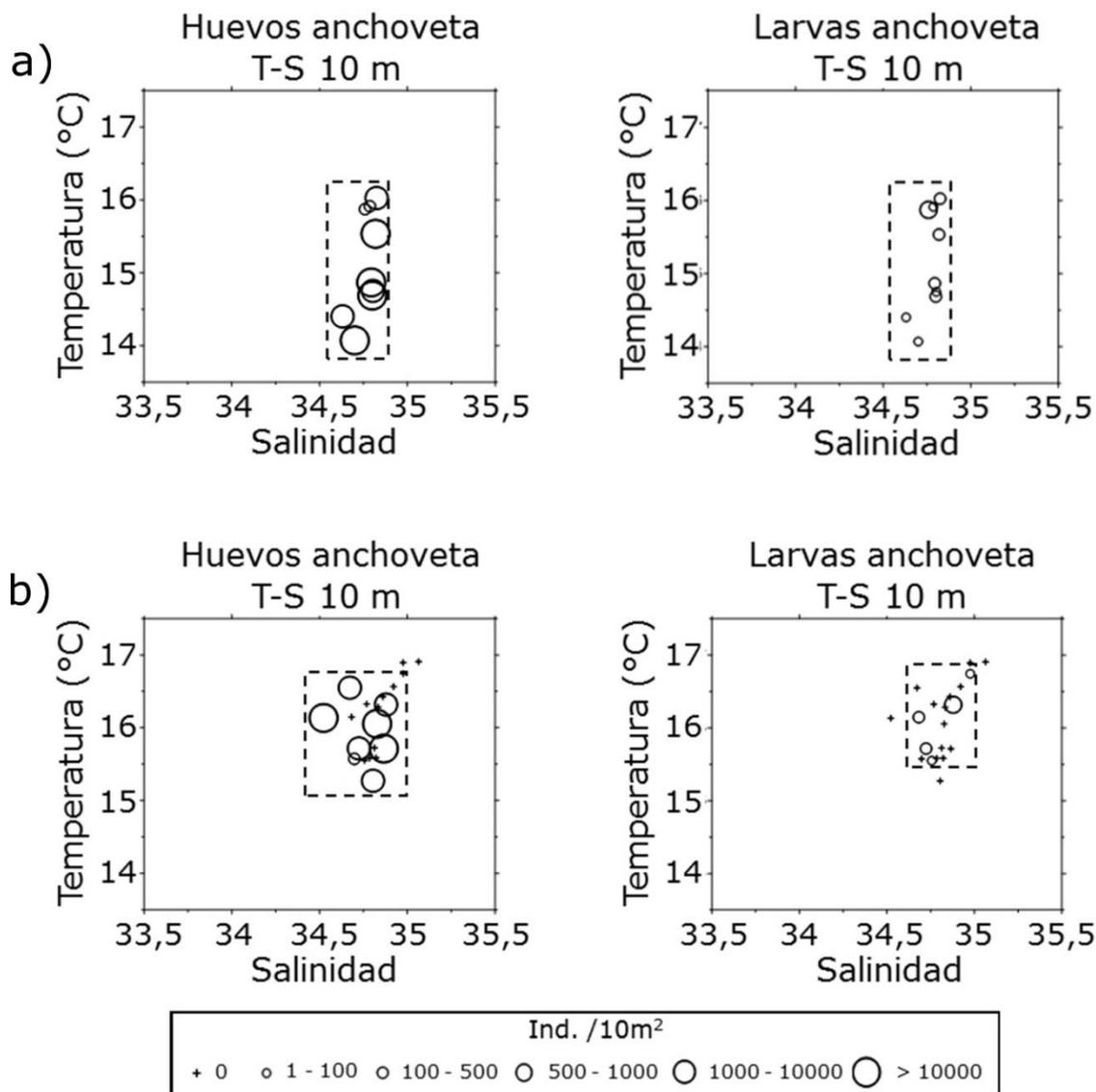
**Tabla 38. Valores promedio (desviación estándar, DS) de temperatura y salinidad a 10 m de profundidad por crucero (diario y estacional) y año (2019 (invierno) y 2020 (verano)).**

	Temperatura (°C)				Salinidad (psu)			
	invierno (2019)		verano (2020)		invierno (2019)		verano (2020)	
cruceros	$\bar{x}$	DS	$\bar{x}$	DS	$\bar{x}$	DS	$\bar{x}$	DS
diarios	15,12	0,72	17	1,01	34,77	0,06	34,42	0,13
estacional	16,10	0,49	18,21	2,73	34,81	0,12	34,6	0,18

A través de diagramas T-S, se determinaron los rangos de las variables hidrográficas (temperatura y salinidad) donde se concentraron las mayores abundancias de huevos y larvas de anchoveta y los grupos de quitinosos y gelatinosos. La información utilizada, proviene de los cruceros estacionales y diarios de invierno del año 2019 y verano del año 2020.

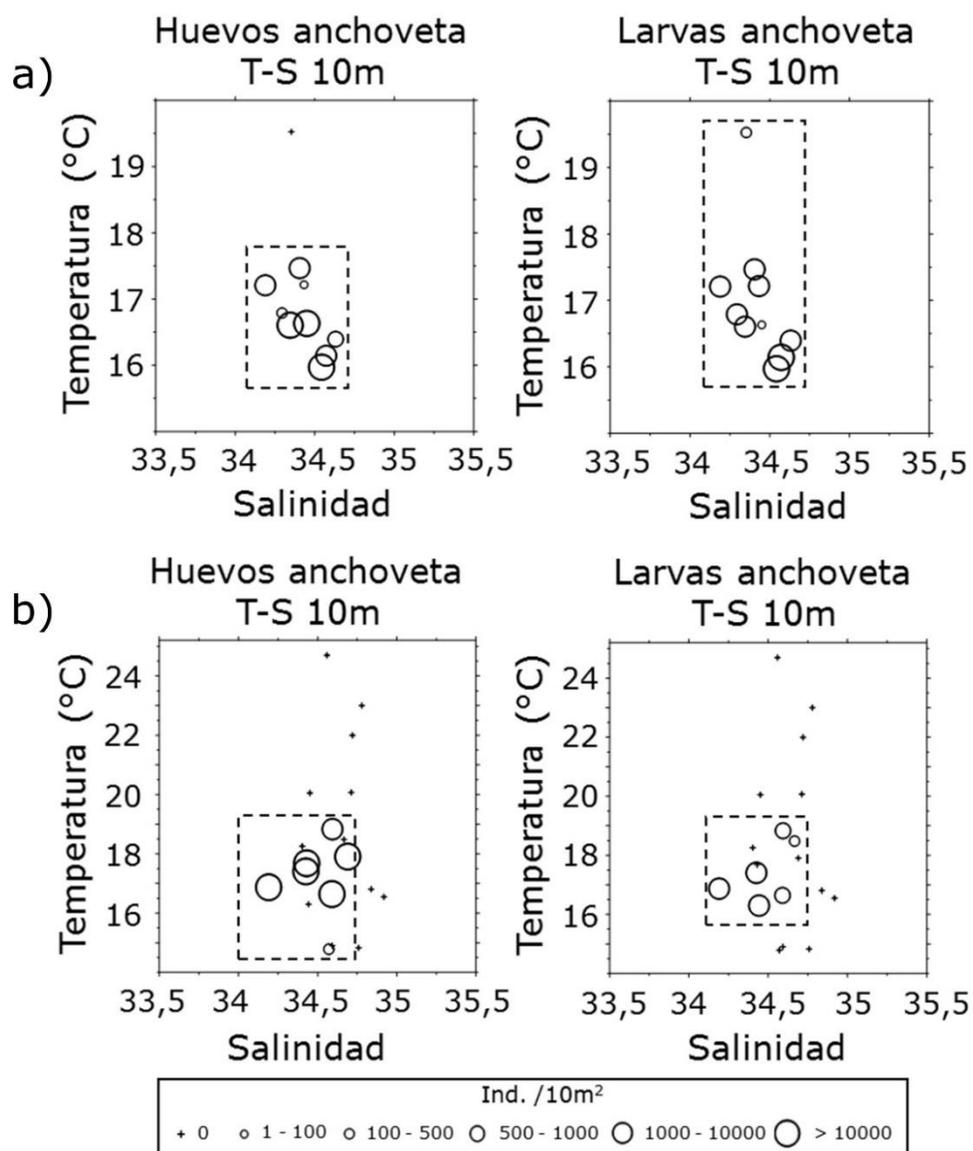
### **Cruceros estacionales**

En invierno del año 2019, los huevos de anchoveta se asociaron a rangos de temperatura que oscilaron entre 15,27° y 16,55°C y salinidad que fluctuó entre 34,52 y 34,88 psu. Las mayores densidades de huevos (> 25.000 ind/10m<sup>2</sup>) se relacionaron a bajas temperaturas (< 16,05° C) y salinidades intermedias (**Figura 106b**). Las larvas se asociaron a un rango de temperatura entre 15,55° y 16,74°C, y salinidades entre 34,68 y 34,98 psu. Las principales agrupaciones de larvas (> 390 ind/10m<sup>2</sup>) se presentaron en aguas frías (< 16,32° C) y de salinidad intermedia a baja (> 34,72 psu) (**Figura 106b**).



**Figura 106.** Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios (arriba) y el crucero estacional de invierno (abajo) de 2019, se superpuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de huevos y larvas de anchoveta.

En verano, los huevos de anchoveta se vincularon a rangos de temperatura entre 14,78° y 18,83°C y salinidad entre 34,19 y 34,69 psu. Las mayores agrupaciones de huevos (> 41.000 ind/10m<sup>2</sup>) se relacionaron a bajas temperaturas (< 17,68° C) y salinidades medianas a bajas (**Figura 107b**). Las larvas ocurrieron en temperaturas medianas a bajas (16,30° a 18,83°C) y salinidades similares a lo observado en huevos (34,19 a 34,67). Las principales agrupaciones de larvas (> 1100 ind/10m<sup>2</sup>) se presentaron a temperaturas y salinidades menores a 17,41° C y 34,43 psu, respectivamente (**Figura 107b**).



**Figura 107. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios (arriba) y el crucero estacional de verano (abajo) de 2020, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de huevos y larvas de anchoveta.**

En el grupo de los quitinosos, las zoeas se asociaron a temperatura entre 15,55° y 16,32°C y salinidad entre 34,76 y 34,88 psu. Las megalopas, se distribuyeron en rangos de temperatura entre 15,55° y 16,57°C y salinidad entre 34,67 y 34,92 psu. Los principales núcleos de megalopas (> 167 ind/10m<sup>2</sup>) se presentaron a temperaturas y salinidades mayores a 15,57°C y 34,7 psu, respectivamente. Los eufáusidos, se vincularon a rangos de temperatura entre 16,32° y 16,74°C y salinidad que fluctuó entre 34,88 a 34,98 psu. Las mayores abundancias de eufáusidos (> 500

ind/10m<sup>2</sup>) se asociaron con altas temperaturas (>16,57° C) y salinidades (> 34,92 psu). Los *sergestes* se vincularon con alta temperatura (16,74°C) y salinidad (34,98 psu). Los anfípodos, se asociaron a temperatura entre 15,58° y 16,91°C y, salinidad entre 34,79 y 35,06 psu. Las principales agrupaciones de anfípodos (> 1000 ind/10m<sup>2</sup>) se asociaron a altas temperaturas (16,74° C) y salinidades (> 34,98 psu) (**Figura 108a**).

Respecto a gelatinosos, las medusas se asociaron a temperatura y salinidad entre 15,55° y 16,91°C y entre 34,76 y 35,06 psu, respectivamente. Las mayores densidades de medusas (> 580 ind/10m<sup>2</sup>) se registraron en aguas más cálidas (> 16,57° C) y salinas (> 34,92 psu). Los quetognatos y sifonóforos se asociaron a rangos de temperatura y salinidad similares (temperatura: 15,55° y 16,91°C; salinidad: 34,68 y 35,06). Los ctenóforos se vincularon con temperatura entre 15,55° y 16,74°C y salinidad desde 34,68 a 34,98 psu. Las principales densidades de ctenóforos (> 150 ind/10m<sup>2</sup>) se situaron a temperaturas (> 16,57°C) y salinidades (> 34,92 psu), relativamente altas (**Figura 108b**).

En el grupo de los quitinosos, las zoeas se distribuyeron en temperaturas que fluctuaron entre 14,78° y 24,7°C y salinidad desde 34,19 a 34,92 psu. La mayores abundancias (> 500 ind/10m<sup>2</sup>) se situaron en temperatura y salinidad mayores a 17,91°C y 34,56 psu, respectivamente. Las megalopas, se distribuyeron asociadas a rangos de temperatura de 14,78° y 23°C y salinidad desde 34,40 a 34,92 psu. Los eufáusidos, se presentaron a temperatura entre 14,78° y 22°C y salinidad desde 34,44 a 34,78 psu. Las mayores abundancias de eufáusidos (> 1.000 ind/10m<sup>2</sup>) se relacionaron con temperaturas relativamente bajas (>14,83 °C) y salinidades (> 34,44 psu) relativamente altas. Los anfípodos ocurrieron en temperatura entre 14,78° y 24,7°C y, salinidad desde 34,44 a 34,78 psu. Las principales agrupaciones de anfípodos (> 1.300 ind/10m<sup>2</sup>) se asociaron a altas temperaturas (16,30° C) y salinidades (> 34,44 psu). No hubo presencia de *sergestes* en todo el periodo de estudio (**Figura 109a**).

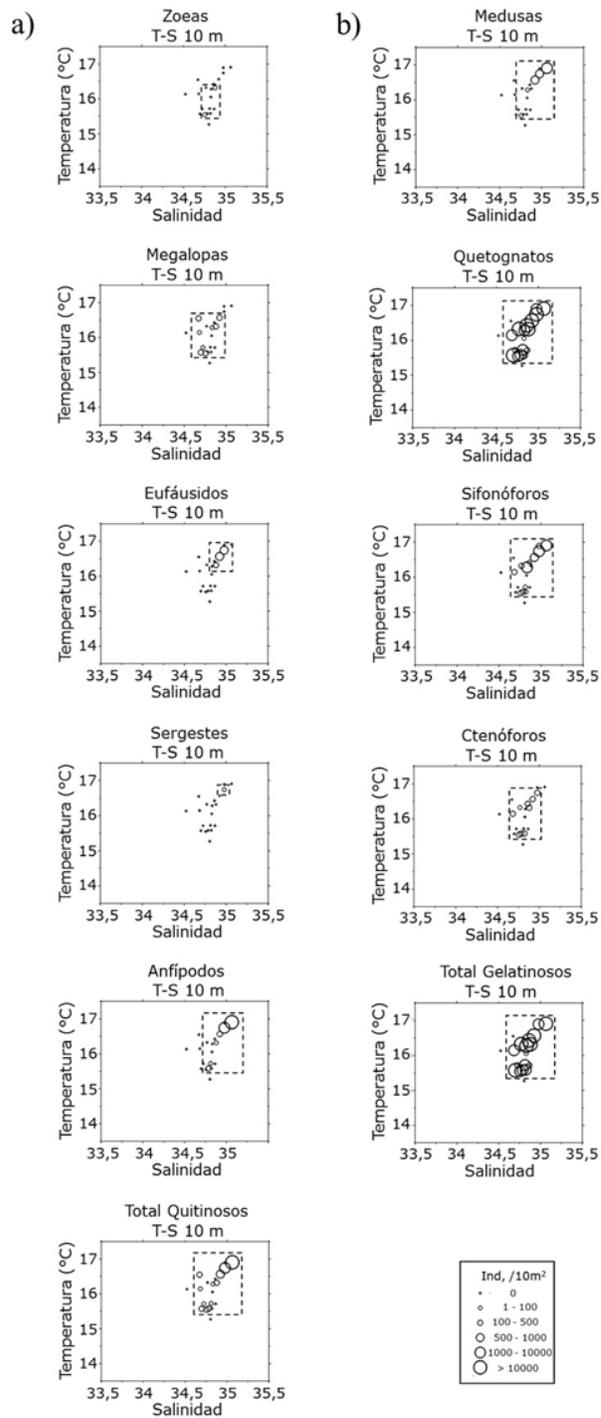


Figura 108. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad del crucero estacional de invierno (abajo) de 2019, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos.

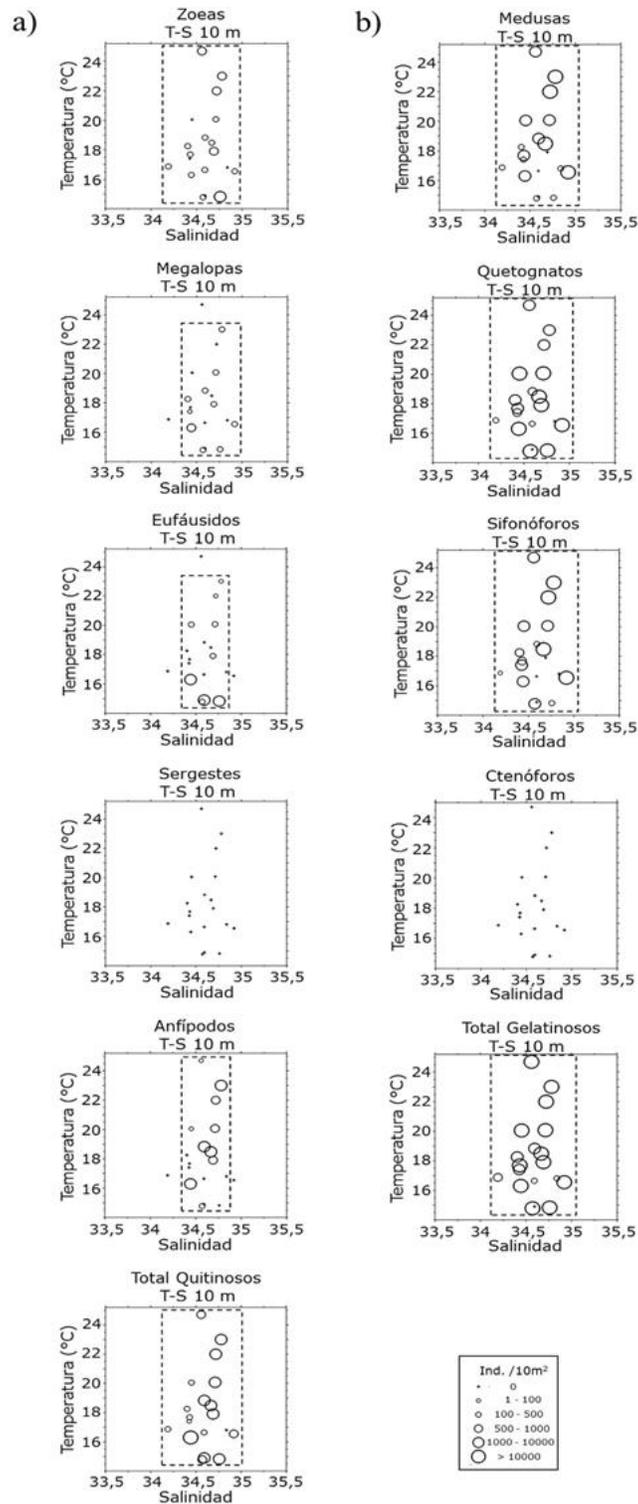


Figura 109. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad del crucero estacional de verano (abajo) de 2020, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos.

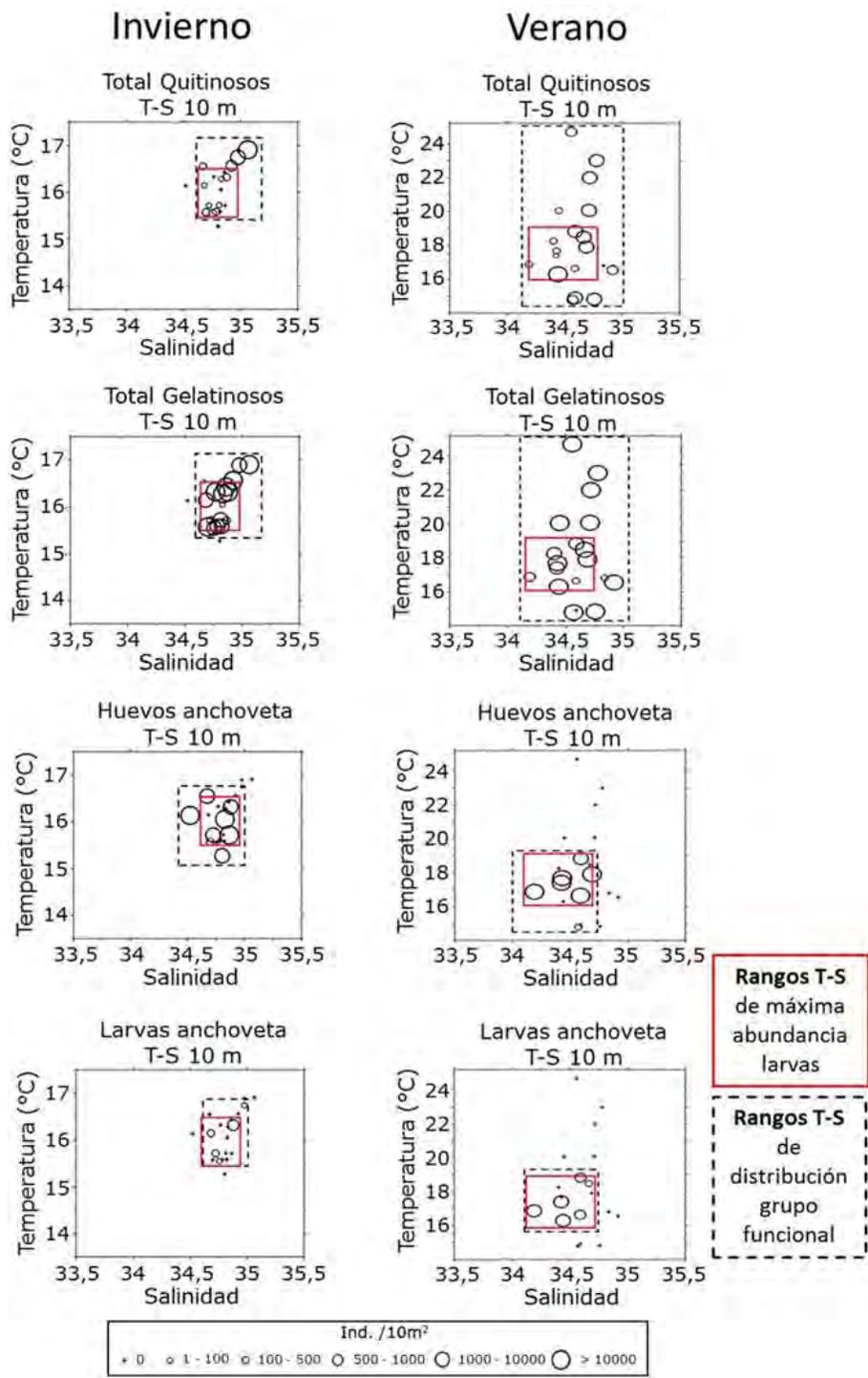


Figura 110. Resumen de Diagramas T-S en que a los datos a 10m de profundidad de los cruceros estacionales se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia promedio estacional (invierno 2019 y verano 2020) de los principales grupos de quitinosos, gelatinosos, huevos y larvas de anchoveta. Recuadro rojo indica rango de temperaturas y salinidades en que se encuentran las mayores abundancias de larvas de anchoveta

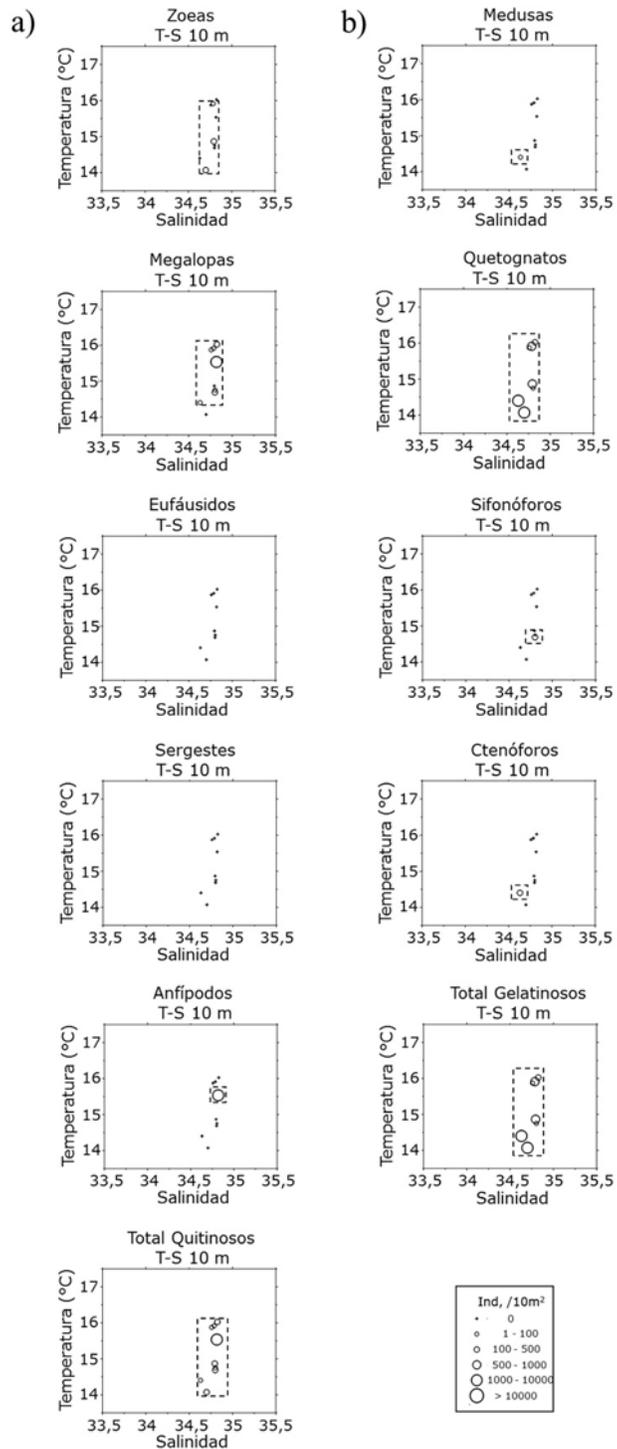


Figura 111. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios de invierno de 2019 en Chipana, se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos

Respecto a gelatinosos, las medusas la distribuyeron asociadas a temperatura y salinidad entre 14,78° y 24,7°C y desde 34,19 a 34,92 psu, respectivamente. Las mayores agrupaciones ( $> 6.100 \text{ ind}/10\text{m}^2$ ) se registraron en aguas más cálidas ( $> 16,55^\circ \text{C}$ ) y salinas ( $> 34,56 \text{ psu}$ ). Los quetognatos ocurrieron a temperaturas que fluctuaron entre 14,78° y 24,7°C y salinidad desde 34,19 a 34,92 psu, ubicándose las principales densidades ( $> 6.400 \text{ ind}/10\text{m}^2$ ) a temperaturas ( $> 16,57^\circ \text{C}$ ) y salinidades ( $> 34,43 \text{ psu}$ ) relativamente altas. Los sifonóforos, se situaron en rangos de temperatura y salinidad, entre 14,78° y 24,7°C y desde 34,19 a 34,92 psu, respectivamente, con mayores abundancias ( $> 4.800 \text{ ind}/10\text{m}^2$ ) en temperaturas ( $> 16,55^\circ \text{C}$ ) y salinidades ( $> 34,56 \text{ psu}$ ) relativamente altas. Ctenóforos no se registraron durante este crucero (**Figura 109b**).

En resumen, en los cruceros estacionales de mayor cobertura espacial, se observó que, tanto en invierno como en verano, las mayores abundancias de huevos y larvas tendieron a ocurrir en agua de temperaturas y salinidades bajas dentro del rango en que se presentaron los predadores quitinosos y gelatinosos (**Figura 110**).

### **Cruceros diarios**

En invierno, los huevos y larvas de anchoveta, se presentaron asociados a rangos de temperatura (14,07° a 16,03°C) y salinidad (34,63 a 34,82) similares (**Figura 106a**).

En el grupo de los quitinosos, se observó que las zoeas se asociaron a rangos de temperatura entre 14,04° y 15,91°C, y salinidad entre 34,70 y 34,79. Las megalopas, se asociaron a temperatura entre 14,4° y 16,03°C, y salinidad entre 34,63 y 34,82 psu. Los anfípodos, con bajas abundancias, se vincularon a temperatura de 15,53°C y salinidad de 34,82 psu. Los eufáusidos y sergestes no se registraron durante este crucero (**Figura 111a**).

En el grupo de los gelatinosos, las medusas y ctenóforos (muy poco frecuentes) se asociaron a temperatura de 14,4°C y salinidad de 34,63 psu. Los quetognatos, se distribuyeron en rangos de temperatura que fluctuaron entre 14,07° y 16,03°C, y salinidad desde 34,63 a 34,82 psu. Los sifonóforos, también muy poco frecuentes se asociaron a temperatura de 14,69°C y salinidad de 34,8 psu (**Figura 111b**).

En verano los huevos de anchoveta se presentaron asociados a rangos de temperatura que fluctuaron entre 15,97° y 17,47°C, y salinidad entre 34,19 y 34,63 psu. Las principales abundancias de huevos ( $> 14203 \text{ ind}/10\text{m}^2$ ) se vincularon a bajas temperaturas ( $> 15,97^\circ \text{C}$ ) y salinidades

relativamente altas ( $> 34,35$  psu). Las larvas, se vincularon con rangos temperatura más amplios ( $15,97^{\circ}$  a  $19,53^{\circ}\text{C}$ ) y salinidad entre 34,19 y 34,63 psu, en comparación a lo observado en los huevos. Las mayores abundancias de larvas se asociaron a temperaturas y salinidades menores a  $16,14^{\circ}\text{C}$  y 34,54 psu, respectivamente (**Figura 107a**).

En el grupo de los quitinosos, se encontró que las zoeas, megalopas y eufáusidos se distribuyeron en rangos de temperatura que oscilaron entre  $15,97^{\circ}$  y  $19,53^{\circ}\text{C}$ , y salinidad entre 34,19 y 34,63. Anfípodos y sergestes no se presentaron durante este crucero (**Figura 112a**).

En el grupo de los gelatinosos, las medusas, quetognatos y sifonóforos, se asociaron a un amplio rango de temperaturas que fluctuaron entre  $15,97^{\circ}$  a  $19,53^{\circ}\text{C}$ , y salinidad entre 34,19 a 34,63 psu. Las mayores abundancias en medusas ( $> 1.000$  ind/ $10\text{m}^2$ ), sin embargo, se presentaron en un rango de salinidades con valores un poco más alto y estrecho, comparado a los otros dos grupos. No se observaron ctenóforos en el área de estudio (**Figura 112b**).

En resumen, en las series de muestreos diarios, las mayores abundancias de huevos y larvas de anchoveta se ubicaron durante el invierno, en agua con características similares a los predadores gelatinoso y quitinosos, a diferencia del verano en que las máximas abundancias de huevos y larvas se ubicaron en agua con de temperaturas bajas en comparación a lo observado en los grupos quitinosos y gelatinosos (**Figura 113**).

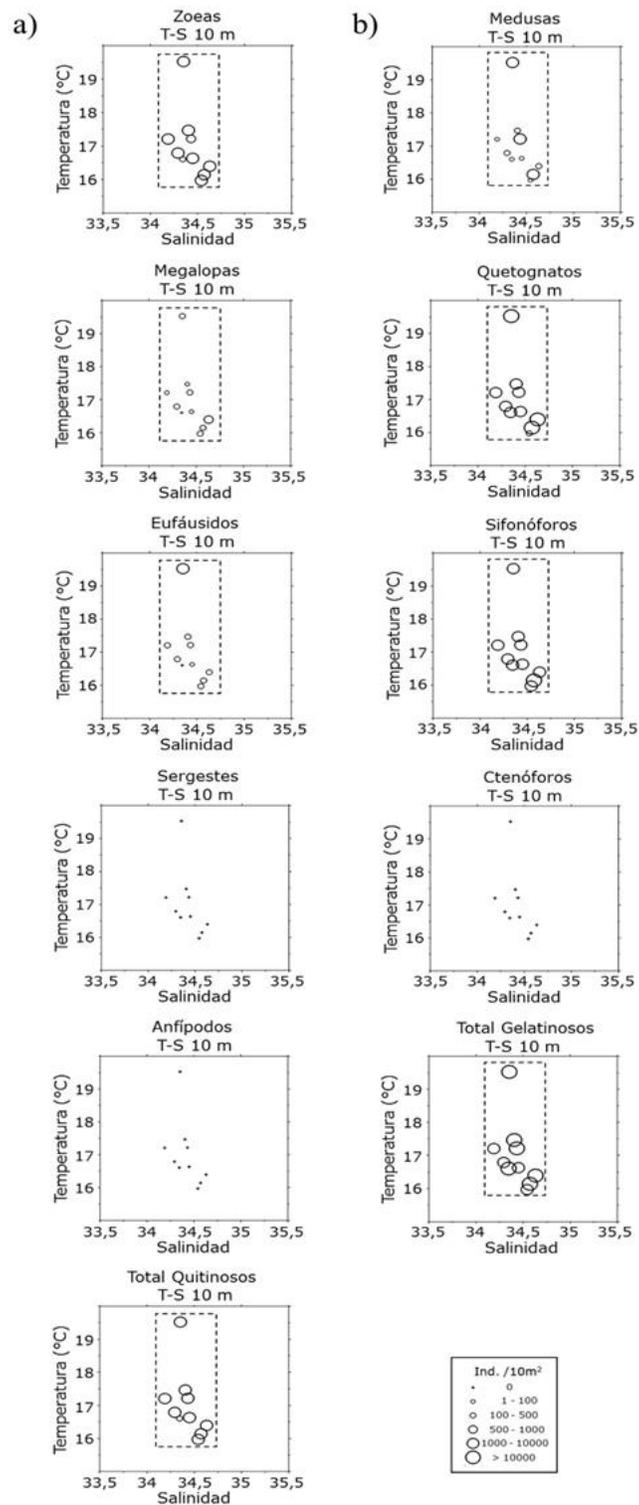
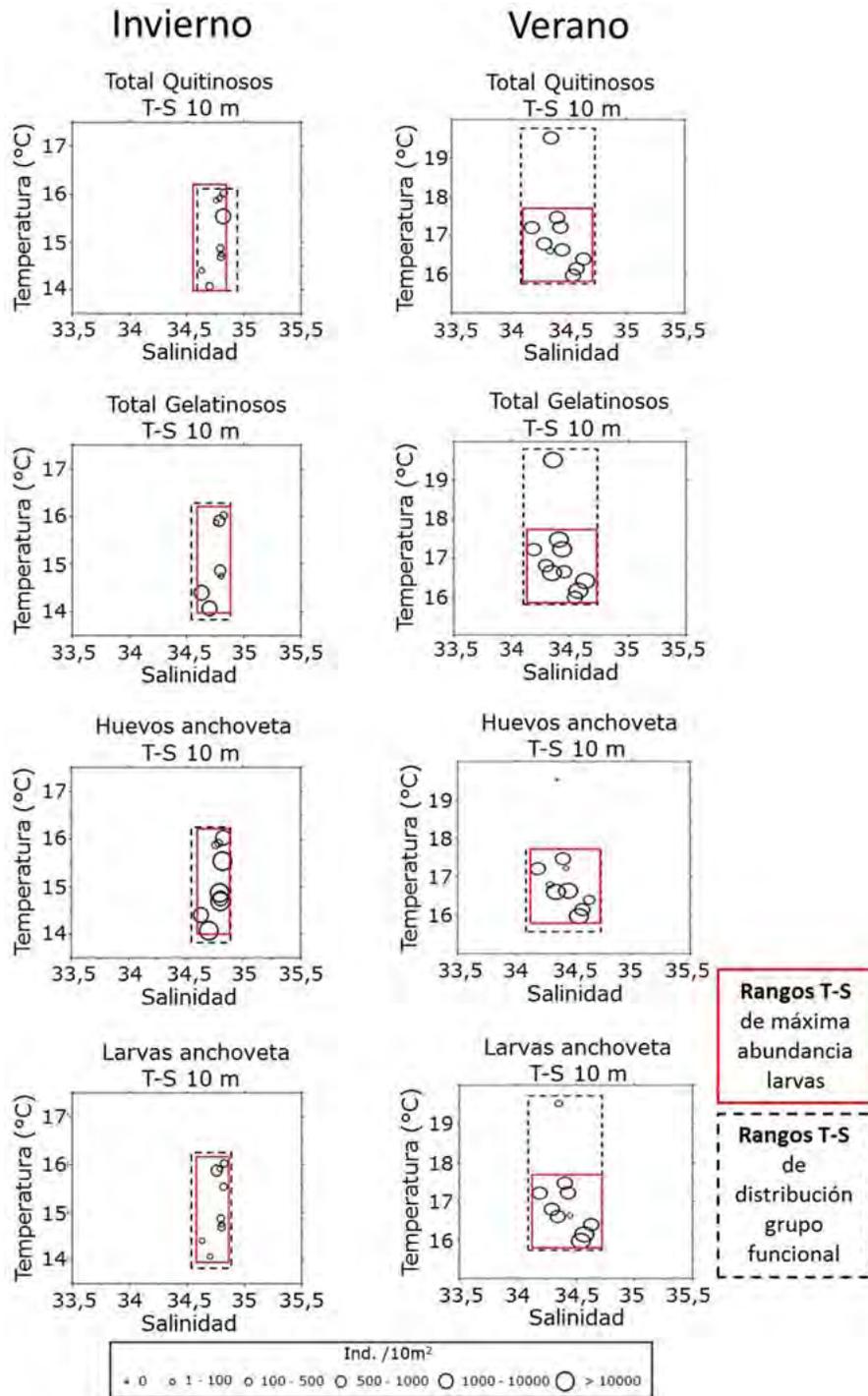


Figura 112. Diagramas T-S donde a los datos de temperatura y salinidad a 10m de profundidad de los cruceros diarios de verano de 2020 en Chipana, se superpuso una representación escalada (círculos) de la abundancia de los principales grupos de predadores (a) quitinosos y (b) gelatinosos



**Figura 113.** Resumen de Diagramas T-S en que a los datos a 10m de profundidad de los cruceros diarios en invierno 2019 y verano 2020 se sobrepuso una representación escalada (círculos) de la abundancia promedio de los principales grupos de quitinosos, gelatinosos, huevos y larvas de anchoveta. Recuadro rojo indica rango de temperaturas y salinidades en que se encuentran las mayores abundancias de larvas de anchoveta.

## **4.2 Objetivo específico 2: Analizar la selectividad de presas comparada con la oferta ambiental alimentaria, composición trófica e importancia relativa por rango de tallas, en las larvas (pre flexión, flexión y postflexión) de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.**

### **4.2.1 Muestreos con enfoque estacional y diario durante la estación de invierno 2019 y verano 2020.**

Durante el primer crucero bio-oceanográfico de la estación de invierno, correspondiente al enfoque estacional, se colectaron 20 muestras del mesozooplankton entre los días 28-08-2019 al 30-08-2019. Estas muestras fueron analizadas separando y contando las larvas en estado de yolksac y mayores a yolksac con ojos pigmentados y boca funcional, siendo este último estado al tamaño necesario para el análisis del contenido intestinal ( $n = 11$ ) (**Tabla 39**). En el segundo crucero bio-oceanográfico realizado en la estación de verano entre el 28-01-2020 y 01-02-2020, se colectaron 20 muestras del mesozooplankton. Al igual que durante el muestreo de la estación de invierno del 2019, se obtuvo un bajo número de muestras de larvas de anchoveta con boca funcional ( $n = 29$ ) (**Tabla 40**) de las cuales solo una larva presentó contenido en el intestino. Debido a que el número de larvas con boca funcional obtenidas de los muestreos estacional fueron extremadamente bajos, no se consideraron para el análisis dietario y selectividad de presas con enfoque estacional.

En los dos muestreos intensivos realizado en Bahía Chipana, correspondientes al enfoque diario, el primero llevado a cabo en invierno (entre el 05-09-2019 y 15-09-2019) y el segundo en la estación de verano (entre el 16-01-2020 y 24-01-2020) se obtuvieron 10 y 9 muestras del mesozooplankton, respectivamente, obteniéndose larvas de anchoveta con boca funcional para el análisis de sus contenidos intestinales (**Tabla 41**).

**Tabla 39. Estaciones de muestreo (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el crucero estacional de invierno, 2019.**

Estación	Fecha	yolksac	boca funcional	Total larvas	Otras larvas
E - 1	30-08-2019	3	-	3	-
E - 2	30-08-2019	1	8	9	-
E - 3	30-08-2019	17	1	18	-
E - 4	30-08-2019	-	-	-	-
E - 17	27-08-2019	-	-	-	-
E - 18	27-08-2019	-	-	-	-
E - 19	26-08-2019	3	-	3	1
E - 20	26-08-2019	-	-	-	-
E - 21	27-08-2019	4	-	4	-
E - 22	27-08-2019	-	-	-	-
E - 23	27-08-2019	-	-	-	-
E - 24	27-08-2019	-	-	-	-
E - 27	27-08-2019	-	-	-	1
E - 28	27-08-2019	-	-	-	4
E - 29	27-08-2019	-	1	1	-
E - 30	27-08-2019	1	1	2	-
E - 37	27-08-2019	1	-	1	-
E - 38	28-08-2019	-	-	-	-
E - 39	28-08-2019	-	-	-	1
E - 40	28-08-2019	2	-	2	1
<b>Total</b>		<b>32</b>	<b>11</b>	<b>43</b>	<b>8</b>

**Tabla 40. Lances de muestreo de mesozooplankton (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el muestreo diario en la estación de invierno en Bahía Chipana, 2019.**

Lance	Fecha	yolksac	Boca funcional	Total larvas	Otras larvas
L-4,5	05-09-2019	119	53	172	8
L-3	05-09-2019	15	110	125	8
L-4,5	06-09-2019	22	90	112	15
L- 5,6	07-09-2019	24	32	56	28
L- 7	07-09-2019	0	21	21	31
L- 1,2	10-09-2019	1	0	1	2
L- 1,2	11-09-2019	23	26	49	19
L- 9,10	12-09-2019	3	52	55	2
L-1,2,3,	13-09-2019	84	10	94	8
L - 5,6,7,8,9	14-09-2019	58	53	111	10
Total		349	447	796	131

**Tabla 41. Estaciones de muestreo (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el crucero estacional de verano, 2020.**

Estación	Fecha	yolksac	Boca funcional	Total larvas	Otras larvas
E-1	28-01-2020	8	-	8	-
E-2	28-01-2020	1	-	1	-
E-3	28-01-2020	-	-	-	-
E-4	28-01-2020	-	-	-	-
E-17	01-02-2020	-	-	-	9
E-18	01-02-2020	-	-	-	-
E-19	01-02-2020	1	-	1	-
E-20	01-02-2020	-	-	-	-
E-21	30-01-2020	2	4	6	-
E-22	30-01-2020	-	12	12	-
E-23	30-01-2020	-	11	11	-
E-24	30-01-2020	-	-	-	-
E-27	30-01-2020	-	2	2	-
E-28	30-01-2020	3	-	3	-
E-29	30-01-2020	50	-	50	-
E-30	30-01-2020	4	-	4	-
E-37	31-01-2020	-	-	-	-
E-38	31-01-2020	-	-	-	-
E-39	31-01-2020	-	-	-	-
E-40	31-01-2020	-	-	-	-
Total		69	29	98	9

**Tabla 42. Lances de muestreo de mesozooplankton (ver posición geográfica en objetivo 1) y número de larvas de anchoveta en estado de yolksac y con boca funcional durante el muestreo diario en la estación de verano en Bahía Chipana, 2020.**

Lance	Fecha	yolksac	boca funcional	Total larvas	Otras larvas
L-7	16-01-2020	5	33	38	-
L-2	17-01-2020	6	30	36	7
L-2	18-01-2020	51	246	297	6
L-3	19-01-2020	28	284	312	1
L-2	20-01-2020	11	14	25	-
L-2	21-01-2020	32	261	293	-
L-1	22-01-2020	272	891	1163	3
L-3	23-01-2020	533	269	802	-
L-3	24-01-2020	106	27	133	-
Total		1044	2055	3099	17

#### 4.2.2 Análisis de contenido intestinal

Enfoque diario en la estación de invierno y verano en Bahía Chipana

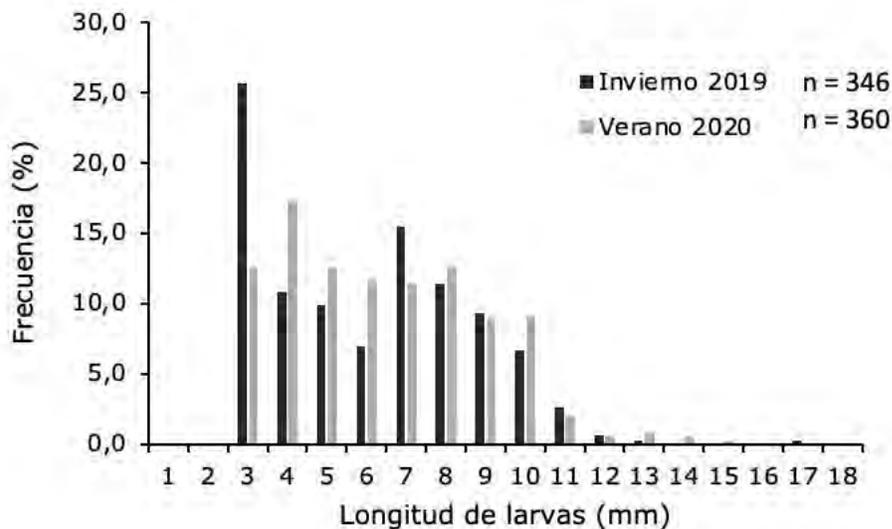
Del total de larvas colectadas en el periodo de invierno, un total de 343 larvas pudo ser examinada, ya que el resto presentó daños corporales ya sea en la región cefálica, mandíbulas, intestino o región notocordal, siendo eliminadas para los análisis correspondientes.

Las longitudes corporales de las larvas examinadas estuvieron entre 3,4 y 18 mm LC, siendo agrupadas según el estado de desarrollo larval en preflexión, flexión y postflexión, destacándose predominancia de larvas en preflexión y la escasa presencia de larvas en postflexión en las muestras (**Tabla 43a**). El número de larvas de anchoveta que presentaron a lo menos una presa en sus estómagos correspondió a 131 individuos, siendo la IA de 38,2%. La IA por estado de desarrollo más alta correspondió a larvas en preflexión con el 47,1%, cuyas larvas estuvieron entre 3,4 y 8,6 mm LC (**Tabla 43a**).

De los muestreos diarios del periodo de verano, se examinó un total de 360 larvas, las cuales se encontraron en buen estado físico sin ningún daño corporal, cuyos tamaños estuvieron entre 3,2 y 13,9 mm LC. (**Figura 116 y Tabla 43 b**). Estas fueron agrupadas en los tres estados de desarrollo larval, alcanzando el estado de preflexión un máximo de 267 larvas, en tanto que el estado de postflexión solo 8 individuos. El número de larvas de anchoveta que presentaron a lo menos una presa en sus estómagos correspondió a 172 individuos, siendo la IA de 47,8%. Al igual que en el

periodo de invierno, el valor de IA más alto correspondió a larvas en preflexión con el 50,2%, cuyo rango de tamaño estuvo entre 3,2 y 9,6 mm LC. (Tabla 43b).

Las distribuciones de frecuencia de longitud corporal de las larvas analizadas en la estación de invierno 2019 y verano 2020 (Figura 114) fueron comparadas utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, dando como resultado que no hay diferencias significativas entre ambas muestras y por lo tanto provienen de la misma población (K-S;  $p = 0,766$ ).



**Figura 114. Distribución de tamaños corporal de larvas de anchoveta de Bahía Chipana por estación.**

La dieta de anchoveta durante la estación de invierno en general estuvo compuesta por 10 ítems presas entre fitoplancton y zooplancton, pero preferentemente por zooplancton. Al separar la dieta según el estado de desarrollo de las larvas, se observó que las larvas en preflexión consumieron 9 ítems presas, siendo el ítem nauplii el con mayor contribución en abundancia (58,5%N) y volumen (73,2%V) y con frecuencia de ocurrencia en el 69,3% del total de intestinos analizados. Los estados naupliares fue el ítem con mayor importancia relativa en la dieta (91,8%IIR) seguido muy por debajo de huevos de invertebrados (4%IIR) (Tabla 44 a). En el caso de las larvas en flexión, éstas consumieron 7 ítems presas siendo en su mayoría organismos zooplanctónicos, donde los estados naupliares aumentaron su contribución en abundancia (72%N) pero disminuyeron en volumen en

la dieta (36%V) y con presencia en el 76% de los intestinos analizados. Al igual que en larvas en estado de preflexión, el ítem nauplii fue el de mayor importancia relativa en la dieta (92,6%IIR) (Tabla 44 a).

**Tabla 43. Número de larvas examinadas por estado de desarrollo larval con su rango de tamaño corporal (LC), larvas con alimento e incidencia alimentaria (IA). a) Bahía Chipana, invierno 2019, b) Bahía Chipana, verano 2020.**

a) Bahía Chipana, invierno

Estado larval	Total larvas examinadas	Larvas con alimento	IA %	Rango de tamaño (mm)		Tamaño promedio
				Mínimo	Máximo	
Preflexión	187	88	47,1	3,4	8,6	4,6
Flexión	149	42	28,2	6,3	12,4	8,7
Postflexión	7	1	14,3	10,8	18	12,7
Total	343	131	38,2			

b) Bahía Chipana, verano

Estado larval	Total larvas examinadas	Larvas con alimento	IA %	Rango de tamaño (mm)		Tamaño promedio
				Mínimo	Máximo	
Preflexión	267	134	50,2	3,2	9,6	5,8
Flexión	85	37	43,5	7,9	12,4	9,9
Postflexión	8	1	12,5	12	15,5	13,9
Total	360	172	47,8			

Se comparó la dieta utilizando los valores de frecuencia numérica de los ítems presas entre estados de desarrollo, revelando que existen diferencias significativas ( $\chi^2 = 31,15$ ; *g.l.* 9;  $p < 0,05$ ).

