REPORTE N°14

SEGUIMIENTO MENSUAL DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS DEL HÁBITAT COSTERO DE ANCHOVETA EN LA ZONA NORTE – NOVIEMBRE 2025



DICIEMBRE - 2025

REPORTE N°14



Seguimiento mensual de las condiciones oceanográficas del hábitat costero de anchoveta en la zona norte

Centro de Investigación Aplicada del Mar S.A., CIAM

Director Ejecutivo: Jorge Oliva López

Autor: Ulises Parker Pereira

• Diciembre 2025 •

SEGUIMIENTO MENSUAL DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS DEL HÁBITAT COSTERO DE ANCHOVETA EN LA ZONA NORTE – NOVIEMBRE 2025

Reporte N°14

RESUMEN EJECUTIVO

Metodológicamente, se realizó el muestreo bio-oceanográfico entre el 17 y el 21 de noviembre 2025, a bordo de las lanchas de servicio de Corpesca S.A. “Oviedo” y “Albatros” para los puertos de desembarque de Arica y Mejillones, respectivamente. Las estaciones costeras de frecuencia de observación mensual, se localizaron a 1, 3 y 5mn de la costa frente a Mejillones y Arica, con el fin de recabar los datos oceanográficos y biológico-pesqueros; y posteriormente, procesar y analizar la información para determinar y evaluar las condiciones bio-oceanográficas correspondientes a noviembre 2025 en la zona norte del país. Los principales resultados del monitoreo bio-oceanográfico son los siguientes:

Durante noviembre de 2025, la franja costera norte de Chile presentó condiciones oceanográficas coherentes con un **periodo de transición primavera–verano**, caracterizadas por un gradiente latitudinal marcado y una fuerte influencia de los procesos de surgencia costera, especialmente hacia el sur del área de estudio.

La **temperatura superficial del mar (TSM)** osciló entre 14,44 y 19,07 °C, con un promedio regional de 17,21 °C ± 1,25, representando un incremento de aproximadamente 0,7 °C, respecto de septiembre de 2025. Se mantuvo el gradiente térmico norte–sur típico del sistema de Humboldt, con valores más elevados en Arica (promedio 17,94 °C) y más bajos en Mejillones (16,33 °C), reflejando la mayor influencia de aguas subtropicales superficiales en el norte y de surgencias frías en el sur. La salinidad mostró baja variabilidad espacial (promedio regional 34,66 ups), siendo más homogénea en Arica y levemente menor en Mejillones, consistente con una mayor presencia de Aguas Subsuperficiales Ecuatoriales. La densidad superficial aumentó hacia el sur, controlada principalmente por el enfriamiento térmico.

El análisis vertical indicó que la **estructura térmica** fue más estratificada en Arica y más homogénea en Mejillones. La isoterma de 15 °C se ubicó entre 7 y 11 m en Arica, mostrando una termoclina superficial estable, mientras que en Mejillones presentó una alta variabilidad (1–13 m), evidenciando la coexistencia de zonas con surgencia muy intensa y sectores de retención dentro de la bahía.

Los valores de **oxígeno disuelto superficial** reflejaron contrastes marcados entre zonas. En Arica, las concentraciones (4,06–5,64 ml O_2/L) se situaron dentro del rango típico para la región. En Mejillones, en cambio, se registraron valores excepcionalmente altos (hasta 9,24 ml O_2/L), superando ampliamente el promedio histórico, lo que sugiere episodios de fuerte ventilación superficial y elevada productividad primaria, alternando con intrusiones localizadas de aguas pobres en oxígeno asociadas a surgencia.

La **clorofila-a** mostró una marcada heterogeneidad espacial. En Arica, las concentraciones fueron bajas a moderadas (<0,6 µg/L), compatibles con surgencia débil o moderada. En Mejillones, se observaron contrastes extremos, con valores muy bajos en el transecto norte y concentraciones elevadas en el transecto sur (hasta 10,33 µg/L), indicativas de eventos intensos de surgencia y floraciones fitoplanctónicas localizadas.