La dieta de las larvas de anchoveta durante el periodo de verano 2020, en general estuvo compuesta por 8 ítems presas, entre fitoplancton y zooplancton, pero con predominio de zooplancton. Por estado de desarrollo, en larvas en preflexión, el fitoplancton tuvo claramente una escasa importancia en la dieta  $< 0,001\%$ IIR a diferencia del zooplancton donde el consumo fue preferentemente sobre nauplii, con una contribución en número del 58%N, en volumen del 79%V y presente en el 71% de los intestinos analizados. La importancia en la dieta fue de 86,3%IIR, seguido de huevos de invertebrados con 12,1%IIR (Tabla 44 b). En larvas en flexión el consumo

fue preferentemente sobre zooplancton, donde los nauplii alcanzaron una importancia en la dieta similar a las de larvas en preflexión (86,5%IIR), se destaca la importancia en la dieta de copépodos Calanoida con un 9,6%IIR y una disminución de los huevos de invertebrados (2,8%IIR) (Tabla 44 b).

**Tabla 44. Composición de la dieta de larvas de anchoveta según el estado de desarrollo. Expresada en porcentaje Numérico (%N), volumétrico (%V), frecuencia de ocurrencia (%F) e importancia relativa de las presas (%IIR). a) Bahía Chipana, invierno 2019; b) Bahía Chipana, verano 2020.**

a) Bahía Chipana, invierno

Items presas	Larvas en preflexión n = 88				Larvas en flexión n = 42			
	%N	%V	%F	%IIR	%N	%V	%F	%IIR
Fitoplancton								
<i>Thalassiosira</i>	0,61	0,01	1,14	0,01	-	-	-	-
<i>Diplopsalis</i>	0,61	0,20	1,14	0,01	-	-	-	-
Cisto dinoflagelado	3,05	0,95	3,41	0,14	2,94	19,67	2,38	0,61
Zooplancton								
Nauplii	58,54	73,17	69,32	91,84	72,06	34,46	76,19	92,68
Copepodito	9,15	11,39	11,36	2,35	4,41	1,18	7,14	0,46
Copepoda Calanoida	-	-	-	-	7,35	35,92	9,52	4,71
Copepodo indeterminado	0,61	4,80	1,14	0,06	4,41	8,38	7,14	1,04
Huevo invertebrado	15,85	6,16	18,18	4,03	2,94	0,22	4,76	0,17
Otros								
Huevo indeterminado	3,05	0,72	4,55	0,17	5,88	0,17	4,76	0,33
Indeterminado	8,54	2,60	12,50	1,40	-	-	-	-

Continúa en siguiente página

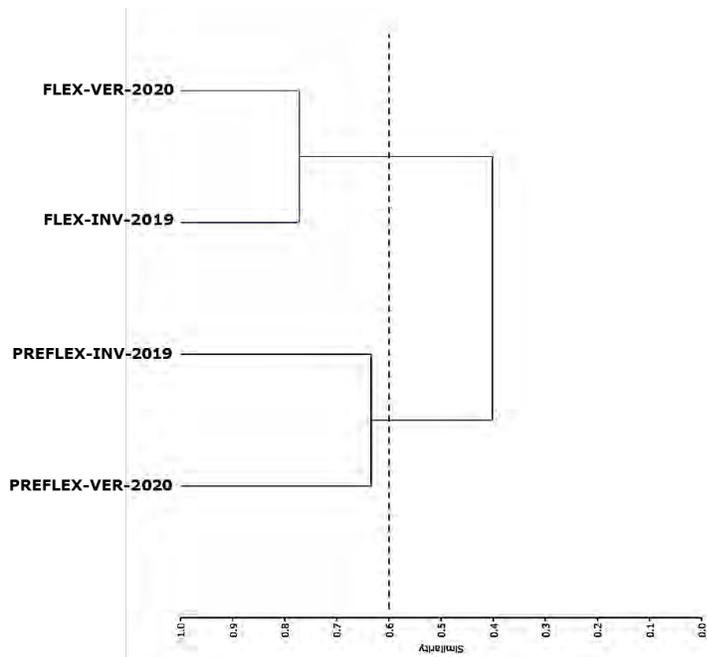
Continuación Tabla 44

b) Bahía Chipana, verano

Items presas	Larvas en preflexión n = 134				Larvas en flexión n = 37			
	%N	%V	%F	%IIR	%N	%V	%F	%IIR
Fitoplancton								
Dinoflagelado								
<i>Akashiwo sanguinea</i>	0,35	0,01	0,75	0,00	-	-	-	-
<i>Diatomea Chaetoceros</i>	0,35	0,02	0,75	0,00	-	-	-	-
Zooplancton								
Nauplii	58,10	79,19	71,64	86,38	67,80	47,21	70,27	86,55
Copepodito	1,76	2,67	3,73	0,15	-	-	-	-
Copepodo Calanoida	0,35	2,29	0,75	0,02	12,07	44,03	16,22	9,68
Copepodo indeterminado	1,06	6,45	1,49	0,10	3,39	5,45	5,41	0,51
Huevo invertebrado	28,87	5,49	40,30	12,16	13,56	3,01	16,22	2,88
Otros								
Indeterminado	9,15	3,88	10,45	1,20	1,69	0,31	2,70	0,06

Se comparó la dieta utilizando los valores de frecuencia numérica de los ítems presas entre estados de desarrollo, revelando que existen diferencias significativas ( $\chi^2 = 44,34$ ; g.l. 7;  $p < 0,05$ ).

El dendrograma de similitud trófica entre estados de desarrollo larval por estaciones (**Figura 115**), reveló la conformación de dos grupos tróficos por sobre el nivel de similitud significativa (60%). El primer grupo comprendió los estados de desarrollo flexión-verano-2020 y flexión-invierno-2019, uniéndose a un nivel de similitud del 77%, que comparten ítems presas con altas contribuciones numérica en la dieta de las larvas de anchoveta, como nauplios y copépodos Calanoida. El segundo grupo trófico se dio entre los estados de preflexión-invierno-2019-verano-2020 uniéndose a un nivel de similitud 63%, unión que estaría dada por el mayor aporte en términos numéricos de la componente zooplanctónica.



**Figura 115. Dendrograma de similitud (Bray-Curtis) dietaria entre estado de desarrollo larval de anchoveta y de las estaciones de invierno y verano.**

#### **4.2.3 Relaciones entre tamaño corporal de larvas e indicadores de éxito alimentario (número de presas, ancho máximo y volumen total de presas por intestino) y ancho máximo de presas por ancho de la boca larval.**

El número de presas por intestino en el periodo de invierno y verano estuvo entre 1 y 9 presas con un promedio de  $1 (\pm 1,75)$  en invierno y  $2 (\pm 1,56)$  en verano. Una sola presa se encontró en el 59% y 52% de los intestinos analizados en ambos periodos respectivos. En la **Figura 116 a y b** se observa una leve tendencia a que larvas  $< 11$  mm LC consumieron un mayor número de presas que larvas  $> 10$  mm LC, en ambos periodos, sin embargo, la relación entre ambas variables de ambos periodos mostró no ser significativa (ANOVA, invierno 2019,  $F=1,43$ ,  $p = 0,232$ ; verano 2020,  $F = 0,12$ ,  $p = 0,723$ ) (**Tabla 45**).

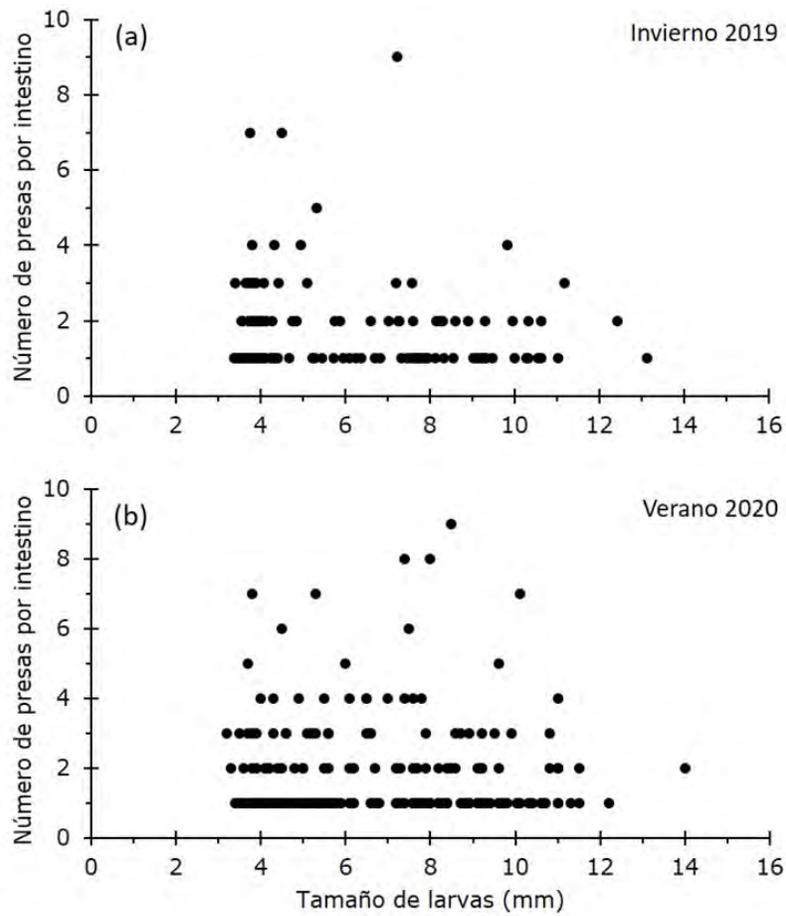


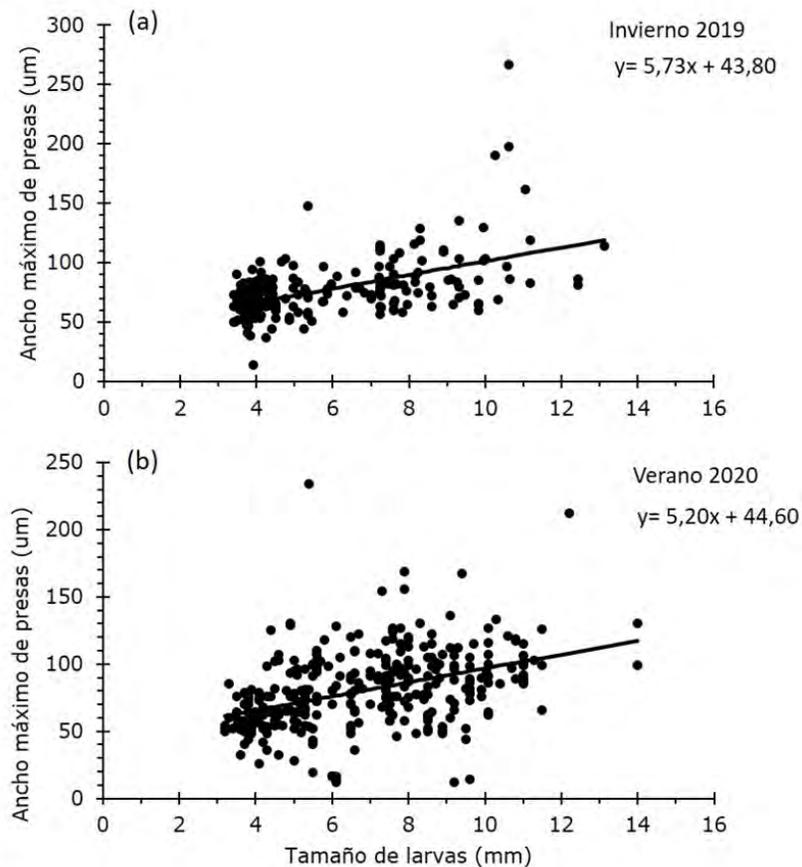
Figura 116. Relación entre el tamaño de las larvas de anchoveta y el número de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano.

**Tabla 45. Parámetros estadísticos de las relaciones lineales entre la longitud corporal de la larva (LT) y ancho de boca (AMB) e indicadores de éxito alimentario (NPI = n° de presas por intestino, VTPI= volumen total de presas por intestino y AMPI= ancho máximo de presas por intestino. Valor P en negrilla = relación significativa.**

	a	EE	b	EE	r <sup>2</sup>	F	P
LT vs NPI							
Invierno	2,06	0,28	-0,052	0,043	0,103	1,43	0,232
Verano	2,17	0,36	-0,017	0,05	0,0007	0,12	0,723
LT vs AMPI							
Invierno	43,8	3,79	5,73	0,61	0,27	85,78	< 0,001
Verano	44,6	4,38	5,2	0,61	0,171	70,67	< 0,001
LT vs VTPI							
Invierno	-9,56	0,47	1,33	0,27	0,16	24,22	0,001
Verano	-10,09	0,49	1,68	0,26	0,202	41,64	< 0,001
AMB vs AMPI							
Invierno	40,78	3,89	132,4	13,49	0,29	96,31	< 0,001
Verano	53,37	4,1	83,82	12,79	0,111	42,93	< 0,001

El espectro de tamaño de las presas en función del ancho máximo de éstas, en el periodo de invierno, estuvo en el rango de 14  $\mu\text{m}$  perteneciente a una presa indeterminada encontrada en el intestino de una larva de 3,9 mm LC, seguido de 37  $\mu\text{m}$  para un nauplio y un ancho máximo de 267  $\mu\text{m}$  en un copépodo Calanoida presente en una larva de 10,6 mm LC. Los estados naupliares, que fue el grupo presente en casi todos los tamaños larvales analizados, el ancho máximo fluctuó entre 37  $\mu\text{m}$  y 148  $\mu\text{m}$ . Al graficar el AMPI versus LC, se observa una leve tendencia a aumentar el ancho máximo de las presas en la medida que crece la larva (**Figura 117a**), arrojando el ajuste de un modelo lineal, significativa la relación entre ambas variables, explicando el 27% de los datos (ANOVA,  $F=85,78$ ,  $p< 0,001$ ) (**Tabla 45**).

En el periodo de verano, el espectro de tamaño de las presas en función del ancho máximo estuvo en el rango de 12  $\mu\text{m}$  y 234  $\mu\text{m}$  para presas indeterminadas presentes en larvas con tamaños de 6,1 y 5,4 mm LC respectivamente. Los nauplios, principal ítem presa de ambos estados larval, el ancho máximo fluctuó entre 32  $\mu\text{m}$  (en larva de 3,6 mm LC) y 133  $\mu\text{m}$  (en larva de 10,3 mm LC). La relación entre el AMPI y LC se ajustó a un modelo lineal mostrando ser significativa (ANOVA,  $F= 70,67$ ,  $p< 0,001$ ) (**Figura 117b,Tabla 45**).



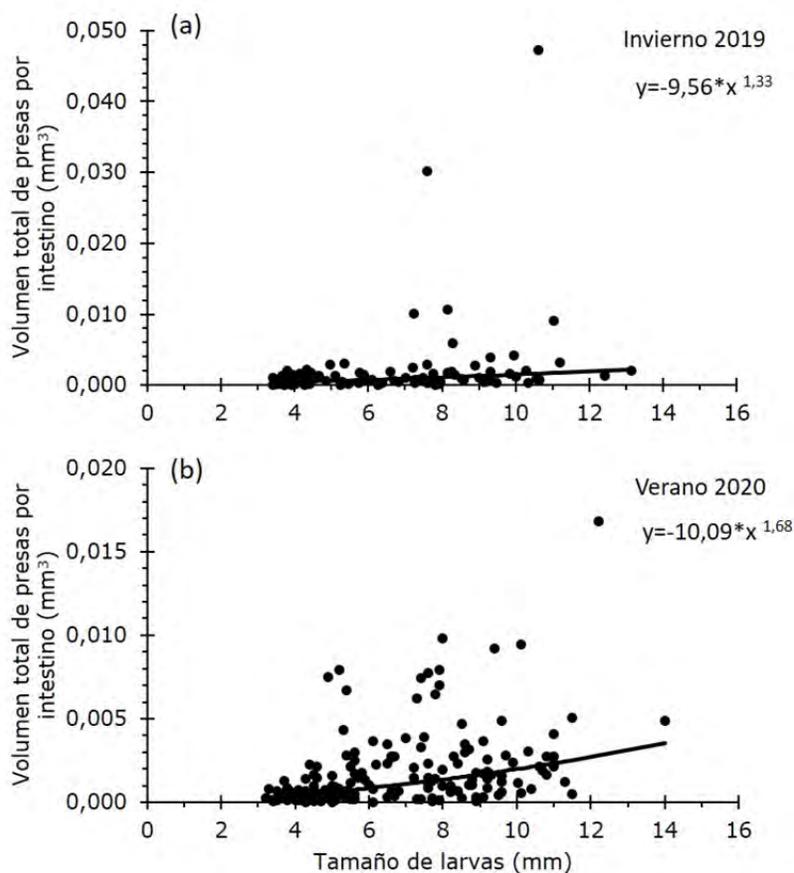
**Figura 117. Relación entre el tamaño de las larvas de anchoveta y el ancho máximo de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano.**

Al comparar las pendientes de ambas relaciones de invierno y verano esta dio como resultado que no hay diferencias significativas y por lo tanto las larvas de ambos periodos estacional tenderían a consumir presas más grandes a medida que aumenta su tamaño corporal (Prueba  $t = 0,606$ ;  $g.l.=570$ ;  $p = 0,544$ ).

Con relación al volumen total de presas por intestino, en invierno fluctuó entre  $1,4367 \times 10^{-6} \text{ mm}^3$  y  $0,047 \text{ mm}^3$ , pertenecientes a las presas que presentaron el ancho máximo del cuerpo (indeterminado y copépodo Calanoida, respectivamente). Para ver si existía una relación entre la LC y el VMPI, se ajustó un modelo potencial, obteniéndose un ajuste significativo. No obstante, el modelo explicó solo el 16% de la variabilidad de los datos (ANOVA,  $F=24,22$ ,  $p < 0,001$ ) (Tabla 45). En la Figura

**118a** se observa que la mayoría de los volúmenes totales de presas se concentraron bajo los 0,005 mm<sup>3</sup> en el rango de tamaños corporal de larvas analizadas.

En el periodo de verano, el volumen total mínimo de presas por intestino (**Figura 118b**) estuvo en 0,00001 mm<sup>3</sup> en un ítem presa indeterminado presente en larvas en preflexión y un volumen total máximo de 0,0167mm<sup>3</sup> correspondiente a copépodos Calanoida y en larva en flexión. El VTPI con la LC de las larvas, al igual que en verano se ajustó a un modelo potencial siendo significativa la relación, explicando el 20% de los datos ajustados (ANOVA,  $F=41,64$ ,  $p < 0,001$ ) (**Tabla 45**).

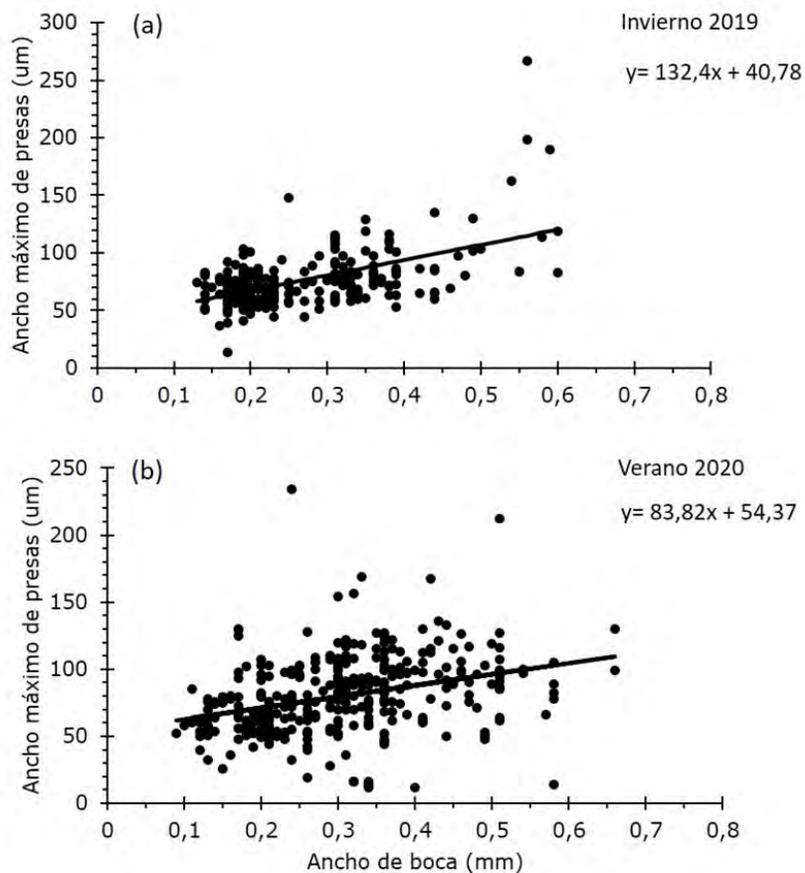


**Figura 118. Relación entre el tamaño de las larvas de anchoveta y el volumen total de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano.**

Al comparar las pendientes de ambas relaciones de invierno y verano, se obtuvo como resultado que no hay diferencias significativas, lo que indicaría que las larvas de ambos periodos estacional

a medida que aumenta su tamaño corporal aumentarían ya sea el tamaño de las presas o el número de ellas en la dieta (Prueba  $t = 0,936$ ;  $g.l.=290$ ;  $p = 0,349$ ).

La relación entre el AB y el AMPI presentó en ambos periodos una relación lineal significativa (ANOVA invierno,  $F=96,31$ ,  $p < 0,001$ ; verano,  $F=42,93$ ,  $p < 0,001$ ), lo que indicaría que la larva a medida que aumenta el ancho de la boca aumentaría el ancho de las presas que consume. Sin embargo, las relaciones son algo débiles al explicar el 29% de los datos en invierno y el 11% en verano (**Figura 119a y b, Tabla 45**). La comparación de ambas relaciones a través de las pendientes, obtenidas en invierno y verano, arrojó como resultado diferencias significativas (Prueba  $t = 2,613$ ;  $g.l.=570$ ;  $p < 0,001$ ).



**Figura 119.** Relación entre el ancho máximo de la boca de la larva y el ancho máximo de presas presentes en los intestinos. (a) invierno y (b) verano.

#### 4.2.4 Índice de selectividad de Chesson- $\alpha_i$

La composición y abundancia promedio (ind/m<sup>3</sup>) de las posibles presas de alimento del microzooplancton obtenidas en los muestreos diarios de agua en Bahía Chipana durante invierno y verano se entregan en la **Tabla 46**. En ella se observa que los grupos más abundantes en el medio durante el periodo de invierno fueron en orden de importancia ciliados, tintinido, nauplio, huevos invertebrados y copépodos. En tanto que en el periodo de verano se mantuvieron los cinco grupos más abundantes, pero cambiaron la importancia de sus contribuciones en abundancias. En el análisis de selectividad se utilizó los 3 ítems presas más consumidos por estado de desarrollo larval, dejando fuera la fracción fitoplanctónica. Se consideró, por lo tanto, huevo de invertebrado, nauplios y copépodo del microzooplancton, obteniéndose un valor de  $\alpha > 0,33$  (valor límite) que indica que hubo selección positiva por nauplios tanto por larvas en preflexión como en flexión durante el periodo de invierno y verano, a pesar de que durante el verano huevos de invertebrados estuvieron cercanos al valor límite (**Figura 120, Tabla 47**).

**Tabla 46. Abundancia media (ind/m<sup>3</sup>) y desviación estándar (d.e.) de los potenciales ítems de alimento de los grupos del microzooplancton obtenidos de los muestreos diarios en invierno y verano, en Bahía Chipana.**

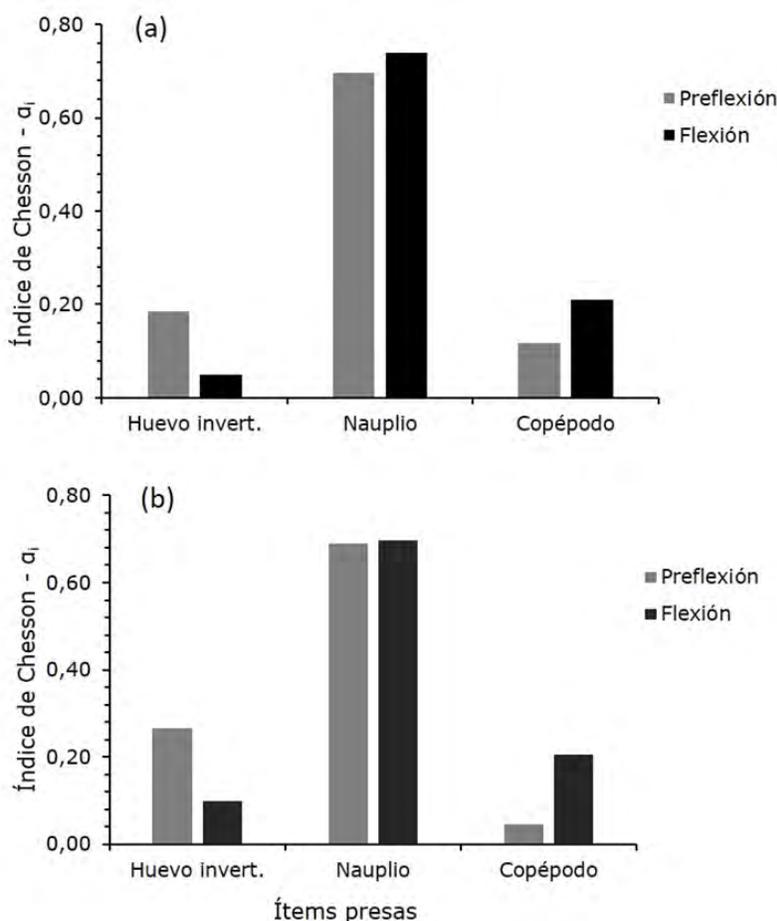
Grupo	INVIERNO		VERANO	
	Media (ind/m <sup>3</sup> )	d.e.	Media (ind/m <sup>3</sup> )	d.e.
Ciliado	5459,7	5470,3	8903,8	21414,7
Tintínido	1765,2	1163,0	11705,6	9560,8
Radiolario	65,6	59,2	408,05	376,9
Rotífero	44,4	53,9	82,9	159,1
Foraminífero	2,9	5,9	0,4	1,3
Nauplio	655,2	341,5	1803	1389,0
Copépodo	244,7	194,0	858,8	783,1
Huevo invertebrado	499,9	206,7	5240,7	5879,4
Larva de apendicularia	12,8	21,9	27	26,3
Larva de cifonauta	0,6	1,7	0	0
Larva de equinodermo	4,4	8,8	23	29,8
Larva de poliqueto	25,3	38,0	234,2	565,6
Larva de molusco	63,3	135,1	70,4	149,1

**Tabla 47. Índice de selectividad de Chesson -  $\alpha_i$ , para las presas principales de larvas de anchoveta por estado de desarrollo en Bahía Chipana. a) invierno y b) verano.**

a) Invierno		Presas	
Estado y parámetros	Huevo invert.	Nauplio	Copépodo
Preflexión			
n	78	78	78
$\alpha$	0,18	0,70	0,12
d.e	0,38	0,43	0,30
Flexión			
n	40	40	40
$\alpha$	0,05	0,74	0,21
d.e	0,22	0,42	0,39

b) Verano		Presas	
Estado y parámetros	Huevo invert.	Nauplio	Copépodo
Preflexión			
n	124	124	124
$\alpha$	0,27	0,69	0,04
d.e	0,40	0,42	0,18
Flexión			
n	35	35	35
$\alpha$	0,10	0,70	0,20
d.e	0,28	0,43	0,39



**Figura 120. Selectividad de presas (Índice de Chesson,  $\alpha_i$ ) de larvas de anchoveta por estado de desarrollo de Bahía Chipana. (a) invierno y (b) verano.**

#### 4.2.5 Experimentos de incubación de larvas

Se realizaron sucesivos experimentos con huevos de anchoveta colectados en Bahía Chipana y en Bahía Iquique, los que fueron incubados y mantenidos hasta la mortalidad total de las larvas en cada estanque.

El total de larvas de anchoveta colectadas en cada una de las experiencias de cultivo fue de 138 en total. La edad de las larvas obtenidas para el análisis estomacal fue de 1 día y hasta 39 días. Los tamaños fluctuaron entre los 3,5 y 14,6 mm de longitud corporal (LC) estos tamaños abarcan las etapas de desarrollo larval preflexión, flexión y postflexión (**Tabla 48**).

**Tabla 48. Número total de larvas de anchoveta obtenidas del medio de cultivo semi-intensivo.**

Nº larvas	Estadio
129	Preflexión
4	Flexión
5	Postflexión

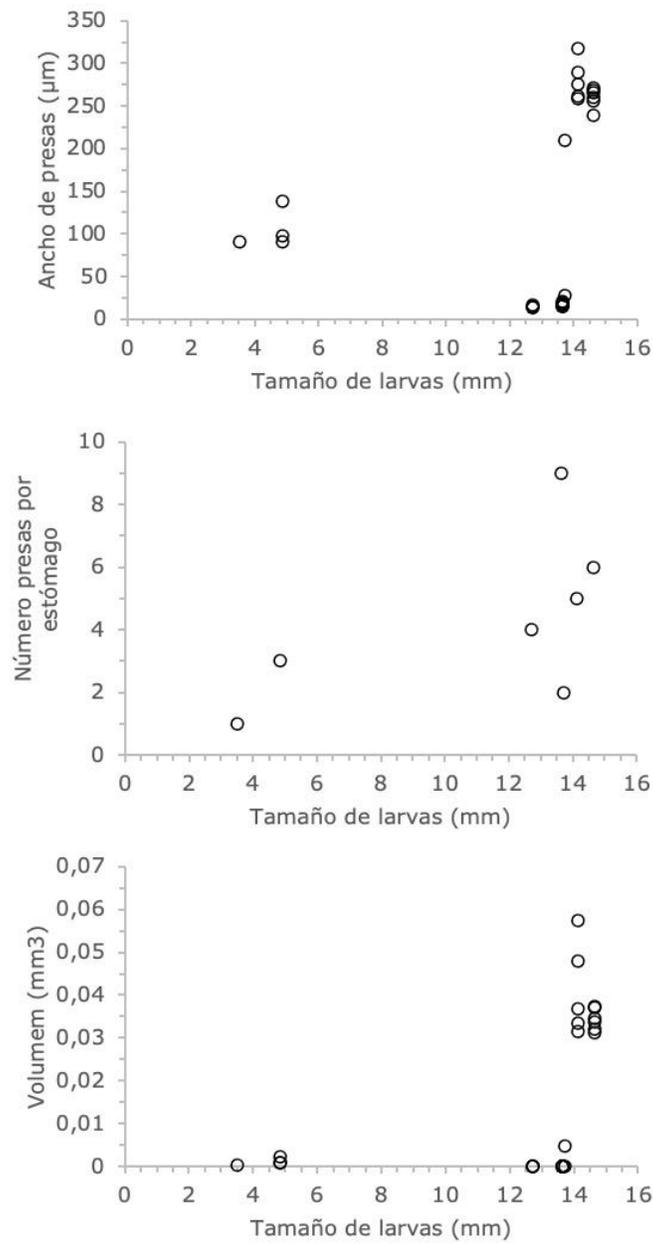
El análisis de la dieta de las larvas se basó en 54 estómagos, de los cuales solo 7 estómagos presentaron ítems presas (**Tabla 48**). De acuerdo con los análisis realizados correspondientes al número de presas por estómago, volumen total de presas por estómago y ancho máximo de presas por longitud corporal se aprecia una tendencia al aumento tanto en el número como en el tamaño de presas a medida que las larvas crecen (**Figura 121**). Los ítems presa más importante encontrados dentro de los estómagos de las larvas de anchoveta corresponden principalmente a nauplios, metanauplius, huevos de copépodos, copépodos y nanoflagelados (**Figura 122**).

La oferta alimentaria disponibles para las larvas en el mesocosmos durante las experiencias de alimentación estuvo compuesta principalmente por microorganismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos. Dentro del microfítoplancton se encontraron 18 especies de diatomeas siendo las del género *Thalassiosira* las más abundantes (**Tabla 50**), además de 8 especies de flagelados siendo *Gyrodinium* sp. las más abundantes durante el período que se mantuvieron las larvas en el sistema semi-intensivo. En cuanto al microzooplancton se pudieron identificar 4 grupos principales, el de los ciliados, tintinidos, crustáceos, rotíferos y nanoflagelados (**Tabla 51**).

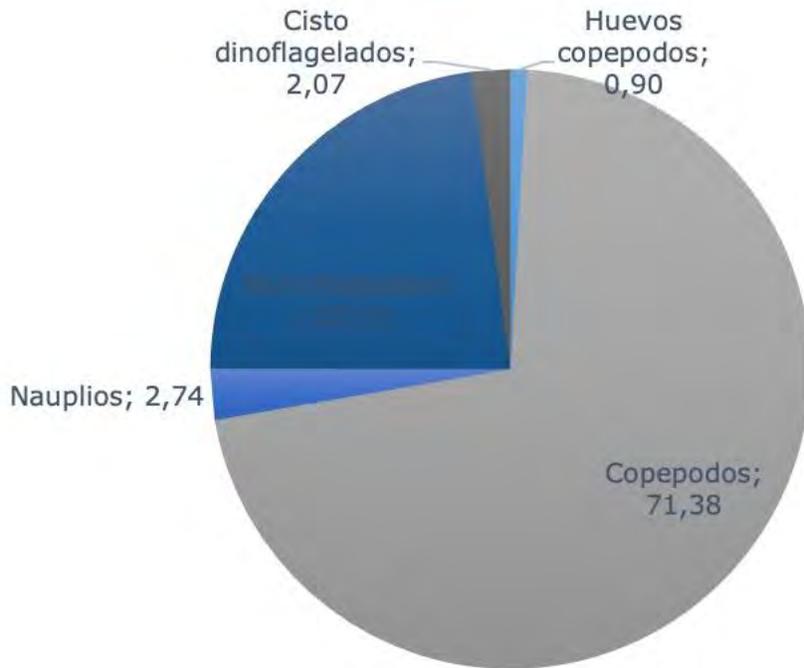
Con respecto a la incidencia alimentaria, dos grupos son los más recurrentes en los estómagos de las larvas, copépodos que representaron más del 71,38% del contenido y los nanoflagelados con 22,91% de IIR (**Tabla 52**). El ancho de presas varió desde 14 a 318  $\mu\text{m}$  (12,7 – 14,1 mm LC) (**Tabla 49**).

A pesar de contar con una cantidad baja de estómagos con alimento, podemos observar un cambio en la dieta a medida que las larvas crecen, ya que se encontraban presentes en los estanques en los que se mantenían las larvas componentes fitoplanctónicos como microzooplanctónicos, lo que indica que a pesar de tener fitoplancton disponible para su alimentación solo en larvas pequeñas

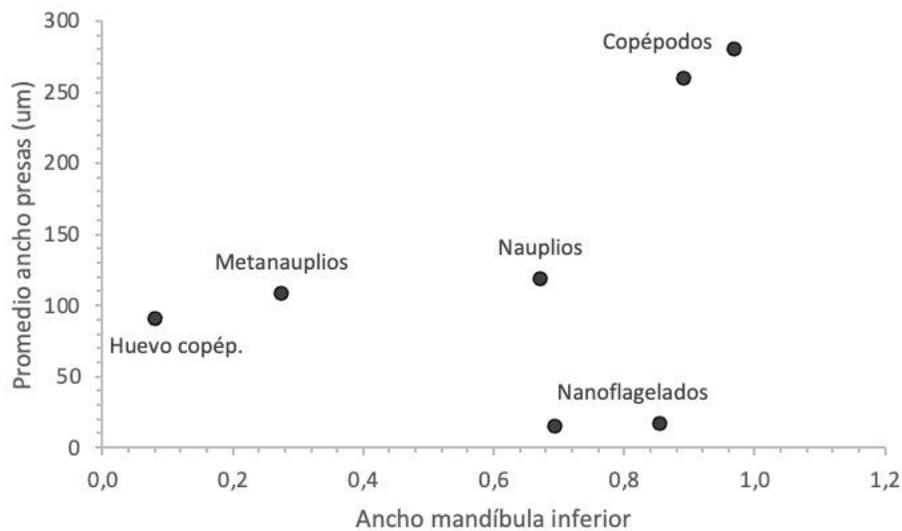
se encontraron presentes en los intestinos no así en larvas grandes donde se observa solo copépodos y elementos naupliars de mayor tamaño (Figura 123).



**Figura 121.** Número de presas por estómago, volumen total de presas por estómago (mm<sup>3</sup>) y ancho máximo de presas (µm) por longitud corporal (LC).



**Figura 122.** Índice de importancia relativa (%IRI) de la dieta de larvas de anchovetas en sistema semi-intensivo.



**Figura 123.** Relación entre ancho de la mandíbula inferior (mm) de larvas de anchovetas con respecto al ancho de las presas (um) encontradas en los estómagos.



**Figura 124. Larvas con contenido estomacal mantenidas desde la eclosión hasta postflexión (39 días) en sistema semi-intensivo.**

**Tabla 49. Número de presas por estómago.**

LC (mm)	Nº presas
3,5	1
4,9	3
12,7	4
13,6	9
13,7	2
14,1	5
14,6	6

En estado de postflexión (32 a 39 días) (**Figura 124**) se observa un aumento en el tamaño de las presas (copépodos) (**Figura 125**), lo que coincide con el aumento de tamaño corporal de las larvas además del aumento en la capacidad de captura de las presas.

**Tabla 50. Composición y abundancia promedios (cél/L) de fitoplancton presentes en los estanques de sistema semi-intensivo.**

Grupo	Promedio (cél/L)	Desv. Est.
<i>Diatomeas</i>		
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	160	
<i>Chaetoceros protuberans</i>	560	
<i>Chaetoceros sp.</i>	2240	
<i>Coscinodiscus centralis</i>	40	
<i>Cylindrotheca closterium</i>	3160	
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	1220	1442
<i>Ditylum brighwellii</i>	80	
<i>Guinardia delicatula</i>	8520	11936
<i>Guinardia striata</i>	80	
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	80	0
<i>Lithodesmium undulatum</i>	160	80
<i>Planktoniella sol</i>	80	
<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	14177	32032
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	80	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	4610	9891
<i>Thalassiosira angustelineata</i>	20353	25980
<i>Thalassiosira rotula</i>	960	1131
<i>Thalassiosira sp.</i>	43168	62971
<i>Dinoflagelados</i>		
<i>Ceratium furca var. eugramum</i>	80	
<i>Ceratium pulchellum</i>	20	
<i>Distephanus speculum var. octonarius</i>	120	57
<i>Eutreptiella marina</i>	200	
<i>Gymnodinium sp.</i>	80	
<i>Gyrodinium sp.</i>	864	1449
<i>Prorocentrum gracile</i>	410	358
<i>Protoperdinium pellucidum</i>	80	0

**Tabla 51. Composición y abundancia promedios (cél/L) de microzooplancton presentes en los estanques de sistema semi-intensivo.**

Microzooplancton (cél/L)	Promedio (cél/L)	Desv. Est.
Ciliados sp.	23920	58043
Strombidinium conicoides	80	
Strombidinium sp.	73208	102575
Tairina fusus	60	28
Tintinidos		
Codonellopsis balechi	80	
Eutintinnus fraknoi	320	416
Eutintinnus lususundae	80	
Helicostomella edentata	53	23
Helicostomella subulata	4960	8452
Tintinido sp.	1330	2474
Crustaceos		
Copepoditos	367	358
Nauplios	270	540
Rotíferos		
Rotíferos sp.	93	61
Huevos		
Huevo crustaceo	80	0
Huevo racimo	400	
Huevos sp.	120	113
Nanoflagelados sp	184531	121058

**Tabla 52. Dieta de larvas de anchoveta colectadas de sistema semi-intensivo. %N corresponde al porcentaje del número total de ítems presa, %V corresponde al porcentaje del volumen total de ítems presa, y %F a la frecuencia porcentual de la ocurrencia de un ítem dietario entre las larvas con contenido en sus estómagos. %IRI corresponde al índice de importancia relativa como porcentaje.**

Taxa	%N	%V	%F	IIR	%IIR
Huevos copepodos	3,3	0,1	3,3	11,4	0,90
Copepodos	36,7	98,4	6,7	900,2	71,38
Nauplios	10,0	0,4	3,3	34,6	2,74
Nanoflegelados	43,3	0,0	6,7	288,9	22,91
Cisto dinoflagelados	6,7	1,2	3,3	26,1	2,07



**Figura 125. Imagen de contenido estomacal de larvas de anchoveta.**

#### 4.2.6 Análisis cruceros previos. Alimentación.

La dieta de larvas de anchoveta colectada en el 2018 se basó en el análisis del contenido de 139 intestinos con rangos de tamaños entre 2,9 – 5,1 mm Longitud Corporal (LC). De esos, solo 62 larvas con contenido en sus intestinos (IA = 44,6%) (Tabla 53).

**Tabla 53. Número de larvas analizadas, larvas con contenido en el intestino e incidencia de alimentos (porcentaje) por intervalo de tamaño larvario.**

Análisis de larvas separadas por intervalo de tamaño larval			
Intervalo de tamaño	< 6mm	6-9 mm	>9 mm
Número Total de larvas analizadas	139		
Numero de larvas con contenido en el intestino	62		
% IA	44.6		

La dieta de larvas anchoveta recolectada durante este muestreo estuvo compuesta principalmente por microorganismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos, de los cuales se pudieron identificar 8 especies y un género. Dentro del microfitoplancton se encontraron una diatomea de la especie *Thalassiosira angustelineata*, una especie de flagelado *Ceratium pulchellum*, y un cisto indeterminado de flagelado. En cuanto al microzooplancton se pudieron identificar 2 grupos, el de los Tintinidos con las especies *Codonellopsis balechi*, *Codonellopsis pusilla*, *Helicostomella edentata* y *Dictyocysta duplex*, y un estadio larval nauplear de crustáceo (Tabla 54).

Los ítems presas más importante encontrados dentro de los estómagos de las larvas de anchoveta, el grupo de los Tintinidos y los nauplios fueron los más sobresalientes tanto numéricamente como

volumétricamente (**Tabla 54**). Con respecto al porcentaje, estos dos grupos son los más recurrentes en los estómagos de las larvas, donde las larvas naupleares representaron más del 78.3 % del contenido intestinal (**Tabla 54**).

Un total de 140 ítems presa fueron identificados en el contenido de los estómagos. El ítem presa más pequeño registrado en la larva de anchoveta fue el tintinido *Helicostomella edentata* (21µm de ancho) en una larva que midió 3,29 mm LC, y la presa más grande correspondió a un nauplio (85 µm de ancho) en una larva que midió 4,98 mm LC (**Figura 126**). El número de presas por intestino varió de 0 a 14 ( $3,07 \pm 3,06$ , excluyendo los ceros). El volumen total por estómago varió de  $3,041 \times 10^{-6}$  a  $0,0008 \text{ mm}^3$  (**Figura 126**).

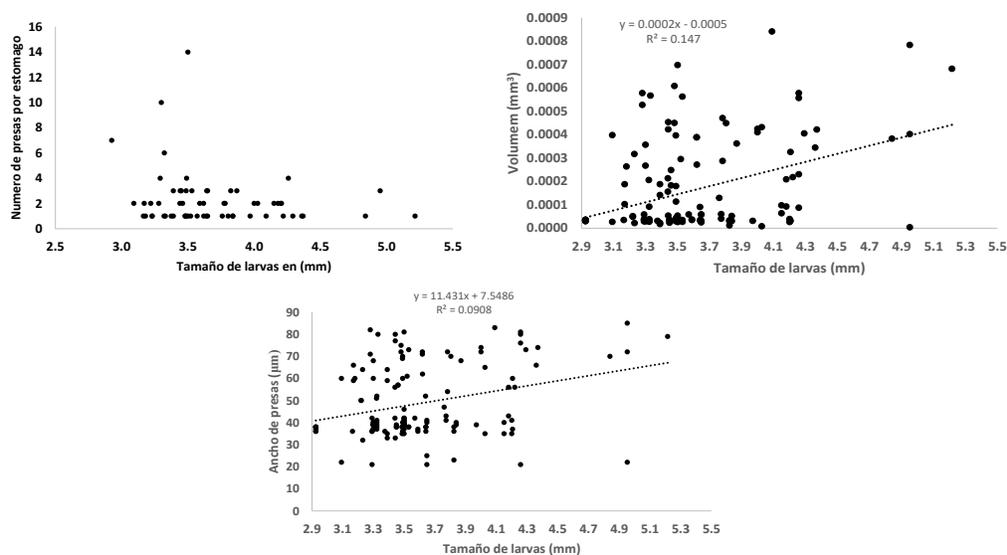
**Tabla 54. Dieta de larvas de anchoveta colectadas durante el muestreo del 23-08-18 en bahía Iquique. Expresada en porcentaje del número total de ítem presa (%N), volumen total de ítem presa (%V), frecuencia de ocurrencia de un ítem presa en las larvas con contenido intestinal (%F), índice de importancia relativa del ítem presa.**

Taxa	%N	%V	%F	%IIR
Tintinidos				
<i>Codonellopsis balechi</i>	40,71	8,32	30,65	17,87
<i>Codonellopsis pusilla</i>	10,00	3,25	14,52	2,29
<i>Helicostomella edentata</i>	1,43	0,24	3,23	0,06
<i>Dictyocysta duplex</i>	0,71	0,62	1,61	0,03
Zooplancton				
Nauplio	35,00	81,70	56,45	78,33
Fitoplancton				
<i>Ceratium pulchellum</i>	0,71	0,03	1,61	0,01
Cisto dinoflagelados	5,71	4,51	8,06	0,98
<i>Thalassiosira sp.</i>	3,57	0,58	6,45	0,32
Resto quitinoso	2,14	0,74	3,23	0,11

#### 4.2.7 Oferta ambiental

Los potenciales ítems alimenticios recolectados del medio ambiente durante el mes de agosto, estuvo representado por 48 especies de fitoplancton, las cuales estuvieron compuestas por 21 diatomeas y 27 flagelados. Dentro del grupo de las diatomeas se destacaron las especies *Thalassiosira angustilineata*, *Coscinodiscus centralis* y *Fragilariopsis doliolus*, cuyas abundancias promedio superaron las 1,5 cél/ml. Los flagelados por su parte estuvieron

representados principalmente por la especie *Ceratium furca* var. *berghii*, con una abundancia promedio de 1,8 cél/ml (Tabla 55)



**Figura 126. a) Número, b) volumen total de presas por intestino (mm<sup>3</sup>) y c) ancho máximo de presas (µm) por longitud corporal (mm LC).**

Por otro lado, el microzooplancton durante este mes se pudieron identificar 20 organismos pertenecientes a 5 grupos: Ciliados, con 2 especies, 1 género y ciliados indeterminados (Ciliados sp.); Huevos indeterminados (Huevos sp. y en racimo); Tintinidos, con 10 especies; Crustáceos, con estadios larvales naupleares, copepoditos y huevos de crustáceos indeterminados; y por último, Radiolarios con 1 especie. Los grupos microzooplantónicos más importantes del periodo de estudio correspondieron al de los Tintinidos, Crustáceos (nauplios) y Ciliados (ciliados ideterminados) por exhibir las más altas abundancias en el plancton. Dentro de los tintinidos las especies más representativas correspondieron a *Codonellopsis balechi*, *Helicostomella edentata* y *Ormosella acantharus* cuyas abundancias promedios superaron los 600 ind/L, seguido por crustáceos con estadios naupleares y ciliados indeterminados (prom. >180 ind/L) (Tabla 55).

**Tabla 55. Posible ítem de alimento para las larvas (fitoplancton y microzooplancton) presentes en la columna de agua durante el muestreo en Iquique. El promedio se obtuvo a partir de 5 muestras tomadas de 0, 5, 10, 20 y 30 m. El promedio (PROM) y la desviación estándar (DS) son células por ml (diatomeas y flagelados) e individuos por litro (microzooplancton). Los ítems sin SD estaban presentes en una sola muestra.**

MICROFITOPLANCTON (cel/ml)		AGOSTO	
GRUPOS	ESPECIES	PROMEDIO	DS
DIATOMEAS	<i>Asteromphalus heptactis</i>	0,04	
	<i>Chaetoceros affinis</i>	0,16	
	<i>Chaetoceros compressus</i>	0,24	
	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0,66	0,37
	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0,34	0,23
	<i>Chaetoceros protuberans</i>	0,04	
	<i>Chaetoceros teres</i>	0,06	0,03
	<i>Coscinodiscus centralis</i>	1,79	0,36
	<i>Coscinodiscus wailsii</i>	0,02	
	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	0,04	
	<i>Ditylum brighwellii</i>	0,03	0,02
	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	1,40	1,17
	<i>Lithodesmium undulatum</i>	0,12	0,06
	<i>Nitzschia longissima</i>	0,02	
	<i>Planktoniella sol</i>	0,13	0,08
	<i>Proboscia indica</i>	0,03	0,01
	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	0,03	0,01
	<i>Rhizosolenia robusta</i>	0,05	0,02
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0,27	0,28
	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	1,94	0,31
<i>Thalassiosira angustelineata</i>	2,86	1,98	
FLAGELADOS	<i>Ceratium azoricum</i>	0,14	0,16
	<i>Ceratium declinatum</i>	0,04	
	<i>Ceratium furca var. berghii</i>	1,85	2,14
	<i>Ceratium furca var. eugrammun</i>	0,09	0,03
	<i>Ceratium fusus var. seta</i>	0,09	0,10
	<i>Ceratium massiliense</i>	0,04	0,02
	<i>Ceratium minutum</i>	0,05	0,01
	<i>Ceratium pulchellum</i>	0,05	0,04
	<i>Dictyocha fibula</i>	0,03	0,01
	<i>Dinophysis acuminata</i>	0,14	0,08
	<i>Dinophysis caudata</i>	0,04	
	<i>Dinophysis rotundata</i>	0,02	
<i>Diplopsalis lenticula</i>	0,05	0,05	
MICROFITOPLANCTON (cel/ml)		AGOSTO	
GRUPOS	ESPECIES	PROMEDIO	DS
FLAGELADOS	Diplopsalis minor	0,10	0,06

Continuación Tabla 55

	<i>Distephanus speculum var. octonarius</i>	0,06	0.04
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	0,08	0.06
	<i>Polykrikos kofoidi</i>	0,02	
	<i>Protoperdinium bipes</i>	0,04	
	<i>Protoperdinium conicum</i>	0,03	0.01
	<i>Protoperdinium latissimum</i>	0,04	
	<i>Protoperdinium leonis</i>	0,02	
	<i>Protoperdinium oceanicum</i>	0,04	
	<i>Protoperdinium ovum</i>	0,04	
	<i>Protoperdinium pedunculatum</i>	0,04	
	<i>Protoperdinium pellucidum</i>	0,03	0.01
	<i>Protoperdinium pyrum</i>	0,04	
	<i>Protoperdinium steinii</i>	0,04	
MICROZOOPLANCTON		AGOSTO	
(ind/L)			
GRUPOS	ESPECIES	PROMEDIO	DS
CILIADOS	Ciliados sp.	222,5	204,3
	<i>Laboea strobila</i>	20	
	<i>Vorticella sp.</i>	390	
	<i>Tairina fusus</i>	20	
HUEVOS INDETERMINADOS	Huevo racimo	80	
	Huevos sp.	180	15,2
TINTINIDOS	<i>Codonellopsis balechi</i>	1720	79,0
	<i>Codonellopsis pusilla</i>	20	
	<i>Dadayiella bulbosa</i>	40	
	<i>Dictyocysta duplex</i>	50	14,1
	<i>Dictyocysta elegans var. lepida</i>	40	
	<i>Helicostomella edentata</i>	736	821,5
	<i>Helicostomella subulata</i>	210	268,7
	<i>Ormosella acantharus</i>	640	80,0
	<i>Parundella caudata</i>	50	14,1
	<i>Propectella cloparedei</i>	60	
CRUSTACEOS	Huevos crustaceos	17,5	5,0
	Nauplios	186	210,7
	Copepoditos	122,5	121,2
RADIOLARIOS	<i>Sticholonche zanclea</i>	10	

### 4.3 Objetivo específico 3: Caracterizar y estimar tasas de crecimiento y mortalidad larval en relación a la oferta ambiental alimentaria, fechas de nacimiento, forzantes ambientales, u otros factores que se identifiquen, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona.

#### 4.3.1 Crecimiento y mortalidad

La información de las estaciones de muestreo en Chipana para ambos periodos se entregó en el objetivo específico N° 1. Se capturaron larvas entre 1 y 16 mm en la estación de invierno y entre 1 y 12 mm en la estación de verano, con una mayor abundancia en verano y con una moda en los 3,5 mm (Figura 127 a,b).

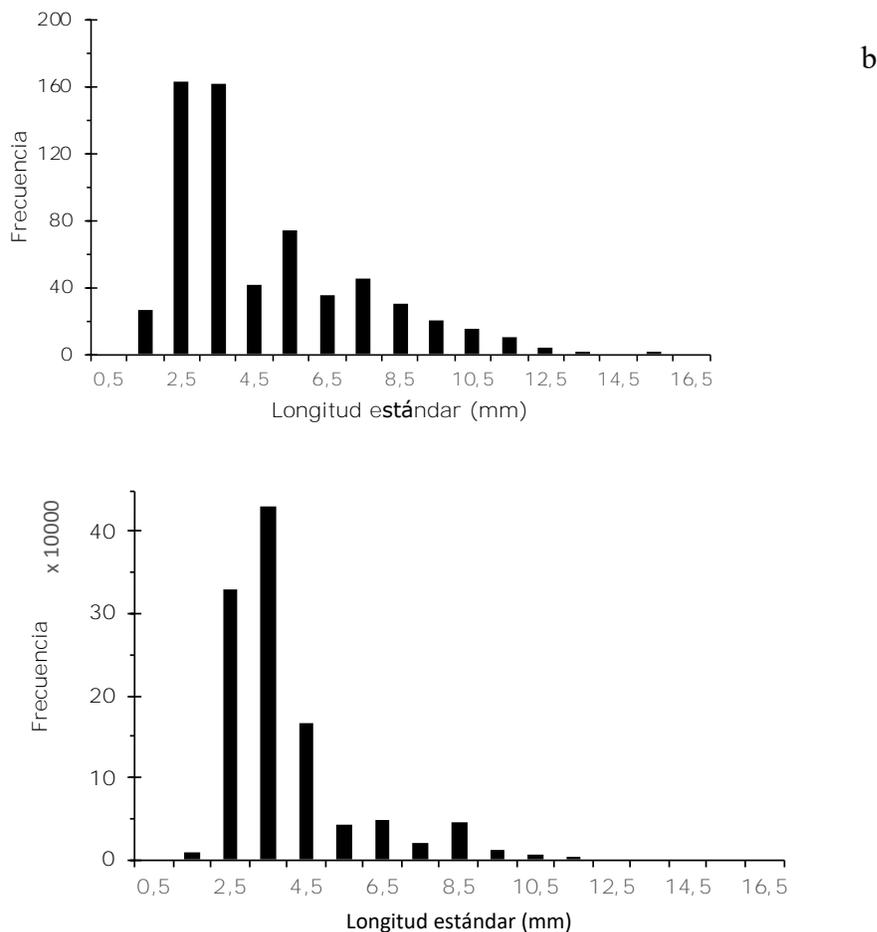
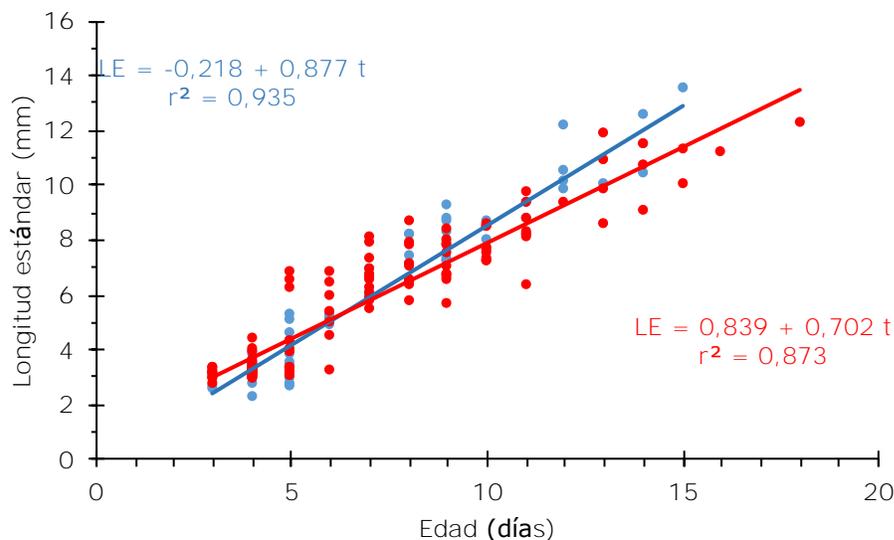


Figura 127. Distribución de frecuencia de longitud estándar de larvas capturadas en invierno (a) y en verano (b).

Las lecturas de los microincrementos realizadas dos veces en un mismo otolito no presentaron diferencias significativas, tanto en invierno (Wilcoxon;  $n = 61$ ;  $p = 0,083$ ) como en verano (Wilcoxon;  $n = 108$ ;  $p = 0,346$ ). El rango de edad estimada para invierno fue entre 4 y 15 días y en verano entre 3 y 18 días.

La trayectoria del crecimiento (longitud estándar versus edad en días) para ambos periodos y para el rango de edad estudiado, se comportaron de manera lineal (**Figura 128,**

**Tabla 56**). Ambas pendientes son significativamente diferentes (prueba  $t = 4,634$ ;  $g.l. = 184$ ;  $p < 0,001$ ), cuyos valores fueron  $0,877 (\pm 0,227)$  y  $0,702 (\pm 0,024)$  mm/día, para invierno y verano respectivamente. En la **Figura 129** se presenta la relación inversa y las ecuaciones (edad versus LE) con la cual se estimaron la edad para cada marca de clase de LE.

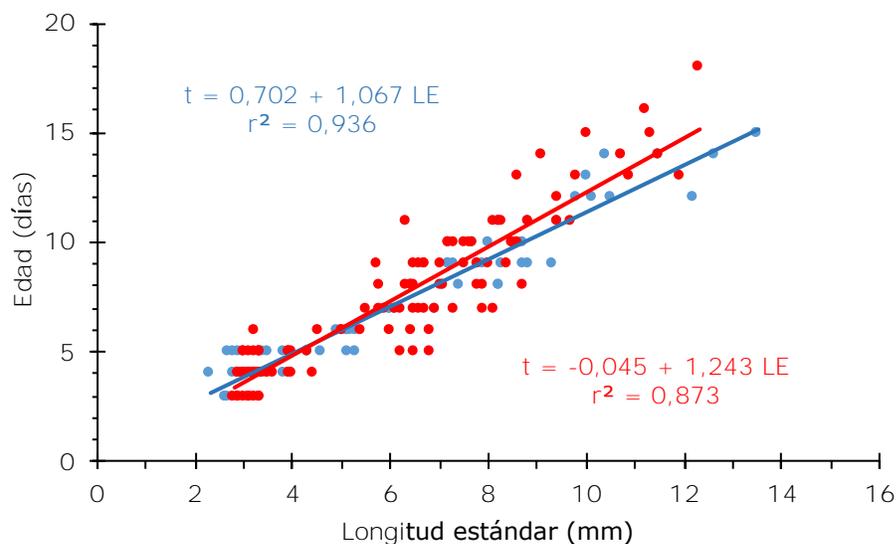


**Figura 128.** Ajuste de la longitud estándar versus la edad para larvas de anchoveta capturadas en Chipana en ambas estaciones. En azul invierno; en rojo verano.

Las fechas de nacimientos estimadas para la estación de invierno muestra una moda principal el 6 de septiembre del 2019 (**Figura 130**), encontrando nacimiento entre el 21 de agosto y 10 de septiembre 2019. Mientras que para el verano la distribución de nacimientos fue más amplia (**Figura 131**) en que se observa que se presentaron nacimientos entre el 2 y 24 de enero con una moda el 16 de enero.

**Tabla 56. Parámetros del ajuste lineal a la información de longitud estándar (mm) y edad (días) y su inversa para ambas estaciones. LE: longitud estándar. a: intercepto; e.e.: error estándar; b: pendiente; n: tamaño muestra.**

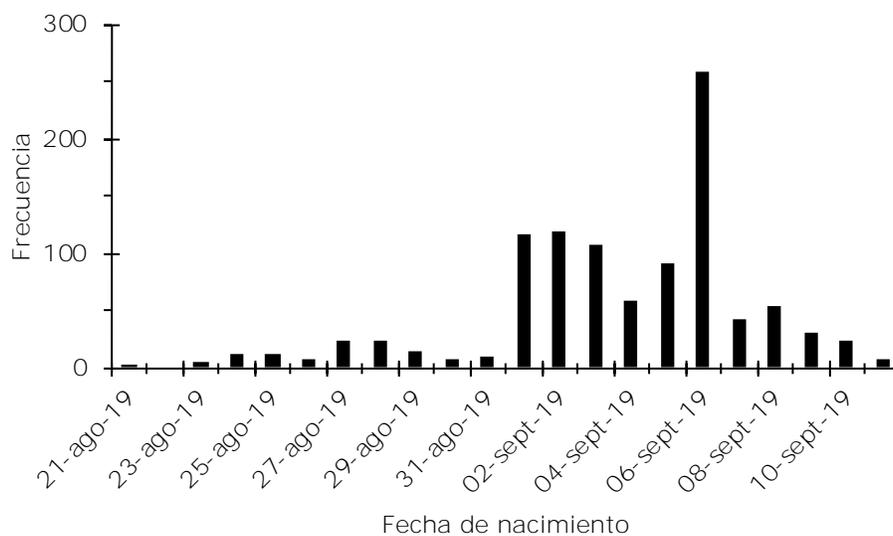
	a	e.e.	b	e.e.	n	valor p (b)
Invierno						
LE / Edad	-0,217	0,2273	0,877	0,0285	67	1,70E-40
Edad / LE	0,702	0,2369	0,067	0,0347		
Verano						
LE / Edad	0,839	0,1944	0,702	0,0247	119	2,40E-54
Edad / LE	-0,167	0,304	1,246	0,0475		



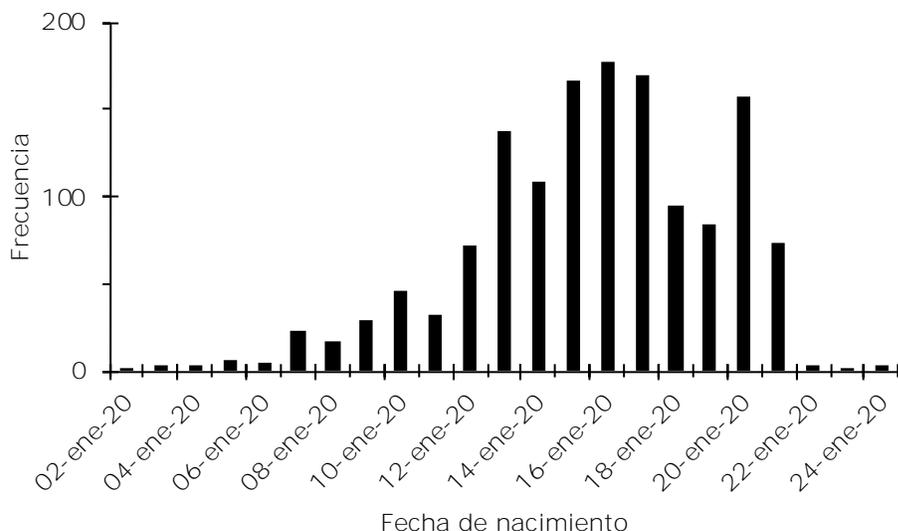
**Figura 129. Ajuste de la edad versus la longitud estándar para larvas de anchoveta de la estación de verano. Ecuación que se utilizó para transformar la marca de clase de LE a edad en días.**

**Tabla 57. Parámetros del ajuste a la relación tasa de crecimiento versus la longitud estándar de larvas de anchoveta capturadas en Chipana. La información de cada muestreo se dividió en dos fases (ver texto). a: intercepto; e.e.: error estándar; b: pendiente; n: tamaño muestra.**

	a	e.e.	b	e.e.	n	valor $p$ (b)
Invierno						
Fase I	-0,433	0,0255	0,167	0,0073	28	9,40E-19
Fase II	0,253	0,0367	0,037	0,0043	39	2,40E-10
Verano						
Fase I	-0,459	0,0551	0,199	0,0169	39	4,10E-14
Fase II	0,388	0,0609	0,024	0,0078	54	3,30E-03



**Figura 130. Frecuencia de fechas de nacimiento de larvas de anchovetas capturadas en la estación de invierno en Chipana.**



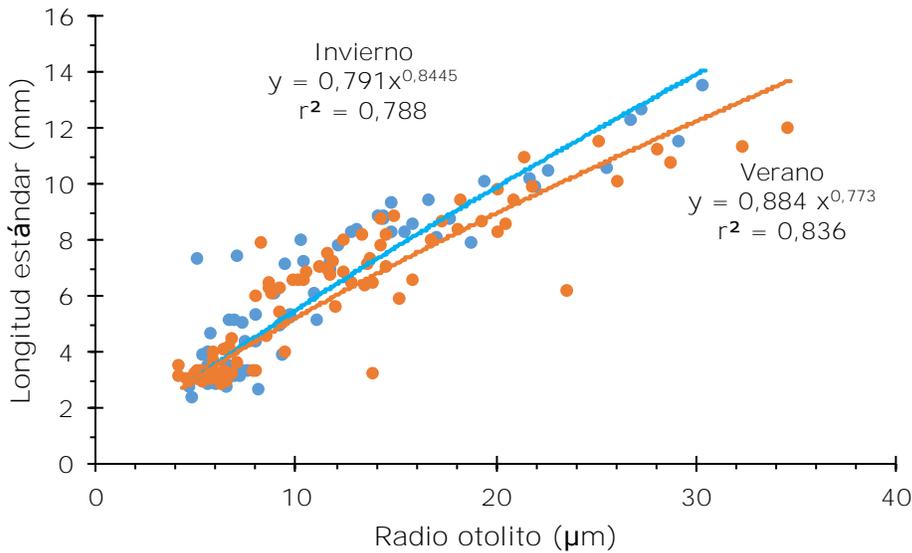
**Figura 131. Frecuencia de fechas de nacimiento de larvas de anchovetas capturadas en la estación de verano en Chipana.**

El ajuste de la LE versus RO entregó los siguientes resultados (**Figura 132**), para invierno  $LE = 0,791 RO^{0,845}$  ( $n = 67$ ;  $r^2 = 0,788$ ,  $p < 0,001$ ) y para verano  $LE = 0,884 RO^{0,773}$  ( $n = 93$ ;  $r^2 = 0,834$ ,  $p < 0,001$ ). El ITRO se calculó para cada larva, basado en el ajuste de la inversa de la relación LE – RO, cuyo modelo fue para invierno  $\ln OR = 0,307 + 0,934 \ln LE$  y verano  $\ln OR = 0,222 + 1,081 \ln LE$ .

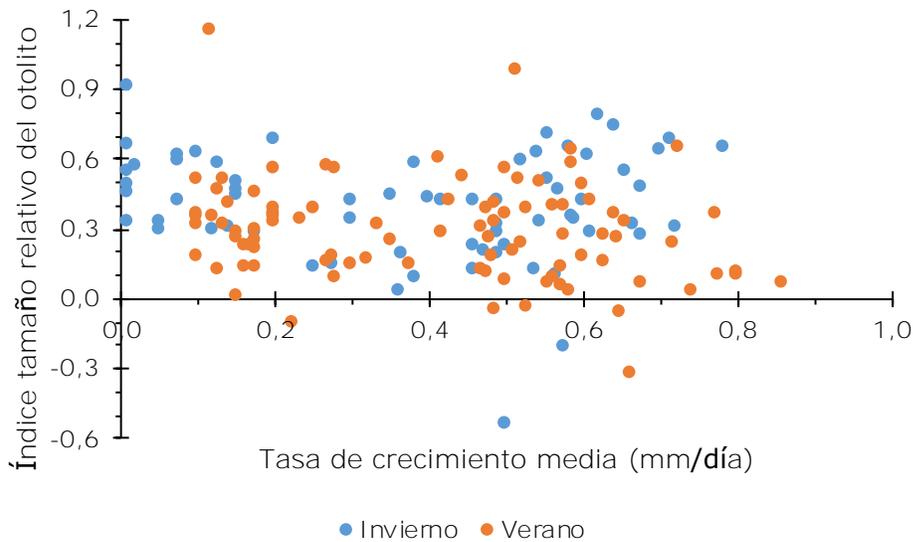
La tasa de crecimiento media para las larvas de invierno estuvo entre 0,01 y 0,78 mm/día, con una media de  $0,39 \pm 0,233$  mm/día y para verano entre 0,1 y 0,86 mm/día con una media de  $0,41 \pm 0,214$  mm/día. No se detectó el efecto de la tasa crecimiento somática sobre la relación entre tamaño del otolito y longitud de la larva para ambos periodos de muestreo. En la relación ITRO versus la tasa de crecimiento, estas no fueron significativas, es decir las pendientes no defieren del valor cero para ambas estaciones (**Figura 133**)(invierno  $r = -0,109$ ;  $n = 67$ ;  $p = 0,379$ ; verano  $r = -0,195$ ;  $n = 93$ ;  $p = 0,062$ ).

La relación entre la tasa de crecimiento y la longitud estándar muestra dos fases para ambos periodos de muestreo (**Figura 134**), comportándose estas de forma lineal. En invierno la Fase I llega hasta los 5 mm y en verano hasta los 4 mm, las pendientes no son significativamente diferentes (prueba- $t = 1,738$ ;  $g.l. = 65$ ;  $p = 0,087$ ), aunque no existen diferencias las líneas se comportan de manera paralela, es decir para una misma longitud estándar la tasa de crecimiento es mayor en la

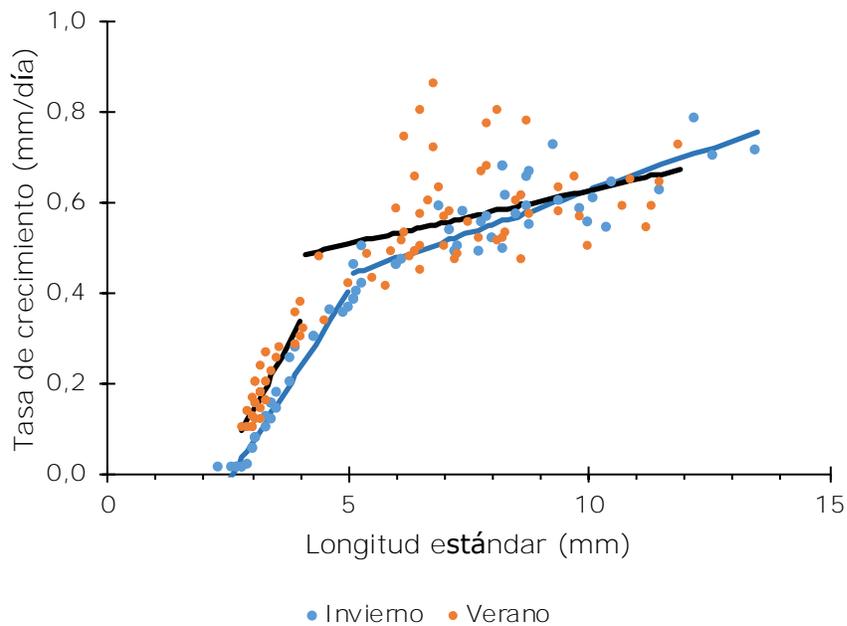
estación de verano. En la Fase II ambos ajustes no presentan diferencias en las pendientes (prueba- $t = 1,459$ ;  $g.l. = 91$ ;  $p = 0,148$ ). Se destaca para ambos periodos el cambio brusco de la tasa de crecimiento, en invierno a los 5 mm de 0,17 a 0,04 mm/día y en verano a los 4 mm de 0,2 a 0,02 mm/día.



**Figura 132. Relación entre la longitud estándar y radio del otolito de larvas de anchoveta capturadas en Chipana para los dos periodos de muestreo. . Verano: línea y puntos salmón. Invierno: línea y puntos celeste**

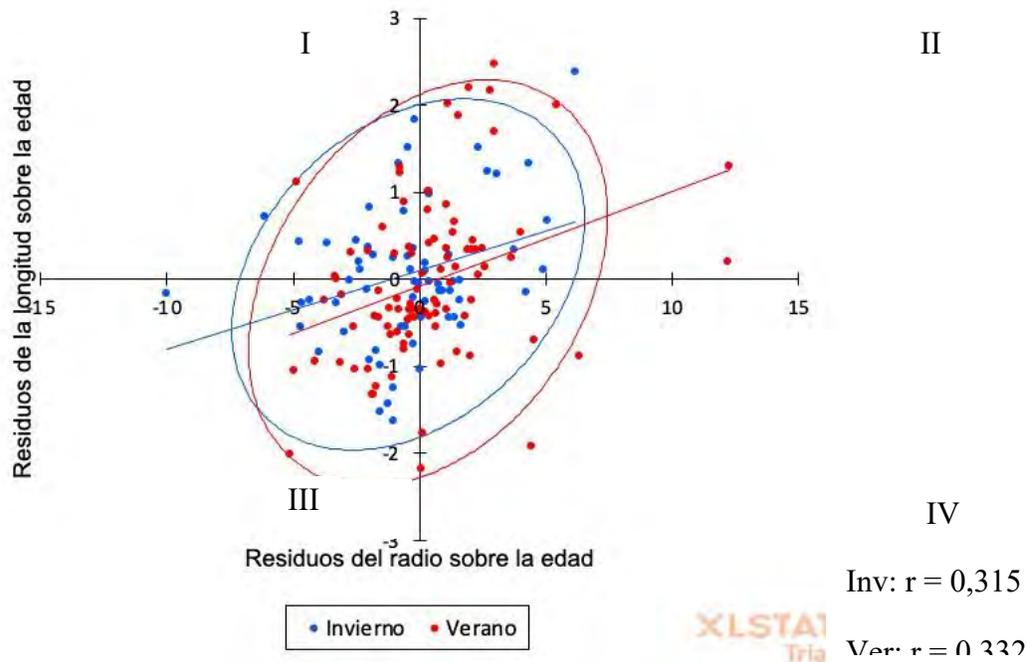


**Figura 133. Relación entre en ITRO y la tasa de crecimiento media de larvas de anchoveta capturadas en Chipana en los dos periodos de muestreo.**



**Figura 134. Relación entre la tasa de crecimiento y la longitud estándar de larvas anchovetas capturadas en Chipana en los dos periodos de muestreo.**

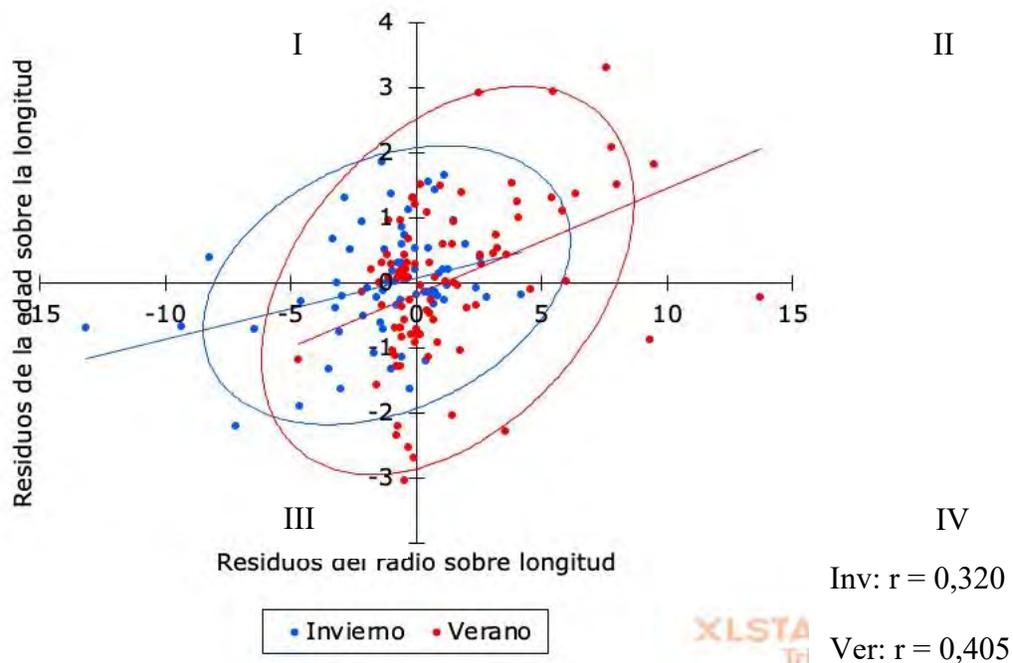
El análisis de los residuos de la longitud estándar de las larvas versus su edad con respecto a los residuos del radio del otolito versus la edad entrega que hay un significativo efecto de la variabilidad independiente de la edad. El coeficiente de correlación para el invierno fue de 0,32 ( $p < 0,01$ ) y para el verano de 0,33 ( $p < 0,001$ )(Figura 135). Del análisis cualitativo de la figura se aprecia que en el cuadrante II se tienen larvas grandes para su longitud con otolitos grandes y en el cuadrante III se presentan las larvas pequeñas para su edad con otolitos pequeños, en general se tiene que la mayor de cantidad de larvas se encuentra dentro de las elipses confianza que se graficaron a un 95%.



**Figura 135. Correlación para evaluar la variabilidad independiente de la edad en la relación de los residuos de la longitud de la larva sobre la edad y los residuos del radio del otolito sobre la edad (invierno  $p < 0,01$ ; verano  $p < 0,001$ ). Se grafica la elipse de confianza 95%.**

La comparación de los residuos de la edad versus longitud con los residuos del radio del otolito versus longitud entrega que hay un significativo efecto de la tasa de crecimiento. El coeficiente de correlación para el invierno fue de 0,32 ( $p < 0,01$ ) y para el verano de 0,405 ( $p < 0,001$ ) (Figura 136). Del análisis cualitativo de la figura se aprecia que en el cuadrante II se tienen larvas de edad “viejas” para su longitud con otolitos grandes y en el cuadrante III se presentan las larvas “jóvenes” para su longitud con otolitos pequeños, en general se tiene que la mayor de cantidad de larvas se encuentra dentro de las elipses confianza que se graficaron a un 95%.

Las tasas de producción diaria de larvas se presentan en las Tabla 58 y Tabla 59 para invierno y verano respectivamente, la producción fue mucho mayor en la estación de verano. El ajuste para estimar la mortalidad en la estación de invierno se realizó desde la marca de clase 2,5 mm lo que equivale a una edad de 2,3 días y para la estación de verano desde la marca de clase 3,5 mm equivalente a una edad de 4,2 días (Figura 137 y Figura 138). Los valores estimados de mortalidad fueron para invierno de  $0,433 \text{ día}^{-1}$  y para verano de  $0,529 \text{ día}^{-1}$  (Tabla 60). Ambas estimaciones no presentan diferencias significativas (prueba- $t=0,991$ ;  $g.l.$  19;  $p = 0,334$ ).



**Figura 136.** Correlación para evaluar la ocurrencia del efecto de la tasa de crecimiento en la relación radio del otolito longitud de la larva. Se grafican los residuos de la edad sobre la longitud con respecto a los residuos del radio del otolito sobre la longitud (invierno  $p < 0,01$ ; verano  $p < 0,001$ ). Se grafica la elipse de confianza 95%.

**Tabla 58.** Densidad promedio y tasa de producción diaria por clase de longitud y edad de larvas de anchoveta de la estación de invierno.

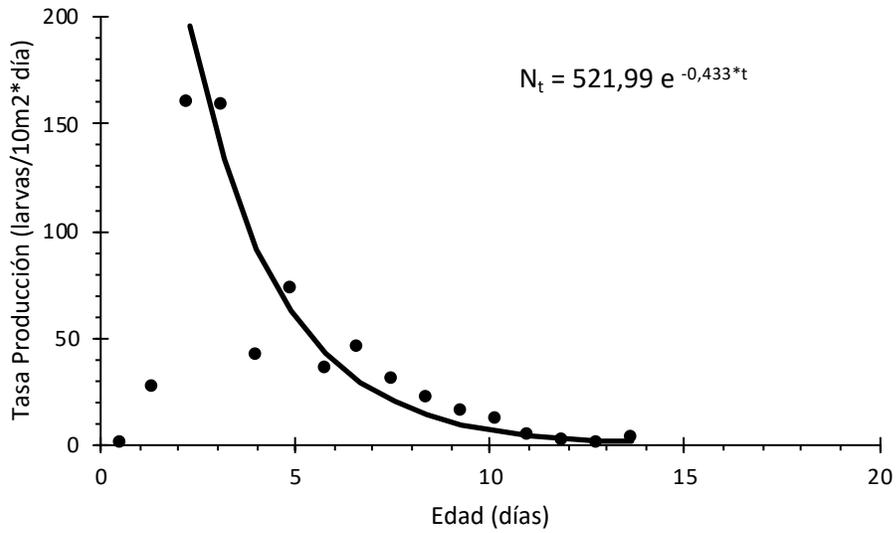
Marca de Clase (mm)	Densidad Promedio (larvas/10 m <sup>2</sup> )	Duración Promedio del Crecimiento (día)	Edad Promedio (día)	Tasa Producción (larvas/10 m <sup>2</sup> * día)
0,5	0	1,02	0,5	0,0
1,5	27	1,02	1,4	26,5
2,5	162	1,02	2,3	158,8
3,5	161	1,02	3,1	157,8
4,5	42	1,02	4,0	41,2
5,5	74	1,02	4,9	72,5
6,5	35	1,02	5,8	34,3
7,5	46	1,02	6,6	45,1
8,5	30	1,02	7,5	29,4
9,5	21	1,02	8,4	20,6
10,5	15	1,02	9,3	14,7
11,5	11	1,02	10,2	10,8
12,5	4	1,02	11,0	3,9
13,5	1	1,02	11,9	1,0
14,5	0	1,02	12,8	0,0
15,5	2	1,02	13,7	2,0

**Tabla 59. Densidad promedio y tasa de producción diaria por clase de longitud y edad de larvas de anchoveta de la estación de verano.**

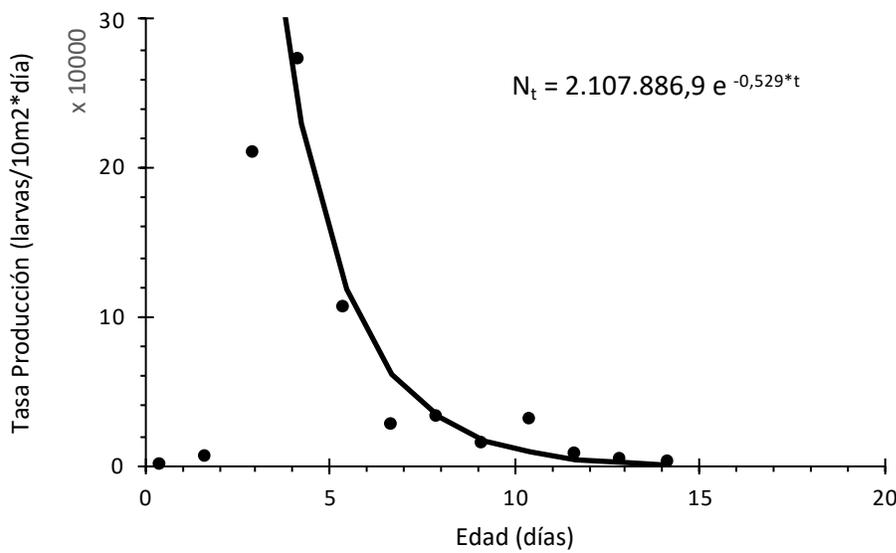
Marca de Clase (mm)	Densidad Promedio (larvas/10 m <sup>2</sup> )	Duración Promedio del Crecimiento (día)	Edad Promedio (día)	Tasa Producción (larvas/10 m <sup>2</sup> * día)
0,5	0	1,58	0,5	0,0
1,5	8383	1,58	1,7	5305,7
2,5	329570	1,58	3,0	208588,6
3,5	429382	1,58	4,2	271760,8
4,5	167499	1,58	5,4	106012,0
5,5	41938	1,58	6,7	26543,0
6,5	49602	1,58	7,9	31393,7
7,5	21875	1,58	9,2	13844,9
8,5	46971	1,58	10,4	29728,5
9,5	11071	1,58	11,7	7007,0
10,5	5837	1,58	12,9	3694,3
11,5	534	1,58	14,1	338,0

**Tabla 60. Parámetros del ajuste del modelo de mortalidad para invierno y verano de larvar de anchoveta capturadas en Chipana. N<sub>0</sub>: producción larval a la eclosión; e.e.: error estándar; Z: tasa instantánea de mortalidad (día-1); n: puntos observados.**

	N <sub>0</sub>	e.e.	Z	e.e.	n	valor p (Z)
<b>Invierno</b>						
N <sub>0</sub> / t	521,996	1,497	0,433	0,0524	12	8,84E-06
<b>Verano</b>						
N <sub>0</sub> / t	2107887	2,2131	0,529	0,0817	9	3,40E-04



**Figura 137. Tasa de producción diaria de larvas por edad para la estación de invierno en Chipana. Se muestra el ajuste con el valor de la tasa de mortalidad instantánea.**



**Figura 138. Tasa de producción diaria de larvas por edad para la estación de verano en Chipana. Se muestra el ajuste con el valor de la tasa de mortalidad instantánea.**

## 4.3.2 Aproximación a través de Modelación biofísica

### 4.3.2.1 Modelación hidrodinámica

Una de las actividades principales de esta aproximación fue la actualización del modelo hidrodinámico padre de 10 km de resolución para el área de estudio, el cual fue la base para los sucesivos modelos anidados que han utilizados para la modelación biofísica hacia el proceso de retención/advección de estadios tempranos de anchoveta. El modelo hidrodinámico padre ha sido actualizado hasta febrero de 2020, lo que permitió implementar los modelos anidados de 3 y 1 km de resolución (ver **Figura 6**). La **Figura 139** muestra el periodo total modelado por medio de un esquema espacio-temporal de la temperatura superficial del mar y su comparación respecto a los eventos El Niño que se ha planteado como un forzante principal para el área de estudio. Los resultados evidencian el buen desempeño del modelo respecto al proceso de propagación de las anomalías positivas de temperatura hacia el área de estudio en eventos El Niño positivos (1997-1998, 2015-2016 y 2019) y la relajación de este proceso bajo eventos La Niña (1999-2000, 2007-2008), lo cual puede tener un impacto relevante en la distribución espacial del desove de anchoveta y en el crecimiento y sobrevivencia de sus estadios tempranos. Uno de los focos a analizar son los posibles cambios en el patrón de circulación local bajo estos distintos escenarios atmosféricos-oceanográficos y el impacto en el patrón de retención/advección de huevos y larvas de anchoveta.

En el contexto de los proceso de circulación, la **Figura 140** muestra el nivel del mar simulado por el ROMS y su comparación con la señal obtenida desde el satélite AVISO, evidenciando el buen desempeño en reproducir la propagación de las ondas atrapadas a la costa generadas en eventos El Niño, las cuales modifican el patrón de circulación costero.

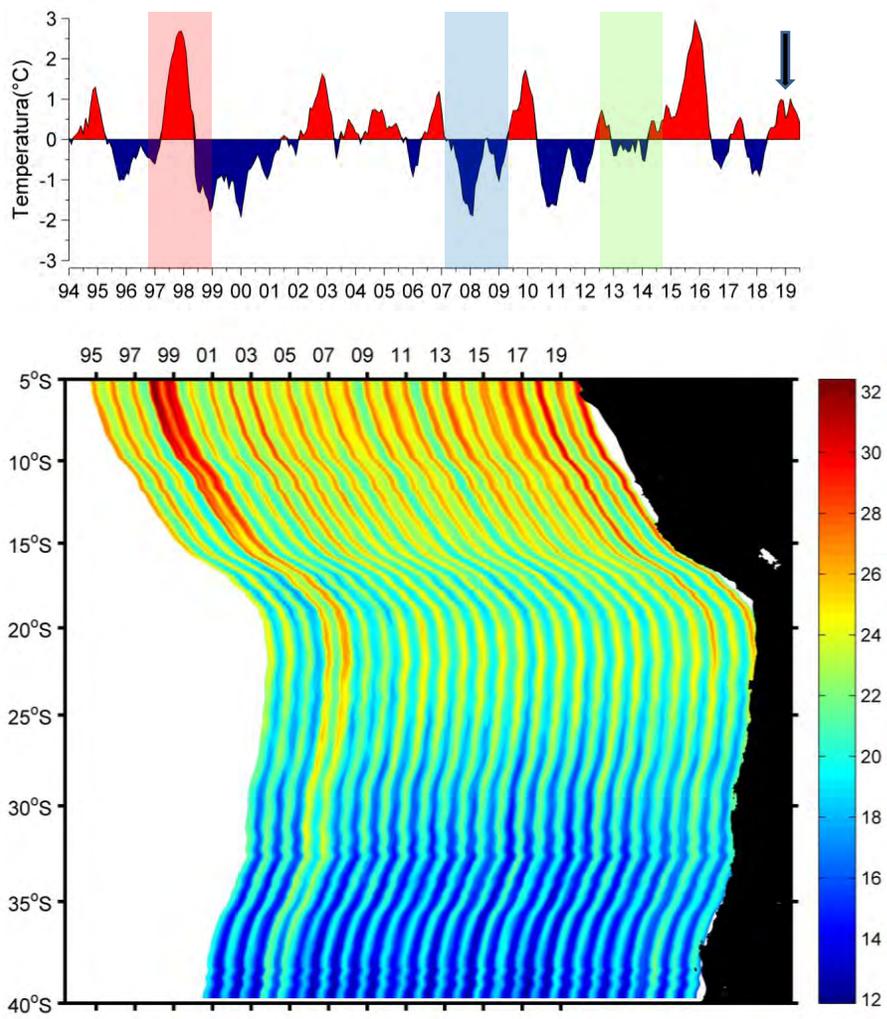
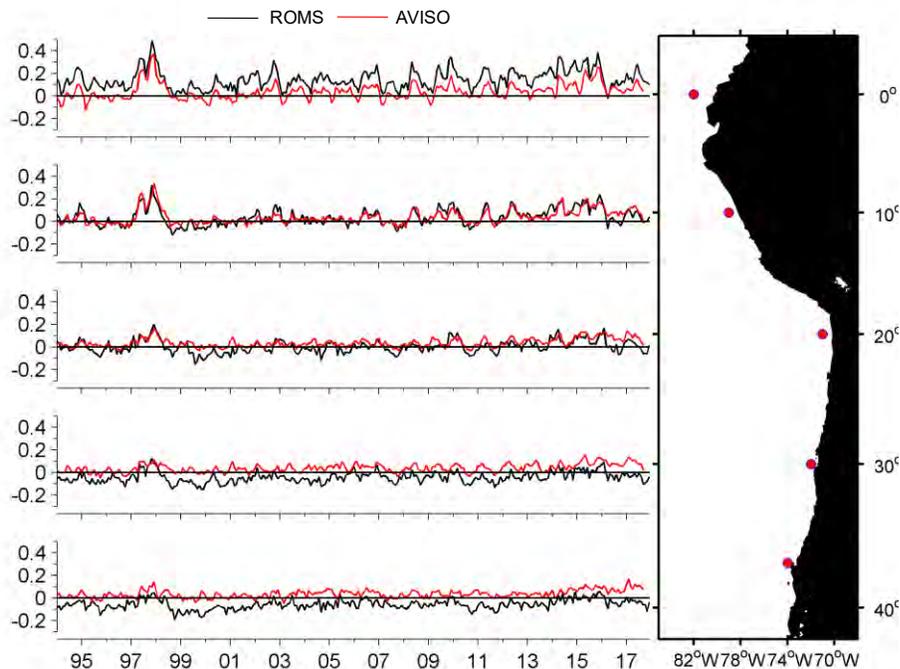


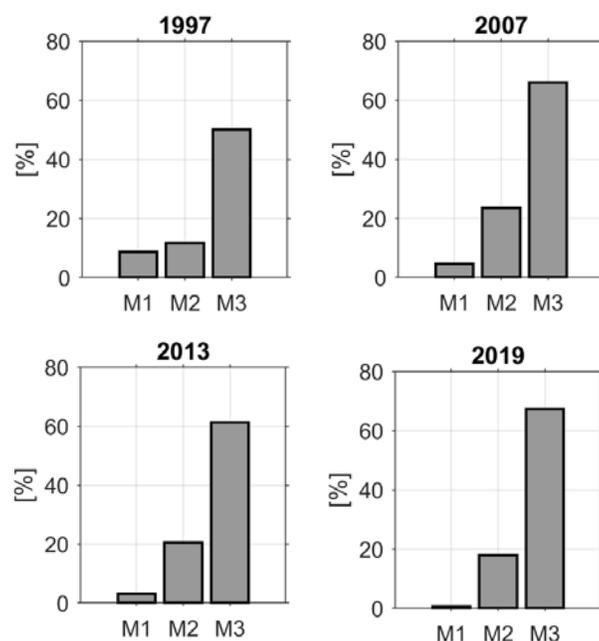
Figura 139. Panel superior: índice El Niño 3-4; Panel inferior: Temperatura superficial del mar costero-modelada mediante ROMS, periodo 1994-2019 (julio).



**Figura 140. Altura media del nivel del mar reproducida por ROMS y su comparación con la información satelital AVISO para 5 estaciones costeras: 0°S, 10°S, 20°S, 30°S y 37°S.**

#### 4.3.2.2 Fuentes de mortalidad evaluadas mediante modelación

El esquema de modelación presentado consideró dos hipótesis respecto a las fuentes de mortalidad orientadas a generar índices de sobrevivencia temprana de anchoveta: mortalidad por temperaturas extremas y, principalmente mortalidad por advección. La primera considera limitaciones fisiológicas hacia el desarrollo de huevos y larvas; y la segunda considera la exportación hacia zonas fuera de las regiones de alta productividad primaria propicias para el crecimiento y desarrollo. La **Figura 141** muestra las estimaciones de mortalidad promedio obtenidas para cada año de modelación evidenciando que, en general, la mortalidad por temperaturas extremas representa un porcentaje menor de las pérdidas modeladas (< 10%). No obstante, estos bajos niveles, se observaron diferencias entre años con niveles superiores en El Niño 1997 (8,6%) y La Niña 2007 (4,7%) respecto al año 2013 (2,9%) considerado un año de condiciones normales y a 2019 (0,7%) donde se evaluó la temporada primaveral donde se desarrollaron los muestreos biológicos específicos realizados en este proyecto. La **Tabla 61** muestra estas estimaciones segregadas mensualmente sugiriendo que esta fuente de mortalidad opera principalmente durante el segundo semestre del año.



**Figura 141.** Estimaciones de mortalidad temprana para anchoveta obtenidas mediante modelación biofísica; M1: mortalidad por temperaturas extremas, M2: mortalidad por advección a la etapa de larvas con saco vitelino, M3: mortalidad por advección a los 30 días de edad.

**Tabla 61.** Estimaciones de mortalidad mensual obtenidas mediante modelación biofísica; M1: mortalidad por temperaturas extremas, M2: mortalidad por advección a la etapa de larvas con saco vitelino, M3: mortalidad por advección a los 30 días de edad.

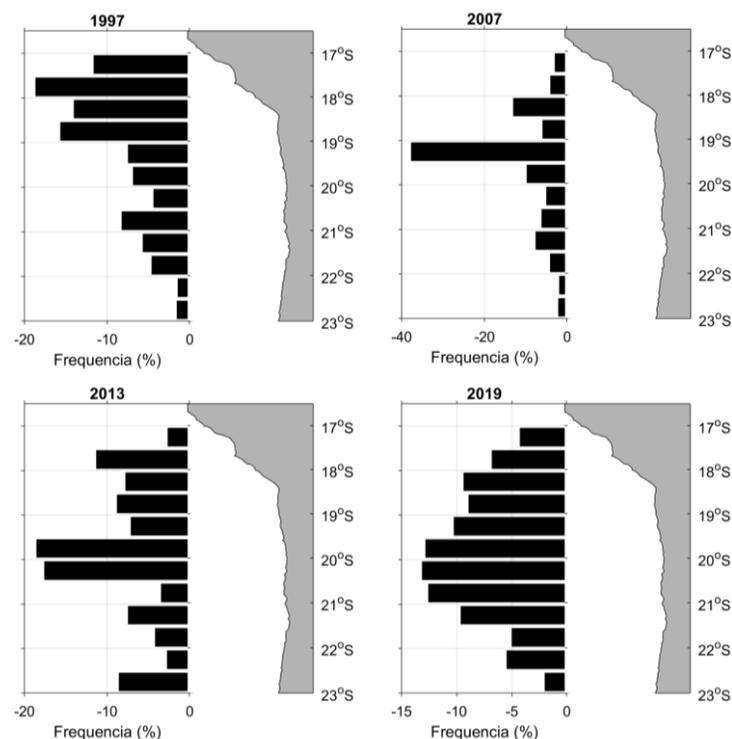
Mes	1997			2007			2013			2019		
	M1	M2	M3									
1	8,39	15,99	68,05	1,36	19,12	74,71	0,48	15,17	62,11			
2	5,99	14,12	52,74	1,80	21,64	79,57	0,50	16,08	72,08			
3	7,19	13,86	58,81	2,28	25,60	74,02	0,36	15,38	60,90			
4	7,25	14,16	60,45	1,35	25,60	67,15	0,19	15,12	62,96			
5	8,39	12,22	60,33	1,20	29,74	66,31	0,13	15,60	60,18			
6	7,19	10,52	66,21	2,30	32,08	66,37	0,78	16,46	56,55			
7	7,49	12,70	52,81	4,85	33,65	68,02	1,67	18,31	53,47			
8	7,12	10,24	48,59	2,16	32,59	76,40	2,72	21,81	55,32	1,02	17,75	65,27
9	8,18	12,27	52,72	3,12	37,02	83,16	3,70	24,69	65,79	0,53	20,35	71,76
10	7,25	14,50	45,85	4,62	27,98	75,79	3,22	24,67	65,52	0,69	15,48	64,07
11	6,14	10,07	47,11	6,57	35,78	76,86	2,37	20,91	73,54	0,54	18,53	67,65
12	9,19	14,21	38,79	7,06	21,50	45,11	5,65	18,24	43,60			

La naturaleza espacialmente-explicita de la modelación biofísica permite evaluar la ubicación espacial de cada individuo modelado en cada paso de tiempo generando estimaciones de retención/advección en una región determinada. Al mismo tiempo, la incorporación de esquemas temperatura-dependiente de desarrollo de huevos y crecimiento de larvas, permite analizar la condición de advección en distintas etapas del desarrollo ontogenético de la anchoveta. La **Figura 141** muestra los estimados de mortalidad por advección al momento de la eclosión (larvas con saco vitelino) donde ya han experimentado transporte mediado por las corrientes durante la etapa de huevo. A la etapa de larvas con saco vitelino, el nivel de advección fuera de las zonas de desove (M1) sugiere un nivel de mortalidad < 25% con importante variabilidad entre años. Durante El Niño 1997 se observa un nivel de mortalidad de 11,9%, mientras que durante La Niña 2007 esta escaló a 24,3% mientras que en 2013 y 2019 de 20,9 y 19,7% respectivamente (**Figura 141**). En las situaciones extremas de 1997 y 2007, las máximas diferencias estuvieron determinadas por el segundo semestre donde la advección disminuyó en 1997 y aumentó en 2007 (**Tabla 61**).

La mortalidad por advección se estimó para larvas de 30 días de edad, que corresponde a una etapa del ciclo de vida donde los individuos pueden controlar su ubicación vertical mediante actividad de su vejiga gaseosa, pero sus velocidades horizontales no son capaces de sobrepasar a la corriente, siendo aún organismos planctónicos sujetos de modelación biofísica. La **Figura 141** muestra las estimaciones de mortalidad por advección a los 30 días de edad (M3) que establecen niveles de pérdidas poblacionales superiores a 50% que constituye un porcentaje elevado al tratarse de una de las múltiples fuentes de mortalidad temprana de anchoveta. Las diferencias entre periodos de evaluación siguieron el mismo patrón que lo observado para M2, con menores niveles de pérdidas advectivas estimadas para el año 1997 (51,2%) en comparación a lo estimado para el año 2007 que constituyó el mayor nivel (67,4%) y respecto a 2013 y 2019 donde se estimaron niveles de 61,2% y 65,4% respectivamente. En las situaciones extremas de 1997 y 2007, las máximas diferencias estuvieron determinadas por el segundo semestre donde la advección disminuyó en 1997 y aumentó en 2007 (**Tabla 61**).