Desde el punto de vista biológico, el análisis de **zooplancton** evidenció una intensificación de la actividad reproductiva respecto de septiembre de 2025. Se cuantificaron 75.784 huevos y 9.168 larvas de peces, con incrementos del 50% y 179%, respectivamente. La anchoveta dominó claramente el ensamble, con presencia en el 100% de las estaciones positivas. La distribución espacial mostró un mayor aporte de Arica, aunque Mejillones mantuvo un rol relevante, especialmente en condiciones de alta productividad.

La **serie interanual** confirma que la abundancia de huevos y larvas de anchoveta presenta una variabilidad extremadamente alta, dominada por pulsos reproductivos asociados a ventanas ambientales favorables. El año 2025 se posiciona como un **escenario intermedio**, con niveles reproductivos y de supervivencia larval moderados, inferiores a los máximos históricos pero coherentes con condiciones oceanográficas relativamente estables y productivas.

La **sardina española** mostró una reproducción de baja a moderada intensidad en noviembre de 2025, con alta variabilidad espacial y una mayor concentración de huevos hacia las 5 millas náuticas, reflejando su carácter oportunista y su fuerte dependencia de las condiciones ambientales locales.

En conjunto, los resultados indican que en noviembre de 2025 el ecosistema costero del norte de Chile presentó **condiciones oceanográficas funcionalmente favorables**, aunque no excepcionales, para la productividad y la reproducción de pequeños pelágicos, destacando el rol clave de la surgencia, la oxigenación superficial y la estabilidad de la columna de agua en el control del éxito reproductivo y del reclutamiento temprano.

INTRODUCCIÓN

El presente reporte contiene los resultados obtenidos de la realización del monitoreo mensual de las condiciones oceanográficas del hábitat costero de la anchoveta en la Zona Norte, efectuado entre 17 y 21 de noviembre 2025, frente a los puertos de Arica y Mejillones.

OBJETIVO GENERAL

Conocer las variaciones de los parámetros físico-químicos en forma mensual en la columna de agua de la zona costera.

METODOLOGÍA

Zona de estudio

El monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas correspondiente a noviembre 2025, abarcó la zona marítima de las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, comprendida entre Arica (18°26'S) y Mejillones (23°04'S), donde se establecieron para los puertos de Arica y Mejillones, dos transectos perpendiculares a la costa equidistantes cada 2mn con estaciones programadas a 1, 3 y 5mn (**Figs. 1, 2 y 3**).

Plataforma de trabajo y programación de estaciones in situ

Para el desarrollo de esta actividad, se utilizó como plataforma de trabajo las lanchas de servicio de Corpesca S.A. "Oviedo" y "Albatros" para los puertos de desembarque de Arica y Mejillones, respectivamente. En el **Cuadro 1**, se consigna el número total de transectos y estaciones realizadas, el rango latitudinal y las fechas de inicio y término de esta actividad.

Cuadro 1

Programación de estaciones *in situ* realizadas durante noviembre 2025.

Número de Transectos	N° de Estaciones	Duración en Días	Rango Latitudinal	Fecha de Inicio y Término
4	11	7	18°26' – 23°04' LS	17 al 21 noviembre 2025