### 4.3.2.3 Retención y transporte

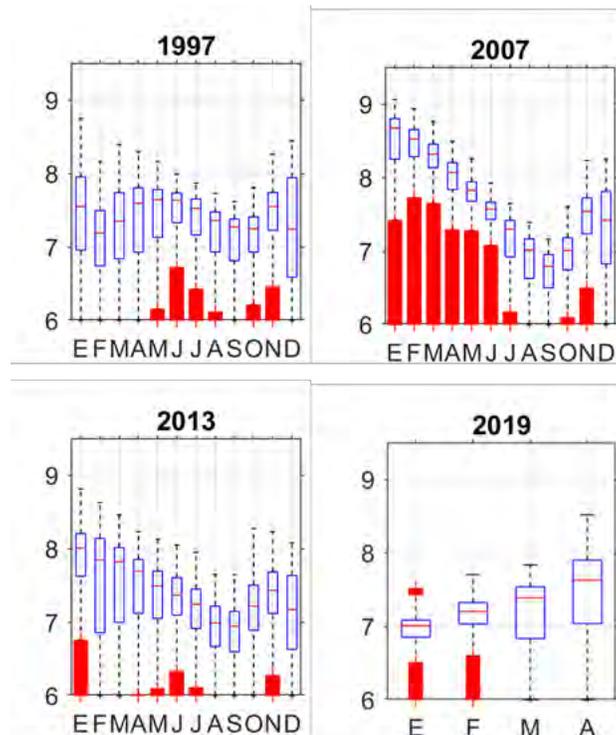
El proceso de transporte está definido por las trayectorias que establecen los individuos en su etapa planctónica producto de la acción de la circulación marina. La modelación biofísica permitió evaluar la ubicación de los individuos 30 días posterior a la acción del transporte de huevos y larvas, y establecer las diferencias bajo distintos escenarios ambientales. La **Figura 142** muestra la frecuencia de distribución de individuos modelados a los 30 días de edad por banda latitudinal evidenciando que en 1997 la distribución espacial estuvo mayormente centrada al norte de 19°S sugiriendo que esta zona se constituye como el principal sumidero de individuos posterior al proceso de transporte, no obstante, se observa representación a lo largo de todo el perfil latitudinal con un 25% distribuido al sur de 20°S. En consistencia con los mayores niveles de advección, el año 2007 evidenció una distribución de individuos modelados unimodal centrado entre 19° y 20°S y baja representación en los extremos de distribución (14% al sur de 20°S). En el caso de los años 2013 y 2019 mostró una distribución más uniforme sugiriendo probabilidad de encuentro de individuos de 30 días de edad a lo largo de todo el perfil latitudinal, mayoritariamente entre 19° y 22°S.



**Figura 142. Distribución latitudinal de larvas de anchoveta 30 de días de edad simuladas por modelación biofísica para cada uno de los periodos considerados en este estudio.**

#### 4.3.2.4 Crecimiento modelado

El esquema de modelación biofísica presentado incluye un esquema de desarrollo para huevos y crecimiento lineal para larvas, ambos dependientes de la temperatura que experimentan en cada paso de tiempo la cual es heredada de ROMS. El modelo de crecimiento larval es una simplificación del crecimiento corporal donde la única covariable que determina la tasa de crecimiento es la temperatura, sin embargo, permite analizar cuál sería el potencial impacto de la variabilidad ambiental en el crecimiento individual y entrega elementos de discusión hacia la sobrevivencia temprana de anchoveta.



**Figura 143. Talla media de larvas de anchoveta a los 30 días de edad simulada mediante modelación biofísica para cada uno de los años estudiados.**

La **Figura 143** muestra la talla media larval modelada a los 30 días de edad evidenciando que existe una importante variabilidad individual en el crecimiento asociada a las condiciones que experimentan a lo largo de su historia modelada. Estacionalmente, se observa una disminución de

las tasas de crecimiento asociadas a la época invernal donde el sistema manifiesta una disminución de la temperatura. Interanualmente, resulta interesante las alteraciones en el ciclo anual producto del cambio en el régimen térmico (ver **Figura 139**). Considerando al año 2013 como un año normal en términos de temperatura del mar, el ciclo anual se manifiesta según lo descrito, con una disminución del crecimiento entre junio y septiembre. El año 1997, un año cálido El Niño, muestra una menor amplitud en las tasas de crecimiento principalmente debido a una menor disminución térmica invernal, mientras que en 2007 un año frío La Niña, la amplitud del crecimiento fue considerablemente mayor asociada a anomalías negativas que se manifestaron principalmente en invierno.

#### **4.3.2.5 Hacia un índice de reclutamiento incorporando modelación biofísica**

Como ha sido sugerido en Vásquez *et al.* (2019), para la obtención de un índice de (pre) reclutamiento que incorpore aspectos biofísicos es preciso contar con información que dé cuenta de las condiciones iniciales de abundancia del desove anual (relacionadas con el potencial reproductivo del stock desovante) y la sobrevivencia durante el periodo de vida larval pelágico (*i.e.* 30, 60, 90 días). La sobrevivencia es explícitamente obtenida en el modelo biofísico, sin embargo, la magnitud del desove anual debe ser proporcionada mediante información auxiliar. En el norte de Chile se realiza cada año desde 1995 (a excepción de los años 1998 y 2010) el crucero destinado a la estimación de la biomasa desovante mediante el método de producción diaria de huevos. Uno de los principales productos generados del análisis de la información provista por este crucero, es la producción diaria de huevos por unidad de área, además del área efectiva de desove para la especie (ver Cubillos *et al.* 2007 para detalles), lo que permite estimar la producción total de huevos en toda el área de desove por día a lo largo de la temporada principal de desove. Luego, considerando que la duración en días de la temporada reproductiva es posible de estimar (ver Claramunt *et al.* 2014 para detalles y Vásquez *et al.* 2019 para aplicación) es posible obtener un estimado de la abundancia total del desove anual el cual puede ser la base para el cálculo de un índice de reclutamiento que incorpore tanto la mortalidad por advección, como otras fuentes de mortalidad cuantificables durante una temporada reproductiva (*i.e.* predación, falla de crecimiento, inanición, etc.). De esta manera, un índice de sobrevivencia hacia el reclutamiento podría equivaler a:

$$IRB = P_0 * A * TD * IMBF * M2 * M3 \dots Mn$$

donde, *IRB*: Índice de Reclutamiento biofísico; *P<sub>0</sub>*: Producción diaria de huevos; *A*: Área efectiva de desove; *TD*: Duración de la temporada de desove (en días); *IMBF*: Índice de sobrevivencia del modelo biofísico; *M<sub>n</sub>*: tasas de mortalidad desde otras fuentes de estimación.

En este índice los términos *P<sub>0</sub>*, *A* y *TD* constituyen el potencial reproductivo en términos de producción total de huevos por temporada reproductiva, mientras que el *IMBF* en conjunto con las distintas otras fuentes de mortalidad evaluables constituyen las pérdidas poblacionales en una frontera de tiempo determinada. Este índice está planteado en términos de una escala temporal asociada a la temporada reproductiva, sin embargo, dependiendo de la resolución de los análisis, podría ser adaptable a una escala menor (i.e. mes, cohorte, etc.).

#### **4.4 Objetivo específico 4: Proponer indicadores tempranos del éxito o fracaso de las clases anuales, condicionado a la variabilidad espacio temporal de la zona.**

##### **4.4.1 Indicadores de Predación**

A la luz de los resultados sobre predación, se propone la siguiente Tabla de decisión (**Tabla 62**), que establece criterios de condiciones ambientales (ubicación y abundancia de predadores, temperatura del agua de mar a 10m) y de distribución de huevos y larvas de anchoveta para definir ranking de condiciones de riesgo a depredación por invertebrados, principalmente gelatinosos.

**Nota:** La banda costera (costa-10mn) es la que concentra la mayor abundancia de huevos y larvas obtenidos a partir de los cruceros estacionales de invierno (2019) y verano (2020), por lo tanto, se utilizó esta zona para construir los criterios de ranking de decisión.

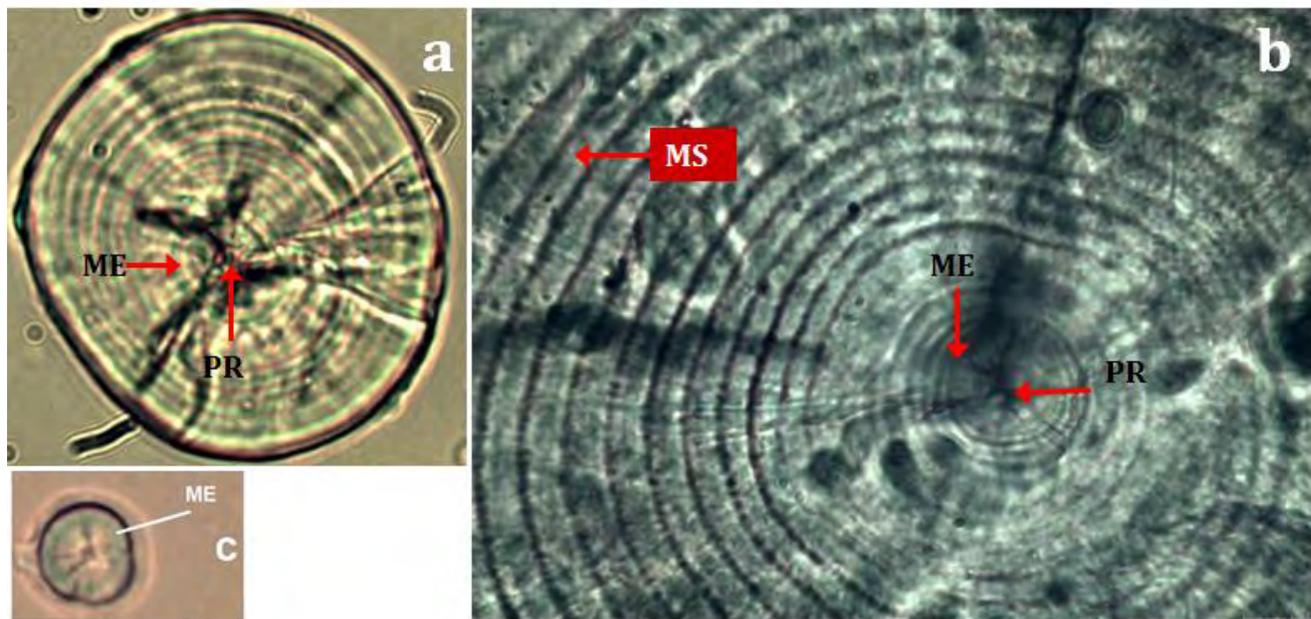
**Tabla 62. Tabla de decisión sobre probabilidad de predación**

HABITAT DE HUEVOS Y LARVAS Y RIESGO A POTENCIALES DEPRADADORES INVERTEBRADOS (PRINCIPALMENTE GELATINOSOS)				
Distribución de huevos y larvas de anchoveta (costa – océano)	Ubicación de Predadores	Temperatura estacional costera	Resumen de condiciones ambientales	Ranking de condiciones según riesgo
Sector costero amplio (< 10mn)	Baja abundancia quitinosos y gelatinosos en zona costera y oceánica	baja temperatura (< 17,8°C)	Amplia zona costera, bajos predadores, baja temperatura previene aparición de predadores	Condición óptima, riesgo mínimo a predación
Sector costero estrecho (< 5mn)	Baja abundancia quitinosos y gelatinosos en zona costera y oceánica	baja temperatura (< 17,7°C)	Zona costera estrecha, bajos predadores, baja temperatura previene aparición de predadores, pero no existe franja 5-10mn buffer	Condición buena, riesgo bajo a predación
Sector costero amplio (< 10mn)	Alta abundancia quitinosos y gelatinosos en zona oceánica	alta temperatura (> 17,8°C)	Amplia zona costera, altos predadores en agua de altas temperatura son riesgo pero están en sector alejado de la costa.	Condición mediana, riesgo moderado a predación
Sector costero estrecho (< 5 mn)	Alta abundancia quitinosos y gelatinosos en zona costera	alta temperatura (> 17,7°C)	Zona costera estrecha, altos predadores en agua de alta temperatura cercana a la costa lo cual confiere riesgo a aumento rápido de predadores al no existir franja 5-10mn buffer	Condición desfavorable, riesgo muy alto a predación

## 4.4.2 Evaluación de la hipótesis de crecimiento – mortalidad

### 4.4.2.1 Análisis microincrementos de los otolitos de larvas y pre-reclutas

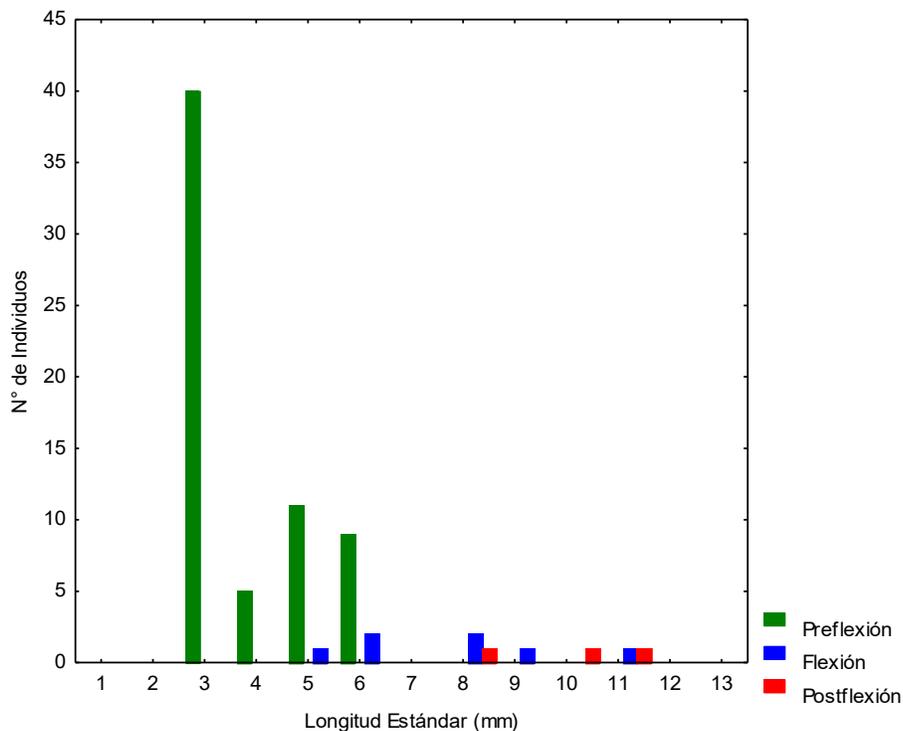
Los otolitos sagitales de anchoveta presentaron una marca de eclosión distintiva formada entre los 3 y 7 ( $4,43 \pm 1,16$ ) y entre los 3 y 9  $\mu\text{m}$  ( $6,88 \pm 1,73$ ) de distancia del primordio, para larvas (**Figura 144a**) y pre-reclutas (**Figura 144b**), respectivamente, con porcentajes de variación de alrededor del 25%. En la mayoría de los otolitos se observó un patrón claro y regular de microincrementos que fluctuaron entre 0,8 y 16,93  $\mu\text{m}$ , y que se ensancharon a medida que se alejaron del primordio, Si bien fue posible identificar micro-incrementos sub-diaros, los micro-incrementos diarios aparecieron mucho más regulares, a través de toda la secuencia desde el primordio hasta el borde de los otolitos (**Figura 144**). En el caso de 1 larva en pre-flexión, de 3,1 mm de longitud estándar, no se observaron anillos visibles (**Figura 144c**).



**Figura 144. Microestructura cercana al núcleo de otolitos sagitales de una larva en postflexión (a), un pre-recluta (b) y una larva en pre-flexión de la anchoveta. ME: Marca de Eclósión, PR: primordio. MS: Micro-incremento subdiario.**

#### 4.4.2.2 Estadísticas Generales de LT y Edad

De las 30 estaciones realizadas durante el periodo de estudio, las larvas de anchoveta estuvieron presentes en 11, alcanzando un total de 90 ejemplares, en su mayoría en estado de preflexión y sin pigmentación en los ojos (**Figura 145**). Del total de ejemplares capturados, 75 estuvieron en buen estado para las mediciones y posteriores análisis de la microestructura de sus otolitos. Las larvas en preflexión, flexion y postflexión, fluctuaron entre 2,04 y 6,41 mm ( $3,71 \pm 1,27$ ; CV=34%), 5,57 y 11,78 mm ( $8,02 \pm 2,11$ ; CV=26%), y entre 7,13 y 11,92 mm ( $9,84 \pm 1,64$ ; CV=17%), respectivamente, variando significativamente entre estados ontogenéticos. Finalmente, 58 larvas mostraron una resolución adecuada de sus micro-incrementos para ser datadas a nivel diario, permitiendo registro de edades que fluctuaron entre 1 y 19 días ( $5,47 \pm 3,68$ ).



**Figura 145. Distribución de frecuencia de tamaños, según estadio de desarrollo de larvas de la anchoveta, recolectadas en Playa Chipana en invierno de 2019**

De los 230 pre-reclutas, 135 ejemplares fueron procesados por su mayor resolución de su micro-incremento de sus otolitos sagitales. Estos ejemplares fluctuaron entre 3,1 y 5,3 cm ( $4,03 \pm 0,47$ ) y entre 45 y 82 días ( $61 \pm 9$ ) de edad, respectivamente. En general se observó una baja variabilidad en ambas variables en los pre-reclutas analizados ( $CV < 18\%$ ; **Tabla 63**) entre zonas, aunque se observaron diferencias significativas, tanto en la LT (ANOVA  $F_{3,131} = 3,98$ ;  $p = 0,009$ ) como en la edad media entre Zonas (ANOVA  $F_{3,131} = 3,98$ ;  $p = 0,009$ ), debido al menor tamaño de los ejemplares de Mejillones y mayores edades en los lances cercanos a Taltal, respectivamente (Tukey;  $p < 0,05$ ).

**Tabla 63. Estadísticas generales de longitud total (LT; mm) y edad (días) de pre-reclutas de anchoveta recolectados durante el crucero hidro-acústico, llevado a cabo por el Instituto de Fomento Pesquero, durante diciembre 2019.**

<i>Zona</i>	<i>LT ± DE</i>	<i>Rango</i>	<i>CV</i>	<i>Edad ± DE</i>	<i>Rango</i>	<i>CV</i>	<i>N</i>
Iquique	4,03 ± 0,33	3,5 - 4,8	8	60 ± 5	53 - 68	8	11
Mejillones	3,83 ± 0,41	3,27 - 4,68	11	56 ± 10	40 - 86	18	42
Antogasta	4,16 ± 0,40	3,1 - 4,6	10	60 ± 8	39 - 81	14	33
Taltal	4,10 ± 0,55	3,3 - 5,3	13	65 ± 8	50 - 88	12	49
Total	4,03 ± 0,47	3,1 - 5,3	12	61 ± 9	39 - 88	16	135

#### 4.4.2.3 Fechas de Nacimiento (FN)

Las fechas de nacimiento de las larvas de la población original y los sobrevivientes de los ejemplares analizados, variaron significativamente (Test Kolmogorov-Smirnov=0,45,  $p < 0,001$ ), donde las larvas y pre-reclutas provinieron de eventos de desove principalmente de fines de invierno y mediados de primavera del 2019, respectivamente (**Figura 146**).

#### 4.4.2.4 Perfiles de grosores y radios

Los grosores de los micro-incrementos en los pre-reclutas en general mostraron un patrón incremental lineal con la edad, fluctuando entre 0,73 y 16,93  $\mu\text{m}$  (media global=  $5,13 \pm 1,65$ ), con una tendencia de menor dispersión en las primeras etapa de vida en incrementar la variabilidad entre el inicio y término del segundo mes de vida, tal como lo evidencia el perfil de grosores de 5 pre-reclutas en la **Figura 147**. Para el caso del radio caudal, la tendencia siguió un patrón de quiebres en vez de un patrón potencial o exponencial (**Figura 147b** y **Figura 148**)

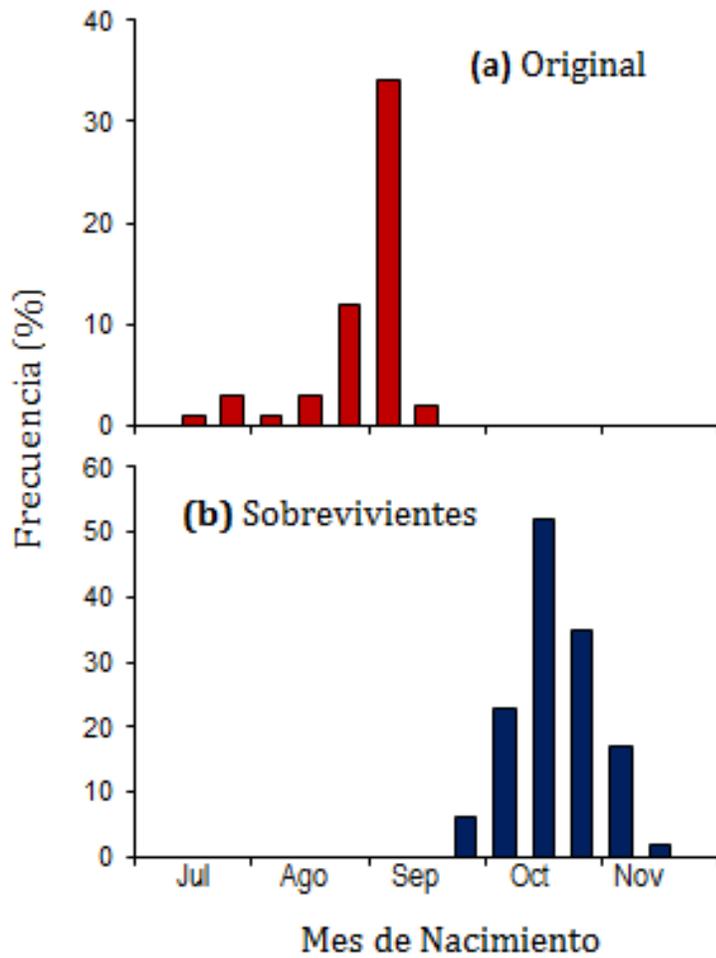


Figura 146. Distribuciones de frecuencia de fechas de nacimiento para la población larval original (a) y para los sobrevivientes (post-larvas y juveniles tempranos) de anchoveta, para las estaciones de invierno y primavera de 2019.

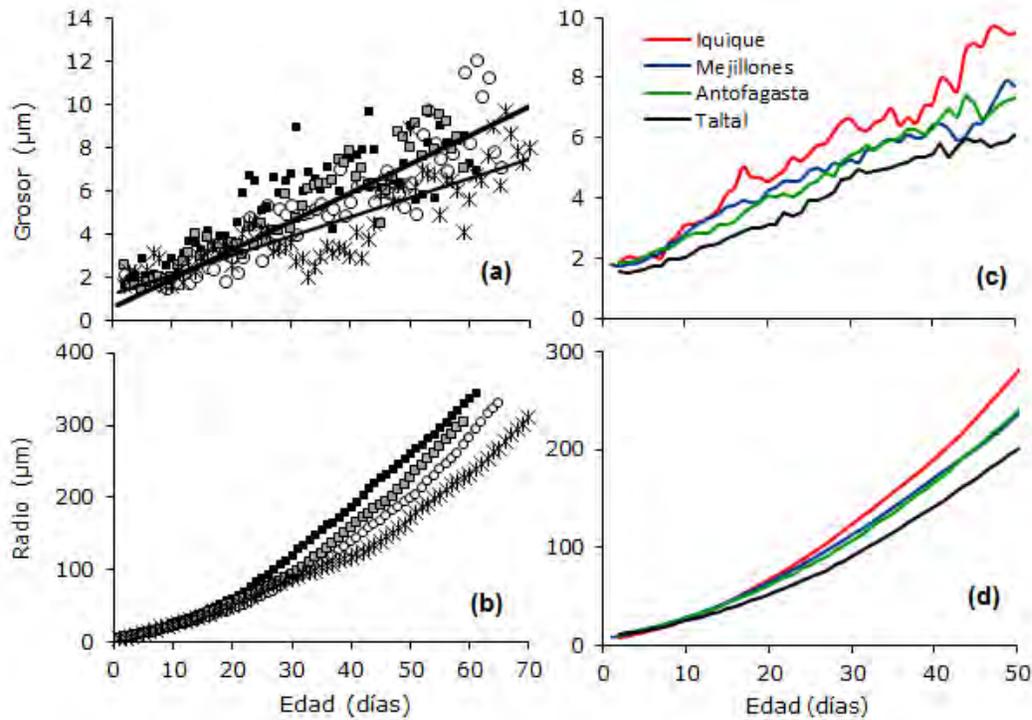


Figura 147. Perfiles de grosores (a) y radios (b) en otolitos sagitales de 4 pre-reclutas de anchoveta (juveniles tempranos), ilustrando el tipo de patrón incremental con la edad. Tendencias en los valores promedio de los grosores (c) y radios (d) para pre-reclutas de anchoveta, recolectados durante diciembre de 2019 en cuatro macro-zonas en el norte de Chile. Las dos líneas de tendencias en el panel “a”, reflejan los cambios de pendientes a nivel individual.

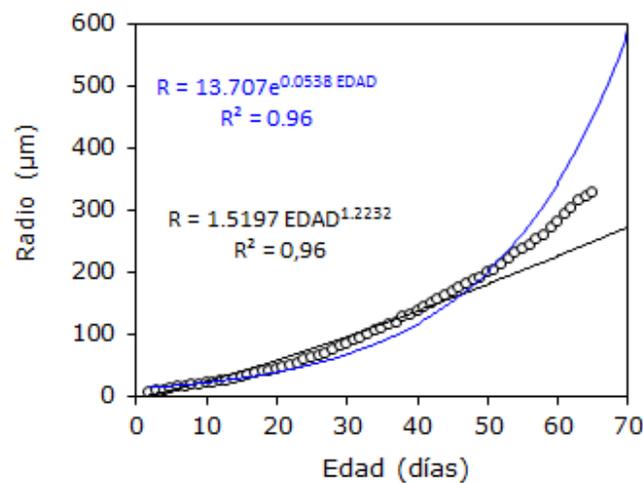
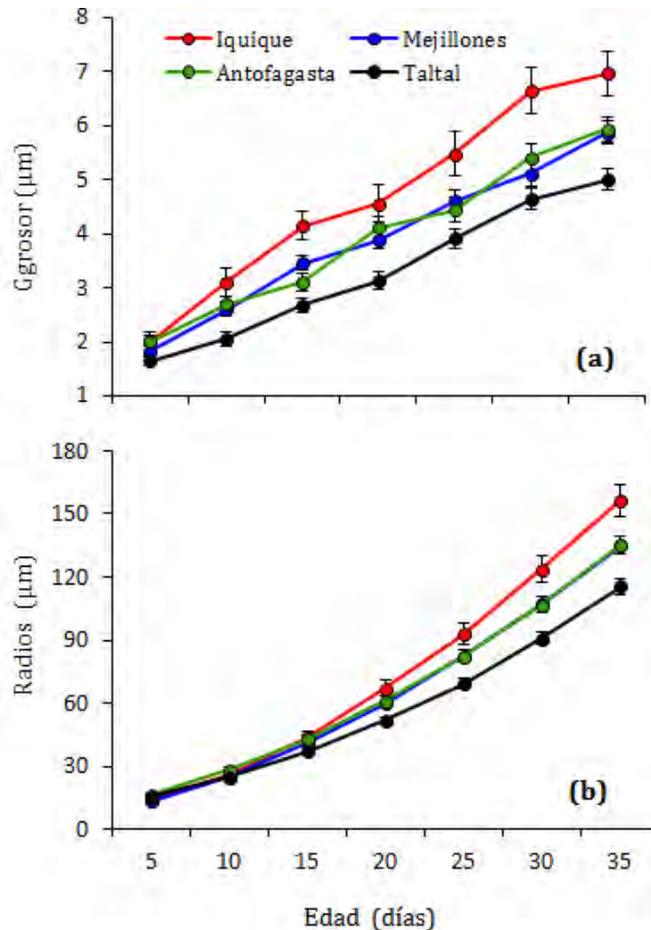


Figura 148. Ilustración del grado de ajuste de modelos potenciales y exponenciales a un perfil de radio y edad en un ejemplar pre-recluta de anchoveta en el norte de Chile.

Las tendencias de los perfiles medios de grosor y radios diarios mantuvieron evidenciada a nivel individual, donde se pudo constatar un gradiente norte sur, que se hace mucho más evidente a partir de aproximadamente la tercera semana de vida de los pre-reclutas. Estos resultados pudieron ser analizados estadísticamente para los primeros 35 días de vida, segmento que permitió hacer un enfoque por zona geográfica, sobre un tamaño de muestra balanceada, para no reducir el tamaño de muestra en la base de datos longitudinal. Las ANDEVA de medidas repetidas realizadas a intervalos de 5 días evidenciaron diferencias significativas en los valores medios, tanto en los grosores como en los radios log-transformados por zona geográfica (**Tabla 64; Figura 149ab**), aunque no se observaron diferencias significativas en ambas variables entre Mejillones y Antofagasta (**Tabla 64**).

**Tabla 64. Estadísticas derivadas de un análisis de varianza de medidas repetidas para poner a prueba la hipótesis de ausencia de diferencias significativas en el grosor (a) y radios promedios (b) en otolitos sagitales de pre-reclutas de anchoveta, medidos a los días 25, 30, 35, 40 y 35. WL= Estadístico multivariado Wilks's Lambda; GLn= grados de libertad del numerador; Gle: grados de libertad del error; F= aproximación a un estimado del estadístico F-Fisher. Ant=Antofagasta; Mej= Mejillones.**

<i>Variable</i>	<i>Contraste</i>	<i>WL</i>	<i>GLn</i>	<i>Gle</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Grosor (a)	Todas las zonas	0,732	18	356	2,316	0,002
	Norte vs Sur	0,876	6	128	3,025	0,008
	Ant. vs Mej.	0,831	7	67	1,941	0,077
Radio (b)	Todas las zonas	0,653	18	356	3,228	<0,001
	Norte vs Sur	0,797	6	128	5,427	<0,001
	Ant. vs Mej.	0,856	6	68	1,901	0,093



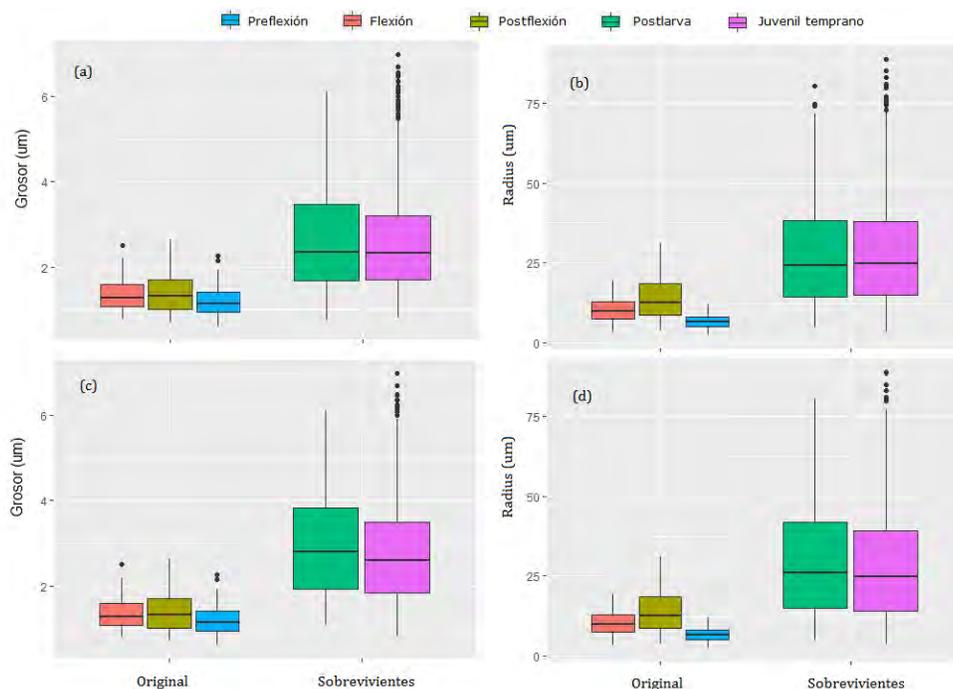
**Figura 149. Medias marginales derivadas de un modelo de medidas repetidas para el grosor de los micro-incrementos (a) y el radio caudal (b) en otolitos sagitales de pre-reclutas de la anchoveta, medidos a intervalos de 5 días y analizados por macro-zona geográfica. Las barras verticales corresponden a 1 error estándar.**

#### 4.4.2.5 Comparación entre el grosor y radios entre sobrevivientes y larvas de la población original

Para este análisis se requiere comparar el grosor como un proxy de tasa de crecimiento y el radio a edad como un proxy de longitud, entre ejemplares de una población larval original y los sobrevivientes, provenientes de una misma cohorte de nacimiento. Sin embargo, en el presente estudio la población original estuvo compuesta por larvas mayoritariamente en pre-flexión, con una cantidad marginal de larvas en fase de flexión y post-flexión. Esto condujo a una base longitudinal no balanceada que no permitió poner a prueba la HCM, mediante la aplicación de ANDEVA de medidas repetidas, para comparar si existieron diferencias significativas en ambas variables entre la población original y los sobrevivientes. Adicionalmente, la inexistencia de cohortes de nacimiento consistentes y el gradiente de variabilidad latitudinal en los pre-reclutas,

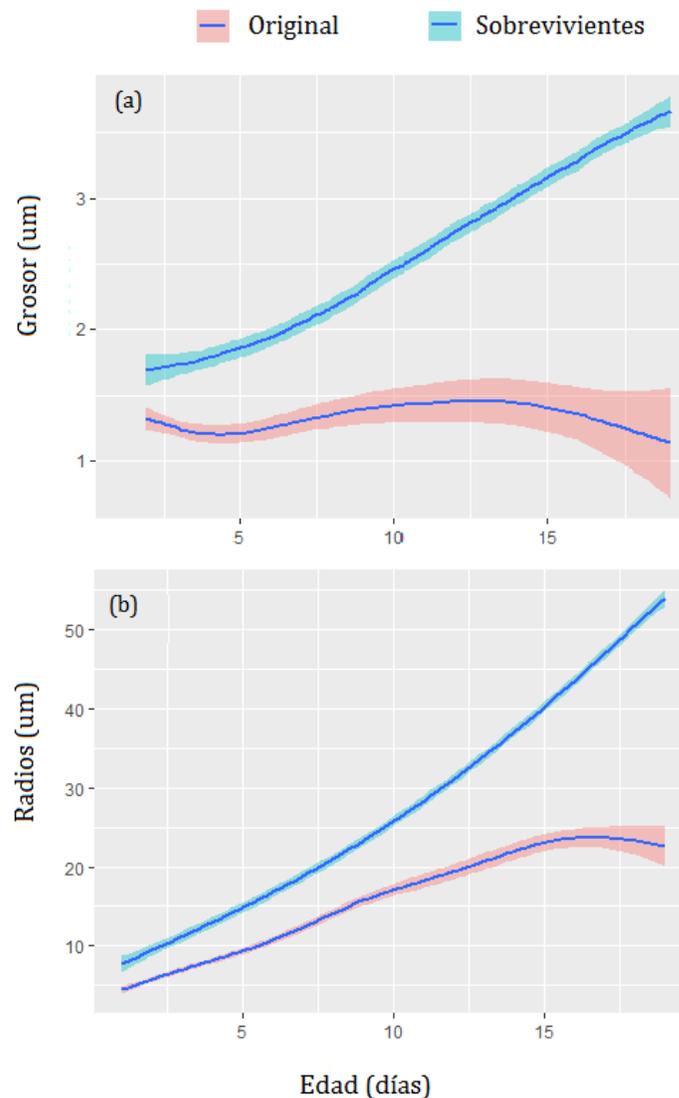
condicionaron la evaluación estadística de la hipótesis, con el método tradicional. Sin embargo, la tendencia lineal en los perfiles de grosores y radios (para este segmento), permitió la evaluación de la HCM, bajo un enfoque de Modelos Lineales de efectos Mixtos (MLM). Los MLM aplicados fue con intercepto común, pero dejando que la pendiente varíe de forma aleatoria para cada ejemplar, sobre una base de datos única, para ambas poblaciones, truncada hasta la edad 19, que correspondió la larva de mayor edad datada. Este enfoque permitió analizar la variabilidad de grosores y radios en un total de 2964 registros.

La estructura de los registros de grosores y radios en función de cinco estados ontogénicos (*preflexión, flexión, postflexión, postlarvas y juveniles tempranos*) se ilustra en la **Figura 150ab**, donde se evidenció que los sobrevivientes mostraron tendencias medias mayores en ambas variables, aunque con tendencias similares entre estados ontogénicos, para la fase larval original ( $F_{2, 295}=0,64; p =0,527$ ) y entre estados de los sobrevivientes ( $F_{2,2312}=3,72; p =0,056$ ). Resultados similares fueron obtenidos cuando se excluyó la zona cercana a Taltal, que evidenció los valores menores en grosor y radio en los sobrevivientes (**Figura 150cd**).



**Figura 150.** Ilustración de los cambios en las tendencias centrales, magnitudes y rangos del grosor (a) y radio (b), en función de los estados ontogénicos de la población larval original y de los sobrevivientes (postlarvas y juveniles tempranos) de anchoveta en la zona norte de Chile. Los paneles (c) y (d) representan las misma síntesis, pero excluyendo la macro-zona de Taltal.

Los grosores y radios medios a cada edad fluctuaron entre 2,48 a 31,22 ( $8,68 \pm 5,05 \mu\text{m}$ ) y entre 3,32 y 88,61  $\mu\text{m}$  ( $27,75 \pm 15,97 \mu\text{m}$ ), para la población larval original y los sobrevivientes, respectivamente, para los primeros 19 días de vida, evidenciando en ambos casos una tendencia incremental y mostrando un patrón similar de mayores valores medios en los sobrevivientes de forma similar a las tendencias evidencias en el resumen de gráficos de cajas (**Figura 151ab**)



**Figura 151.** Ilustración de los cambios en las tendencias del grosor y radio promedio, en función de la población larval original y de los sobrevivientes (juveniles) de anchoveta en la zona norte de Chile. La línea de tendencia y las áreas a su alrededor, corresponde a un suavizamiento tipo “spline” y los intervalos de 95% de confianza del ajuste.

Los MLM con efecto aleatorio para la pendiente, evidenciaron que tanto el grosor como el radio, medido diariamente para los primeros 19 días de vida, variaron significativamente entre la población original y los sobrevivientes, considerando la influencia del factor zona que fue altamente significativo. Para el grosor el mes de nacimiento no generó un impacto significativo en las variaciones encontradas, aunque lo opuesto fue observado para el radio (Tabla 65).

**Tabla 65. Resumen de las fuentes de variación y significancia de los Modelos Lineales de efectos Mixtos, ajustados al grosor (a) de los micro-incrementos diarios y al radio promedio (b), medido a cada edad a cada edad, en ejemplares de la población original y de los sobrevivientes de anchoveta en la zona norte de Chile. Var= Variable; FV=Fuente de variación; SC=Suma de cuadrados; GLn= Grados de libertad del numerador; GLd=Grados de libertad de denominador; \*\*p < 0.01; \*\*\* p < 0.001. Mes\_N: Mes de nacimiento.**

<i>Var</i>	<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>GLn</i>	<i>GLd</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>Pr(&gt;F)</i>
Grosor (a)	Población	2,121	2,121	1	2529	6,86	0,0089	**
	Mes_N	1,65	0,413	4	2637	1,33	0,2547	
	Zona	11,78	3,927	3	2423	12,70	3,11E-08	***
	Edad	159,09	159,092	1	168	514,49	2,20E-16	***
		AIC	BIC	LogLik	Desv	Gl Resi		
		4960,5	5031,3	-2468,3	4936,5	2682		
<i>Var</i>	<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>GLn</i>	<i>GLd</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>Pr(&gt;F)</i>
Radios (b)	Población	338,5	338,5	1	2676,18	57,67	4,257E-14	***
	Mes_N	221,3	55,3	4	2449,91	9,4243	1,472E-07	***
	Zona	2507,1	835,7	3	2767,78	142,39	2,2E-16	***
	Edad	9810,6	9810,6	1	182,68	1671,5	2,2E-16	***
		AIC	BIC	LogLik	Desv	Gl Resi		
		14155	14226,9	-7065,6	14131,2	2874		

#### 4.4.3 Indicadores provenientes del MPDH

Aplicándose por primera vez en 1992, el Método de Producción Diaria de Huevos para estimar la biomasa desovante de anchoveta, constituye hoy en día una de las series de tiempo de alta resolución más largas en cuanto a aspectos reproductivos tanto para huevos (densa grilla de muestreo que cubre toda el área de desove) como para adultos (muestreo bietápico con análisis por histología). Como ya se mencionó, se utilizaron dos enfoques para el análisis de las fluctuaciones poblacionales, un enfoque tradicional stock recluta (SR) y uno alternativo Recluta Stock (RS). La

primera guarda relación con el enfoque tradicional de intentar pronosticar el reclutamiento a través de información sobre los factores que intervienen en la producción y sobrevivencia de los estadios tempranos. La segunda estrategia intenta cuantificar los reclutas que ingresan al stock reproductor.

#### 4.4.3.1 Enfoque clásico Producción de huevos Recluta

De acuerdo con el paradigma stock recluta, sería esperable que los índices que más se acerquen a la cuantificación de la producción de huevos en el tiempo y área, sean los que presenten alguna relación con índices de reclutamiento, sin embargo, de acuerdo con la información disponible, no se observa ninguna relación (**Figura 152**). Desfasando en un año las capturas, es decir el indicador de un año (Ej. Producción de huevos) con la captura del próximo año se observa cierta tendencia a una distribución de puntos tipo domo, especialmente con la producción total de huevos (**Figura 153B**). Sin embargo, aunque se pudiera ajustar una función (ej. una función tipo Ricker), la variabilidad es tan alta que no podría ser utilizada para pronosticar.

Este desacople del reclutamiento con la producción de huevos se podría atribuir a la alta variabilidad de los factores involucrados en la sobrevivencia, lo que se expresa en las tasas de mortalidad estimadas en la aplicación del método de producción diaria de huevos (MPDH), las cuales van de 33 a 81% al día, sin ninguna tendencia reconocible (**Figura 154**).

Por otra parte, al analizar información de producción de huevos se debe considerar la escala del proceso, ya que pequeñas variaciones en las variables determinan lo que se considera un éxito o fracaso en el reclutamiento. A modo de explicación, la producción de huevos expandida al área de desove más baja que se ha estimado al amparo del MPDH es de 10,550,188,083,109 huevos día<sup>-1</sup> (Claramunt *com. pers.*). Ya que el MPDH asume que los parámetros son constantes durante el tiempo que dura el crucero, se puede expandir al mes, ósea serían 316,505,642,493,280 huevos mes<sup>-1</sup>. Si de esta cantidad de huevos solamente sobrevive la milésima fracción (El 0.001%) hasta alcanzar una talla de 11 cm, con un peso de 10 g, significaría que se integraron 3,165,056 toneladas a la población, en un mes. ¿Existe la capacidad técnica para detectar estos pequeños cambios?.

Sumemos a lo anterior sobre las escalas del proceso, el tiempo que dura un huevo hasta la eclosión de acuerdo a la temperatura, ecuación que fue ajustada con incubaciones a distintas temperaturas (Soto 2001). Esta predice que a 14 y 20 °C el tiempo que le toma al embrión completar su desarrollo y eclosionar es de 63 y 35 horas respectivamente, es decir 28 horas más a 14 °C. Si consideramos la menor tasa de mortalidad estimada por el MPDH de 0,0217 hora<sup>-1</sup> para ambas temperaturas,

tendríamos que por el solo efecto de la temperatura sobre el desarrollo del huevo, la sobrevivencia diaria estaría entre el 26 y 47% para los 14 y 20 °C respectivamente (**Figura 155**)

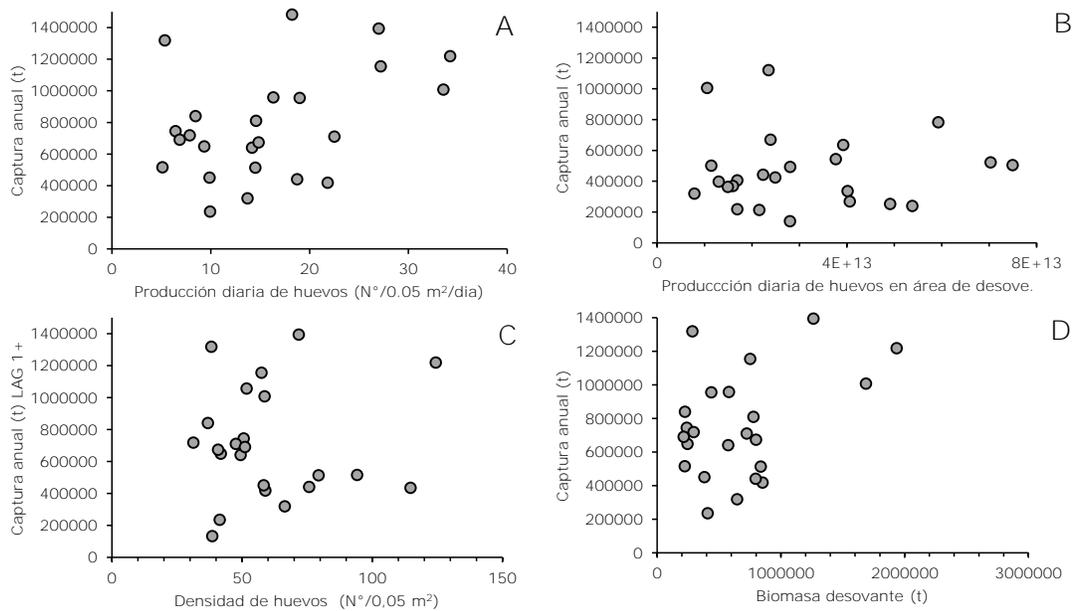
#### 4.4.3.2 Areas de desove y reclutamiento

Uno de los parámetros que presenta una alta variabilidad interanual es el área de desove (**Figura 156**), siendo el 2001, 2009 y 2016 los años con menor área. Estando estas áreas relacionadas a la disponibilidad de los adultos en el año, lo que se verifica por la relación de la proporción del área de desove respecto del crucero con las capturas del año (**Figura 157**,

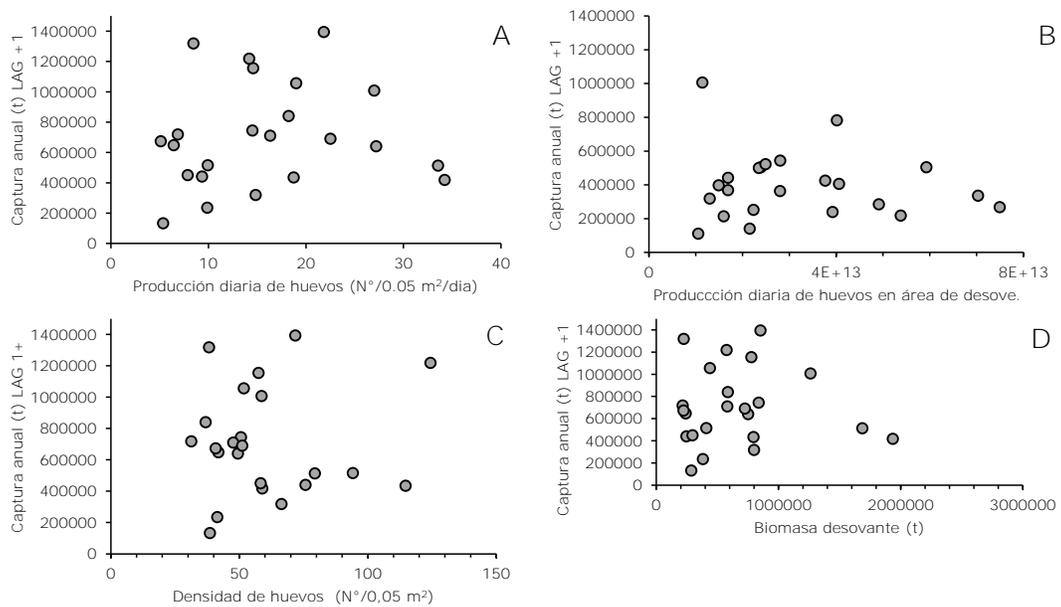
**Tabla 66**), cuyo ajuste es significativo ( $p < 0.05$ ). Esta relación se explicaría por la expansión hacia el sur y hacia el océano cuando aumenta su disponibilidad en la zona, lo que se evidencia en los centros de gravedad de la abundancia de huevos (**Figura 158**), en donde una expansión hacia el sur y hacia el océano implica una mayor área de desove y mayor disponibilidad/abundancia.