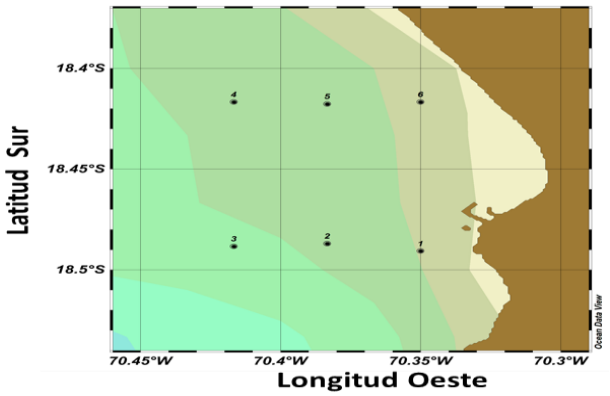


Figura 1. **Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo en Arica.**

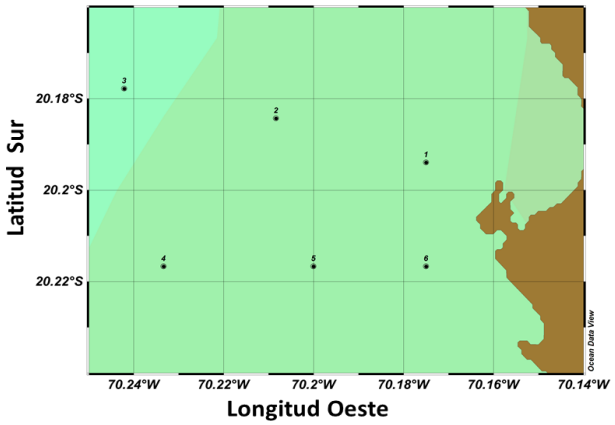


Figura 2. **Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo en Iquique.**

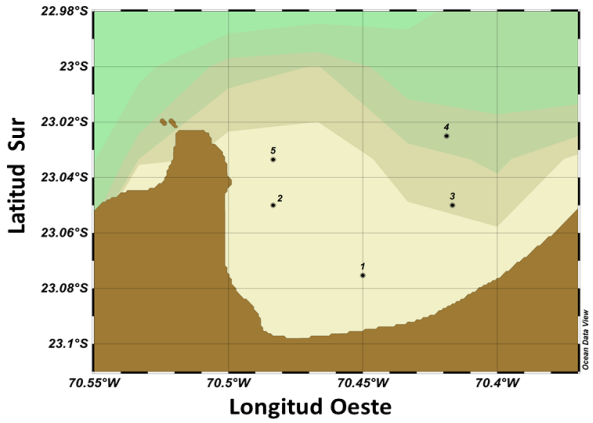


Figura 3. **Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo en Mejillones.**

RESULTADOS

1. Condición oceanográfica frente a la costa norte de Chile – noviembre 2025

Durante noviembre de 2025, el análisis de la temperatura superficial del mar (TSM) en la franja costera norte de Chile, que abarca las zonas frente a Arica y Mejillones, evidenció un patrón de variabilidad térmica moderada. Las temperaturas oscilaron entre 14,44 °C y 19,07 °C, con un promedio de 17,21 °C ± 1,253, lo que representa un incremento de 0,7 °C en comparación con los valores registrados en septiembre de 2025, con una salinidad de 34,66 ups y una densidad de 25,15 kg/m³. Este patrón corresponde al gradiente térmico típico del norte de Chile, donde las aguas cálidas subtropicales tienen mayor influencia en Arica, mientras que en Mejillones predomina la influencia de aguas más frías asociadas a **surgencias costeras**. (**Fig. 4 y Tabla 1**).

En noviembre de 2025, los valores promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) mostraron un claro gradiente térmico latitudinal a lo largo de las localidades estudiadas. En la zona de Arica se registró una temperatura promedio de 17,94 °C, la más alta del conjunto, con valores que variaron entre 16,73 °C y 19,07 °C, y una desviación estándar baja (0,82 °C), lo que indica baja variabilidad térmica. La salinidad promedio fue de 34,77 ups, con valores mínimos y máximos entre 34,75 y 34,79 ups, también con escasa variación (DS = 0,012). La densidad promedio (25,05 kg/m³) fue la menor del conjunto, coherente con las mayores temperaturas registradas.