**Tabla 66. Resultados de un ajuste lineal sin intercepto a la relación entre la razón entre área de desove y de crucero ( $A(+)/A$ ) con la captura anual.**

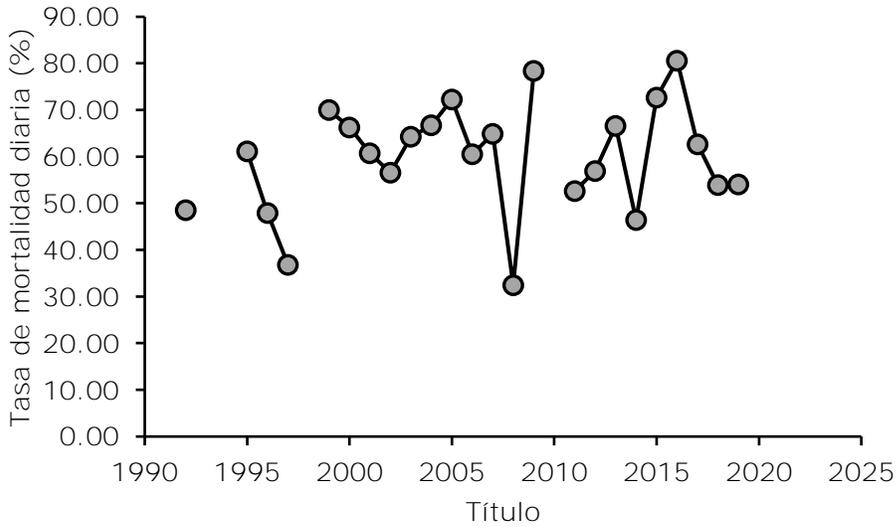
Estimado	Error Est.	T cal	$p (>  t )$
2300520,3	159297,9	14,44	5,051E-13
Error estandar residual: 274859,8 con 24 grados de libertad			
R-cuadrado: 0,90			



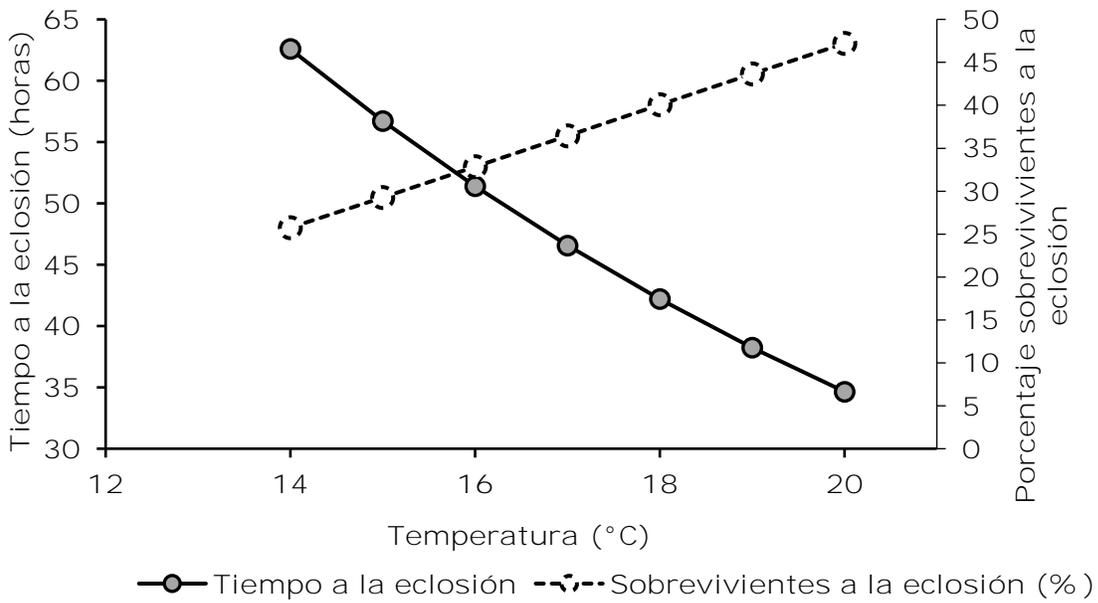
**Figura 152. Relación entre índices de potencial reproductivo y la captura anual a) Producción diaria de huevos (N°/0.05 m²/día), b) producción diaria de huevos expandida al área de desove, c) Densidad de huevos. D) Biomasa desovantes (t).**



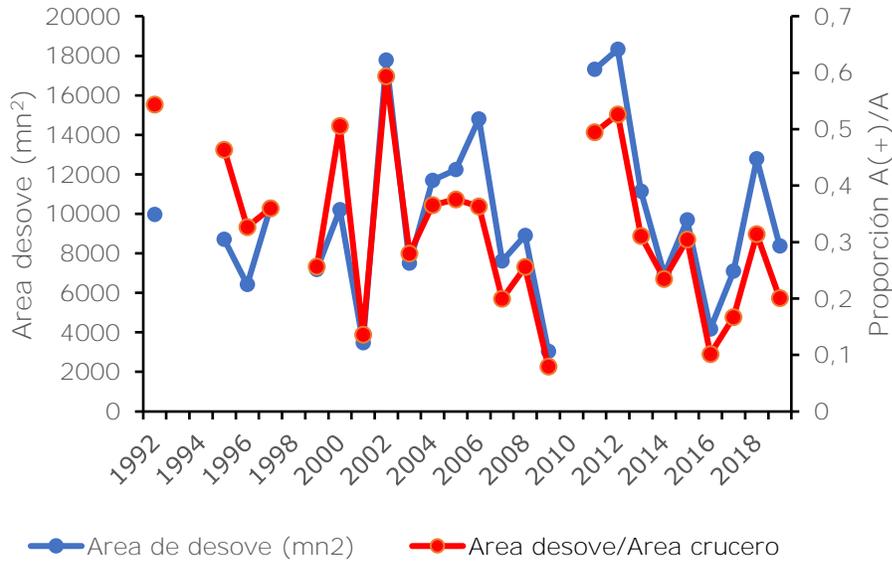
**Figura 153. Relación entre índices de potencial reproductivo y la captura anual, con desfase positivo de un año en la captura.**



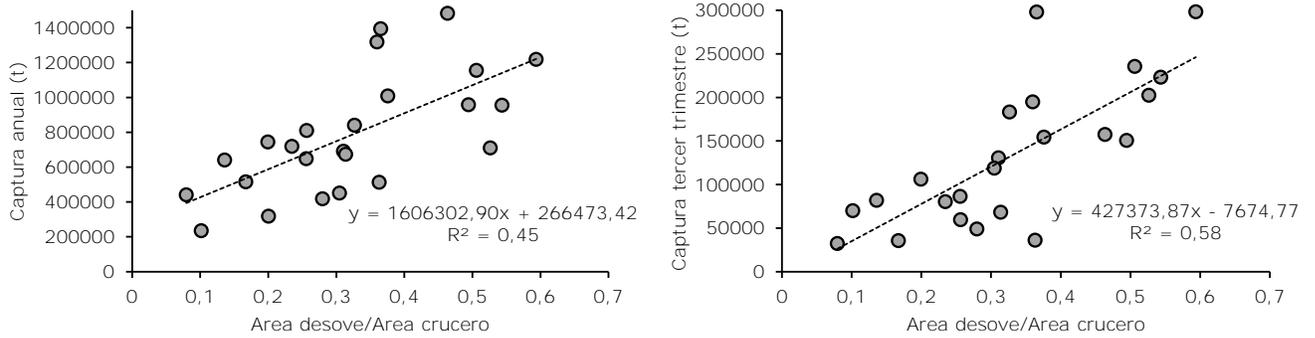
**Figura 154 Tasa de mortalidad diaria de huevos (%) estimadas en la aplicación del Método de Producción Diaria de Huevos.**



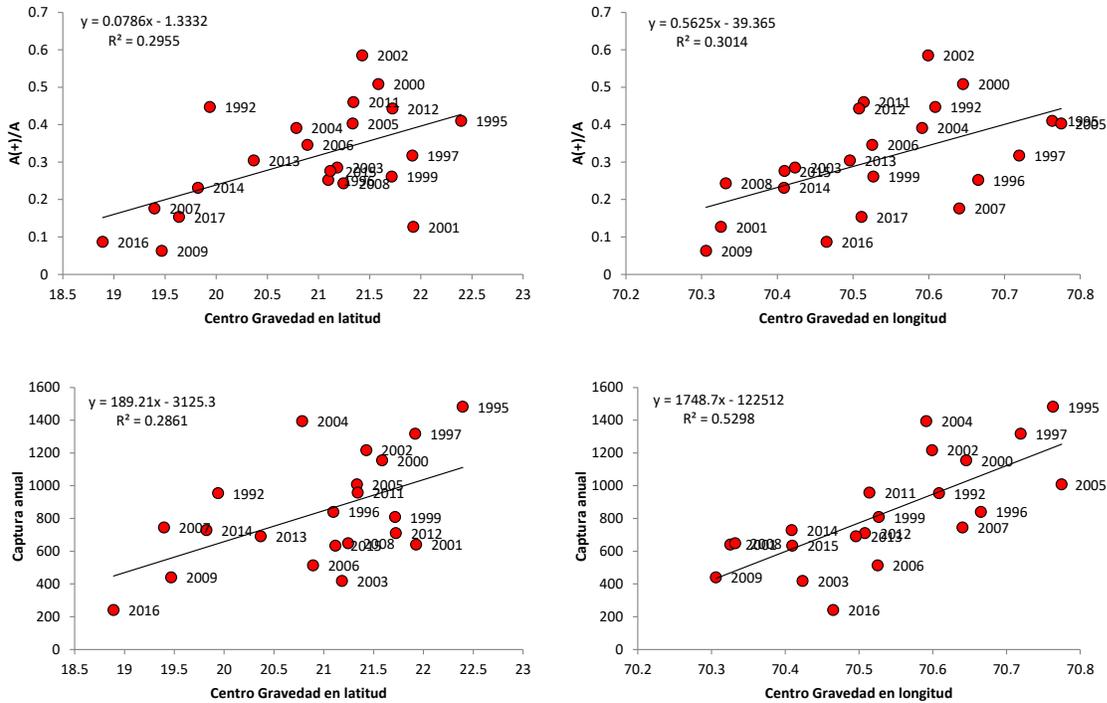
**Figura 155 Tiempo a la eclosión de acuerdo a la temperatura (Ecuación de Soto (2001)) de huevos de anchoveta en el norte de Chile (Círculos grises) y el porcentaje de sobrevivientes considerando una mortalidad diaria de 0.0217 hora<sup>-1</sup>, la menor registrada en las campañas del MPDH.**



**Figura 156. Area de desove (mn2) (azul) y proporción del área de desove respecto del área cubierta por el crucero (rojo).**



**Figura 157. Relación entre la proporción del área de desove respecto del área de crucero y las capturas totales del año**

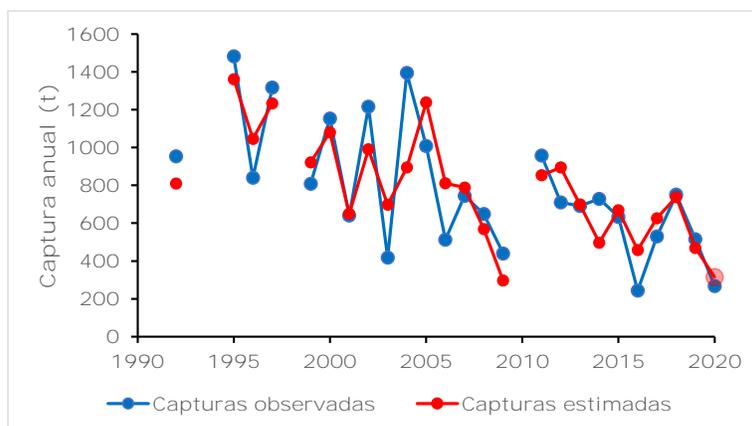


**Figura 158. Arriba: Relación entre el centro de gravedad de abundancia de huevos en latitud y longitud con la razón entre el área de desove y el área de cruceo(A(+)/A). Abajo: Capturas totales del año en función de los centros de gravedad. Todas las relaciones significativas ( $p < 0,05$ ).**

Ya que las capturas del año se encuentran asociadas a los cambios en los centros de gravedad, se realizó una simple regresión lineal múltiple (modelo lineal generalizado con familia gaussiana; **Tabla 67**), generando una muy buena respuesta de las capturas estimadas respecto de las observadas.

**Tabla 67. Parámetros de la regresión lineal múltiple de la captura del año en función de los centros de gravedad**

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	-107054,2	23533,2	-4,5	1,95E-04
Latitud	130,7	47,7	2,7	1,27E-02
Longitud	1490,8	337,5	4,4	2,66E-04



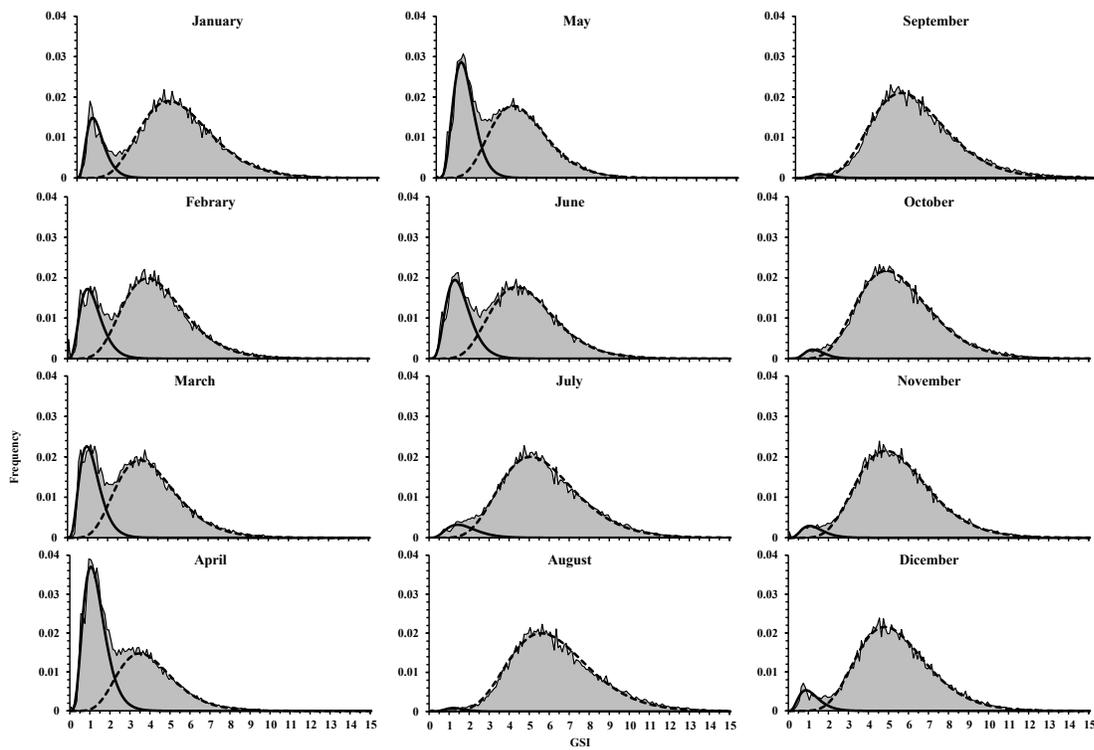
**Figura 159.** Capturas observadas y estimadas por medio de los centros de gravedad. Año 2020 es una estimación del modelo ajustado hasta el 2019.

#### 4.4.3.3 Enfoque Recluta- Stock

La distribución de frecuencia mensual del IGS en el largo plazo (toda la base de datos) muestra que los meses de diciembre a julio se presentan dos distribuciones de probabilidad (**Figura 160**) coincidente con el período de baja actividad reproductiva que muestran los IGS medios mensuales. Ambas modas muestran un grado de asimetría, que es bien recogida por la distribución gamma. El cruce entre ambas distribuciones se produce en promedio alrededor de un  $IGS = 2$ . La base de datos histológica confirma que la primera moda corresponde a hembras inactivas (Inmaduras, en regresión y recuperación; **Figura 161A**). La moda principal está compuesta por las fases ováricas de las hembras activas, en donde bajo un  $IGS = 2$  casi el 100% corresponde a hembras inactivas, entre  $IGS$  de 2 y 3 se produce una sobreposición de las distribuciones, pudiendo pertenecer a hembras activas o inactivas. Por sobre un  $IGS$  3 ya son todas activas. El punto de cambio entre las dos modas está alrededor de un valor de  $IGS = 2$ . Entonces el índice que representa la proporción de hembras inactivas quedaría determinado por un valor de corte de  $IGS \leq 2$ , el cual presenta una buena correspondencia con las hembras inactivas según análisis histológico (**Figura 161B**).

La distribución de tallas para la fracción de inactivas y activas, muestra que las inactivas son más pequeñas (**Figura 162**). El patrón mensual de la proporción de hembras inactivas muestra claramente un máximo en el primer semestre con un pico entre marzo y mayo (**Figura 163A**), para luego reducirse debido a su incorporación a la fracción activa a medida que se acerca el período de máxima actividad reproductiva. Las hembras bajo los 14 cm presentan un período de inactividad más largo (**Figura 163B**).

La relación de la proporción anual de hembras inactivas para la fracción con tallas menores o iguales a 14 cm presenta una asociación significativa cuando se compara con la captura del primer semestre (Figura 164). Al utilizar este ajuste para estimar las capturas del primer semestre se observa una aceptable concordancia (Figura 165). Una vez estimada la captura semestral, se puede pasar a captura anual debido a su alta correlación (Figura 166). La captura anual estimada, si bien tiene problemas en las magnitudes en algunos años, al menos permite pronosticar la tendencia, con la información necesaria del primer semestre del año.



**Figura 160. Distribución de frecuencia mensual de IGS. Base de datos agrupada. Área gris son valores observados. Línea continua y segmentada es ajuste de dos distribuciones gamma.**

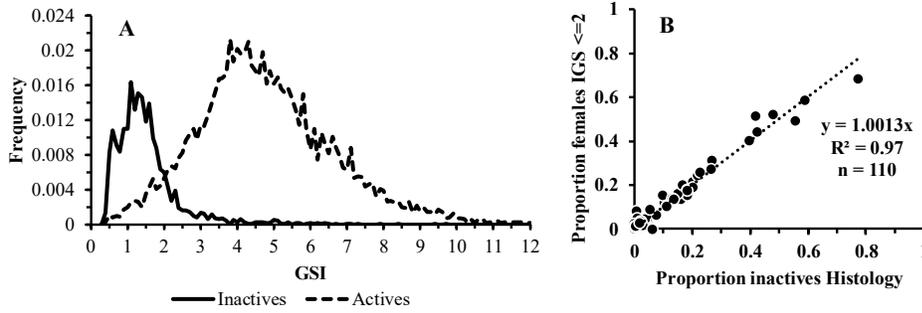


Figura 161. (A): Distribución de frecuencia de IGS por las hembras clasificadas histológicamente como activas e inactivas. (B): Relación entre la proporción mensual de hembras inactivas por histología y la proporción de hembras con IGS menor o igual a 2.

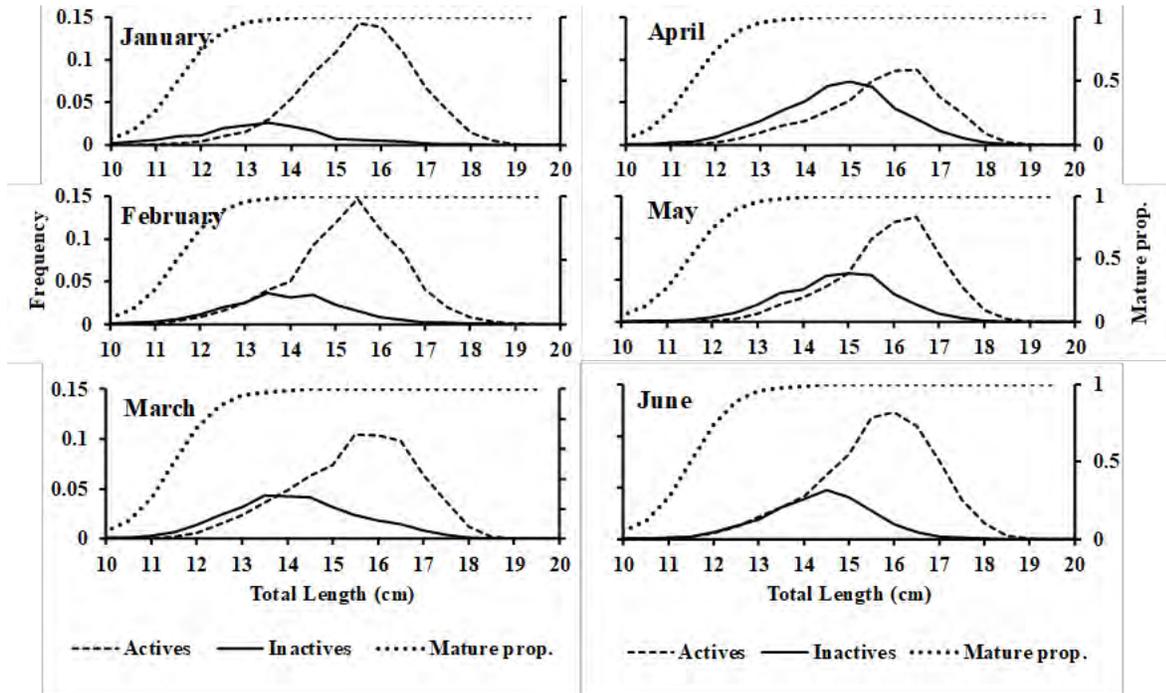
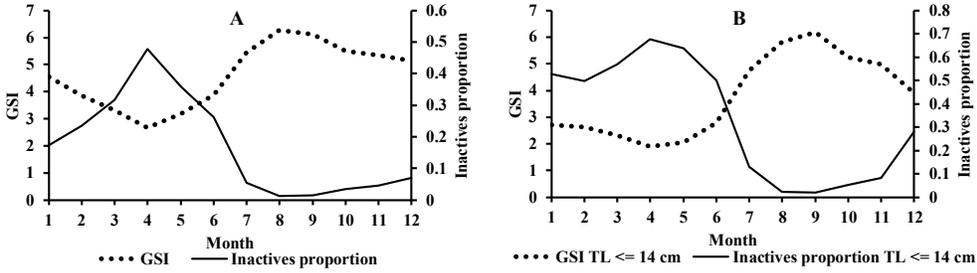
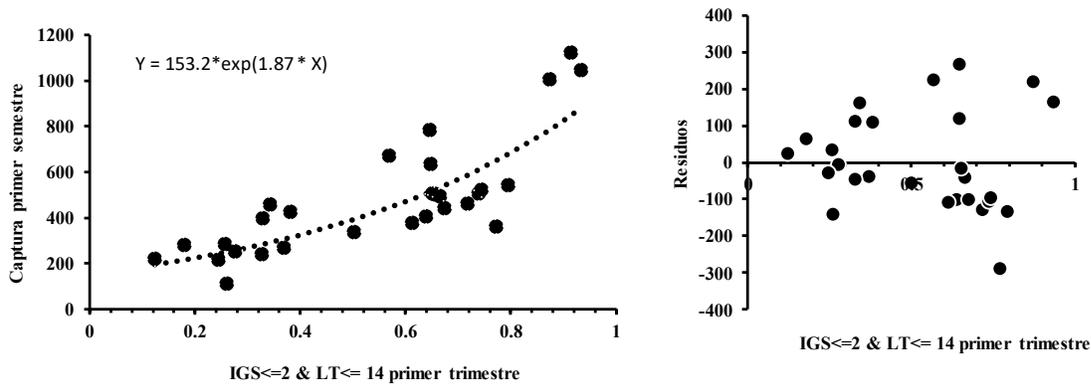


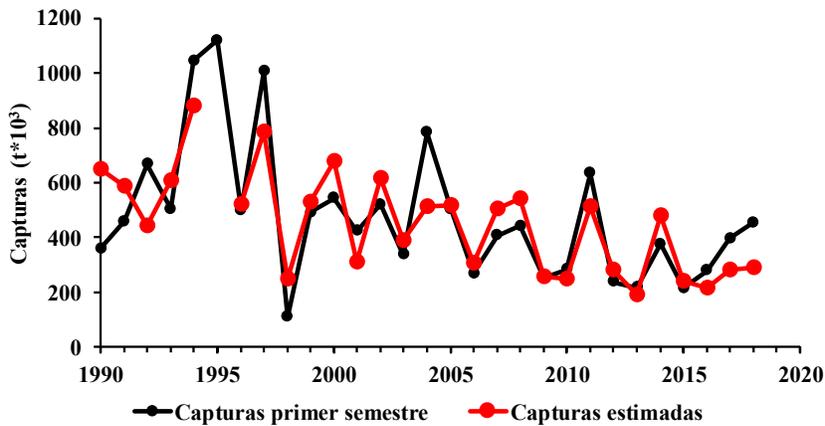
Figura 162. Distribución de tallas (cm) de las hembras inactivas ( $IGS \leq 2$ ) y activas para el primer semestre. Se entrega la proporción de ejemplares maduros a la talla (Canales & Canales 2014).



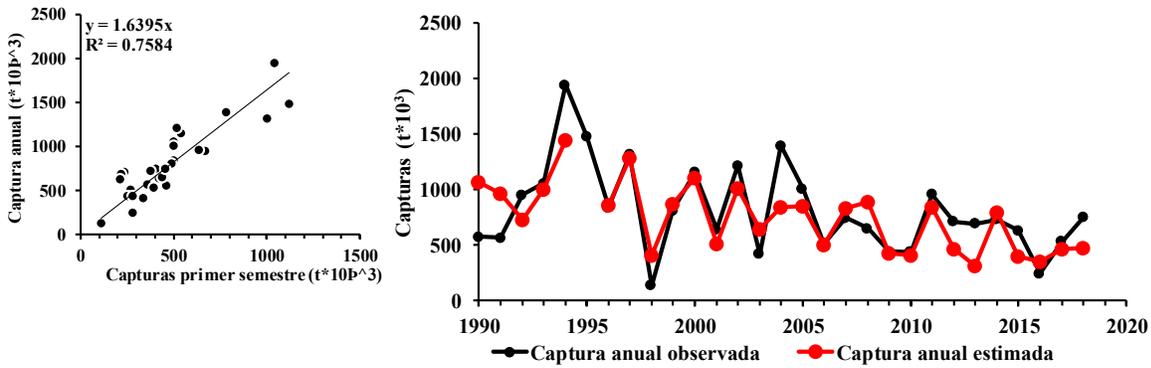
**Figura 163. (A): Patrón mensual de largo plazo de la proporción de hembras Inactivas y el IGS promedio. (B): Patrón mensual de largo plazo de la proporción de hembras Inactivas y el IGS promedio para las hembras de talla menor o igual a 14 cm**



**Figura 164. Relación entre la proporción de hembras con talla  $\leq 14$  cm LT e  $IGS \leq 2$  del primer trimestre y la captura del primer semestre. Línea punteada es ajuste de modelo exponencial (En gráfico). Derecha: Residuos.**



**Figura 165. Capturas observadas y estimadas para el primer semestre.**



**Figura 166. Izquierda: Relación entre la captura del primer semestre y la captura anual, utilizada para estimar la captura anual a través de la captura semestral estimada. Derecha: Captura anual observada y estimada.**

#### 4.4.4 Establecer modelos de desarrollo estadio-temperatura dependiente y estimación de mortalidad de huevos y larvas tempranas

En **Figura 167** se muestra la absorción del vitelo de acuerdo con la edad a 4 temperaturas. El mejor índice de la absorción del vitelo en las larvas fue su diámetro circular equivalente (DCE), sin embargo, los resultados mostraron una baja influencia de la temperatura, de modo que no se encuentran diferencias significativas ( $F = 0.386$ ;  $p = 0,76$ ), por lo que se utilizó un ajuste no lineal de un modelo exponencial negativo **Tabla 68** con el cual se estimó la edad a partir del DCE. El efecto de incorporar las larvas vitelinas se realizó estimando la producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad con y sin las larvas (**Tabla 69**), observando que en general el modelo ajusta mejor al incorporar las larvas, la tasa de mortalidad baja y la producción de huevos sube. El problema de esta metodología es que necesita muchas horas hombre y además debido a las restricciones impuestas por la pandemia, no se logró aplicar a los cruceros.

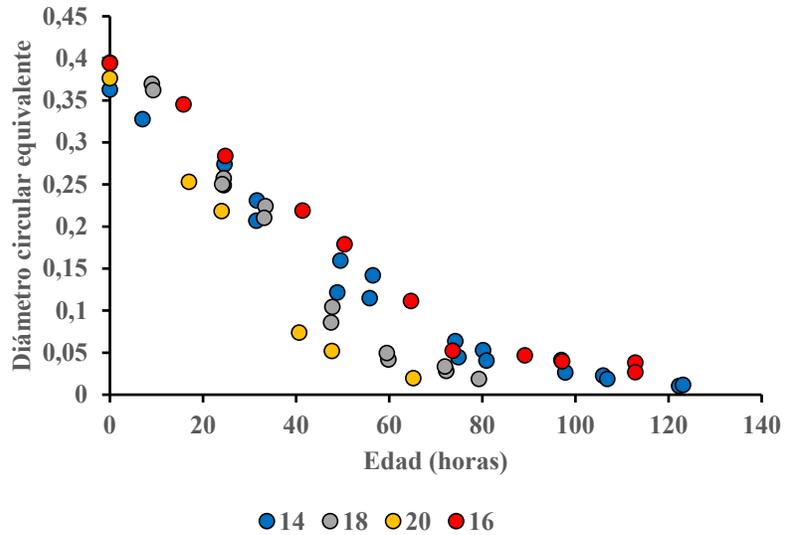
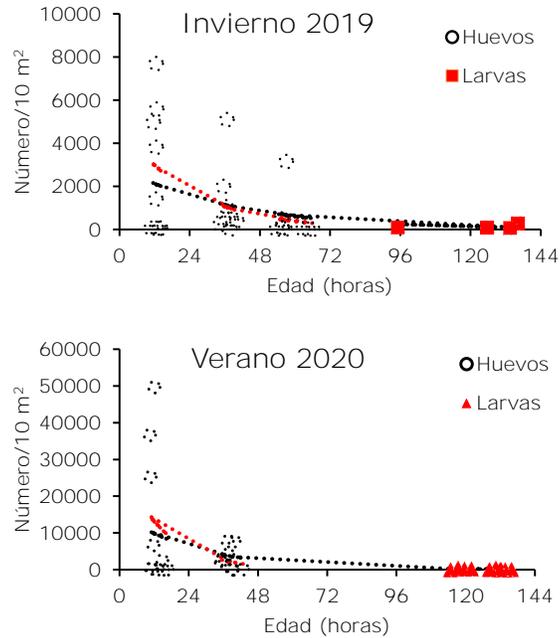


Figura 167. Izquierda: Diámetro circular equivalente de vitelo de acuerdo con la edad (tiempo cero es eclosión) a temperaturas controladas de 14, 16, 18 y 20 °C.

Tabla 68. Resultados de un ajuste no lineal a un modelo exponencial negativo de la edad de la larva en función del diámetro circular equivalente.

		Estimado	Error Est	Prob
Edad vs DCE	a	78,534	1,419	<2e-16
	b	-19,665	1,347	<2e-16
	Error res.	16,96		
	Grados lib.	315		



**Figura 168. Ajuste de modelo lineal generalizado con binomial negativa para la estimación de producción diaria de huevos y mortalidad con y sin incorporar a las larvas con saco vitelino. Producción diaria de huevos en logaritmo natural.**

**Tabla 69. Resultados del ajuste de modelo lineal generalizado con binomial negativa para la estimación de producción diaria de huevos y mortalidad con y sin incorporar a las larvas con saco vitelino.**

		Estimado	Error Est.	Prob	
2019	Huevos y Larvas	Po	7,973	0,524	<2e-16
		Z	-0,026	0,0089	0,0038
		Devianza res	39,76		
		Grados lib.	30		
2019	Huevos	Po	8,514	0,744	<2e-16
		Z	-0,043	0,018	0,017
		Devianza res	34,671		
		Grados lib.	25		
2020	Huevos y larvas	Po	9,637	0,552	<2e-16
		Z	-0,037	0,007	3,12E-07
		Devianza res	38,426		
		Grados lib.	28		
2020	Huevos	Po	10,312	0,0052	<2e-16
		Z	-0,069	0,0003	<2e-16
		Devianza res	251285		
		Grados lib.	18		

## 5.DISCUSION

Se ha demostrado que en aquellas especies de engraulidos que están sometidos a una explotación intensa, sus poblaciones son más propensas a sufrir alteraciones por diversas causas, donde factores como temperatura, salinidad, corrientes, depredación, disponibilidad de alimentos y sobreexplotación, pueden afectar a las etapas tempranas (huevos, larvas y juveniles), y finalmente podrían afectar el reclutamiento (Costalago *et al.* 2011). La disponibilidad de alimento al momento de la primera alimentación, y en general para el resto de los estadios, es un aspecto fundamental para poder explicar los cambios en el tiempo que sufre la sobrevivencia de estos primeros estadios, además, el ambiente juega un papel importante en la regulación de la dinámica tanto de las presas como de los predadores. En este sentido Agostini & Bakun (2002) propusieron la triada ambiental, una combinación de tres procesos físicos que producen un hábitat favorable para la sobrevivencia de primeros estadios de desarrollo de peces pelágicos costeros (*i. e.*, procesos de enriquecimiento, procesos de concentración y procesos que favorecen la retención dentro (o hacia) del hábitat apropiado).

Bajo este marco, el Objetivo específico N° 1 se enfocó en describir la variabilidad de la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando el escenario ambiental imperante en la zona.

En un contexto regional, el periodo de estudio, correspondiente al año 2019 y verano de 2020, se encontró bajo una condición fría evidenciada a través de las anomalías negativas de la temperatura superficial del mar (TSM) que persistieron en la región El Niño1+2, y que se encuentra en sintonía con las anomalías de la TSM de los puertos del norte de Chile.

En el ámbito local, bajo las escalas estacionales y mensuales, se registró en la región (18°25'S-23°00'S) la señal clásica del ciclo anual del sistema, con una clara transición de las condiciones de verano a invierno y de invierno a primavera, evidenciada en el índice de surgencia (IS) y en la evolución de la temperatura. En el enfoque diario se registró claramente la respuesta de la estructura físico-química a los eventos de vientos que generan surgencia costera, condición previamente descrita para la zona (Santander *et al.* 2001). El hecho que la campaña de invierno de 2019 se llevará a cabo durante una fase de surgencia activa, generó una columna de agua más homogénea (mayor mezcla), mientras que la campaña de verano de 2020 fue realizada en una fase de declinación del índice de surgencia (relajación), lo que, junto a una mayor insolación, generaron

una fuerte estratificación de la columna de agua. La evolución en los parámetros físicos y químicos se acopló a estos cambios de intensidad de los eventos, registrándose como una señal característica la contracción y expansión vertical de la CMO.

Los componentes planctónicos, microfitoplancton y microzooplancton, que conforman la potencial oferta ambiental disponible para los estadios tempranos de anchoveta, respondieron a estos escenarios ambientales con la presencia de formas típicas de sistemas de surgencia costera y que caracterizan la zona norte entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (Santander *et al.* 2003; Herrera & Escribano 2016), coincidiendo con las presas planctónicas recolectadas de la columna de agua y clasificadas como oferta ambiental, encontradas en otros estudios realizados en Chile central (Yáñez-Rubio *et al.* 2011) y en la región de los fiordos del sur (Landaeta *et al.* 2014).

Por otra parte, esta respuesta más que reflejarse en la composición específica, lo hizo en los cambios de la abundancia de los grupos y/o especies que caracterizaron cada época, destacándose la persistencia en la zona costera (1-10 mn según la escala espacial), de proliferaciones que no descendieron de las 100 cél/mL en el caso del microfitoplancton, y de los 40 ind/mL en caso del microzooplancton. Por otra parte, se registró un amplio rango de tamaños en estos grupos, prevaleciendo en un rango de tamaño entre 50 y 200 µm en longitud.

La composición tanto del microfitoplancton como del microzooplancton de las muestras colectadas el 2018, estuvo representada por formas típicas de zonas de surgencia que caracterizan el sector costero marino frente a Iquique (Santander *et al.*, 2001; Herrera *et al.*, 2006). Las especies identificadas como ítems presa en los intestinos de estas larvas tienen una alta coincidencia con las especies encontradas en el medio ambiente (oferta alimenticia), principalmente con aquellas que presentaron las mayores abundancias promedio del periodo (tintinidos, diatomeas y nauplios). En términos de abundancia, la preferencia dietaria mostró una predilección por las especies del grupo de los tintinidos, luego por diatomeas y estadios naupleares. La composición de las presas encontradas en los intestinos concuerda con lo reportado por Yáñez-Rubio *et al.* (2011) en Chile central (Talcahuano) y Landaeta *et al.* (2011) en los fiordos del sur de Chile, exceptuando por la presencia de las especies del grupo de los tintinidos, registrándose como un ítem presa característico en la oferta ambiental y en el contenido intestinal de las larvas del norte de Chile.

Las descripciones de la composición, concentración y tamaño de las presas que conforman la dieta de las larvas de anchoveta a través de su ontogenia, permiten señalar que la zona de estudio, durante el periodo analizado, evidenció la presencia de microfitoplancton y microzooplancton que cumple

con los requerimientos de estos estadios. En particular en lo que se refiere a los dinoflagelados atecados, que exhibieron un dominio temporal con abundancias que les permitieron ser el componente que caracterizó al grupo, con formas como *Akashiwo sanguinea* y los géneros *Gymnodinium* y *Gyrodinium*. Por otra parte, dentro del microzooplancton fueron dominantes los estadios naupliares y copepoditos, junto a ciliados y tintinidos que cumplen con la concentración y con los rangos de tamaño. En conclusión, la composición, abundancia y tamaño de la comunidad microplanctónica del área comprendida entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) tiene la capacidad de sostener la alimentación de las larvas de anchoveta a lo largo de su ontogenia, lo que favorecería su sobrevivencia. La ocurrencia de surgencia permanente, que caracteriza la región y que promueve la alta producción planctónica, junto a los procesos de circulación, serían los factores que incidirían en la baja inanición de las larvas y en su concentración junto al alimento en la franja costera (1-10 mn) (Pizarro *et al.* 1998, Palma *et al.* 2006). Escenarios de surgencia intensa o surgencia moderada pueden darse alternadamente en el tiempo y mantenerse en función de la variabilidad del viento. La ocurrencia permanente de afloramiento mantiene a la comunidad microplanctónica dentro de una dinámica estable, donde las fracciones de tamaño descritas como adecuadas para la alimentación de las larvas tempranas, ocurren en forma permanente.

La determinación de abundancia y distribución de potenciales depredadores del ictioplancton puede generar información relevante para el entendimiento de las fluctuaciones de poblaciones de recursos pesqueros. A nivel global se ha propuesto, por ejemplo, que en áreas extensas (eg. Mar del Norte) las variaciones en las condiciones ambientales han generado cambios en los depredadores (especialmente zooplancton gelatinosos), quienes podrían haber afectado las poblaciones locales de arenque dominante, ya sea mediante depredación directa sobre huevos y larvas, así como mediante competencia por el alimento para las larvas y juveniles de las especies recursos pesqueros (Moller 1980, Barz & Hirche 2005, Lynam *et al.* 2005). Estudios que involucren estimaciones de predación de invertebrados como gelatinoso sobre alimento potencial (copépodos) de larvas o adultos de peces en el norte de Chile son escasos (Pages *et al.* 2001, Pavéz *et al.* 2006). Otros estudios que relacionen la distribución de posibles depredadores de ictioplancton con las variaciones de la distribución de los primeros estados de desarrollo de los stocks locales también son limitados. En el presente estudio de la zona norte de Chile se ha podido determinar: variaciones estacionales en la abundancia de los potenciales depredadores de huevo y larvas de anchoveta, diferencias entre las condiciones ambientales en que se encuentran los huevo y larvas

y los depredadores dominantes, y diferencias en la distribución espacial a escala regional entre depredadores y huevos y larvas, así como en escalas temporales menores (inter-diarias) en una zona costera.

Variaciones estacionales en la abundancia de potenciales depredadores zooplanctónicos han sido reportadas con anterioridad en el norte de Chile. Por ejemplo, Palma & Apablaza (2004) en el sector de la Bahía de Mejillones (23°S) reportaron mayores abundancias de gelatinosos en primavera-verano que, en invierno, y han sugerido que los gradientes de temperatura afectarían positivamente la abundancia y diversidad de gelatinosos. En la presente investigación se determinó a través de la distribución temporal de los organismos gelatinosos, que la abundancia de estos organismos presentó una tendencia a mayores abundancias en verano (2020) que en invierno (2019) aunque las diferencias en promedio no fueron estadísticamente significativas (a nivel de grupo gelatinosos completo) debido a la variabilidad inter-específica. A nivel del grupo completo de potenciales depredadores quitinosos, sin embargo, las diferencias en abundancias totales entre estaciones del año fueron significativas (mayores en verano).

En escalas espaciales menores (crucero inter-diarios), si bien se observaron escasas diferencias en la salinidad en que se encontró predadores y presas (ictioplancton) en ambas estaciones del año, si se determinó en verano diferencias entre la temperatura del agua en que se presentaron más abundantemente ambos grupos (huevos y larvas en menores temperaturas que predadores quitinosos) así como en la alternancia en las abundancias entre ambos grupos (predadores y presas), especialmente de predadores quitinosos en verano.

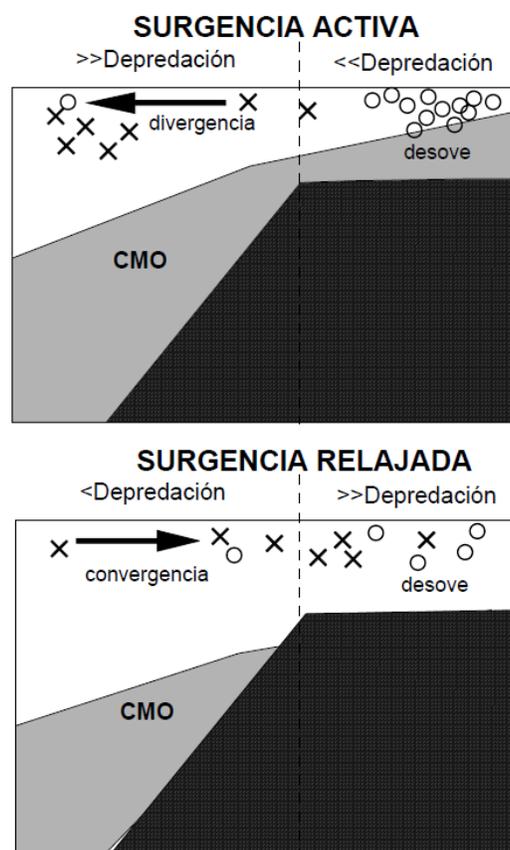
El presente estudio ha permitido determinar, en términos generales, la sobreposición de predadores gelatinoso y quitinosos con huevos y larvas de anchoveta tiende a ser limitada espacial como temporalmente, lo cual podría responder a una estrategia reproductiva de la anchoveta de desovar en áreas y periodos en que las abundancias de depredadores zooplanctónicos es menor (Castro *et al.* 2000; 2001). Para poner a prueba esta hipótesis, sin embargo, se requiere además de estudios de línea base como el presente que relacionan sobreposición espacial y temporal entre predadores y presas, estudios sobre la ingestión de ictioplancton por parte de los grupos predadores dominantes de modo que se pueda estimar el impacto sobre el standing stock de ictioplancton en las distintas estaciones del año. Estudios previos del impacto de la predación de *Euphausia mucronata* sobre el standing stock de huevos de anchoveta anchoveta determinaron, por ejemplo, que durante el peak de desove invernal la predación de los eufáusidos podría llegar sobre el 24% de la mortalidad

natural total en el área de desove de la anchoveta en el norte de Chile (Krautz *et al.* 2007). En la Corriente de California, el impacto de la predación de comunidad de eufáusidos sobre huevos de *Engraulis mordax* puede llegar a ser mayor a un 40% en la zona costera en algunos años (Theilacker *et al.* 1993).

Potenciales efectos de la depredación sobre huevos y larvas no solo han sido reportados por invertebrados sino también por parte de vertebrados (peces) e incluso por los mismos progenitores de esos huevos y larvas en zonas de surgencia costera. Al respecto, Hunter y Kimbrell (1980) señala que el canibalismo podría dar cuenta de 33% de mortalidad de huevos en *E. mordax* de la Corriente de California. Por otro lado, Alheit (1987) también señala el efecto negativo del canibalismo producido por anchovetas adultas en Perú sobre su misma progenie. Para efectos de la anchoveta en aguas chilenas, se recomienda a futuro examinar, además de la distribución y predación por organismos del plancton, determinar conjuntamente los contenidos gástricos de predadores vertebrados como las mismas anchovetas de la zona norte del país.

En el proyecto del cual se reanaliza información (Fuenzalida *et al.* 2009), los análisis efectuados indican un efecto directo e importante de los predadores (Gelatinosos) sobre la abundancia de huevos de anchoveta, planteando que la interacción entre presa y depredador, en este caso huevos y larvas de anchoveta vs zooplancton gelatinoso, está influenciada por el comportamiento de la CMO. El zooplancton gelatinoso, con excepción de quetognatos, si parece estar restringido al estrato superior (< 50 m), producto del ascenso de la CMO y en zonas donde la CMO es muy somera se encuentra disminuido, de acuerdo con el muestreo espacial. El zooplancton en el estrato superior está sujeto a advección en la capa de Ekman cuando la surgencia es activa, y esto puede explicar su alejamiento desde la costa. Sin embargo, frente a una relajación de la surgencia puede ocurrir convergencia de los gelatinosos hacia la zona más somera, ejerciendo una mayor depredación. La correlación positiva entre la profundidad de la CMO y la abundancia de gelatinosos confirma esta relación. En la zona somera misma, no obstante, y a través del tiempo la relación entre la CMO y los gelatinosos es negativa. Esto ocurre porque al incrementarse la surgencia y ascender la CMO en este sector los gelatinosos se concentran aún más en el estrato superior, restringidos por la CMO. Esta interacción espacial-temporal entre estadios tempranos de peces y gelatinosos, se rompe en una condición de verano, cuando la CMO permanece somera por todo el período. En esta condición se espera que la advección hacia fuera de la costa sea favorable para transportar depredadores y evitar su agregación extrema en la franja más somera. De tal

manera, que la surgencia activa al provocar el ascenso de la CMO genera condiciones propicias para aumentar la probabilidad de sobrevivencia de huevos y larvas en la medida en que el zooplancton gelatinoso es transportado lejos de la zona de desove principal. Esta relación explica la correlación negativa entre la abundancia de gelatinosos y la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Estas relaciones entre la alternancia de condiciones de surgencia activa y relajada, el ascenso/descenso de la CMO y sus impactos sobre las relaciones presa-depredador de gelatinoso vs estadios tempranos de peces, se ilustra a través de un modelo conceptual esquematizado en la **Figura 169**.



**Figura 169. Modelo conceptual que describe la relación entre la variabilidad de la surgencia, el ascenso/descenso de la Capa de Mínimo Oxígeno (CMO) y sus efectos sobre las interacciones entre el zooplancton gelatinoso y huevos y larvas de anchoveta. Los círculos representan los huevos de anchoveta (o larvas) y las cruces los depredadores. Durante surgencia activa se espera ascenso de la CMO y divergencia entre presas y depredadores, mientras que en condiciones de relajación se espera convergencia en la zona más somera de desove incrementando el riesgo de depredación (Extraído de Fuenzalida et al. 2009).**

La composición de la dieta de larvas de anchoveta durante la estación de invierno 2019 y verano 2020 en Bahía Chipana dan cuenta que la presa principal consumida fue los estados naupliares en

ambos estados de desarrollo larval (preflexión y flexión). Se destaca que larvas en estado de flexión disminuyeron notablemente el consumo sobre organismos fitoplanctónicos y aumentaron el consumo sobre componentes del zooplancton, específicamente sobre los copépodos, lo cual estaría asociado al consumo de presas móviles y de mayor tamaño, como los copépodos, a medida que la larva aumenta su tamaño corporal (Llanos *et al.* 1996, Llanos-Rivera *et al.* 2004, Yañez-Rubio *et al.* 2011).

La composición de la dieta obtenida de cruceros previos realizados en Bahía Iquique en agosto del 2018 también coincide con lo obtenido en este estudio y lo informado por Yañez-Rubio *et al.* (2011) en Chile central (Talcahuano) y Landaeta *et al.* (2014) en los fiordos del sur de Chile, con los nauplios como presa principal. Sin embargo, se destaca la presencia de las especies del grupo de los tintínidos ocupando el segundo lugar en importancia en los contenidos intestinal (17% IIR) después de los nauplios, grupo que fue característico en la oferta ambiental durante ese periodo de estudio. Especies de tintínidos y protozoos se ha informado que se presentan ocasionalmente en la dieta de larvas de anchoveta del mar Mediterráneo (Conway *et al.* 1998, Tudela *et al.* 2002) y seleccionados positivamente en sardinas de 10 mm LS del mismo lugar, donde estas especies presas fueron reconocidas en el contenido intestinal porque tienen partes duras resistentes a la digestión. En este sentido, la escasa o nula presencia de especies del microfitoplancton (diatomeas, flagelados nanoflagelados) como del microzooplancton sean estos ciliados desnudos u otros no encontrados en los intestinos de las larvas analizadas en este estudio, no pueden ser descartados como parte de la dieta de las larvas en la etapa de primera alimentación ya que estas pueden ser regurgitadas al momento de captura o tener una rápida digestión sin dejar algún vestigio de partes duras que puedan ser detectadas bajo un microscopio óptico como el empleado en este estudio (Govoni & Chester 1990). Cabe destacar que las características físico-química favorables del área de desove de Bahía Chipana para una óptima retención de huevos, larvas y juveniles de anchoveta, se agrega una alta productividad planctónica con comunidades del microfitoplancton y microzooplancton con estructuras típicas de zonas de surgencia que no tiene grandes variaciones durante todo el año y por lo tanto constituye, en términos de la disponibilidad de alimento, condiciones favorables para las larvas de anchoveta (Ulloa *et al.* 2001, Santander *et al.* 2001, 2023, Herrera & Escribano 2006, entre otros).

Cambios en la alimentación con el crecimiento larval también se ha informado para la anchoveta del sistema de afloramiento peruano, donde larvas entre 3,0 y 3,4 mm LC presentaron una dieta

mixta compuesta de un 77% de fitoplancton (diatomeas, flagelados, nanoflagelados), para aumentar a presas zooplanctónica (63%) en larvas > 4,5 mm LC. (Muck *et al.* 1989).

En *Engraulis encrasicolus* del mar Mediterráneo la dieta está compuesta principalmente por huevos de copépodos, nauplios y copepoditos, donde los nauplios parecen ser importantes principalmente para larvas de 4 mm, mientras que a medida que las larvas crecen, los copepoditos adquieren mayor importancia, lo que refleja un rango más amplio de presas a través de la ontogenia (Tudela *et al.* 2002).

El índice alimentario (IA) obtenido en este estudio estuvo dentro de los valores de IA encontrados por otros autores para anchoveta y otros clupeidos, independiente del ambiente donde fueron colectadas las larvas. Mencionar, por ejemplo, un 44,6% IA obtenido en cruceros previos del 2018 en Bahía Iquique (información puesta a disposición en este proyecto), Yañez-Rubio *et al.* (2011) (44% - 86,7%), Landaeta *et al.* (2014), con un bajo IA~ 20 %. Para otras especies de clupeiformes por ejemplo, en *E. encrasicolus*, 20-30% (Conway *et al.* 1998, Catalan *et al.* 2010, Morote *et al.* 2010), *E. anchoita*, 29-52%, (De Ciechowski 1967, Vasconcellos *et al.* 1998), *Sardina pilchardus*, 31,7% (Morote *et al.* 2010).

En este estudio la IA fue mayor en la estación de verano y en larvas en preflexión de ambos periodos. Estas diferencias pudieron deberse a lo susceptible que son las larvas a la regurgitación o defecación de sus contenidos intestinales durante la captura o fijación dado el intestino recto que poseen estas larvas (Arthur 1976, Hay 1981). Otra probable explicación a estas diferencias se les atribuye a las velocidades de digestión y habilidades de captura; así, en las larvas con mayor eficiencia de captura, la permanencia de los ítems en el tracto digestivo podría ser menor (Werner & Blaxter 1980). También se ha señalado que la incidencia alimentaria está fuertemente influenciada por el estado larval debido a que los órganos sensoriales se van desarrollando a medida que progresa el desarrollo larval y ocurre concomitantemente una mejora en la percepción de la presa y por tanto el éxito en la alimentación (Hubbs & Blaxter 1986, Llopiz 2013). Sin embargo, este no sería el caso, ya que las larvas en preflexión presentaron los valores más altos de IA.

Se ha postulado, además, que bajos valores de IA pueden deberse a que las larvas de clupeoides tienen tasas de evacuación intestinal cortas. Por ejemplo, Herrera y Balbontín (1983) estimaron un tiempo de evacuación intestinal de 3-10 h para las larvas de *Sardinops sagax*, con una reducción del tiempo a lo largo del desarrollo larvario, por lo que sería de interés llevar a cabo estudios para determinar las tasas de evacuación intestinal en larvas de anchoveta del norte de Chile.

El número de presas ingeridas no aumentó o disminuyó con el crecimiento de la larva, tanto en invierno como en verano. Es decir, larvas pequeñas como grandes consumieron indistintamente un número alto o bajo de presas en un rango de 1 a 9. Similar patrón fue informado en larvas de Bahía Iquique de cruceros previos (1 – 14 presas) y para la anchoveta de los fiordos de la Patagonia (1 – 19 presas) (Landaeta *et al.* 2014). En la anchoveta del mar Mediterráneo, el número de presas ingeridas por larva fue bajo (1-5), no observándose un aumento en el número de presas ingeridas con la longitud larval e indicando que tuvo un bajo nivel de voracidad (Morote *et al.* 2010).

El espectro de tamaño de las presas, en término del ancho máximo como el volumen de presas encontrados en los intestinos de larvas de anchoveta, estarían dentro de los rangos de tamaños reportados en estudios previos (Valenzuela *et al.* 1995, Llanos *et al.* 1996; Llanos-Rivera *et al.* 2004, Yañez-Rubio *et al.* 2011, Landaeta *et al.* 2014). Como también para larvas de *E. anchoíta* en las aguas costeras de la Provincia de Buenos Aires (Sato *et al.* 2011) o *E. encrasicolus* del mar Mediterráneo (Morote *et al.* 2010).

Landaeta *et al.* (2014), además mencionan una mayor diversidad de presas en larvas de anchoveta de áreas de surgencia de Chile que en los fiordos del Pacífico Sur y afirma que las preferencias por tamaño de presa durante la etapa larvaria de la anchoveta de ambos ecosistemas son similares.

En este mismo sentido, Yañez-Rubio *et al.* (2011), comunican que las larvas de anchoveta en el área de Talcahuano mostraron una alta incidencia de alimentación con una dieta mixta inicialmente dominada por fitoplancton (larvas pequeñas) y luego cambiando a presas de zooplancton (larvas más viejas) y que a medida que las larvas de anchoveta crecen, se alimentan de presas cuyo ancho no varía mucho en comparación con la longitud y el volumen de su cuerpo. Estas presas pueden ser de diferentes taxones o una sola especie cuyo ancho no varía mucho entre las etapas de la vida (es decir, nauplios y copepoditos).

Con relación a la selectividad de presas por los dos estados de desarrollo larval, fueron muy similares al seleccionar positivamente a los estados naupliares en invierno y verano. En estudios previos realizados en larvas de anchoveta, también se ha determinado una selectividad sobre diferentes estados de desarrollo de copépodos (huevos, nauplios y copepoditos) ya sea asociado a diferentes estados de desarrollo larval (Llanos-Riveras *et al.* 2004, Morotte *et al.* 2010, Landaeta *et al.* 2014), como a características oceanográficas y estructura hidrográfica de la columna de agua (temperatura, salinidad, densidad, por estratos de profundidad, ciclos de marea) (Viñas & Ramírez 1996, Landaeta *et al.* 2014).

En la literatura se ha señalado que el tamaño de la presa es el factor principal que contribuye a los patrones de selectividad en los peces en estados larval, pero también algunos resultados han informado de una selectividad basada en el tipo de presa seleccionadas por larvas de clupeidos (Checkley 1982, Govoni *et al.* 1986), en que algunas de ellas desarrollan una pigmentación intensa y altos niveles de actividad, lo que las hace más visibles (Buskey *et al.* 1993). También deben considerarse las habilidades larvales especie específicas, como habilidades sensoriales y locomotoras que juegan un papel predominante para asegurar el éxito de predación durante los encuentros con organismos presas (Checkley 1982). Se debe tener presente que el cambio en la selección de presas, es decir de presas con poca movilidad como huevos, a nauplios y a grandes copépodos que ya son evasivos implica un gasto importante de energía (Coughlin 1991). Además, existen importantes consideraciones energéticas en el cambio de tipo de presa. Por ejemplo, en la transformación de un nauplio en un copepodito de ancho similar, puede haber un incremento exponencial en el contenido energético (Theilacker & Kimball, 1984). En este sentido, las larvas al momento de la primera alimentación deben encontrarse en un ambiente con condiciones ambientales favorables (e.g. turbulencia, advección, otros) y de oferta de alimento adecuada en términos de concentración, tipo, tamaño y calidad de presas (alto contenido de ácidos grasos esenciales) que son cruciales para su crecimiento y supervivencia.

Finalmente, de los resultados obtenidos del análisis de contenido intestinal de las larvas de anchoveta durante los periodos de invierno y verano, se puede concluir que las larvas en estado de preflexión y flexión seleccionaron aquellas presas que son características de las comunidades que estructuran el microzooplancton de la zona norte de Chile y más específicamente en una de las tres áreas de desove identificada para la anchoveta, como lo es Bahía Chipana. No obstante, se sugiere dedicar esfuerzos para identificar cuales serían aquellas presas que verdaderamente proporcionan los requerimientos energéticos esenciales para mantener un alto crecimiento y supervivencia en los primeros días de alimentación exógena, tan críticos para la supervivencia de las larvas (Garrido *et al.* 2012, Machado 2013).

En este sentido, los experimentos de alimentación realizados en este estudio revelaron que la composición y rango de tamaño de las presas ingeridas por las larvas de anchoveta fueron similares a las descripciones de la dieta para el centro y sur de Chile (Valenzuela *et al.* 1995, Llanos *et al.* 1996, Llanos-Rivera *et al.* 2004, Yáñez-Rubio *et al.* 2011, Landaeta *et al.* 2014), y para la zona de surgencia de Perú (Muck *et al.* 1989), las que indican que las larvas depredan principalmente sobre

los nauplios de copépodos, copepoditos y dinoflagelados, ampliando la diversidad de presas según la disponibilidad. Al respecto, los experimentos realizados en Perú han demostrado que las larvas de anchoveta en estado de primera alimentación consumen partículas que varían entre 12 y 40  $\mu\text{m}$  en tamaño, y que el alimento más importante durante el primer día de alimentación son diatomeas solitarias, como las del género *Actinocyclus*, y dinoflagelados atecados del género *Gymnodinium*. A partir del segundo día de alimentación ocurre un cambio hacia huevos y nauplios de copépodos, los que llegan a ser las presas más importantes entre los 3 y 30 mm en la medida que el fitoplancton comienza a tener una baja incidencia (Rojas de Mendiola 1974, Ware *et al.* 1981). Muck *et al.* (1989) señalan que las larvas entre 3,0 y 3,5 mm de largo estándar se alimentan en un 77% de fitoplancton, principalmente de flagelados en un rango de tamaño promedio de 30  $\mu\text{m}$ . Walsh *et al.* (1979) también reportan que las larvas en estado de primera alimentación no consumen diatomeas de un tamaño de 40 a 80  $\mu\text{m}$ , mostrando preferencia por dinoflagelados, principalmente atecados. Estos autores coinciden en señalar que la concentración del alimento debe estar por sobre las 80 partículas/mL (Walsh *et al.* 1979, Rojas de Mendiola & Gómez 1981) y, en términos de biomasa, una concentración de 0,7  $\mu\text{g C-l/L}$  debería ser suficiente para satisfacer la demanda diaria de carbono para larvas en estado de primera alimentación (Walsh *et al.* 1979). Como información adicional para la región bajo estudio, en experimentos realizados en larvas de anchoveta de la zona norte (Claramunt datos no publicados) se estimó que la dieta adecuada para larvas, de tamaño promedio de 3,6 mm de largo estándar, estuvo compuesta por formas flageladas que fluctuaron entre 5 y 24  $\mu\text{m}$  en tamaño.

Siguiendo con la variación ontogénica en la alimentación, se ha descrito una dieta que se iniciaría con fitoplancton y nauplios y, a medida que aumentan de longitud, se produce una disminución del consumo de fitoplancton aumentando el de copepoditos (Llanos-Rivera *et al.* 2004, Morote *et al.*, 2010, Yáñez-Rubio *et al.*, 2011). Las larvas de primera alimentación consumen una gran variedad de presas pequeñas y a medida que crecen en talla, se alimentan de presas más grandes (Hunter, 1981), existiendo una relación entre la selectividad por el tamaño de las presas y la talla de las larvas.

Otros estudios han mostrado cambios en la selectividad de presas a lo largo de la ontogenia asociados a la densidad de presas (Schmitt 1986) y visibilidad de las presas (Peterson & Ausubel 1984). Landaeta *et al.* (2014) demostraron una gran selectividad hacia los nauplios en la capa de mezcla, concluyendo que esta preferencia se asocia más a la disponibilidad que a una preferencia

hacia ese tipo de presa. Hunter (1981) señala que cuando no hay presas de alta energía disponibles (que satisfagan sus requerimientos), las larvas se alimentarían de partículas fáciles de atrapar, lo que sugiere que sería lo de mayor abundancia.

Si bien los cambios en la dieta con el incremento del tamaño están a menudo relacionados con un mayor consumo de presas grandes porque proporcionan más energía para mejorar su movilidad (Hunter 1981), también se relacionan con sus modificaciones morfológicas ya que determinan su mayor capacidad para detectar, acercarse y capturarlas (Munk 1992, Sabatés & Saiz 2000, Choi *et al.* 2018). Los resultados obtenidos con respecto a la dieta alimentaria de los primeros estados de anchoveta mantenidos en un sistema semi-intensivo demuestran que el microzooplancton llega a ser un grupo importante en la dieta de las larvas, especialmente el grupo de los crustáceos, como lo son los copepoditos además de los nanoflagelados, similar a lo reportado por Landaeta *et al.* 2014. Se observa además, que a medida que las larvas aumentan de tamaño también aumenta el tamaño de la presa. No se observa una preferencia por una especie en particular, sino que más bien la selección estaría influenciada por el tamaño de ésta, sobre todo en larvas en postflexión. El alto índice de incidencia presentado por las larvas está más bien relacionado a que larvas grandes presentan mayor capacidad de captura y de movilidad en los estanques en que se encontraban. Los valores de incidencia alimentaria coinciden con los reportados por Yañez-Rubio *et al.* (2011) y Balbontín *et al.* (1997) para larvas de anchoveta.

No obstante, a pesar de disponer de una oferta variada y relativamente abundante durante el tiempo que las larvas permanecieron en los estanques, los estómagos al momento del análisis no presentaban presas en ningún grado de digestión, sin embargo, se mantuvieron activas hasta la edad 39, situación que podría ser explicada debido a que las larvas de clupeidos son susceptibles a la evacuación (regurgitación o defecación) de su contenido estomacal durante el muestreo y preservación (Arthur 1976). Lo que nos permite inferir que las larvas se alimentaron satisfactoriamente desde la eclosión y hasta que se colectaron las últimas larvas.

El modelo ajustado a los datos de longitud estándar y edad fue uno lineal para ambos períodos, el que se haya ajustado un modelo lineal se podría deber al rango estrecho de edades encontrado en los muestreos (3 y 18 días). Castro & Hernandez (2000) ajustan para anchoveta de la zona de Talcahuano modelos lineales para dos periodos de tiempo (1995 y 1996) cuyos rangos de edades fue entre 3 y 35 días (1995) y entre 3 y 14 días (1996). Hernandez & Castro (2000) ajustan tres modelos a información de larvas de anchoveta de la zona de Talcahuano capturadas durante el

invierno de 1995, los modelos son lineal, Gompertz y von Bertalanffy, el rango de edades estuvo entre los 3 y 35 días. Castro & Hernández-Contreras *et al.* (2016) ajusta un modelo lineal a datos de larvas de anchovetas capturadas en la Bahía de Antofagasta con edades entre los 2 - 31 días. Otros ejemplos de ajuste lineal en larvas son en *Anchoa mitchilli* (Leak & Houde 1987), *Sindoscopus australis* (Rodríguez-Valentino *et al.* 2015), *Engraulis encrasicolus* (Cotano *et al.* 2008).

Las tasas de crecimiento estimadas, según el modelo, en invierno fue de 0,88 mm/día y en verano de 0,71 mm/día lo que esta en el rango estimado para esta especie en Chile. Hernández & Castro (2000) para la zona de Talcahuano estiman una tasa de crecimiento, por medio del modelo lineal, de 0,47 mm/día. Contreras *et al.* (2016) en larvas de anchoveta de la Bahía de Antofagasta estima entre 0,5 y 0,85 mm/día para larvas menor a 30 días.

Las tasas de mortalidad estimadas representan una sobrevivencia de 64,9 % ( $Z = 0,43 \text{ día}^{-1}$ ) y 58,9% ( $Z = 0,53 \text{ día}^{-1}$ ) para el invierno y verano, respectivamente, a pesar de que no presentaron diferencias significativas, las diferencias se encontraron en las estimaciones de la producción diaria de larvas, es decir, independiente de la cantidad de larvas la tasa de mortalidad se mantiene. Contreras *et al.* (2016) estima valores entre 0,16 y 0,27  $\text{día}^{-1}$ .

Se plantea un indicador de sobrevivencia de estadios tempranos a partir de información ambiental y de predadores, que, si bien puede llegar a ser útil, tiene dificultades de implementación por cuestiones de logística (tiempo barco y otros). En primer lugar, habría que evaluar una grilla de muestreo (cobertura, número de estaciones, etc), para luego evaluar su desempeño en un horizonte de tiempo. Sin embargo, sería de gran utilidad estudiar su comportamiento en una serie temporal.

En el presente estudio se compararon los grosores de los micro-incrementos como un proxy de la tasa de crecimiento somático diario, y los radios a cada edad, como un proxy la longitud de cada ejemplar en una misma escala, para los primeros 19 días de vida. La precisión de los registros se vio favorecida porque la micro-estructura fue nítida con poca presencia de anillos sub-diarios, que es una característica reportada por estudios previos para la zona la primera zona micro-estructural (A), en larvas, juveniles tempranos, juveniles tardíos e incluso en adultos de esta especie en aguas chilenas (*e.g* Cerna *et al.* 2011, Cerna & Plaza 2016, Contreras *et al.* 2017, Garcés *et al.* 2019). Esta característica contrasta con la mayor dificultad de identificación de los anillos diarios, en otras zonas micro-estructurales, que es un rasgo muy típico de esta especie y otros engraulidos (*e.g.* Cermeño *et al.* 2008, Aldanondo *et al.* 2011), asociadas al proceso de metamorfosis y la fase juvenil

de mayor crecimiento, donde es común encontrar una mayor cantidad de anillos sub-diarios, discontinuidades, anillos dobles y/o triples (Cerna & Plaza 2016).

En el proceso comparativo del crecimiento entre ejemplares de los sobrevivientes con aquellos de la población larval original se utilizó el método tradicional, comúnmente usado hasta la fecha para evaluar algunos mecanismos de la Hipótesis Crecimiento-Mortalidad (Plaza & Ishida 2008). No obstante, este método, también tiene limitaciones porque requiere un gran esfuerzo logístico, para lograr tamaños de muestras confiables de la población original para efectos comparativos. Esta condición se hace mucho más necesaria en especies pelágicas pequeñas, que poseen épocas de desove prolongadas (*e.g.* Araujo *et al.* 2008), como es el caso de anchoveta (Claramunt *et al.* 2012), que gatillan la existencia de múltiples cohortes, que van a ser necesariamente impactadas por condiciones ambientales diferentes a lo largo de la estación y por consiguiente impactando el crecimiento larval. Por lo tanto, las comparaciones del crecimiento deben realizarse entre ejemplares de una misma cohorte. Este no fue precisamente el caso del presente estudio, donde las fechas de nacimiento difirieron entre las larvas y los pre-reclutas (*i.e.* primavera vs invierno). Además, se sumaron otras dos fuentes de inconsistencia: (i) la existencia gradiente norte sur en el crecimiento de los pre-reclutas y (ii) un predominio de larvas en preflexión.

Para soslayar las fuentes de inconsistencia, se utilizaron modelos lineales de efectos mixtos que permitieron evaluar las diferencias aún bajo estas condiciones, debido a que esta aproximación ha resultado exitosa en el análisis de datos longitudinales (medidas repetidas) en varias disciplinas, cuando los diseños no son balanceados y cuando existen múltiples fuentes de variación (*e.g.* Cnaan *et al.* 1997; Weisberg *et al.* 2010; Gao & Owen 2020). Recientemente los MLM han sido también utilizados en el análisis de grosores de micro-incrementos a escala anual, para evaluar su relación con las fluctuaciones de forzantes ambientales (*e.g.* Morrongiello & Thresher 2015; Smoliński *et al.* 2020). Por lo tanto, los resultados del presente estudio demuestran también su potencial para analizar este tipo de diseños a escala diaria.

Como corolario en la parte metodológica, pareciera ser que, desde un punto de vista de calidad del registro, como de los procedimientos analíticos involucrados, los resultados son confiables. Consecuentemente, estos hallazgos proporcionaron la primera evidencia de que los ejemplares de anchoveta, que alcanzaron las etapas post-larval y juvenil temprana, fueron los que más crecieron y alcanzaron los mayores tamaños corporales durante los primeros 19 días de vida. Estos resultados se alinean bien con lo reportado algunas especies de peces pelágicos pequeños, donde se han

reportado asociaciones positivas entre el crecimiento y la sobrevivencia, a saber: *Sardina pilchardus* (Alemany *et al.* 2006), *Brevoortia patronus* (Grimes & Isely 1996), *Spratelloides gracilis* (Meekan *et al.* 2006), *Sardinops melanostictus* (Plaza & Ishida 2008) y *Engraulis japonicus* (Takahashi & Watanabe 2004, Takasuka *et al.* 2003). Consecuentemente, los resultados proveen evidencias iniciales en favor de la Hipótesis de Crecimiento-Mortalidad (Anderson 1988) y alguno de sus mecanismos (Legget & DeBlois 1994, Shepherd & Cushing 1980, Takasuka *et al.* 2003). Los resultados sincronizan también con varios estudios de campo, llevados a cabo en las últimas tres décadas, con metodologías comparables usando otolitos, donde se ha demostrado la operatividad de la HCM, en los estadios tempranos de peces de otras familias y ambientes acuáticos (*e.g.* Pleuronectidae, *Pleuronectes platessa*, Howenkamp 1992; Merlucciidae, *Merluccius productus*, Butler & Nishimoto 1997; Salmonidae, *Coregonus albula*, Urpanen *et al.* 2005; Gadidae, *Gadus morhua*, Nielsen & Munk 2004), e incluso más recientemente en grandes pelágicos como el atún azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*; Watai *et al.* 2017).

Una pregunta inmediata que surge a luz de los resultados encontrados en los estudios previos y en la anchoveta en particular es ¿hasta qué punto estos resultados de verificación de la HCM a partir de estudios de campo puntuales pueden ser efectivamente generalizables a la población real natural? Para intentar abordar este cuestionamiento hay que partir por enfatizar que los peces pelágicos pequeños desovan una gran cantidad de huevos de pequeño tamaño, durante una estación prolongada y debiesen traducirse también en millones de larvas, que en su mayoría perecen por mortalidad natural en sus fases iniciales. Bajo estas condiciones, es recomendable expandir la evaluación de la HCM con el método tradicional, en una escala espacial y temporal mayor, que permita tener una mejor representación de la población larval original. Un enfoque de este tipo es altamente costoso debido a la logística e infraestructura de muestreo requerida. Sin embargo, para la anchoveta se realizan muestreos ictiopláctónicos de forma regular, en los cruceros RECLAN de forma anual. Por lo tanto, si se generasen algunas adaptaciones de operación y fijación del material recolectado, que permitiese la preservación de los otolitos, se podría proveer de muestras muy valiosas, que pudiesen permitir abordar no sólo problemáticas asociadas a la sobrevivencia, sino que también a la ecología larval de esta especie de forraje clave en el Sistema de Corriente de Humboldt.

En el presente estudio fue posible contar con muestras de pre-reclutas, recolectadas durante el desarrollo del crucero RECLAN, llevado a cabo durante diciembre de 2019 por el Instituto de

Fomento Pesquero. Este tipo de muestras, de ejemplares de entre 3 y 5 cm de LT que han aparecido en los registros de los cruceros en los últimos años son extremadamente valiosas, porque representan la fracción que sobrevivieron la etapa larval. Esta fracción es infinitamente tan pequeña en tamaño poblacional en comparación a la población larval original, que no existe probabilidad de capturar un sobreviviente potencial a través de los nuestros ictioplanctónicos convencionales (ver Hare & Coven 1997). Por lo tanto, el crecimiento larval reconstruido a partir de otolitos de muestras de pre-reclutas (sobrevivientes), podría ser un buen proxy de lo que realmente ocurrió con el crecimiento en esas fases iniciales vulnerables. Sin embargo, a pesar del potencial de los pre-reclutas, los rasgos de sus historias de vida (incluido el crecimiento diario) son aun pobremente conocidos, en la mayoría de los peces teleósteos, y en los pequeños pelágicos en particular (e.g. Peck *et al.* 2013), debido principalmente a la baja vulnerabilidad a los métodos de captura en zonas costeras someras.

Si se analizan los pre-reclutas capturados por los cruceros RECLAN, se podría construir de manera consistente una señal anual del crecimiento larval inicial de una cohorte de mediados de primavera, debido a que el crucero se lleva a cabo de forma regular en fechas similares todos los años. Esto permitiría comenzar a elaborar una serie de tiempo de crecimiento diario sobre una base monitoreable, que permita relacionar el crecimiento larval reconstruido, con estimaciones de abundancia del stock de la próxima estación, para comprobar si las clases anuales más abundantes fueron también aquellas que derivaron de sobrevivientes que tuvieron un mayor crecimiento larval. Ciertamente un enfoque como este, sólo abordaría una pequeña ventana ambiental de primavera, y resultaría extremadamente poco realista esperar que esa fracción menor a 1% de sobrevivientes anuales, provenga inequívocamente de una misma cohorte estacional. Sin embargo, puede proveer un punto de partida valioso, dentro del marco de la búsqueda de indicadores biológicos, que puedan dar una señal anticipada de la condición del stock adulto y también puedan sumarse a otros indicadores, que de una forma holística otorguen una visión de la salud de la especie en el ecosistema.

Según nuestros resultados y a pesar de ser la etapa larval de la anchoveta una etapa crítica, no necesariamente llega a ser un factor determinante en el éxito del reclutamiento en la zona norte, debido a la disponibilidad de alimento y a una alta productividad planctónica que puede ser continua a través del año en la zona norte (Ulloa *et al.* 2001). Más bien una sumatoria de diversos

factores, ya sea tamaño de las presas, tasa de encuentro, capacidad natatoria y un aumento en la capacidad de captura por parte de las larvas harán que estas lleguen en las mejores condiciones nutricionales a la fase de pre-recluta.

Los estudios realizados para distintas especies de *Engraulis* referidas al reclutamiento de la población dan cuenta de la dificultad de asignar una causa determinante en el éxito o fracaso del reclutamiento dada las fluctuaciones en la población frente a la variabilidad ambiental, ya sea física y/o biológica (Lasker 1981, Painting & Korrubel 1998, Cahuín *et al.* 2009, Oliveros-Ramos & Peña 2011).

La característica principal de los pequeños pelágicos es su corta vida y rápido crecimiento, lo que además trae consigo que un alto porcentaje de la captura del año esté sustentada por ejemplares reclutas. En este escenario, sería de vital importancia el contar con algún tipo de indicador que permita el pronóstico temprano de la condición del stock y de su sentido de cambio, el cual sería de gran utilidad para la evaluación y la administración pesquera. Sin embargo, esto involucra de alguna forma el pronosticar la fuerza del reclutamiento a partir de alguna medida de productividad, lo que representa un gran desafío para la ciencia pesquera, ya que implica establecer una relación del tipo Stock-Recluta (SR). La relación SR involucra la idea de que: 1) el número anual de reclutas de un stock de peces es positivamente relacionado a la biomasa del stock desovante, al menos a bajos niveles (Myers & Barrowman 1996, Gilbert 1997); 2) que la biomasa desovante es una medida del potencial reproductivo del stock, lo que ha sido uno de los mayores paradigmas en la administración pesquera y en estudios sobre el reclutamiento (Takasuka *et al.* 2019); y 3) que existen mecanismos compensatorios que reducen el número de reclutas por desovante cuando el tamaño del stock incrementa (Parrish *et al.* 1986, Hilborn & Walters 1992). Sin embargo, la variabilidad de los datos es tan grande que incluso la forma de la relación SR no puede ser determinada con confianza para un stock en particular (Koslow 1992). Numerosos estudios explican la debilidad o ausencia de una relación stock recluta en los peces pelágicos pequeños, como consecuencia de las fluctuaciones climáticas que afectan la supervivencia desde la eclosión hasta el reclutamiento, de modo que el reclutamiento se desacopla en gran medida de la biomasa reproductora (Canales *et al.* 2020). La debilidad de la relación stock recluta en los pequeños pelágicos es, por tanto, un problema grave, ya que podría llevar a la inferencia de que las limitaciones del crecimiento de la población que dependen de la densidad son débiles o no existen.

Sin embargo, alternativamente podría ser que la relación SR sea en sí mismo el problema (Canales *et al.* 2020).

En teoría, se esperaría que la producción total de huevos, es decir la producción diaria de huevos expandida al área de desove ( $Po \cdot \text{Área de desove}$ ), tuviera una relación tipo domo con el reclutamiento, con un desfase temporal equivalente al tiempo necesario para que los huevos se conviertan en reclutas. De acuerdo con los últimos trabajos en edad y crecimiento de anchoveta, este desfase debiera ser de unos 5 a 6 meses, que es el tiempo que demorarían en alcanzar la madures sexual (11,5 cm) y reclutar a la pesquería. Desfase temporal que concuerda con la relación encontrada de la producción de huevos con las capturas del primer semestre del siguiente año, esto es que los ejemplares nacidos en el período del crucero (mes pico de desove) reclutarían a los 5 a 6 meses posteriores (verano del próximo año), lo que concuerda con el período de mayor reclutamiento. Sin embargo, esta relación es débil y no permite hacer pronósticos, ya que una misma producción de huevos puede producir distintos niveles de reclutamiento dependiendo de los factores que determinan la sobrevivencia. Esta alta dispersión es esperable si se piensa en todos los factores que intervienen para que los huevos lleguen a reclutas. Sin embargo, a pesar de la alta dispersión, se demuestra que la curva básica (HR) en contraposición a la SR, explica mejor las variaciones en el reclutamiento, ya que la magnitud de la variación en la abundancia es insuficiente para explicar la variación en la producción de huevos y por ende en el reclutamiento, no así el éxito reproductivo (reclutas por huevo) que además de ser una medida de producción biológica es sensible a la variabilidad ambiental.

En peces, cambios espacio temporales en la reproducción, esto es, cambios en períodos y áreas de desove, influyen el crecimiento y sobrevivencia de estadios tempranos, ya que determinan el ambiente en que estos se desarrollan (Secor 2007). Así, fluctuaciones en la abundancia del stock del pacífico de *Sardinops melanosticus* del Japón estuvieron acompañadas por cambios en el período de desove (Itoh *et al.* 2009, Takahashi *et al.* 2008, Watanabe *et al.* 1996, 1997), influenciando el ambiente experimentado por los estadios tempranos (e.g. temperatura, disponibilidad de alimento, evasión de predadores), lo que además afecta el crecimiento temprano.

Las dos distribuciones de probabilidad del IGS que se presentan durante el primer semestre, introducen una reinterpretación del cálculo del IGS medio y del período reproductivo de anchoveta. Esto es que al momento de calcular IGS medios se debe decidir si se incorporarán o no las inactivas en el cálculo. De hacerlo, se debe tener presente que un factor causal importante en su variación,

especialmente durante el primer semestre, se debe al ingreso de los reclutas al stock reproductor (hembras que desovan por primera vez). Por tanto, la caída de los IGS en los primeros meses del año, considerado hasta el momento como un período de “reposo”, está fuertemente influenciado por la incorporación de reclutas al stock reproductor. En conclusión, la caída abrupta de los IGS medios mensuales en los primeros meses del año no obedecen a la entrada a un periodo masivo de “reposo” reproductivo como se ha interpretado hasta el momento, sino que obedece principalmente al ingreso de los reclutas al stock desovante (hembras que desovarán por primera vez). Esta evidencia coincide con la edad planteada de 5 a 6 meses para los 11,5 cm, ya que los nacidos en el pico de agosto-septiembre, se estarán integrando a la fracción madura en enero-febrero como un grupo inactivo, que se va integrando al grupo de las activas a medida que llega el pico reproductivo, lo que se observa al ver como desaparece la primera moda en el histograma de IGS.

Uno de los grandes problemas de la pesquería de la zona norte es la ausencia de reclutas en los desembarques, lo que incluso ha entorpecido la toma de decisiones para establecer la veda de reclutamiento al no poder llegar a establecer indicadores de reclutamiento. En este trabajo se desplaza el reclutamiento a una fase de la cual se tiene información, para detectar a las hembras que se integran por primera vez al stock reproductor utilizando un indicador macroscópico de uso rutinario. Es así como se llega a un índice que puede ser utilizado como un proxy de reclutamiento. Esto se explica por que el índice elaborado da cuenta de la fuerza con que hembras se van incorporando por primera vez al stock desovante, que es del cual dependen las capturas del semestre.

Los indicadores de reclutamiento propuestos en este trabajo, si bien no son excluyentes unos de otros, ya que se basan en distintas etapas de la historia de vida, algunos son implementables inmediatamente ya que se pueden estimar desde bases de datos, otros son más complejos y se requerirían esfuerzos adicionales para su implementación.

Proponemos como mejor índice de productividad de anchoveta de la zona norte, a la relación existente entre los centros de gravedad y las capturas (abundancia) del año, debido a sus grandes ventajas: buen ajuste, independiente de la pesquería, ya cuenta con la serie de tiempo del MPH que entrega información valiosa para la comprensión de la biología y la dinámica del desove de la anchoveta y que además es monitoreada año a año.

El modelo conceptual de la historia de vida de anchoveta de la zona norte que nace al amparo de este proyecto, considerando resultados, evidencias publicadas y discusión con investigadores relacionados a la pesquería de anchoveta, se describe a continuación:

Las hembras que participan y son responsables de la producción de huevos de un año, son en su gran mayoría hembras que se incorporan por primera vez (90% de la captura son ejemplares de menos de un año (Plaza *et al* 2017), por otro lado, si consideramos la mortalidad natural utilizada en el modelo de evaluación, es del orden de  $2,2 \text{ día}^{-1}$ , lo que implica que solo el 11,1% podría sobrevivir al primer año de vida (Espindola 2020). Estas hembras pueden ser detectadas y cuantificadas por medio de un adecuado esquema de muestreo, a través de índices macroscópicos como el planteado en este trabajo ( $\text{IGS} \leq 2$  y  $\text{LT} \leq 14 \text{ cm}$ ).

La movilidad de los adultos de anchoveta les permite cambiar sus zonas de desove tanto en el tiempo como en el espacio, y así garantizar el éxito reproductivo para sostener su población. El canibalismo de sus propios estadios tempranos es un fenómeno que ocurre, pero en forma pasiva, ósea solo producto de la probabilidad de encuentro al alimentarse los adultos por filtración. La expansión y contracción de las áreas de desove en relación con la abundancia de adultos (**Figura 157**) sería un mecanismo para disminuir la probabilidad de canibalismo, además de permitirle la colonización de áreas nuevas en condiciones ambientales más favorables. Así es que la relación encontrada entre los centros de gravedad y la captura anual (**Figura 170**) plantea que anchoveta comienza por desovar en las áreas recurrentes de desove en la zona costera, por parte de los adultos que se encuentran en la zona costera, como por adultos que ingresan desde el Perú en forma masiva. Estos sitios recurrentes son los que aumentan la probabilidad de sobrevivencia para los primeros estadios. Incluso, puede que exista fidelidad por el área de desove, ya que obedece a la lógica natural de repetir la historia de vida exitosa. Pero si el proceso es muy masivo, los sitios recurrentes alcanzan cierto umbral de densidad de adultos/huevos, por el cual las hembras comienzan a salir costa afuera, ocupando las áreas ocasionales, que son más oceánicas, y así sucesivamente siguiendo un proceso densodependiente en la utilización del espacio (**Figura 171**). De la mano con este proceso está la influencia de los distintos ambientes, que se reflejarán en la variabilidad en el crecimiento y sobrevivencia en las distintas etapas de desarrollo de la población. No se puede descartar que, en ciertos periodos, la reducción de las tallas medias pueda ser el producto de una caída de la tasa de crecimiento, debido a que la sobrevivencia se traslada hacia estadios tempranos de bajo crecimiento por causas aún desconocidas (Valencia-Gasti *et al.* 2015).

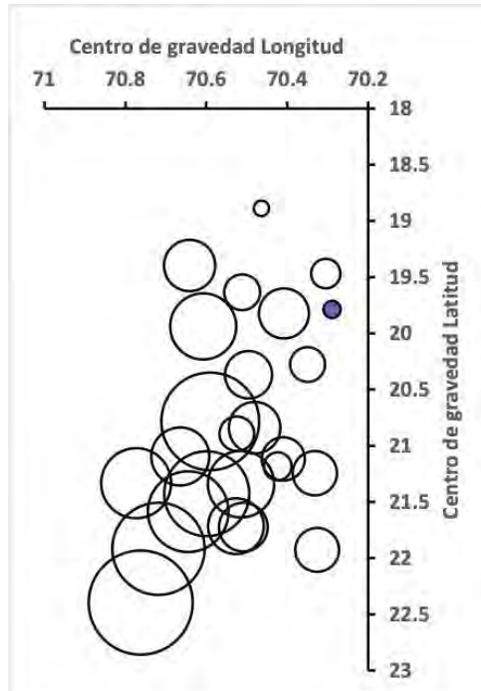


Figura 170. Centros de gravedad de la distribución de huevos en cada año de aplicación del MPH. Diámetro de círculos es proporcional a la captura del año. Círculo azul es año 2020.

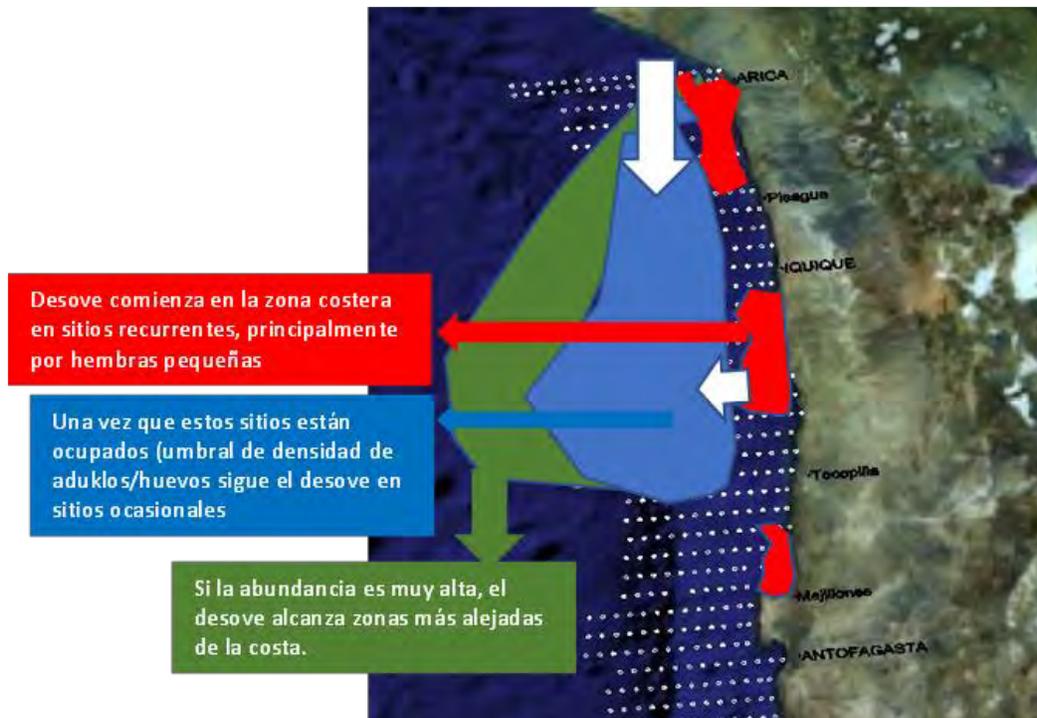


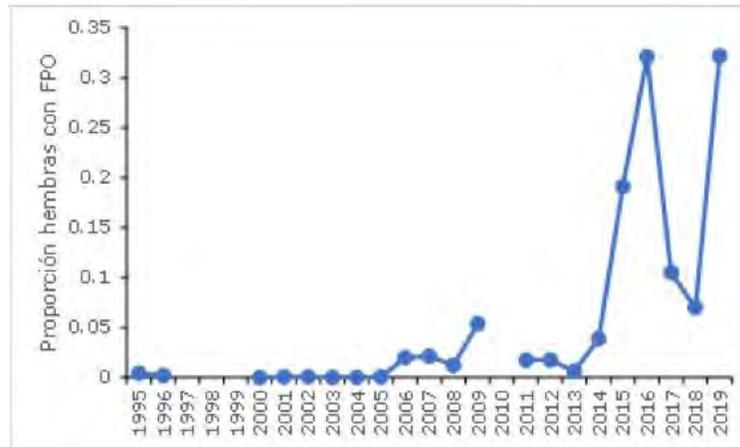
Figura 171. Figura que intenta explicar los cambios en los centros de gravedad junto con la abundancia. Flechas blancas representan el contingente que comienza a desovar, los nacidos en aguas chilenas y el ingreso desde el Perú.

En general la teoría señala que las larvas luego de la eclosión y una vez comenzada la alimentación exógena deben estar preparadas morfológicamente (boca funcional, forma del cuerpo, capacidad natatoria, ojos pigmentados), lo que deberá estar en sintonía con un área de alimentación, que también debe ser la óptima en términos de abundancia de presas, tipo de presas, condiciones abióticas favorables (que debiera ocurrir en las áreas recurrentes costeras), de tal manera que pueda comenzar a seleccionar sus presas de manera de llevarla al éxito alimentario en cada una de las etapas de crecimiento. Si todo es óptimo, favorecerá a un rápido crecimiento, asociado a un rápido desarrollo de su morfología (boca, aletas, etc.), órganos sensoriales, comportamiento de caza, natación etc, etc. y capacidad de escape a sus potenciales predadores traduciéndose también en una mayor sobrevivencia larval. Lo contrario llevaría al fracaso de la cohorte de huevos o a estadios tempranos de bajo crecimiento. Anchoqueta de la zona norte muestra una reducción de talla de forma sostenida en los últimos años lo que aún no tiene explicación, sin embargo, hay indicios de que sea un problema en el crecimiento, como es la aparición de ejemplares con folículos postovulatorios (un marcador de desove previo) en hembras con tallas inferiores a 12,5 cm (**Figura 172**). Osea que esta aparente reducción en la talla de madurez, podría ser producto de la tasa de crecimiento, por tanto, a la misma edad llegan con menor talla. Otra explicación es que están llegando a la zona costera los ejemplares que eclosionan en aguas oceánicas, que han tenido baja tasa de crecimiento debido a la menor oferta de alimento. lo que conlleva además cambios en fecundidad y tamaño de los huevos.

Esta estrategia de expansión de anchoqueta, tendría como ventaja minimizar la mortalidad por canibalismo y aumentar el encuentro de nuevas áreas de desove y crianza. Además, está el que conforme una especie extiende su distribución espacial, la selección del área de desove podría ser un mecanismo adaptativo para contrarrestar o usar la variabilidad de las condiciones ambientales, particularmente a escalas más largas como la decadal (Ahlstrom 1960). La colonización de áreas nuevas le permite a una población establecerse en condiciones ambientales más favorables, lo cual es muy evidente en la expansión y contracción de las poblaciones de peces pelágicos menores (Valencia-Gasti *et al.* 2015).

En lo que respecta a estadios tempranos, existe un sin número de factores frente a diversos escenarios medioambientales que afectan tanto la magnitud del desove, como la sobrevivencia de huevos y larvas, que hacen muy poco probable el desarrollo de un indicador de la fuerza de la clase anual. La sobrevivencia de estadios tempranos está sujeta a muchos condicionantes, los cuales,

además, deben ser analizados en un contexto espacial y temporal, en otras palabras, la sobrevivencia en un lugar (*e.g.* Iquique) no es la misma que en otra (*e.g.* Arica), lo que torna a índices basados en el ambiente, poco prácticos y de difícil implementación.



**Figura 172. Proporción de Folículos Postovulatorios en hembras con tallas inferiores a 12,5 cm en las hembras muestreadas al amparo del Método de Producción de Huevos.**

## 5.1 Factores que determinan la sobrevivencia de estadios tempranos de anchoveta

A la luz de los resultados de este estudio, la Predación (incluido el canibalismo) es claramente la principal causa de mortalidad en forma directa. Otros factores actúan en forma indirecta, ya sea potenciando o debilitando la probabilidad de encuentro ente presa y predador (Transporte, profundidad de la capa de mínimo oxígeno, etc).

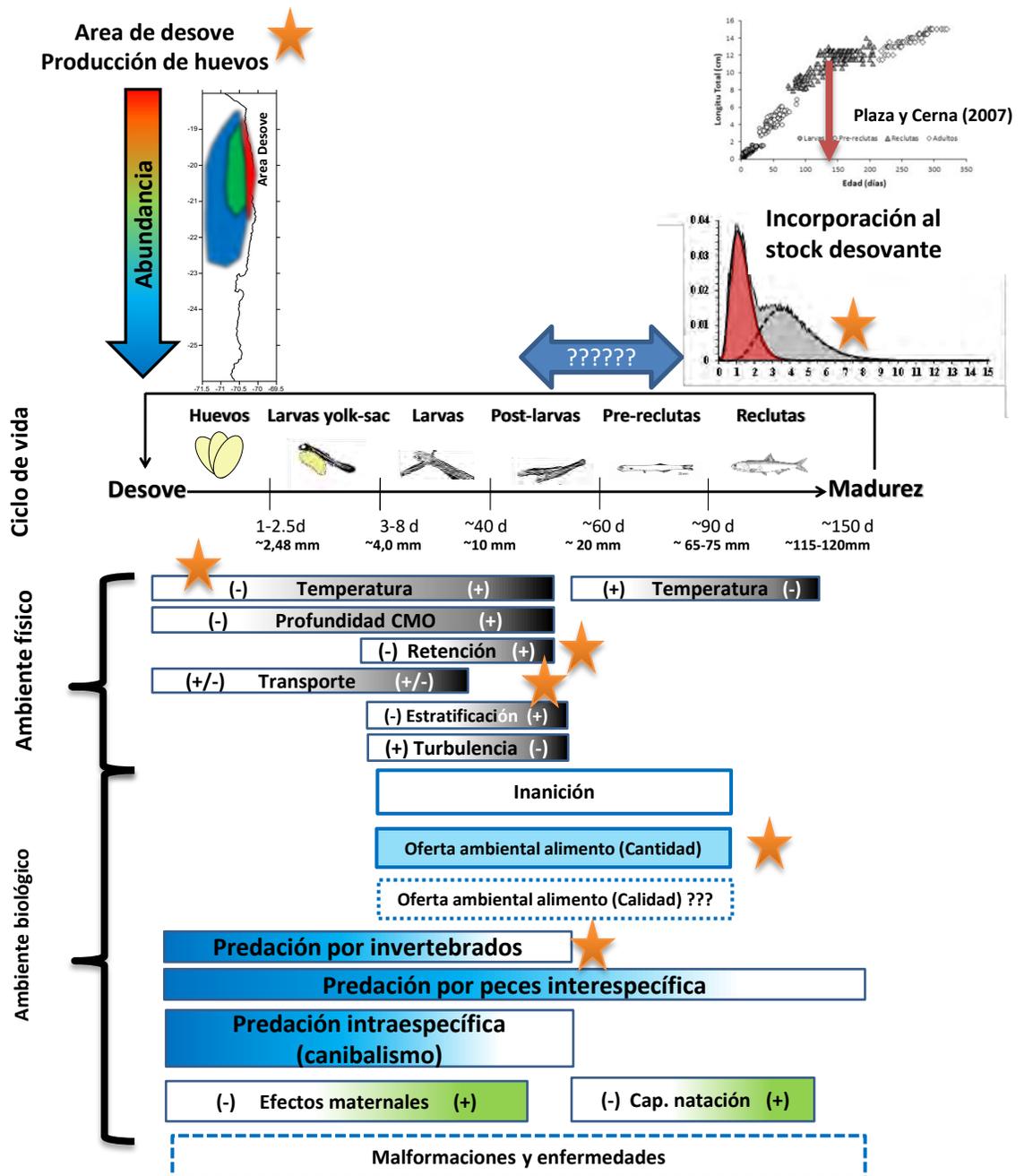
Las evidencias encontradas en este estudio, de que crecer más rápidamente y alcanzar mayores tamaños larvales, pareciera ser una ventaja, que incrementa las probabilidades de sobrevivir de los ejemplares de esta especie en sus estadios tempranos vulnerables, refuerzan la idea de la predación como causal principal, debido al efecto del escape por tamaño, esto es que al adquirir mayor tamaño se reduce el espectro de posibles redadores.

La inanición, de acuerdo a nuestros resultados, no es un factor relevante de mortalidad, ya que la oferta de alimento sería suficiente al menos en la cantidad. Respecto de la calidad se debieran hacer estudios del aporte energético de las distintas presas.

En **Figura 173** se resumen en forma esquemática los resultados de este estudio. Causas de mortalidad directa en azul. Ambiente físico en gris. El degradado gris indica la dirección de cambio

(Ej. blanco a negro – menor a mayor temperatura. Signo significa influencia positiva (+) o negativa (-) en la sobrevivencia. Zona superior lo que corresponde a adultos, partiendo con el desove de una población cuya abundancia determina el área de desove, tanto en extensión como en localización (centros de gravedad). Existe una zona donde están postlarvas y la metamorfosis (adquisición de los caracteres de un juvenil), de la cual no se conoce nada. El crecimiento en longitud estaría de acuerdo con el modelo de Plaza *et al* (2017). Alcanzan la madurez en unos 5 a 6 meses, incorporándose al stock desovante, momento en que son detectables mediante indicadores reproductivos. El ambiente biológico (oferta de alimento microfito y microzooplancton), en términos del tipo, tamaño y concentración cumple con los requerimientos de los estadios tempranos durante el periodo de estudio. La Inanición con cuadro en blanco porque no sería una causa importante de mortalidad, al menos en cantidad. La calidad del alimento (i.e. contenido graso, aporte nutricional) cuadro en blanco porque es una pregunta que resolver.

La predación es una causa de mortalidad directa, de mayor importancia en estadios tempranos, con cambio progresivos en la importancia relativa de predadores principales (desde zooplancton a vertebrados) a lo largo del ciclo previo al reclutamiento. La temperatura es importante en todo el ciclo, sin embargo, es más relevante en estadios tempranos que requieren maximizar el desarrollo y crecimiento para disminuir vulnerabilidad. La capa de mínima de oxígeno comprime el hábitat disponible para presas y predadores, aumentando la probabilidad de encuentro. La retención es relevante durante las etapas planctónicas del ciclo de vida, a medida que los individuos comienzan a controlar su ubicación espacial (vertical y horizontal) esta variable se vuelve menos importante. La retención es una causa de mortalidad indirecta asociada a la probabilidad de mantenerse en áreas óptimas para la sobrevivencia y el crecimiento (alimento en cantidad y calidad, baja densidad de predadores) y por lo tanto estaría asociada con la inanición como causa de mortalidad. La turbulencia y estratificación estaría asociada a la etapa de primera alimentación, donde se requiere maximizar las tasas de encuentro con el alimento. Durante las etapas tardías existe mayor capacidad natatoria para la alimentación. Los efectos maternos estarían relacionados con las etapas tempranas asociados a la viabilidad de huevos y a aspectos bioenergéticos de larvas con saco vitelino. La capacidad natatoria es importante al momento de iniciar la alimentación activa y secundariamente al momento de formar cardúmenes para maximizar la sobrevivencia. Las malformaciones y enfermedades serían una causa menor en todas las etapas del ciclo, aunque no se tienen estimaciones que lo respalden.



★ Abarcado en este estudio

Figura 173. Resumen esquemático de los principales resultados. Explicación en texto

## 5.2 Otras conclusiones

- El componente microfitoplanctónico, como potencial oferta ambiental para las larvas de anchoveta, exhibió cambios en sus abundancias, acordes con la intensidad de la surgencia y época del año, observándose una alternancia entre diatomeas en cadena y flagelados atecados durante los periodos extremos (invierno-verano).
- Los tamaños del microplancton de mayor frecuencia se observaron entre los 100 y 200  $\mu\text{m}$ . La información de las características de las presas que conforman la dieta de las larvas de anchoveta, a través de su ontogenia, permite señalar que el microplancton cumple con los requerimientos de estos estadios.
- La composición de la dieta obtenida a través del contenido intestinal por estado de desarrollo larval (preflexión y flexión) en invierno 2019 y verano 2020, en Bahía Chipana, dan cuenta que la presa principal consumida fue los estados naupliares en ambos estados de desarrollo larval, seguido de huevos de invertebrados en los estados de preflexión y con un notable aumento en el consumo sobre componentes del zooplancton como copépodos en larvas en estado de flexión.
- El consumo sobre organismos fitoplanctónicos no fue importante en larvas de Bahía Chipana para el periodo analizado, no superando valores de importancia relativa en la dieta  $> 0,001\%$  IIR en larvas en preflexión.
- Una tendencia a cambiar el tamaño de las presas con el desarrollo larval de la anchoveta también fue evidente, comportamiento que ya ha sido descrito para anchoveta y otras especies de larvas.
- El índice de selectividad de presas mostró una alta preferencia por nauplios en larvas en preflexión y flexión, seguido de huevos de invertebrados en larvas en preflexión. Item presas que estuvieron dentro de los grupos más abundantes en la oferta alimentaria junto con ciliados, tintinidos y copépodos.
- Las estimaciones de la tasa de crecimiento, obtenidas por medio de un ajuste de un modelo lineal fueron de 0,88 mm/día para invierno y de 0,71 mm/día para verano, no presentando diferencias significativas.
- Las estimaciones de mortalidad fueron de 0,43 y 0,53  $\text{día}^{-1}$  para ambos periodos respectivamente.

- Esquemas de modelación biofísica sugieren que la mortalidad por advección puede ser un controlador importante de la sobrevivencia temprana de anchoveta en el norte de Chile que constituiría entre el 50% y 70% de las pérdidas poblacionales.
- Meridionalmente la retención se ve influenciada por eventos El Niño que aumentan la retención en el margen norte de la zona de estudio, lo que estaría asociado a un debilitamiento de la corriente superficial sur-norte.
- Una aproximación simple hacia la modelación del crecimiento temperatura-dependiente incorporada al modelo biofísico sugiere alteraciones importantes en el ciclo anual del crecimiento asociadas a impactos térmicos de eventos El Niño/La Niña, que podría afectar indirectamente a la sobrevivencia temprana.
- El crecimiento diario de los pre-reclutas (sobrevivientes), evaluado a través de los proxis de grosores y radios de sus otolitos sagitales, evidenció un gradiente latitudinal norte –sur, que se mantuvo de forma consistente durante los primeros 50 días de vida, donde los ejemplares Iquique y aquellos recolectados cercanos a Taltal mostraron los valores medios significativamente mayores y menores, respectivamente.
- Los modelos lineales de efectos mixtos, que incorporaron la variabilidad individual, el mes de nacimiento y la zona de recolección, evidenciaron que los ejemplares de anchoveta que sobrevivieron durante el 2019 hasta las fases de postlarva y juvenil temprana, en la zona norte de Chile, fueron los ejemplares que tuvieron los grosores de los micro-incrementos y radios significativamente mayores, durante las primeras tres semanas de vida.
- Los resultados del presente estudio presentan las primeras evidencias a favor de que crecer más rápidamente y alcanzar mayores tamaños larvales, pareciera ser una ventaja, que incrementa las probabilidades de sobrevivir de los ejemplares de esta especie en sus estadios tempranos vulnerables.
- La sobrevivencia de estadios tempranos depende de tantos factores y son tan variables espacio temporalmente, que resulta en un desacople entre la producción de huevos y el reclutamiento.
- Es posible desarrollar indicadores de salud de la población de anchoveta de la zona norte, utilizando el área de desove por si sola y/o los centros de gravedad. También se propone el uso de información reproductiva para la detección de la fuerza con que se incorporan por primera vez los ejemplares al stock desovante.

## 6 BRECHAS EN EL CONOCIMIENTO

Es necesario determinar tasas de evacuación intestinal en larvas, ya que se ha postulado que bajos valores de incidencia alimentaria (IA) pueden deberse a que las larvas de clupeoides tienen tasas de evacuación intestinal cortas.

Identificar cuál serían aquellas presas de calidad que proporcionan los requerimientos energéticos esenciales para mantener un alto crecimiento y supervivencia en los primeros días de alimentación exógena. Entendiéndose por alimento de buena calidad aquel cuya composición química contiene los elementos esenciales para el normal desarrollo individual, p. ej. ácidos grasos, vitaminas y aminoácidos esenciales.

Determinar la condición nutricional de las larvas a través de índices bioquímicos. Los índices de condición nutricional permiten evaluar individualmente el estado nutricional de la larva y por tanto inferir si está bien alimentada y creciendo óptimamente.

**Predación - Invertebrados.** El presente estudio permitió determinar el grado de sobreposición espacial en dos escalas de tiempo: inter-estacional (2 estaciones del año) e inter-diaria (9-10 días), entre potenciales predadores invertebrados de huevos y larvas. Esta información es relevante debido a que da cuenta de las distribuciones de ambos grupos en años de condiciones relativamente normales (por ejemplo, año no- Niño, y en ausencia de olas de calor, etc.). Sin embargo, existen aspectos no considerados en este trabajo y que tampoco han sido ampliamente documentados en nuestro país, en la relación predación invertebrados-ictioplancton, por ejemplo, i) la sobreposición espacial-temporal de migradores verticales que solo están en los mismos estratos de huevos y larvas por periodos sub-diarios; ii) estimaciones (de terreno o experimentales) de tasas de mortalidad ejercida por distintos tipos de invertebrados. Sobre este último punto, algunas estimaciones de predación de eufáusidos sobre huevos de anchoveta utilizando métodos inmunoquímicos (Krautz et al. 2007) señalan que esta mortalidad puede llegar a ser entre el 20% y 25% de la mortalidad natural total de huevos de anchoveta en el norte de Chile. Estimaciones de mortalidad ejercida por potenciales predadores gelatinosos sobre ictioplancton no han sido reportadas la fecha, solo hay por gelatinosos sobre copépodos, también en el norte de Chile (Pavez et al. 2006) y que podrían replicarse en ictioplancton.

**Predación - Vertebrados.** Una brecha mayor en el conocimiento de potenciales causas de mortalidad en estados de desarrollo temprano (incluso juveniles adultos) de peces pelágicos pequeños en nuestro país, son el papel que ejercen los predadores vertebrados, entre ellos peces, aves, lobos, etc. No hay estimaciones de iii) tasas mortalidad ejercida por individuos de la misma especie (mortalidad intra-específica, canibalismo), o iv) ejercida por otras especies de peces (mortalidad inter-específica). Canibalismo de adultos sobre huevos y larvas es frecuente en pelágicos pequeños y existen trabajos con estimaciones de mortalidad que llegar a sobre el 30% de la mortalidad natural total (Hunter & Krimbell 1980). Reportes de huevos, juveniles y adultos de anchoveta en el tracto digestivo de otras especies (merluzas, jureles, etc.) no son raras en aguas Chilenas, sin embargo, cálculos de tasas de consumo son raramente informadas (inexistentes de ictioplancton) y solo se cuenta con valores que se asumen en modelos ecotróficos ya sea basado en contenidos gástricos (por ejemplo, Ecopath) o basado en modelos de isótopos estables (SIAR, MixSIAR).

En los últimos años se ha reportado la existencia de un crecimiento somático muy acelerado de la anchoveta en la fase juvenil (reclutas), para la anchoveta de la zona norte, donde los ejemplares pueden alcanzar tallas de entre 11-12 cm de LT entre 5 y 6 meses de vida. Estos hallazgos se han reportado para diferentes cohortes estacionales de al menos 5 clases anuales diferentes (i.e., 1973, 1982, 2009, 2010 & 2014; Plaza *et al.* 2018). Recientes estudios adicionales han demostrado también una variabilidad sustantiva del crecimiento diario de esta especie, con un marcado gradiente latitudinal de norte sur, para los primeros dos meses de vida (Garcés *et al.* 2019; Hernández *et al.* 2020). Todos estos resultados demuestran la gran plasticidad de la anchoveta, donde el crecimiento somático pareciera ser una variable concomitante que puede recoger la potencial variabilidad de factores intrínsecos y extrínsecos que lo modulan. Sin embargo, la información del crecimiento somático diario de los sobrevivientes (reclutas) es todavía muy parcial, como para visualizar la potencial existencia de cambios internuales y su relación con los controladores biológicos, ecológicos y/o ambientales. Afortunadamente existen colecciones de otolitos almacenados por el IFOP, que pueden permitir la elaboración de una serie histórica de forma retrospectiva, con el fin de contribuir a cerrar brechas de información sobre el ciclo de vida de esta especie y buscar indicadores ecológicos independientes de la pesquería que pueden dar una señal anticipada de la salud relativa del recurso.

Aspectos como la fidelidad a la zona de desove y los periodos de transición larva-juvenil son aspectos muy poco conocidos, pero que tienen el potencial de cambiar nuestro modelo conceptual de su dinámica poblacional.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Agostini V & A Bakun 2002.** ‘Ocean triads’ in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). *Fisheries and Oceanography* 11:3,129-142.

**Ahlstrom EH. 1960.** Fish spawning in 1957 and 1958. *CalCOFI Rep.* 7: 173–179.

**Akaike H. 1973.** Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In: B.N. Petrov & F. Csaki (eds.). *Second international symposium on information theory.* Akademiai Kiado, Budapest, Hungary, pp. 267-281.

**Aldanondo N, U Cotano & E Etxebeste. 2011.** Growth of young-of-the-year European anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) in the Bay of Biscay. *Scientia Marina* 75: 227–235.

**Aleman F, I Alvarez, A Garcia, D Cortes, T Ramírez, J Quintanilla, F Alvarez & JM Rodríguez. 2006.** Postflexion larvae and juvenile daily growth patterns of the Alboran Sea sardine (*Sardina pilchardus*): influence of wind. *Scientia Marina* 70: 93-104.

**Alheit J. 1987.** Egg cannibalism versus egg predation: their significance in anchovies. *South African Journal of Marine Science*, 5(1), 467–470. doi:10.2989/025776187784522694

**Anderson JT. 1988.** A review of size dependent survival during pre-recruit stages of fishes in relation to recruitment. *Journal of the Northwestern Atlantic Fisheries Science* 8: 55–66.

**Araujo FG, MA Silva, MCC Azevedo & JNS Santos. 2008.** Spawning season, recruitment and early life distribution of *Anchoa tricolor* (Spix and Agassiz, 1829) in a tropical bay in southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 68: 823-829.

**Arthur D. 1976.** Food and feeding of larvae of three fishes occurring in the California Current, *Sardinops sagax*, *Engraulis mordax* and *Trachurus symmetricus*. *Fishery Bulletin, U.S.*, 74: 517-529.

**Azocar C. 2006.** Desarrollo del ojo en larvas de anchoveta *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842) de la zona norte de Chile. Undergraduate thesis in Fishery Biology. Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat.

- Bakun A. 1996.** Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. San Diego, CA, USA: University of California Sea Grant, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La paz, Baja California Sur, México 323 pp.
- Bakun A. 2006.** Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*. 70 (S2): 105-122.
- Balbontín F, A Llanos & V Valenzuela. 1997.** Sobreposición trófica e incidencia alimentaria en larvas de peces de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70, 381–390.
- Barber RT & FP Chavez. 1986.** Regulation of primary productivity rate in the equatorial Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, 36(8), 1991, 1803-1815
- Barz K, & HJ Hirche. 2005.** Seasonal development of scyphozoan medusae and the predatory impact of *Aurelia aurita* on the zooplankton community in the Bornholm Basin (central Baltic Sea). *Marine Biology*, 147: 465–476.
- Bernal PA. 1990.** La Oceanografía del Sistema de Corrientes de Chile-Perú en Relación a las Pesquerías Pelágicas: Una Revisión. En: *Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile*. Ed. M. A. Barbieri. Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso: 35-48.
- Blanco JL, AC Thomas, ME Carr & PT Strub. 2001.** Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *Journal of Geophysical Research*. 106(6): 11451-11467.
- Bloom SA. 1981.** Similarity indices in community studies: potential pitfalls. *Marine Ecology Progress Series*. 5: 125-128.
- Boltovskoy D. 1981.** Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación especial del INIDEP (Instituto Nacional de investigación y Desarrollo Pesquero), Argentina. 936 pp.
- Boltovskoy D. 1999.** South Atlantic Zooplankton Volume I. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. 868 pp.
- Bowden KF. 1983.** Physical oceanography of coastal waters. Ellis Horwood Series on Marine Science. John Wiley & Sons, USA, 302 pp.

**Buskey EJ, C Coulter & S Strom. 1993.** Locomotory patterns of microzooplankton: potential effects on food selectivity of larval fish. *Bulletin of Marine Science*, 53: 29–43.

**Buttler JL & RN Nishimoto. 1997.** Growth and cohort dynamic of larval Pacific hake (*Merluccius productus*). *CalCOFI Rep.* 38: 63-38.

**Cahuin S, L Cubillos, M Ñiquen & R Escribano. 2009.** Climatic regimes and the recruitment rate of anchoveta, *Engraulis ringens*, off Peru. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84,591–597.

**Cambon G, K Goubanova, P Marchesiello, B Dewitte, S Illig & V Echevin. 2013.** Assessing the impact of downscaled winds on a regional ocean model simulation of the Humboldt system. *OceanModelling*, 65: 11–24.

**Canales M, Delius, G & R Law. 2020.** Regulation of fish stocks without stock-recruitment relationships: The case of small pelagic fish. 2020. *Fish and Fisheries*. DOI: 10.1111/faf.12465

**Carpenter J. 1965.** The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanogr.*, 10: 141-143.

**Cass-Calay SL. 2003.** The feeding ecology of larval Pacific hake (*Merluccius productus*) in the California Current region: an updated approach using a combined OPC/MOCNESS to estimate prey biovolume. *Fisheries Oceanography* 12: 34-48.

**Castro LR, GR Salinas & EH Hernández. 2000.** Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 197: 247-258.

**Castro LR. 2001.** Environmental conditions and larval survival during the winter spawning season of the southernmost anchoveta stock off Chile. *GLOBEC Newsletter*. 7(2):15-17.

**Catalán IA, A Folkvord, I Palomera, G Quílez-Badía, F Kallianoti, A Tselepides & A Kallianotis. 2010.** Growth and feeding patterns of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) early life stages in the Aegean Sea (NE Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86: 299-312.

**Cermeño P, A Uriarte, B Morales-ninNin, M Cotano & P Alvarez. 2008.** Setting up interpretation criteria for ageing juvenile European anchovy otoliths. *Scientia Marina* 72, 733–742.

**Cerna F & Plaza G. 2016.** Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. *Marine and Freshwater Research* 67: 899–912.

**Cerna F, G Plaza, A López, C Machuca, R Serra, C Gaspar & G Moyano. 2011.** Revisión de la asignación por grupo de edad en la anchoveta de la zona norte. Informe Pre Final: FIP 2009-17.

**Chambers RC & TJ Miller. 1995.** Evaluating fish growth by means of otolith increment analysis: special properties of individual-level longitudinal data. pp. 155-175, In, *Recent developments in fish otolith research*. D. H. Secor, J. M. Dean, and S. E. Campana, editors. University of South Carolina Press, Columbia, SC 764 p.

**Chambers RC & WC Leggett. 1987.** Size and age at metamorphosis in marine fishes: An analysis of laboratory-reared winter flounder (*Pseudopleuonectes americanus*) with a review of variation in other species. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences* 44: 1936-1947.

**Checkley DM. 1982.** Selective feeding by Atlantic herring (*Clupea harengus*) larvae on zooplankton in natural assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 9: 245–253.

**Chesson J. 1978.** Measuring preference in selective predation. *Ecology* 59: 211-215.

**Choi HE, SH Youn, S-H Huh & JM Park. 2018.** Diet composition and feeding habits of two engraulid fish larvae (*Engraulis japonicus* and *Coilia nasus*) in the Nakdong River Estuary, Korea. *Journal of Coastal Research* 85:346-350.

**Claramunt G, G Herrera, P Pizarro, J Pizarro, R Escribano, M Oliva, A Olivares & C Guerra. 1996.** Evaluación del stock desovante de anchoveta por el Método de Producción de Huevos en las I y II Regiones. Informe Final Fondo de Investigación Pesquera. Universidad Arturo Prat – Universidad de Antofagasta. 49 p. + tablas, figuras y anexos.

**Claramunt G, G Herrera, P Pizarro, J Pizarro, R Escribano, M Oliva & A Olivares. 1997.** Evaluación del stock desovante de anchoveta por el Método de Producción de Huevos en las I y II Regiones. Informe Final Fondo de Investigación Pesquera. Universidad Arturo Prat – Universidad de Antofagasta. 75 p. + tablas, figuras y anexos

**Claramunt G, L Castro, L Cubillos, H-J Hirche, G Pérez & M Braun. 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.

**Claramunt G, LA Cubillos, L Castro, C Hernández & M Arteaga. 2014.** Variation in the spawning periods of *Engraulis ringens* and *Strangomera bentincki* off the coasts of Chile: A quantitative analysis. *Fisheries Research* 160: 96–102.

**Cnaan A, N Laird & P Slasor. 1997.** Using the general linear mixed model to analyse unbalanced repeated measures and longitudinal data. *Statistics in Medicine* 16: 2349-2380.

**Contreras-Reyes J, MT Canales & P Rojas. 2016.** Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. *Journal of Marine Systems*. 164. 67-75. 10.1016/j.jmarsys.2016.08.006.

**Contreras JE, C Rodriguez-Valentino, MF Landaeta, G Plaza, MI Castillo & M Alvarado-Niño. 2017.** Growth and mortality of larval anchoveta *Engraulis ringens*, in northern Chile during winter and their relationship with coastal hydrographic conditions. *Fisheries Oceanography* 26: 603-6014.

**Conway DVP, SH Coombs & C Smith. 1998.** Feeding of anchovy *Engraulis encrasicolus* larvae in the northwestern Adriatic Sea in response to changing hydrobiological conditions. *Marine Ecology Progress Series* 175: 35-49.

**Cortés E. 1997.** A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 54: 726-738.

**Costalago D, S Tecchio, I Palomera, I Álvarez-Calleja, A Ospina-Álvarez & S Raicevich. 2011.** Ecological understanding for fishery management: Condition and growth of anchovy late larvae during different seasons in the Northwestern Mediterranean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 93:350-358.

**Cotano U, Irigoien X, Etxebeste 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 (4): 467–481, <https://doi.org/10.1093/plankt/fbn011>.

**Coughlin DJ. 1991.** Ontogeny of feeding behavior of first-feeding Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48: 1896–1904.

- Cubillos L, G Claramunt, C Castillo-Jordan, R Serra & M Braun. 2008.** Spatio temporal variability in the realized spawning habitat of anchovy (*Engraulis ringens*) off northern Chile. Eastern Boundary Upwelling Ecosystems Symposium.
- Cubillos L, L Castro & G Claramunt. 2011.** Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010. Informe Técnico FIP 2010-02
- Cury P, & D Pauly. 2000.** Patterns and propensities in reproduction and growth of marine fishes. Ecological Research, 15(1): 101-106.
- De Ciechowski JD. 1967.** Investigations of food and feeding habits of larvae and juveniles of the Argentine anchovy *Engraulis anchoita*. CalCOFI Reports 11: 72-81.
- Escribano R, G Daneri, L Farias, V Gallardo, H González, D Gutiérrez, C Lange, C Morales, O Pizarro, O Ulloa & M Braun. 2004.** Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. Deep-Sea Research Part II, special volume Oceanography in the Eastern South Pacific, Part I, 51, 2389-2411.
- Essig RJ & CF Cole. 1986.** Methods of estimating larval fish mortality from daily increments in otoliths. Transactions of the American Fisheries Society. 115: 34-40.
- Espíndola, F. 2020, I Payá, M .** Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2020: Anchoveta y Sardina española Región de Arica y Parinacota a Región de Antofagasta. 305 p.
- Fuenzalida R. 1990.** Variabilidad temporal de un índice de surgencia para la zoná de Iquique (Lat. 20oS). Invest. Cient. y Tec., Serie Ciencias del Mar, 1: 37-47.
- Fuenzalida R. 1992.** Proceso de surgencia en la región norte de Chile, latitudes 20°30`S-21°45'S). Invest. Cient. y Tec., Ser. Ciencias del Mar, 2: 79-104.
- Fuenzalida R, W Schneider, J Garcés-Vargas, L Bravo, C Lange. 2009.** Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean. Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography. 56. 10.1016/j.dsr2.2008.11.001.
- Gao J & A Owen. 2020.** Estimation and inference for very large linear mixed effects models. Statistica Sinica 30: 1741-1771.

**Garcés C, EJ Niklitschek, G Plaza, F Cerna, M Leisen, P Toledo & F Barra. 2019.** Anchoveta *Engraulis ringens* along the Chilean coast: Management units, demographic units and water masses: Insights from multiple otolith-based approaches. *Fisheries Oceanography*: 28, 735–750.

**García M. 1993.** Fluctuaciones ambientales y su relación con pesquerías pelágicas del Pacífico suroriental. Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero, Esc. Cs. del Mar, UCV. Valparaíso. 104 pp.

**Garrido S, E Saiz, J Peters, P Ré, P Alvarez, U Cotano, DL Herrero, A Martínez de Murguía & X Irigoien. 2012.** Effect of food type and concentration on growth and fatty acid composition of early larvae of the anchovy (*Engraulis encrasicolus*) reared under laboratory conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 434-435, 16–24.

**Gilbert DJ. 1997.** Towards a new recruitment paradigm for fish stocks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 969-977.

**Govoni JJ & AJ Chester. 1990.** Diet composition of larval *Leiostomus xanthurus* in and about the Mississippi River plume. *Journal of Plankton Research*. 12: 819–830

**Govoni JJ, PB Ortner, R Al-Yamani & LC Hill. 1986.** Selective feeding of spot, *Leiostomus xanthurus*, and Atlantic croaker, *Micropogonias undulatus*, larvae in the northern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 28: 175-183.

**Grimes CB & JJ Isely. 1996.** Influence of size-selective mortality on growth of gulf menhaden and king mackerel larvae. *Transactions of the American Fisheries Society* 125: 741–752.

**Grosjean P, M Picheral, C Warembourg & G Gorsky. 2004.** Enumeration, measurement, and identification of net zooplankton samples using the ZOOSCAN digital imaging system. *ICES Journal Marine Science*, 61: 518-525.

**Hammer Ø, DAT Harper & PD Ryan. 2001.** PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontología Electrónica* 4: 1-9. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) **Hare JA & RK Cowen. 1991.** Expatriation of *Xyrichtysnovacula* (Pisces: Labridae) larvae: Evidence of rapid crossslope exchange. *Journal of Marine Research*. 49: 801-823.

**Hare JA & RK Cowen. 1991.** Expatriation of *Xyrichtysnovacula* (Pisces: Labridae) larvae: Evidence of rapid crossslope exchange. *Journal of Marine Research*. 49: 801-823.

**Hare SR. & RC Francis. 1995.** Climate change and salmon production in the northeast Pacific Ocean. Pages 357–372 in R. J. Beamish, editor. Climate change and northern fish populations. Canadian Special Publications in Fisheries and Aquatic Sciences 121.

**Hare JA & KC Cowen. 1997.** Size, growth, development. And survival of the planktonic larvae of *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). Ecology 78: 2415-2431.

**Hasle G. 1969.** An Analysis of Phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: Abundance, Composition and Distribution during the Bratigg Expedition, 1947-1948. Hvalradets skrifter 52:1-168.

**Hay DE. 1981.** Effects of capture and fixation on gut contents and body size of Pacific herring larvae. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 178: 395–400.

**Hernández E & L Castro. 2000.** Larval growth of the Peruvian anchoveta, *Engraulis ringens*, during the winter spawning season off central Chile. Fish Bull 98:704–710

**Hernández C. Perez-Mora, G. Díaz-Ramos, E & Bohm-Stoffel. G. 2013.** Análisis de indicadores macro y microscópicos para establecer el periodo de máxima intensidad de desove de la anchoveta *Engraulis ringens* en la zona norte de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 48(3): 451-457.

**Hernández A, G Plaza, J Gutiérrez, F Cerna & EJ Niklitschek . 2020.** Spatiotemporal analysis of the daily growth traits of the prerecruits of a small pelagic fish in response to environmental drivers. Fisheries Oceanography: 29, 457–469.

**Herrera G & F Balbontín. 1983.** Rate of gut evacuation and feeding incidence in larvae of *Sardinops sagax musica* (Pisces, Clupeiformes). Revista de Biología Marina 19: 113-132.

**Herrera L & R Escibano. 2006.** Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa River in northern Chile. Journal of Marine Systems 61:13–38.

**Hewitt RP. 1982.** Spatial pattern and survival of anchovy larvae: implications of adult reproductive strategy. Ph.D. dissertation , University of California, San Diego, 187 p.

**Hewitt RP, GH Theilacker & N Lo. 1985.** Causes of mortality in young jack mackerel. Mar. Ecol. Prog. Ser. 26: 1-10.

**Hilborn R & C Walters. 1992.** Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. First ed. Chapman and Hall. New York. 570 p.

**Hillebrand H, C-D Dürselen, D Kirschtel, U Pollinger & T Zohary. 1999.** Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* 35:403-424.

**Hormazabal S, G Shaffer, J. Letelier & O Ulloa. 2001.** Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile, *J. Geophys. Res.*, 106, 16,657 – 16,671

**Hormazabal S, G Shaffer & O Leth 2004.** The coastal transition zone off Chile. *Journal of Geophysical Research*. 109 (C01021): doi:10.1029/2003JC001956.

**Houde ED. 1987.** Fish early life dynamics and recruitment variability. *Trans. Am. Fish. Soc. Symp.* 2, 17–29.

**Hovenkamp F. 1992.** Growth-dependent mortality of larval plaice *Pleuronectes platessa* in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series* 82: 95-101.

**Hubbs C & JH Blaxter. 1986.** Development of sense organs and behaviour of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Transactions of the American Fisheries Society* 115 (1), 98-114.

**Hunter RJ. 1980.** The feeding behavior and ecology of marine fish larvae in J. E. Bardach, J. J. Magnuson, R. C. May, and J. M. Reinhart (ed.), *Proc. of Conf. on the physiological and behavioral manipulation of food fish as production and management tools*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, 512 pp.

**Hunter RJ. 1981.** Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: R Lasker (ed.). *Marine fish larvae morphology, ecology and relation to fisheries*. University Washington Press, USA, pp. 34-77.

**Hunter JR & CA Kimbrell. 1980.** Egg cannibalism in the northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin* 78 (3): 811-816.

**Hutchings L, GC Pitcher, TA Probyn & GW Bailey. 1995.** The chemical and biological consequences of coastal upwelling. En: C.P. Summerhayes, K.-C. Emeis, M.V. Angel, R.L. Smith & B. Zeitzschel (eds.). *Upwelling in the ocean: modern processes and ancient records*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 65-81.

**Hyslop EJ. 1980.** Stomach contents analysis. A review of methods and their application. *The Journal of Fish Biology*. 17: 411-429.

**Itoh S, I Yasuda, H Nishikawa, H Sasaki & Y Sasai. 2009.** Transport and environmental temperature variability of eggs and larvae of the Japanese anchovy (*Engraulis Japonicus*) and Japanese sardine (*Sardinops Melanostictus*) in the Western North Pacific estimated via numerical particle-tracking experiments. *Fishery Oceanography* 18: 118–133.

**Krautz C, L Castro & M Gonzáles. 2007.** Interaction of two key pelagic species in the Humboldt Current: euphausiid predation on anchoveta eggs estimated by immunoassays. *Marine Ecology Progress Series* 335: 175-185.

**Koslow JA. 1992.** Fecundity and the Stock-Recruitment Relationship *Canadian Journal of fisheries and Aquatic Sciences*. 49:210-217.

**Landaeta MF, N Suárez-Donoso, CA Bustos & F Balbontín. 2011.** Feeding habits of larval *Maurolicus parvipinnis* (Pisces: Sternoptychidae) in Patagonian fjords. *Journal of Plankton Research* 33: 1813-1824.

**Landaeta M, M Ochoa-Muñoz & C Bustos. 2014.** Feeding success and selectivity of larval anchoveta *Engraulis ringens* in a fjord-type inlet from northern Patagonia (Southeast Pacific). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49:461-475.

**Lasker R. 1981.** Factors contributing to variable recruitment of the northern anchovy *Engraulis mordax* in the California Current: contrasting years, 1975 through 1978. *Rapp. P. V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 178, 375–388.

**Leak JC & ED Houde. 1987.** Cohort growth and survival of bay anchovy *Anchoa mitchilli* larvae in Biscayne Bay, Florida. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37: 109-122.

**Lechowicz MJ. 1982.** The sampling characteristics of electivity indices. *Oecología* 52: 22-30.

**Leggett WC & E DeBlois. 1994.** Recruitment in marine fishes: is it regulated by starvation and predation in the egg and larval stage. *Netherlands Journal of Sea Research* 32: 119-134.

**Lett C, P Verley, C Mullon, C Parada, T Brochier, P Penven & B Blanke. 2008.** A Lagrangian tool for modelling ichthyoplankton dynamics. *Environmental Modelling & Software*, 23 (9): 1210-1214.

**Llanos A, G Herrera & P Bernal. 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* 60:435-442.

**Llanos-Rivera A, G Herrera & P Bernal. 2004.** Food size selectivity and diet overlap in larvae of Clupeiform species from central Chile. *Cahiers de Biologie Marine* 45, 1–8.

**Llopiz JK. 2013.** Latitudinal and taxonomic patterns in the feeding ecologies of fish larvae: A literature synthesis. *Journal of Marine Systems* 109–110, 69–77.

**Lough R G, M Pennington, GR Bolz & AA Rosenberg. 1982.** Age and growth of larval Atlantic herring, *Clupea harengus*, in the Gulf of maine-georges bank region based on otolith growth Increments. *Fishery Bulletin U.S* 80, 187-200.

**Lough RG, GR Bolz, M Pennington & MD Grosslein. 1985.** Larval abundance and mortality of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) spawned in the Georges Bank an Nantucket shoals areas, 1971 - 1978 seasons, in relation to spawning stock size. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 6: 21-35.

**Lynam C, M Heath, SJ Hay & AS Brierley. 2005.** Evidence for impacts by jellyfish on North Sea herring recruitment. *Marine Ecology Progress Series* 298: 157-167

**Machado I. 2013.** Condición nutricional en larvas de peces y su relación con la disponibilidad y calidad del alimento en un estuario de la costa uruguaya. Tesis de Maestría PEDECIBA, Biología opción Ecología. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 73 pag +anexo.

**Mason E, MJ Molemaker, AF Shchepetkin, AF Colas, JC McWilliams & P Sangra 2010.** Procedures for offline grid nesting in regional ocean models. *Ocean Model.* 35:1–15.

**Mazerolle MJ. 2019.** AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q) AIC(c). R package version 2.2-2. [cran.r-project.org/package=AICcmodavg](https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg). Accessed 3 December 2019.

**Meekan MG, L Vigliola, A Hansen, PJ Doherty, A Halford & JH Carleton. 2006.** Bigger is better: size-selective mortality throughout the life history of a fast-growing clupeid, *Spratelloides gracilis*. *Marine Ecology Progress Series* 317: 237-244.

**Méndez J. 2007.** Abundancia y distribución mesozooplancónica del área de desove de la anchoveta *Engraulis ringens* en la zona centro sur de Chile (35°30'S-39°40'S), Invierno 2005. Tesis de Pregrado para optar a título de Biologo Marino, Universidad de Concepción, Chile.

**Moller H. 1980.** Ccyphomedusae as predator and food competitors of larval fish. *Meeresforschung* 28: 9-100.

**Montecino V, T Strub, F Chávez, A Thomas, J Tarazona & T Baumgartner. 2006.** Biophysical interactions off Western South-America. In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Eds.), *The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses. The Sea*, vol. 14, pp. 329–390 (Chapter 10).

**Morales, CE, JL Blanco, M Braun, H Reyes & N Silva. 1996a.** Chlorophyll-a distribution and associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile during the winter and spring. *Deep-Sea Research* 43,267–289.

**Morales CE, M Braun, H Reyes, JL Blanco & AG Davies. 1996b.** Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990–1995). *Investigación Pesquera (Chile)* 24,77–96.

**Moreno P, G Claramunt & L Castro. 2011.** Transition period from larva to juvenile in anchoveta *Engraulis ringens*. Length or age related? *Journal of fish biology* 78: 825-37.

**Morote E. 2011.** Trophic ecology of hake, anchovy, sardine, round sardinella and bullet tuna larvae of NW Mediterranean. Influence of trophic environment and ontogeny. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona-España. 95 p.

**Morote E, MP Olivar, F Villate & I Uriarte. 2010.** A comparison of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) larvae feeding in the Northwest Mediterranean: influence of prey availability and ontogeny. *ICES Journal of Marine Science* 67: 897-908.

**Morote E, MP Olivar, A Bozzano, F Villate & I Uriarte. 2011.** Feeding selectivity in larvae of the European hake (*Merluccius merluccius*) in relation to ontogeny and visual capabilities. *Marine Biology* 158: 1349-1361.

**Morrongiello JR & RE Thresher. 2015.** A statistical framework to explore ontogenetic growth variation among individuals and populations: a marine fish example. *Ecological Monographies*. 85, 93–115.

**Muck P, B Rojas De Mendiola & E Antonietti. 1989.** Comparative studies on feeding larval anchoveta (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*). In Pauly D, Muck P, Mendo J and

Tsukayama I (eds). The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18. Callao, Perú: Instituto del Mar del Peru (IMARPE), pp. 86–96.

**Munk P. 1992.** Foraging behavior and prey size spectra of larval herring *Clupea harengus*. Marine Ecology Progress Series 80:149-158.

**Myers RA & NJ Barrowman. 1996.** Is fish recruitment related to spawner abundance? Fish. Bull. 94: 707-724.

**Nakata H, S Kimura, Y Okazaki & A Kasai. 2000.** Implications of meso-scale eddies caused by frontal disturbances of the Kuroshio Current for anchovy recruitment. ICES J. Mar. Sci., 57: 143-152.

**Nielsen R & P Munk. 2004.** Growth pattern and growth dependent mortality of larval and pelagic juvenile North Sea cod *Gadus morhua*. Marine Ecology Progress Series 278: 261-270.

**Olivera-Ramos R & C Peña. 2011.** Modeling and analysis of the recruitment of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) between 1961 and 2009. Ciencias Marinas, 37(4B): 659–674.

**Orellana M & F Balbontín. 1983.** Estudio comparativo de las larvas de Clupeiformes de la costa de Chile. Revista de Biología Marina. Valparaíso, 19(1): 1-46.

**Pagès F, HE González, M Ramón, M Sobarzo & JM Gili. 2001.** Gelatinous zooplankton assemblages associated with water masses in the Humboldt Current System and potential predatory impact by *Bassia bassensis* (Siphonophora: Calycophorae). Marine Ecology Progress Series 210: 13–24.

**Painting SJ & JL Korrubel. 1998.** Forecasts of recruitment in South African anchovy from SARP field data using a simple deterministic expert system. Benguela Dynamics. S. Afr. J. mar. Sci. 19: 245–261.

**Palma S & P Apablaza. 2004.** Abundancia estacional y distribución vertical del zooplancton gelatinoso carnívoro en un área de surgencia en el norte del Sistema de la Corriente de Humboldt. Investigaciones Marinas 32(1): 49-70.

**Palma W, R Escribano & S Rosales. 2006.** Modeling study of seasonal and inter-annual variability of circulation in the coastal upwelling site of the El Loa River off northern Chile. Estuarine, Coastal and Shelf Science 67:93-107.

- Parada C, F Colas, S Soto-Mendoza & L Castro. 2012.** Effects of across- and alongshore transport seasonal variability of anchoveta (*Engraulisringens*) larvae on modeled-based pre-recruitment indices off central Chile. *Progress in Oceanography* (92-95). doi:10.1016/j.pocean.2011.07.015.
- Parsons TR, Y Maita & CM Lalli. 1984.** A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.
- Parrish RH, D Mallicoate & RA Klingbeil. 1986.** Age dependent fecundity, number of spawnings per year, sex ratio, and maturation stages in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* 84: 503–517.
- Pavéz M, LR Castro & HE Gonzáles. 2006.** Across-shelf predatory effect of *Pleurobrachia bachei* (Ctenophora) on the small copepod community in the coastal upwelling zone of northern Chile (23°S). *Journal of Plankton Research* 28: 115–129.
- Peck MA, Reglero P, Takahashi M, & IA Catalán. 2013.** Life cycle ecophysiology of small pelagic fish and climate-driven changes in populations. *Progress in Oceanography* 116: 220–245.
- Pepin P & Shears TH. 1995.** Influence of body size and alternate prey abundance on the risk of predation to fish larvae. *Marine Ecology Progress Series* 128: 279-28.
- Peterson WT & SJ Ausubel. 1984.** Diets and selective feeding by larvae of Atlantic mackerel *Scomber scombrus* on zooplankton. *Marine Ecology Progress Series* 17: 65-75.
- Peterson I & LS Wroblewski. 1984.** Mortality rate of fishes in the pelagic ecosystem. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 1117-1120.
- Pinheiro JC & DM Bates. 2000.** Mixed-effects Models in S and S-PLUS. Springer-Verlag, Berlin.
- Pizarro J, W Palma & C Flores. 1998.** Validación de la hipótesis de mortalidad por inanición en larvas de *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 (Pisces: Engraulidae), utilizando el criterio histológico en un área de surgencia costera en el norte de Chile. *Investigaciones Marinas* 26:97-108.
- Plaza G & F Cerna. 2015.** Validation of daily microincrement deposition in otoliths of juvenile and adult Peruvian anchovy *Engraulis ringens*. *J. Fish Biol.*, 86 (1): 203-216.

**Plaza G & M Ishida. 2008.** The growth-mortality relationship in larval cohorts of *Sardinops melanostictus*, revealed by using two new approaches to analyze longitudinal data from otoliths. *Journal of Fish Biology* 73: 1531-1553.

**Plaza G, M Landaeta, A Hernández, J Contreras, C Rodríguez, J Merino, D Queirolo, F Cerna, M Gómez, C Machuca & F Espíndola. 2017.** Revisión experta de la estimación y asignación de edad de la anchoveta XV-II Región. Informe Final. Proyecto FIP 2014-31. 125 pp.

**Plaza G, F Cerna, MF. Landeaeta, A Hernández & JE Contreras. 2018.** Daily growth patterns and age-at-recruitment of the anchoveta *Engraulis ringens* as indicated by a multi-annual analysis of otolith microstructure across developmental stages. *Journal of Fish Biology*; 93, 370-381.

**Regner S. 1985.** Ecology of planktonic stage of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), in the Central Adriatic. *Acta Adriatic.* 26, 1-13.

**Rodríguez-Valentino C, M Landaeta, G Castillo-Hidalgo, C Bustos, G Plaza, F Ojeda. 2015.** Interannual variations in the hatching pattern, larval growth and otolith size of a sand-dwelling fish from central Chile. *Helgoland Marine Research.* 69. 10.1007/s10152-015-0438-3.

**Rojas de Mendiola B & O Gómez. 1981.** Primera alimentación, sobrevivencia y tiempo de actividad de las larvas de anchoveta (*Engraulis ringens* J.). En: Dickie, LM y Valdivia JE (eds.). Investigación cooperativa de la anchoveta y su ecosistema (ICANE) entre Perú y Canadá. Volumen Extraordinario Boletín Instituto del Mar del Perú, pp. 72-79.

**Rojas de Mendiola B. 1974.** Food of the larval anchoveta *Engraulis ringens* J. In Blaxter, J.H.S. (ed.). *The early life history of fish.* Springer, Berlin, pp. 277-285.

**Roy C. 1998.** An upwelling-induced retention area off Senegal: a mechanism to link upwelling and retention processes. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 19: 89-98  
**Rutllant J & V Montecino. 2002.** Multiscale upwelling forcing cycles and biological response off north-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 217-231.

**Rutllant J & V Montecino. 2002.** Multiscale upwelling forcing cycles and biological response off north-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 217-231.

**Sabatés A & E Saiz. 2000.** Intra- and interspecific variability in prey size and niche breadth of myctophiform fish larvae. *Marine Ecology Progress Series* 201:261-271.

**Santander E, L Herrera & J Pizarro. 2001.** Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S). I: Biomasa Pigmentaria. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36(2):141-153.

**Santander E, L Herrera & C Merino. 2003.** Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S): II. Composición específica y abundancia celular, *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 38(1): 13-25.

**Sassa C & K Kawaguchi. 2004.** Larval feeding habits of *Diaphus garmani* and *Myctophum asperum* (Pisces: Myctophidae) in the transition region of the western North Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 278: 279-290.

**Sato NE, D Hernández & MD Viñas. 2011.** Feeding habits of *Engraulis anchoita* (Hubbs & Marini, 1935) larvae in coastal waters off Buenos Aires Province, Argentina. *Latin American Journal of Aquatic Research* 39: 16-24.

**Schael D, M L Rudstam & J R Post. 1991.** Gape limitation and prey selection in larval yellow perch (*Perca flavescens*), freshwater drum (*Aplodinotus grunniens*), and black crappie (*Pomoxis nigromaculatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48:1919–1925.

**Schlitzer R. 2018.** Ocean Data View, <http://odv.awi.de>.

**Schmitt PD. 1986.** Prey size selectivity and feeding rate of larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard. *CalCOFI Reports* 27: 153-161.

**Secor DH. 2007.** The year-class phenomenon and the storage effect in marine fishes. *Journal of Sea Research*, 57(2-3 SPEC. ISS.), 91–103

Sepúlveda A, P Ruiz, R Alarcón, S Núñez, R Bahamonde, J Córdova, J Chong, R Rebolledo, M Aguayo & L Bustos. 2009. Condición biológica de jurel en alta mar, año 2006. Informe Técnico FIP 2006-05, 291pp.

**Shchepetkin AF & JC McWilliams. 2005.** The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4): 347-404. doi:10.1016/j.ocemod.2004.08.002.

**Shchepetkin AF & JC McWilliams. 2003.** A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate, *J. Geophys. Res.*, 108 (C3), 3090, doi:10.1029/2001JC001047.

**Shepherd JG & SH Cushing. 1980.** A mechanism for density-dependent survival of larval fish as the basis of stock recruitment relationship. *Journal de Conseil* 40: 67-75.

**Smith PE & SL Richardson. 1979.** Técnicas estándar para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Doc. Téc. Pesca (175):107 p.

**Smoliński S, J Morrongiello, P van der Sleen, B Black & E Campana. 2020.** Potential sources of bias in the climate sensitivities of fish otolith biochronologies. *Canadian Journal of fisheries and Aquatic Sciences*. <https://dx.doi.org/10.1139/cjfas-2019-0450>

**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-Mendoza S, C Parada, L Castro, F Colas & W Schneider. 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(1): 178-191. doi:10.1016/j.pocean.2011.07.001

**Sournia A. 1978.** Phytoplankton manual. UNESCO. Paris. 337 p.

**Sun J & D Liu. 2003.** Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 25: 1331-1346.

**Takahashi M & Y Watanabe. 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, H Nishida, A Yatsu & Y Watanabe. 2008.** Year-class strength and growth rates after metamorphosis of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western North Pacific Ocean during 1996-2003. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(7), 1425–1434. <https://doi.org/10.1139/F08-063>

**Takasuka A, Aoki I & I Mitani. 2003.** Evidence of growth-selective predation on larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in Sagami Bay. *Marine Ecology Progress Series* 252: 223-238.

**Takasuka A, I Aoki & I Mitani. 2004a.** Three synergistic growth-related mechanisms in the short-term survival of larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in Sagami Bay. *Marine Ecology Progress Series* 270: 217-228.

**Takasuka A, Y Oozeki, R Kimura, H Kubota & I Aoki. 2004b.** Growth-selective predation hypothesis revisited for larval anchovy in offshore waters: cannibalism by juveniles versus predation by skipjack tunas. *Marine Ecology Progress Series* 278: 297-302.

**Takasuka A, Y Oozeki, I Aoki, R Kimura, H Kubota, H Sugisaki & T Akamine. 2008.** Growth effect on the otolith and somatic size relationship in Japanese anchovy and sardine larvae. *Fish. Sci.* 74(2): 308–313. doi:10.1111/j.1444-2906.2008.01519.x.

**Takasuka A, A Sakai & I Aoki. 2017.** Dynamics of growth-based survival mechanisms in Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) larvae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74: 812–823.

**Takasuka A, M Yoneda & Y Oozeki. 2019.** Density dependence in total egg production per spawner for marine fish. *Fish. Fish.* 20, 125–137.

**Theilacker G. & P Kimball. 1984.** Comparative quality of rotifers and copepods as foods for larval fishes. *CalCoFI 1984 Report*, 25: 80-86.

**Theilacker GH, Lo NCH, Townsend AW. 1993.** An immunochemical approach to quantifying predation by euphausiids on the early stages of anchovy. *Marine Ecology Progress Series* 92: 35–50.

**Tudela S, I Palomera & G Quílez. 2002.** Feeding of anchovy *Engraulis encrasicolus* larvae in the north-west Mediterranean. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom* 82: 349-350.

**Ulloa O, R Escribano, S Hormazabal, R Quiñones, R Gonzalez & M Ramos. 2001.** Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in the upwelling ecosystem off northern Chile. *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, No 8: 1591-1594 pp.

**Urpanen O, H Huuskonen, TJ Marjomaki & J Karjalainen. 2005.** Growth and size-selective mortality of vendace (*Coregonus albula*) and whitefish (*C. lavaretus*) larvae. *Boreal Environment Research* 10: 225-238.

**Valencia-Gasti J A, T Baumgartner & R Durazo. 2015.** Effects of ocean climate on life cycles and distribution of small pelagic fishes in the California Current System off Baja California. *Ciencias Marinas* 41:315–348.

**Valenzuela V, F Balbontín & A Llanos-Rivera. 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 y Oceanografía Valparaíso* 30, 275–291.

**Vasconcellos MC, KF Freire & JP Castello. 1998.** Distribution patterns and feeding success of anchovy, *Engraulis anchoita*, larvae off southern Brazil. *Scientia Marina* 62: 385-392.

**Vásquez S, A Sepúlveda, C Salas, S Núñez, A Gretchina & A Ospina-Álvarez. 2016.** Biophysical modelling to assess population connectivity and inter-annual variability in the recruitment patterns of jack mackerel in the southeastern Pacific. 4th Meeting of the Scientific Committee. 28 September - 3 October 2015, La Haya, Netherlands.

**Vásquez S, C Salas, S Núñez, L Soto-Mardones, J Letelier, M Arteaga, C Gatica, A Sepúlveda, L Cisterna, A Gretchina, N Alegría, P Contreras, & A Ospina-Álvarez. 2017.** Estimación de índices de reclutamiento basado en variables y modelos biofísicos de pelágicos pequeños de la zona centro-sur de Chile, Fase II. Informe Final proyecto FIP 2014-33. 314 pp.

**Vásquez S, C Salas, S Núñez, A Sepúlveda, M Arteaga, L Cisterna, L Soto, P Contreras, G Claramunt, L Herrera, M Braun & J Oliva. 2019.** Dinámica poblacional de la anchoveta XV-II regiones a través de modelación biofísica, año 2016. Informe Final Proyecto FIPA 2016-55. 378 pp.

**Vetter EF 1988.** Estimation of natural mortality in fish stocks: a review. *Fishery Bulletin U.S.* 86(1): 25-43.

**Villafañe VE & FMH Reid. 1995.** Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: *Manual de Métodos Ficológicos*. K Alveal, ME Ferrario, EC Oliveira y E Sar (eds.). Universidad de Concepción, Concepción. 169-185 pp.

**Viñas MD & FC Ramírez. 1996.** Gut analysis of first-feeding anchovy larvae from the Patagonian spawning areas in relation to food availability. *Archive of Fishery and Marine Research* 43(3):231-256.

**Wallace R. 1981.** An assesment of the diet – overlap indexes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110(1):72-76.

Walsh JJ, TE Whitley, WE Esaias, RL Smith, SA Huntsman, H Santander & B Rojas de Mendiola. 1979. The spawning habitat of the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. Deep-Sea Research 27A:1-27.

**Ware DM, B Rojas de Mendiola & DS Newhouse. 1981.** Behavior of first feeding Peruvian anchoveta, *Engraulis ringens* J. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer 178 :467-474.

**Watai M, T Ishihara, O Abe, S Ohshimo & CA Strüssmann. 2017.** Evaluation of growth-dependent survival during early stages of Pacific bluefin tuna using otolith microstructure analysis. Marine Freshwater Research 68:2008.

**Watanabe Y, H Zenitani, & R Kimura. 1996.** Offshore expansion of spawning of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, and its implication for egg and larval survival. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53(1), 55–61. <https://doi.org/10.1139/f95-153>

**Watanabe Y, H Zenitani & R Kimura. 1997.** Variations in spawning ground area and egg density of the Japanese sardine in Pacific coastal and oceanic waters. Fisheries Oceanography, 6(1), 35–40. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419>.

**Watanabe Y. & N Lo. 1989.** Larval production and mortality of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the northwestern Pacific Ocean. Fish. Bull., U.S. 87(3): 601-613.

**Watson W & RL Davis Jr. 1989.** Larval fish diets in shallow coastal waters off San Onofre, California. Fishery Bulletin 87(3):569-591.

**Weisberg S, G Spangler & LS Richmond. 2010.** Mixed effects models for fish growth. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 67: 269-277.

**Werner R & JHS Blaxter. 1980.** Growth and survival of larval herring (*Clupea harengus*) in relation to prey density. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 1063-1069.

**Wood, SN. 2003.** Thin plate regression splines. Journal of the Royal Statistical Society (B) 62: 95-114.

**Wood SM. 2017.** Generalized additive models: An Introduction with R. Second edition. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton. 467 pp.

**Yañez-Rubio A, A Llanos-Rivera, LR Castro, G Claramunt & L Herrera. 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(6):1207-1213.

**Yañez E, MA Barbieri, C Silva, K Nieto & F Espíndola. 2001.** Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. Progress in Oceanography 49: 581-596.

**Yañez-Rubio A, A Llanos-Rivera, LR Castro, G Claramunt & L Herrera. 2011.** Variations in type, width, volume and carbon content of anchoveta *Engraulis ringens* food items during the early life stages. Journal of Marine Biological Association of United Kingdom 91: 1207-1213.

**Young J & J Davis. 1990.** Feeding Ecology of Larvae of Southern Bluefin, Albacore and Skipjack Tunas (Pisces, Scombridae) in the Eastern Indian-Ocean. Marine Ecology Progress Series. 61. 17-29. 10.3354/meps061017.

**Zar JH. 1984.** Biostatistical analysis. Second edition. Prentice may Inc. New Yersey. 622 pp.

**Zaret T & S Rand. 1971.** Competition in tropical stream fishes: Support for the competitive exclusion principle. Ecology 52:336-342.

## **8 ANEXOS**

## ANEXO 1: Composición del equipo profesional y técnico

NOMBRE	INSTITUCION	FUNCION	HORA S
Gabriel Claramunt	UNAP	Objetivo 4: Indicadores provenientes del MPDH. Reclutamiento al stock reproductor.	400
Liliana Herrera	UNAP	Objetivo 1: Oferta ambiental	300
Edgardo Santander	UNAP	Objetivo 1: Oferta ambiental	200
Marianela Medina	UNAP	Objetivo 2: Análisis contenido intestinal	160
Miguel Araya	UNAP	Objetivo 3: Estimación de edad y crecimiento de larvas de anchoveta. Estimación de mortalidad	160
Paola Moreno	UNAP	Objetivo 2: Experimentos de incubación. Análisis de ictioplancton.	140
Cristian Azocar	UNAP	Objetivo 2: Experimentos de incubación. Análisis de ictioplancton.	140
Jeannelle Jaque	UNAP	Objetivo 2: Análisis contenido intestinal	140
Guido Plaza	Consultor independiente	Objetivo 4. Hipótesis crecimiento mortalidad.	100
Mauricio Landaeta	Consultor independiente	Objetivo 4. Hipótesis crecimiento mortalidad.	100
Leonardo Castro C.	U de C	Objetivo 1: Análisis de zooplancton (Predadores)	60
Samuel Soto	U de C	Objetivo 1: Análisis de zooplancton (Predadores)	60
Pamela Barrientos	U de C	Objetivo 1: Análisis de zooplancton (Predadores)	60
Eduardo Escalona	U de C	Objetivo 1: Análisis de zooplancton (Predadores)	60
Sebastián Vásquez	INPESCA	Desarrollo e implementación del modelo biofísico para el área. Modelo conceptual de factores que afectan la sobrevivencia de estadios tempranos de anchoveta. Confección informes.	220
Cristian Salas	INPESCA	Desarrollo e implementación del modelo biofísico para el área. Modelo	220

		conceptual de factores que afectan la sobrevivencia de estadios tempranos de anchoveta. Confección informes.	
<b>Mauricio Braun</b>	CIAM	Coordinador del grupo CIAM. Distribución espacial del desove. Modelo conceptual de factores que afectan la sobrevivencia de estadios tempranos de anchoveta. Confección de informes. Elaboración Informes	200
6 NN		Trabajos en terreno Colecta y Análisis de muestras	80 (c/u)

UNAP = Universidad Arturo Prat; U de C = Universidad de Concepción; INPESCA = Instituto de Investigación Pesquera; CIAM = Centro de Investigación Aplicada del Mar.

## ANEXO 2 Taller de presentación de resultados

Taller efectuado en plataforma Zoom el viernes 30 de julio de 9:00 a 13:00 h

### Programa

<p>Programa</p> <p>9:00 – 9:10</p> <p>Presentación</p> <p>Gabriel Claramunt</p> <p>9:10 – 9:30</p> <p>Caracterizar la oferta ambiental disponible para estadios tempranos de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona</p> <p>Edgardo Santander</p> <p>9:30 – 9:50</p> <p>Analizar la selectividad de presas comparada con la oferta ambiental alimentaria, composición trófica e importancia relativa por rango de tallas, en las larvas (pre-flexión, flexión y postflexión) de anchoveta, considerando la variabilidad espacio temporal de la zona</p> <p>Marianela Medina</p> <p>9:50 – 10:10</p> <p>Experimentos de incubación de larvas en mesocosmos</p> <p>Paola Moreno</p> <p>10:10 – 10:30</p> <p>Predación por zooplancton</p> <p>Leonardo Castro</p>	<p>10:30 – 10:50</p> <p>Crecimiento y mortalidad</p> <p>Miguel Araya</p> <p>10:50 – 11:00</p> <p>Pausa</p> <p>11:00 – 11:20</p> <p>Aproximación a través de Modelación biofísica</p> <p>Sebastián Vásquez</p> <p>11:20 – 11:40</p> <p>Evaluación de la hipótesis de crecimiento-mortalidad</p> <p>Guido Plaza</p> <p>11:40 – 12:00</p> <p>Proponer indicadores tempranos del éxito o fracaso de las clases anuales, condicionado a la variabilidad espacio temporal de la zona</p> <p>Gabriel Claramunt Q</p> <p>12:20 - 12:40</p> <p>Conclusiones</p> <p>12:40 – 13:00</p> <p>Discusión general y recomendaciones</p>
--	--

## Asistentes

Nombre	Institución	E-mail del usuario
Adrián	IFOP	
Andres Ospina-Alvarez		aospina.co@me.com
Andres Ramos	Comité de Manejo	
Bruno Carrasco		
Camila Sagua		sagua.cp@gmail.com
carlos		
Carlos Chavarini	Comité de Manejo	
Carlos Merino	Comité de Manejo	
Carola Hernández	IFOP	carola.hernandez@ifop.cl
Catherine Grendi	IFOP	
Christian de la Barra cornejo	SERNAPESCA	cdelabarra@sernapesca.cl
Edgardo Santander	UNAP	
Eduardo Diaz	IFOP	
Emilia Meza		
Fernando Espíndola	IFOP	fernando.espindola@ifop.cl
Francisca Osorio	IFOP	
Francisco Leiva	IFOP	
Gabriel Claramunt	UNAP	
Gabriela Bohm	IFOP	
Graciela Pérez Mora	IFOP	
Guido Plaza	PUCV	guido.plaza@pucv.cl
Gustavo Aedo Urrutia	UDEC	gustavo.aedo@gmail.com
Hernan Reyes	IFOP	
Jaime Letelier	IFOP	
Jeannelle Jaque	UNAP	
Jessica Bonicelli	IFOP	
Jessica Peñailillo	UNAP	
Jorge Oliva	CIAM	joliva@ciamchile.cl
Jorge Castillo	IFOP	
Jose Blanco	CCTPP	
Joyce Mendez	SUBPESCA	
Juan Carlos Saavedra	IFOP	
Karin Silva Aedo	PUCV	karin.silva@pucv.cl
Lab. Histología IFOP		
Leonardo Castro	UDEC	lecastro@oceanografia.udec.cl
Lilian Troncoso	UCSC - CCTPP	lilian.troncoso@ucsc.cl
Marco Troncoso		
Maria Jose Zuñiga	IFOP	
Marianela Medina - UNAP	UNAP	marianela.medina.fraser@gmail.com

Marianne Lichtenberg	IFOP	
Mauricio Braun	CIAM	mbrauna@ciamchile.cl
Mauricio Landaeta UV	PUCV	
Miguel		
Miguel Araya Christie	UNAP	maraya@unap.cl
Milena Pizarro (Emilia Meza)	IFOP	
Pamela Barrientos	UDEC	pambarrientosc@gmail.com
Paola Moreno	UNAP	paolmorenogon@gmail.com
Pedro Salazar		peitsamu@gmail.com
Renato Maya		rmaya@landes.cl
Rodrigo Marquez		
Samuel Soto	UDEC	
Sebastián Vasquez	INPESCA - CCTPP	
Sergio Núñez	INPESCA	
Silvia hernandez	SUBPESCA	shernandezconcha@yahoo.es
Ursula Cifuentes	IFOP	
Yordana Hidalgo		hidalgoyordana@gmail.com

## Principales temas discutidos

Transcrito desde la grabación realizada en Zoom, consultas, opiniones, comentarios y consideraciones vertidas por los participantes del taller

**Jessica:** Edgardo hablaba de un silicoflagelado que no era común y que apareció en este crucero, este tiene que ver probablemente como un indicador de alguna cosa que está pasando en el agua o aparece y desaparece no más.

**Jeannelle Jaque:** el silicoflagelado, no, aparecen siempre en todos los muestreos tanto en invierno como verano, primavera y otoño. Quizás sea por las condiciones que hubieron que hizo que fueran abundantes o algún nutriente en el sistema, pero por lo general aparecen durante todo el año como se dijo, pero en baja abundancia.

**Edgardo Santander:** Pero para complementar un poquito si, sobre todo dentro de los flagelados, aparecen. Han aparecido en eventos de marea roja flagelados que no son común del área, hace unos 3 o 4 años apareció uno que fue importante en la zona norte más cerca de Arica, generó una gran, digamos, marea roja. Generalmente alteran mucho el patrón de distribución del flagelado y este año *Heterocapsa* no había sido citado para el norte.

**Jeannelle Jaque:** Bueno, el *Heterocapsa* no había aparecido nunca y esto fue producto del verano en sí, hubo como un verano tardío este año parece, porque apareció en marzo, las mareas por lo general se extienden durante todo el verano, pero éste apareció exclusivamente en marzo y nos pareció muy extraño porque manchó mucho y muy rápido. Se extendió por todo Arica principalmente y provocaba un poco de mal olor y bueno, había gente que decía que les picaba cuando se metían al agua, pero al final no tenía toxina, no hubo ningún problema fuera de lo normal. Creo que apareció ese género con otra especie en el sur y se detectó en algún año en Perú. Este año apareció aquí y no sabemos por qué, quizás sea por aguas de lastre o marejadas.

**Gustavo Aedo:** ¿Qué explica el bajo tamaño de muestras de larvas en las muestras estacionales y que modificación al muestreo podrían ser implementados a futuros estudios?

**Marianela Medina:** Bueno, esa pregunta la verdad tendría que contestarla el grupo de Edgardo, ahí hubo problemas en los lances si no me equivoco, Edgardo no se si tu podrías ayudarme en esa parte?

**Edgardo Santander:** No me recuerdo muy bien si las muestras de Marianela Medina son las que tomamos con la WP2, me parece que si, yo creo más bien que está relacionado ahí en el arte de muestreo del del zooplancton, pero por lo general, de todos los cruceros que hemos hecho, generalmente los yolk sac son los más abundantes siempre y, cierto, hasta digamos pre flexión y por lo general las larvas más grandes no las estamos recuperando en los muestreos que hacemos, yo creo que puede ser relacionado a la evasión, usamos WP2, de hecho para este crucero usamos la estándar de boca ancha, la verdad esas serían las causas que yo creo.

**Gustavo Aedo:** Disculpa. Entonces, ¿qué modificación se podría hacer para superar esta falencia?

**Edgardo Santander:** Yo diría usar red bongo, yo creo que eso solucionaría en parte y para las larvas más grandes, que yo me imagino tienen mayor capacidad natatoria, estoy hablando antes de la metamorfosis, buscar algún sistema. Gabriel Claramunt ha trabajado en esa parte, hizo una red de cerco pequeña y un montón de cosas. Ahí veo a Mauricio Landaeta talvez el podría darnos alguna luz.

**Mauricio Landaeta:** Primero que todo, pienso que el principal problema es justamente en diseñar una red de muestreo adecuada para capturar post larvas, la mayoría de los muestreos se hacen con la WP2 lo que significa que en lance vertical las bridas generan turbulencias a la entrada de la boca y eso hace que las larvas más grandes no entren, cierto y entremos en sesgo a capturar larvas más

chicas, saco vitelino, no hay nada de contenido estomacal, las larvas más pequeñas también tienen tasa de evacuación gástrica rápida y en un par de horas botan todo, pero ahí está el problema de las larvas de post flexión, las larvas más grandes sobre 1 cm, esas larvas empiezan a migrar verticalmente, no mucho, pero ya lo hacen y en las redes bongos empiezan a aparecer pero ya 1 cm ya no aparecen, una vez en un proyecto de Leonardo Castro se usaron redes tipo Tucker, en esas que son de 1 metro cuadrado apertura de boca ahí pueden aparecer larvas de gran tamaño, pero el problema de redes grandes es que no permiten muestrear cerca de la costa. Entonces tenemos dos problemas creo, primero diseñar, cierto, una red, un aparato de muestreo que permita coleccionar todo ese rango de tamaño e identificar también dónde están esos organismos, porque también es un gran signo de interrogación que tenemos, no tenemos muy claro dónde están, como no los coleccionamos, tenemos larvas chicas y después nos saltamos, yo creo que esos son, entonces, ese rango de tamaño que es esencial para responder estas preguntas, todavía no tenemos claro dónde están y cómo efectivamente muestrear, yo creo que esas son dos cosas que son importantes de apuntar para poder tener más claro el ciclo vida de la especie.

**Jessica Bonicelly:** Hola Paola, Quería preguntarte acerca de la disponibilidad de alimento, vi que tenías 3 estanques, y colocaste agua filtrada del mar, me imagino con alimento

**Paola Moreno:** Sí

**Jessica Bonicelly:** entonces, la cantidad de alimento, la diversidad de alimento no era la misma entonces entre los estanques

**Paola Moreno:** No, era la misma, la misma toma de agua, la misma cantidad de agua, sólo que estaban separadas para no, porque hubo un muestreo donde obtuvimos muchos huevos y muchas larvas, entonces para la capacidad de carga estaba saturada por eso la dividimos, pero era lo mismo.

**Jessica:** No son réplicas entonces

**Paola Moreno:** No

----- :Un comentario más que una pregunta, entonces por lo que presentó el profesor Leonardo Castro se podría decir que esta falta de sobreposición entre los gelatinosos con los huevos y larvas se debería principalmente a que los gelatinosos están en aguas distintas a donde se encuentran los huevos y larvas, cierto, cálidas o frías que se yo y no sería por lo que a mejor en esas áreas donde están llenos de gelatinosos y quitinosos no hay huevos y larvas porque se los comieron todo.

**Leonardo Castro:** Lo más probable, yo entiendo eso, es la pregunta clásica, lo más probable que sea la primera de las dos acepciones que tu presentas, si, normalmente los gelatinosos están en aguas un poco más cálidas que huevos y larvas, pensamos de que si hubiera habido predación, una buena predación de gelatinosos sobre huevos y larvas habríamos encontrado bastantes gelatinosos igual en la zona costera.

Eso pensaba yo porque no se van a la zona costera debe ser justamente por que no pueden estar ahí por algún motivo.

**Leonardo Castro:** Correcto, seguramente la característica fisiológica que hace que estén en condiciones de aguas un poco más cálidas, ahora si comparamos, por ejemplo, la abundancia de gelatinosos en una escala más grande a nivel de país normalmente vamos a encontrar muchos más gelatinosos en el norte de Chile que en sur de Chile.

**Leonardo Castro:** Ahora fíjense que hubo un día por lo menos en la serie de tiempo diaria que si hubo una sobreexposición, o sea que la potencialidad de que se encuentren si existe, es importante, yo esperarí en años, no se po, niño en que aumentan las temperaturas, seguramente, el nivel de predación debe ser mucho más grande en esos años.

**Jorge Oliva:** Para el profesor Castro, no vi, no pude distinguir ahí si era factible tener una secuencia de crecimiento entre los huevos y las larvas, dado que estaba muestreando seguido durante varios días la misma zona, esa, hay algún comentario respecto de que, o sea, puede que haya desplazamiento, puede que no sé, ahí hay un tema que si me pudieras, es una inquietud.

**Leonardo Castro:** No, si entiendo, a ver, dentro de la escala temporal muestreable en los cruceros, digamos, diarios, es difícil encontrar, digamos, porque haya, mayor cantidad de huevos vaya haber más cantidad de larvas, demasiado, eso es clásico, cuentan los huevos y después que haya aumento de larvas dos o tres días después, digamos, es mucho pedirle a una serie de tiempo cortita a nivel estacional que probablemente se nota más, en los diagrama de se nota más a nivel estacional que diario, ahora lo que tu dices también no necesariamente donde hay más huevos hay siempre, acá en regional si, donde hay más huevos hay más larvas, en la escala diaria empieza probablemente haber diferencias, podría ser asociado a comportamiento, como bien decía Mauricio hace un rato, las larvas más grandecitas ya empiezan a migrar y a cambiar de profundidad, entonces no es necesariamente, digamos, que van a estar siempre huevos y larvas en el mismo lugar, esperarí que hubiera algo de diferencia, en esas series que yo les mostraba, claro, en alguno casos si ocurrió

una coincidencia, a mayor número de huevos mayor número de larvas dentro de los mismos días, en otros días no ocurría, probablemente tenga que ver con, no sé po, aspectos de tipo parches también, estamos hablando entre unos pocos muestreos durante el día, pero si hubo varios días en que huevos y larvas coincidían y yo lo atribuiría a cambios, digamos, de probablemente las preferencias o en la distribución de las larvas comparado con los huevos sobre todo a nivel de profundidad.

**Mauricio Landaeta:** Quizás sería como sugerencia Miguel, que comentaras como son estos datos respecto de la información que hay previamente para estimaciones de crecimiento y mortalidad en Antofagasta, en Concepción como están estos valores.

**Miguel Araya:** Si, gracias por ese alcance Mauricio, bueno el tema de las tasas de crecimiento que se estimaron para estas larvas y para ese rango de longitudes y edades, cierto, son mayores las que se han estimado en trabajos como Leo y Contreras en el caso de Talcahuano, estos valores también son muy similares para el caso de Antofagasta, tenemos diferencias con respecto a la zona sur, eso con respecto a las tasas de crecimiento y las estimaciones de mortalidad cuando uno las revisa son muy parecidas en general no es que se escapen con valores muy altos o valores muy bajos, aquí lo que tenemos que trabajar es el tema que ya lo tocaste tu mismo Mauricio, cierto, es tener un rango más completo de rangos de tallas, para a eso debiéramos cambiar los sistema que tradicionalmente se utilizan en ictioplancton, eso.

**Sebastián Vasquez:** Quizás un poquito discutir o conversar respecto a las diferencias que hubo entre invierno y verano de pronto pueden resultar un poco contra intuitiva en cuanto a lo que mostraba Gati los cambios en la temperatura muestran que están creciendo más rápido en invierno que en verano.

**Miguel Araya:** Claro, tu estas refiriendo a la información generada también ahí en Chipana

**Sebastián Vasquez:** Uno esperaría que con mayores temperaturas tuviera una tasa de crecimiento más rápida

**Miguel Araya:** No necesariamente en el caso de anchoveta

**Sebastián Vasquez:** Hay otros factores que estarían modulando el crecimiento más allá de la temperatura, digamos

**Miguel Araya:** hay que tener presente también que el rango es relativamente estrecho, cierto, como para sacar conclusiones, con, más fuertes por así decirlo de alguna manera

Yo quiero comentar algo más que consulta, es ¿como, tenemos que avanzar en esto de los modelos biofísicos? aparentemente, me gustaría que se actualizara como el modelo que hizo Sebastian en la Norte alomejor a estos últimos años, se hiciera la Centro Norte creo que son super interesantes y nos pueden entregar información importante para el manejo pero complementario para el manejo, felicitar a Sebastian porque creo que este trabajo es superbueno y super interesante

**Miguel Araya:** Bien, comparto tus palabras, le doy la palabra a Gustavo y después a Guido

**Gustavo Aedo:** Creí entender que uno de los enfoques de este tipo de análisis, su aplicación era el manejo, cierto?

**Sebastián Vásquez:** Todo lo que hacemos, la idea es que tenga cierto impacto en el manejo

**Gustavo Aedo:** Tú consideras que con lo que se conoce hoy en día el porcentaje de retención sea un fuente de información suficiente para considerarla en el manejo pesquero? Sobre todo cuando hoy en día ese tipo de dato auxiliar se utiliza, por ejemplo, para hacer modificaciones en el porcentaje de riesgo, obviamente bajo el enfoque precautorio, bajo tu entender y tu crees que sería suficiente hoy en día como para que este porcentaje de retención sea una aplicación real y efectiva en el manejo?

**Sebastián Vásquez:** Gracias por tu consulta Gustavo, bueno, obviamente todos los que trabajamos en ciencia pesquera la idea es que tenga una aplicación finalmente hacia el manejo o una aproximación auxiliar, como decía ¿Joi? hacia el manejo, yo más bien creo que solamente el modelo digamos, solo como herramienta hacia el manejo lejos yo creo que es insuficiente, digamos, a lo que apunta este tipo y de modelo a la instancia que está hasta ahora es tratar de generar proxy, idea de proxy hacia el reclutamiento hacia la sobrevivencia temprana, en lo que hemos estado trabajando nosotros últimamente es tratar a través de estas modelaciones es generar, por ejemplo, un proxy hacia el reclutamiento que pudiese ser incorporado dentro del modelo, por ejemplo, modelo evaluación de stock como algún calibrador, digamos, o que pudiese ser también utilizado como una señal temprana previa al crucero de REC voy hablar de la centro sur por ejemplo antes del crucero de verano RECLAS es una señal temprana del éxito o fracaso de la clase anual, por ejemplo, si uno pudiese tener termina el crucero de MPH corremos este modelo y tenemos una señal temprana que pudiese ser en noviembre o diciembre, por ejemplo, ya habría cierta señal de

decir precaución porque es muy probable que la cohorte que viene entrando hacia enero tenga problemas porque hubo demasiada advección o hubo cierta condición que afectó el éxito temprano, entonces puede servir como un indicador previo ahí en el ciclo de manejo que esté justo entre el MPH y el RECLAS en el caso de acá de la zona centro sur que me es más familiar de explicar y para ti también, entonces, yo no veo que el modelo en sí solo sea una herramienta para el manejo, pero la idea es que se incorporen este tipo de herramientas dentro del ciclo del manejo, siempre estamos buscando información auxiliar que sea independiente de la pesquería, este puede ser a largo plazo un indicador bueno sobre todo hacia el reclutamiento que es la gran pregunta que todos nos hacemos todos

**Gustavo Aedo:** Disculpa Miguel ,puedo colgarme otra vez porque aquí abro un debate debido al uso de otras consultas Sebastián y tiene que ver justamente con esta aplicación a lo que podrían ser los resultados del RECLAS y yo creo que es justamente para la centro sur en donde se ha extendido tanto el periodo de desove puede que hayan diferentes fuerzas de los reclutas que si habían anchoveta y obviamente en el diseño estático, que hoy en día tiene temporal el crucero RECLAS puede que no capte bien la señal de reclutamiento solamente indicar eso, porque me parece que la aplicación que tu mencionas puede ser muy muy interesante.

**Sebastián Vásquez:** Claro, por ejemplo, este modelo aquí tiene, en esas series largas tiene liberaciones de huevos son cada 5 días a lo largo de toda la temporada reproductiva, entonces si uno analiza después la salida también puede ver que , a lo mejor como tu dices, a lo mejor fue exitosa la ultima cola del desove o más exitosa que la del comienzo de la central, entonces probablemente el reclutamiento ahí puede estar un poco desfasado, pero de nuevo, el éxito acá es muy subjetivo porque está solamente colgando de una variable como la retención, digamos que, la idea es incorporar, como les decía, otros indicadores de alimentos o de estos predadores

**Sebastián Vázquez:** A tratar de incorporar más realismo, digamos, dentro del modelo porque hasta ahora depende mucho de un par de variables

**Guido Plaza:** Cómo se hacen cargo estos modelos, por ejemplo, de los eventos advectivos como los remolinos de meso escala que pueden transportar grandes cantidades de agua, sobre todo en esos estados vulnerables que pueden ser fácil ser transportados, ¿lo contemplan en alguna medida?

**Sebastián Vásquez:** Si pues, absolutamente, porque el modelo hidrodinámico que es el que le da finalmente el que está detrás de todo esto del transporte, que se yo, es un modelo que en este caso

tiene 4 kilómetros de resolución espacial, entonces la meso escala como los remolinos tienen, pueden ir de tamaño entre 20 km hasta 200 km, por ejemplo, y esto se hace cargo de esa escala, entonces los remolinos, por ejemplo, cuando veíamos ahí en la animación lo que se veía de fondo eran los vectores y tanto los remolinos como las corrientes de meandro, están dentro del modelo, entonces, incluso acá nosotros estuvimos trabajando con un estudiante de ingeniería matemática que estaba tratando de generar un algoritmo para a través de las trayectorias Eddy que tenían todas estos individuos todas estas partículas identificar que trayectorias habían seguido un otras que habían seguido una trayectoria distinta, entonces para el final tratar de cuantificar cuantas estaban teniendo esta relación con los giros y principalmente en el Norte que nos dimos cuenta que los giros permanecen muy , no se sueltan como acá en el sur que acá tienden a viajar hacia el norweste, digamos, casi todos los remolinos allá hay muchos que son estacionarios y veíamos que eran trayectoria muchas de esas seguían cercana a la costa

**Carlos Merino:** Sebastián sólo quiero aclarar un par de cosas, quiero que me aclares un par, entendí que (no se entiende).....?

**Sebastián Vásquez:** Lo que pasa es que, claro, el crecimiento, en este modelo es solamente temperatura dependiente lo que está mostrando en esa época como la temperatura es más baja el modelo digamos nuestro, tiende a mostrar crecimiento más lento, digamos, en comparación a las otras temporadas

**Carlos Merino:** La duda que tengo Sebastián es que para el modelo determinaste las tallas de las larvas no?, incorporaste las tallas de las larvas, ya, y en esa época donde hay más desove no hay individuos que están apareciendo recién y son más pequeños y esos podría influir? esa es una pregunta y la otra que también dijiste que en el cuarto trimestre había menos pérdida por advección y también en ese cuarto trimestre también se conjuga que terminó el desove se supone que tenemos más individuos en el plancton, no estoy seguro de esto, pero por eso estoy preguntado, no tendrá eso que ver con que afecta el modelo? Estas dos cosas

**Sebastián Vásquez:** Yo la verdad dejaría que el tema de crecimiento fuera más, nos orientáramos más en lo que nos mostró Miguel y Guido más que el modelo biofísico, porque vuelvo a insistir que ellos están mostrando observaciones, lecturas de otolitos y observación directa, yo estoy mostrando algo basado en modelación y es muy dependiente solamente una variable, entonces me gustaría que nos orientáramos más hacia los resultados de los colegas que hacia esto que he mostrado, lo que si permite si es como tener una ventana más amplia, digamos, que si uno

incorporara, por ejemplo, un módulo bioenergético donde fuera importante el alimento, a lo mejor, estas curvas también cambiarían, entonces, quiero que los colegas aborden más ese tema y lo otro en relación a la estacionalidad de la retención en el Norte la estacionalidad es bastante distinta de lo que tenemos acá centro sur vemos cambios muy drásticos, digamos, cuando se activa la surgencia en el verano tenemos que mucha advección costa afuera, allá la ustedes tienen una surgencia que como más continua a lo largo del año y los cambios estacionales son menos bruscos, digamos, entonces, pero a nosotros nos dio que en el último trimestre justamente cuando después el desove, donde estaría la mayor cantidad de individuos en el agua podría tener una mayor retención, entonces ayudaría eso también a que los individuos de mantuvieran cerca de la costa que finalmente es como la estrategia reproductiva de pequeños pelágicos, tratar de hacerle el quite a la época de mayor actividad advectiva.

**Jessica Bonicelly:** La inanición tú dices que no es una fuente de mortalidad, pero si, por ejemplo, un huevo naciera en el sector oceánico, ahí si podríamos considerar la inanición como una fuente de mortalidad

**Gabriel Claramunt:** Si en la zona oceánica no hay alimento en la calidad y cantidad, claro.

**Jessica Bonicelly:** Claro porque la concentraciones de fitoplancton son mucho menores en zonas oceánicas, entonces yo consideraría que podría ser una fuente de mortalidad si naciesen fuera de la costa dado que una larva con saco vitelino dura más o menos, cuantos?, 4 días o 5 más lo que dura un huevo 2, 3 días

**Gabriel Claramunt:** Con saco vitelino 60, 120 horas , depende de la temperatura

**Jessica Bonicelly:** Ve, claro, se criaría en un ambiente poco productivo

**Gabriel Claramunt:** puede ser por transporte

**Miguel Araya:** Ahí está el tema de advección

**Gabriel Claramunt:** Pero una hembra no va a desovar en un ambiente en que no haya nada

**Jessica Bonicelly:** Pero en el 2002 vimos que el desove fue hasta las 80 millas

**Gabriel Claramunt:** Si, hace años atrás el desove seguía nunca supimos hasta donde pudimos haber llegado

**Mauricio Landaeta:** Hay que recordar que las larvas de anchoveta comen principalmente microzooplancton, ya, la presencia de fitoplancton es muy muy baja, entonces eventualmente podrían sobrevivir en sistemas, lo estamos forzando ultraoligotróficos, pero si quizás en esa zona donde también hay desove reproductivo hay harta reproducción dentro de la Vicinguerria, entonces eso nos da luces de que, digamos, no es que un vacío, cierto, quizás el mismo loop microbianos en alguna parte podría servir de apoyo, no es cierto, especialmente cuando pasan cierto al microzoo quizás ese micro zoo permite hacer sobrevivir los primeros días de vida de estos pequeños pelágicos

**Sebastián Vásquez:** Justamente iba a comentar lo mismo porque también eso nos impone una dificultad en tratar de monitorear las condiciones alimenticias porque si es una especie que es, fitoplantófaga es más fácil monitorear las condiciones a través de satélites u otros, acá primero habría que probar la relación que hay entre la actividad secundaria y esta producción de fitoplancton y la producción primaria para poder utilizar un proxy de este tipo más monitoreable una dificultad adicional

**Gabriel Claramunt:** Como muestran el área de desove año atrás año 2000, la anchoveta desovaba hasta las 80 millas y desoves importantes, las hembras no andan desovando en cualquier lado

**Leonardo Castro:** Un comentario, lo que pasa es que hay que tener en consideración algunas cosas, cuando hablamos de desove más oceánico no es solamente que la anchoveta va a ir a desovar allá, si no que probablemente el hábitat óptimo reproductivo se expande eso quiere decir que probablemente esos años que ha habido un desove fuera de la costa podemos llamar oceánico, probablemente esperaríamos eso podríamos verlo a través de una serie de tiempo, probablemente el área de buena, digamos, de desove para las larvas también se extendió hacia afuera, entonces solamente colocar la distancia de la costa como un parámetro puede ser un poco, como se dice, despiante, porque puede que el hábitat completo haya sido favorable hacia afuera, no es que solamente la distancia desde la costa sea lo que determina lo que es bueno o malo como reproductivo, que sé yo, con pocos predadores, gelatinosos o cosas así digamos, es todo el hábitat que se expande, probablemente hubo años en que hubo mucha advección y todo fue traspasado hacia afuera, pero en el fondo las condiciones costeras fueron traspasadas hacia afuera también las condiciones de alimentación esto habría que probarlo

**Sebastián Vásquez:** Un poco lo que demostraba Gabriel en sus láminas ¿Cual es el ambiente favorable?. Para eso tenemos que avanzar hacia a que están más allá de las condiciones que estamos

viendo habitualmente y hay que monitorear otras que son o que podrían ser las indicadoras de los ambientes favorables

**Mauricio Landaeta:** También hay que considerar, viendo algo de los resultados de Sebastián de la modelación de que la advección no necesariamente puede venir solamente del lado chileno, cierto, sabemos que se ha visto que hay poca energía cinética para generar Eddy pero entre los 14 y 16 grados sur al sur de Perú los modelos muestran una dispersión bastante grande hacia el sur oeste y que eventualmente esos también podrían traer huevos, larvas y también alimento cierto que sea óptimo para desoves más entre comillas oceánicos de nuestro punto de vista

**Gabriel Claramunt:** Claro porque, de acuerdo a los resultados que vimos esa invasión que vimos aumenta la abundancia se hace más oceánico hacia el sur, pero esa gran cantidad de hembra, abundancia, de donde vino del Perú? o del área recurrente de Chile o todas las anteriores, puede ser una expansión de la anchoveta del Perú que se trasladan hacia el sur hacia al norte de Chile y aquí quiere seguir expandiéndose, la anchoveta siempre está tratándose de expandir y esa expansión es hacia el sur y hacia el océano y después pasa a la tercera región y se pega a la costa, el desove ahí es costero esta dentro de las 20 millas

**Carlos Chavarini:** Gabriel? Con todo respeto a la comunidad científica, pero escuchándolo los modelos y lo que exponía Gabriel, yo estoy muy de acuerdo, que no me acuerdo del joven de barba, porque si tu haces memoria nosotros teníamos en el norte un aporte del sector peruano donde la concentración de pesca generalmente cuando empezábamos la veda reproductiva eran un par de meses en el límite, no cierto, y gran cantidad de por lo menos unos 200, 250 mil toneladas de aporte de la anchoa peruana y ese pescado siempre entraba por afuera del 71 hasta cuando bueno nos pusieron la barrera de las 80 millas, pero mucho más afuera entraba y como decía alguien por ahí venía el agua, el agua con los alimentos y ese pescado entraba por afuera siempre sub tierra e iba a parar a Tal Tal y de ahí del sur para el norte y lo que pasaba para acá a tierra pero era porque venía con el agua con la corriente todo

**Gabriel Claramunt:** La expansión viste, se expande

**Sebastián Vásquez:** Eso agrega una nueva dificultad igual, acá no lo hemos tocado, pero se trata de un stock compartido digamos, entonces igual nosotros lo que estamos monitoreando lo que estamos viendo parte nuestra, también hay una fracción que está en el sur de Perú que puede cambiar todas estas relaciones digamos, por ejemplo nosotros vemos a través de los modelos que

hay algunos años que gran parte de lo que se desova en Arica va a parar al sur de Perú que lo que recluta el mismo lado chileno digamos, entonces si es que esos son exitosos en el reclutamiento ahí y después se devuelven también veríamos como un retorno como decía Carlos de hembras que van a volver a desovar donde mismo nacieron , pero eso hay que probarlo, son ideas no más

**Mauricio Braun:** ¿Oye una consulta puedo o no? Mira, dice relación con lo mismo y con esos desoves tan oceánicos, la historia lo dice años atrás Gabriel y para todos nosotros prospectábamos en el MPH de norte a sur y esperábamos no cierto los indicadores no cierto ahí 18 25 y obviamente lo que dice Leo también y Mauricio Landaeta, un saludo para ellos, empezábamos a prospectar como le digo de norte a sur y obviamente a la cuadra de Arica llegábamos hasta la serie y podíamos seguir mucho más afuera obviamente eran 100 para nosotros y 20 de Perú, pero ese es el sentido que teníamos y veíamos que venía disminuyendo, no cierto, la extensión longitudinal hacia el sur del área, no cierto, que cubría el método de reproducción de huevos, yo en algún momento a Gabriel y a los colegas del IFOP les dije el sentido de las prospecciones, yo te digo de los 20 años Gabriel que tu mencionaste, diría yo unos 13 o 14 hicimos en sentido norte y sur y posteriormente los últimos 7 años, por diversas razones y las desconozco, se hizo en sentido contrario, de sur a norte, ese es el comentario que quería compartir con ustedes, gracias

**Gabriel Claramunt:** También dentro de las cosas que hay que hacer, nos faltó algo, la dinámica espacial de la anchoveta, no sabemos pero absolutamente nada, esa anchoveta que nace en Arica como decía Sebastián, pero los adultos se van para el Perú siguen en Arica o para el sur? No sabemos nada

**Joyce Mendez:** ahora por ejemplo hemos estado estos últimos años con pura anchoveta chiquitita, de tamaños muy reducidos flaquititas muy poco rendimiento, etc y este año están apareciendo anchovetas grandes, como comentaba Carlos Chavarini en algún momento, ¿cómo aparecieron esas anchovetas grandes, de dónde vienen, porqué en este momento no, es una pregunta que yo creo no se entiende muy bien la dinámica, que es lo que pasa, que es lo que está pasando, vienen de Perú? ¿Estaban afuera, costa afuera? No sé

**Mauricio Braun:** Disculpa que te interrumpa, este año las anchovetas efectivamente como tu lo planteas llegaron a 17 casi 18 cm ligado al problema legal que la flota no puede penetrar u operar en las 5 millas, las capturas han estado a las 20, 40 incluso más afuera, han sido oceánicas, sí, eso era

**Eduardo Díaz:** Si, muchas gracia, buenas tardes, en relación a lo mismo que comentó Joyce? y Mauricio, esto con datos que nosotros estamos haciendo del monitoreo de la pesquería del proceso reproductivo de la anchoveta que iniciamos en junio, hemos visto justamente eso que se están no cierto, que aparecieron ejemplares más grandes hasta los 17 cm cosa que en los últimos 5 años no se veían y otro comentario o antecedente es que en el ultimo año el desove está bastante costero y esta anchoveta más oceánica que se está pescando está desovando y empezamos en un principio estaba frente a Antofagasta y en esta reciente semana, semana pasada ya viene desplazándose hacia el norte y se estuvo pescando en el límite entre Arica e Iquique y está desovando, esto es con dato histológico y es algo que no se había visto en los últimos años, eso

**Guido Plaza:** Está interesante la discusión, sí, en realidad yo comparto que, lo hemos conversado en varias oportunidades la necesidad de tratar de dilucidar la parte de la estructura poblacional, estos patrones demográficos que pudiesen estar influyendo sobre todo la contribución que puede hacer puede hacerse desde el Perú digamos y aquí me gustaría conocer quizás la opinión de Joyce cuáles son las razones de porque es tan difícil avanzar en abordar una problemática en el marco de un estudio de estructura poblacional, se han venido haciendo en Chile en los últimos años, pero para esta parte pareciera ser difícil no se si ha sido un problema de colaboración con Perú, establecer cómo abordar esa problemática porque no es tan difícil de resolverla digamos

**Joyce Mendez:** Uy, creo que sí, ha sido complejo yo creo que se han hecho hartos esfuerzos de trabajo conjunto con Perú, de hecho, la gente del IFOP ha tratado de tener algunas colaboraciones, qué sé yo, acuerdos para poder hacer algunos trabajos, pero, es complejo ha sido muy complejo, no es algo que sea de ahora no más si no que desde hace mucho tiempo y no sabría decirte que se necesita para avanzar en eso, porque intentos se han hecho

**Guido Plaza:** Que compartan algunas muestras

**Joyce Mendez:** Sí, como te digo no es algo que no se ha intentado

**Sebastián Vásquez:** En este y otros recursos, no solamente en la anchoveta, jurel pasa lo mismo

Joyce: Claro, claro, porque siempre falta esa parte la del sur del Perú para tener la visión completa de todo lo que se investiga, siempre está la incógnita

**Gabriel Claramunt:** Los resultados respecto de los cambios en la talla de la anchoveta y los resultados de este trabajo, este proyecto en que crecieron rápido y buena sobrevivencia quizás se pueda aplicar una teoría que esté relacionado, hay un paper aquí de Paola que tiene, transición

de larva a juvenil es determinado por la edad o es determinado por la talla? que parece ser una cosa simple pero tiene una consecuencias ecológicas tremenda, la teoría del----- tiene varios papers de este tema, él señala, un pez en un ambiente rico y predecible sus cambios, sus etapas van a estar determinadas por la edad porque no puede esperar llegar a una talla si está en un ambiente pobre una talla que nunca va a alcanzar, entonces en un ambiente pobre no va a alcanzar nunca la talla, entonces llega la edad va a madurar igual, se achica o se agranda eso es el tema, por eso, la anchoveta lo que está pasando son fases de crecimiento no más, tasas de crecimiento porque la madurez sexual es fácil de probar, la madurez sexual el señor Eduardo Díaz lo va a hacer en un par de meses más y la madurez sexual está determinada por la edad y los Cambios que se han observado ahora que está madurando a los 8, 9 cm son ejemplares chicos pero tienen la misma edad, bueno Señor Eduardo cuándo nos va a ilustrar sobre eso?

**Eduardo Díaz:** Estamos en eso Gabriel

**Carlos Chavarini:** : Yo tengo una pregunta, considerar que con lo que yo dije que del stock peruano que es el que nutre, según nosotros, el que nutre nuestras costas, si tu haces un estudio en Chile de las 80, 100 millas , esto de la profundidad que nosotros tenemos versus cuando se viene desplazando la biomasa del Perú ellos tienen 50, 45 metros de profundidad y después pasan a una zona como un poco abisal como le digo yo, porque las profundidades son mucho mayores, entonces ahí se genera mucha comida en el lado peruano y es por eso que en Arica se da que la flota chica está todos los días ahí en la playa porque el pescado hace un círculo ahí, entra por el 70 31 el que está en la orilla y llega hasta Camarones y después se regresa para el Perú y el pescado oceánico que sale fuera de las 80, 100 millas igual tienen 40, 45 metros de agua no más, ese es el que pasa hacia sur tierra por afuera la cual nosotros no podemos ir ahora, ahora estamos obligados por el tema de las perforaciones hemos salido un poco más, pero generalmente ese pescado es el que pasa por afuera el que viene de afuera del Perú donde ellos tienen su plataforma más baja, más rica en nutrientes y todo, y lo otro lo que consultaban por el tema de colaboración hay que tomar en cuenta que Perú protege, no cierto, su zona del centro donde ellos cuidan su stock, porque hasta el paralelo 16 al 18 que son 2 grados con Chile ellos no colocan veda porque para que no pase el pescado para acá, si nosotros estamos en veda y ellos pescan, es difícil tener esa colaboración cuando se ven publicaciones del Instituto del Mar Peruano que hay que pescar para que no pase para Chile, entonces es difícil esa colaboración para ustedes los científicos, eso

**Miguel Araya:** Gracias Carlos, estimadas, estimados no sé si hay más preguntas mayores detalles de los distintos temas que tratamos acá está en el informe que se va a entregar con la discusión que se ha ido dando y las respuestas que se han dado también a sus preguntas, se va a agregar al informe y bueno, obviamente estará disponible, es mucha información, Edgardo tomó bastante tiempo pero la información que tiene es mucho más y bueno cada uno de los capítulos, es mucho más la información que hay

**Jorge Oliva:** Miguel, un comentario, hola, es con respecto a la colaboración de Perú, Perú – Chile, sur del Perú – norte de Chile, hay un proyecto que esta por firmarse o ya está firmado, pero que comenzaría que es el proyecto GEF, ese proyecto dentro de los objetivos que tiene es justamente un acercamiento en investigación entre sur de Perú y norte de Chile y también ha habido algunas conversaciones entre la Sociedad Nacional de pesca del Perú con la Sociedad Nacional de pesca de Chile con el fin de ver de que manera se hace un manejo relacionado, no compartido, pero relacionado y eso en la mira de la certificación de las pesquerías por lo tanto hay una oportunidad de poder avanzar y este proyecto lo tiene el Ministerio de Relaciones Exteriores y la Sub Secretaría de pesca y creo que el IFOP hace de cabeza, por lo tanto hay que estar ahí atento, yo creo que este año se podría gatillar su inicio, eso

**Gabriel Claramunt:** ¿Mira Jorge, puedo hacer un comentario? Me invitaron a dos talleres, fui a dos talleres del GES, estuvimos en reuniones con los colegas peruanos, pero no, a ellos les dan la orden de no entregar nada, era un chiste porque nosotros entregamos toda la información gráficos, tablas, etc., y viene la contraparte peruana y mostró, en una oportunidad, fotos, este es mi laboratorio, aquí se tomó la muestra, puras fotos, no mostró ningún datos, fotos de su laboratorio, esa fue la colaboración que hicieron, no es culpa de ellos, les dan la orden de no suelten nada y no sueltan nada, ojala que ahora se avance

**Leonardo Castro:** ¿Puedo hacer un comentario? Me está dando la impresión de que estamos poniendo todas las fichas en cosas o información que es difícil de recolectar, digamos hablando de stock compartido, que sé yo, sin embargo quisiera que volviéramos un poco al proyecto que nos convoca, en general a los enfoque que como país podemos, unidad científica, técnica, profesionales podemos aportar, seguro, siempre va haber información que va a estar faltando, ya, que en este caso puede venir de otro país, pero también tenemos hartas herramientas y este proyecto en particular está demostrando de que pueden ser útiles y si no necesariamente llegar a, no sé, a abarcar todo lo que nos pudiéramos, digamos, complementar gente de otras naciones que si

podíamos utilizar estoy pensando en los IBM con información de IBM, o sea, en realidad con los modelos algunas de las cosas que podíamos esperar que nos aportaran de otros países pueden modelarse, dentro de ese contexto Guido, valoro mucho la presentación de IBMs porque son herramientas que pueden aportar en ese sentido, hay muchas cosas que nos falta y que nos van a seguir faltando por siempre, pero algunas pueden ser modeladas, dentro de los esquemas yo valoro mucho el uso de los IBM, ahora dentro de este proyecto en particular se avanzó, se avanzó en varias temas relacionados con la ecología de esta especie en particular y son aspectos que de a poco se pueden ir sumando, se van acumulando y que sirven nuevamente para cómo se llama, alimentar estos modelos, entonces yo creo que nuestro enfoque, por un lado ojala podamos obtener la información de otros países, que se yo, pero si no independiente de los aportes, nosotros también podemos ir generando escenarios que puedan reemplazar ese tipo de información ya, y por otro lado tenemos que pensar que este tipo de proyectos esta también generando información justamente que sirve para apoyar esos modelos y creo que eso es una muy buena iniciativa, falta mucha información de tipo ecológica para nutrir esos modelos, eso es lo que estamos haciendo a través de este tipo de proyectos y yo creo que se tiene que mantener, en este caso en particular hemos aprendido sobre crecimiento, sobre la variabilidad estacionales, sobre tallas, sobre no sé, sobre distribución de predadores, sobreposición etc. lo tenemos completamente claro tasa de producción primaria que puedan nutrir el fitoplancton, el alimento que parece ser no un factor limitante, pero tampoco lo tenemos completamente claro, porque nos faltan tasas, tasas de producción primaria que puedan nutrir, digamos el fitoplancton y el zooplancton, entonces, yo quisiera ser optimista, ya, y dejar una imagen optimista en cuanto a que el enfoque que se está haciendo a través de este tipo de proyectos que generan información que es importante, digamos, para entender los procesos que afectan al stock, digamos, se está logrando ya, y otra información que va a ser muy difícil en el futuro yo creo que tenemos que empezar a pensar a canalizarla a través de modelos, quiero dejar un opción una ventanilla optimista, que se está avanzando en el asunto, que se está logrando paso a paso, digamos, es una información que cada vez más relevantes para entender estos proceso que están aconteciendo en estas poblaciones

**Gabriel Claramunt:** No, creo que se dijo lo más importante, creo que, bueno el proyecto aportó con lo que tenía que aportar, resolver una de las problemáticas de la ciencia pesquera mundial, diagnosticar reclutamiento no es un tema menor, es una problemática mundial, entonces avanzar en todo lo que sea es importante, lo que sea, avanzamos creo yo un par de pasos en buscar otro

índice, otros indicadores, bueno y tal vez se entrega una ruta con la cual seguir avanzando, como decía Leo, hay que seguir investigando, el tema del reclutamiento no lo vamos a resolver de una vez, el tema es complejo, son muchas las variables, por eso talvez sea bueno el modelo biofísico, sirven para probar hipótesis, para saber qué camino tomar,, pero antes hay que desarrollar los índices que van a alimentar el modelo, tasas de predación, etc.

**Andrés:** Si, yo me secundo en lo que decía Leonardo sobre ver los puntos más positivos y tratar de enfocarnos en lo que se puede lograr con colaboraciones internacionales, Perú hace mucho tiempo que empezó con modelación biofísica, he puesto en el chat un paper del 2008 que es de Brocher? es gente del IFREMER e incluso si las colaboraciones no se dan directamente con el Instituto del Perú la colaboraciones en cuanto a la modelación biofísica en RON el SERAPE de los modelos IBM se puede trabajar con gente del IPREMER con el mismo Timoti que yo he trabajado con el se puede hablar y incorporar esto ya está publicado los datos en este momento ya son datos abiertos sobre la configuración del modelo también al igual que Chile, Perú tiene una política de datos abiertos en cuanto algunos de los productos o los datos que puedan solicitarse a secretaría de pesca y todo esto, yo no veo ningún problema porque en algún momento algún investigador chileno quiera solicitar los datos al portal de transparencia al igual que se hace en Chile, eso es científicamente totalmente válido si se puede encontrar la colaboración muchísimo mejor, pero los datos en sí existen se pueden trabajar datos de Perú, así la gente de Perú no tenga mucha colaboración con los grupos de Chile, eso es todo

**Sebastián Vásquez:** Quisiera Miguel, disculpa, seguir la idea de Leo y de Andrés también, fortalecer el tema de nuestros cruceros, los cruceros que tenemos, que muchas veces se ponen en cuestionamiento porque son solamente una fotografía o muchas veces porque los indicadores no siempre están siendo utilizados en los esquemas de evaluación de stock o lo que sea, yo creo que una de las fortalezas que tenemos, es tener estos cruceros del MPH y como se ha demostrado a medida que avanza la ciencia y a medida que las herramientas tecnológicas se vuelven más disponible como estamos hablando de los modelos que hemos trabajados muchos de los que estamos acá, uno se empieza a nutrir de esa información que viene recopilándose históricamente, nosotros hemos forzado todos estos modelos IBM con Andrés a través de modelación espacial que provienen de los datos del desove del MPH, entonces, en lugar de cuestionar, digamos, estos cruceros por la información que entregan, yo creo que hay que tener siempre la mirada optimista que son cruceros muy ricos en información y en ese punto, quizás, de todo esto que estamos

hablando hace falta monitoreo en lugar de levantar un nuevo proyecto que sea mover un barco solamente para ir hacer cierto monitoreo, lo mejor es utilizar mejor estos cruceros y levantar información monitoreable que no sea de muy alto costo y muy alto costo de tiempo, digamos, e ir monitoreando, por ejemplo, predadores ir monitoreando alimento que a lo mejor proviene de las mismas muestras que se están tomando, de las muestras de agua que se yo, y dando un uso distinto para empezar a alimentar estas teoría ecológicas que estamos hablando y que de muchas no tenemos monitoreo, así que, eso.