Estas condiciones sugieren la influencia de aguas superficiales cálidas y de baja densidad, probablemente asociadas a una mezcla más intensa por acción del viento y a la advección de aguas tropicales o subtropicales superficiales desde el norte. **(Fig. 4 y Tabla 1).**

En contraste, en Mejillones se observó una temperatura promedio menor (16,33 °C), con un rango de 14,44 a 17,36 °C y una variabilidad moderada (DS = 1,11 °C). La salinidad promedio (34,52 ups) fue ligeramente inferior a la registrada en Arica, pero con densidades mayores (25,27 kg/m³), lo que indica la presencia de aguas más frías y densas, características de procesos de surgencia costera.

La surgencia es un fenómeno recurrente en esta zona, especialmente frente a Punta Angamos, donde afloran aguas subsuperficiales ricas en nutrientes, lo que también condiciona una mayor densidad y una disminución térmica local. **(Fig. 4 y Tabla 1).**

Los valores muestran una gradiente térmica decreciente hacia el sur, pasando de temperaturas más elevadas en Arica (17,21°C) a menores en Mejillones (16,33°C). De manera inversa, la densidad del agua aumenta hacia el sur, desde 25,15 kg/m³ en Arica a 25,27 kg/m³ en Mejillones, lo que refleja la influencia combinada de procesos de enfriamiento y surgencia en las zonas más australes.

Las mayores salinidades en Arica reflejan la influencia de Aguas Subtropicales Superficiales **(ASS)**. Las salinidades más bajas en Mejillones sugieren mayor aporte de Aguas Subsuperficiales Ecuatoriales **(ASE)** o mezcla con aguas provenientes de procesos de surgencia. Las variaciones son

pequeñas (±0,3 ups), lo cual es típico de la zona y sugiere estabilidad en la composición de masas de agua. Arica presenta extrema homogeneidad salina, indicativa de una masa de agua bien definida. En Mejillones la variabilidad, aunque baja, es mayor por la influencia de surgencia. **(Fig. 5 y Tabla 1).**

En conjunto, la columna de agua en noviembre presenta para **Arica–Mejillones** 13,82 °C, **Arica** 14,02 °C levemente más cálida. **Mejillones** 13,62 °C levemente más fría. El gradiente térmico vertical se mantiene, pero **mucho menos marcado que en superficie**, lo que indica mezcla vertical o penetración de aguas subsuperficiales frías hacia el norte. El rango térmico vertical es amplio (6,4 °C), consistente con una columna estratificada arriba y con influencia de aguas más profundas frías abajo. Mejillones muestra **una columna bien mezclada**, probablemente por surgencias fuertes o mezcla turbulenta. Arica, en cambio, presenta una columna más **estratificada**, con un contraste mayor entre aguas cálidas superficiales y frías profundas. **(Tabla 2).**

La salinidad promedio en **Arica–Mejillones** 34,648 ups, **Arica** 34,780 ups mayor salinidad **Mejillones** 34,522 ups menor salinidad. Arica presenta una columna dominada por Aguas Subtropicales Superficiales **(ASS)** y/o mezcla con Aguas Subtropicales Intermedias. Mejillones muestra influencia de Aguas Subsuperficiales Ecuatoriales **(ASE)** más frescas y menos salinas. La columna de Arica es salinamente uniforme, lo que indica masas de agua bien definidas verticalmente. En Mejillones existe una mayor mezcla de masas de agua. **(Tabla 2).**

La densidad está controlada por el balance entre temperatura (principal) y salinidad (secundaria). **Arica–Mejillones** 26,027 kg/m³, **Arica** 26,079 kg/m³ levemente más densa, **Mejillones** 25,978 kg/m³ levemente menos densa. La densidad promedio es similar entre zonas, pero **Arica es marginalmente más densa**, probablemente por menor influencia de surgencias intensas y mayor penetración de aguas subsuperficiales. La mayor variabilidad de Arica indica **estratificación**. Mejillones muestra **mayor homogenización estacional** producto de procesos de surgencia. **(Tabla 2).**

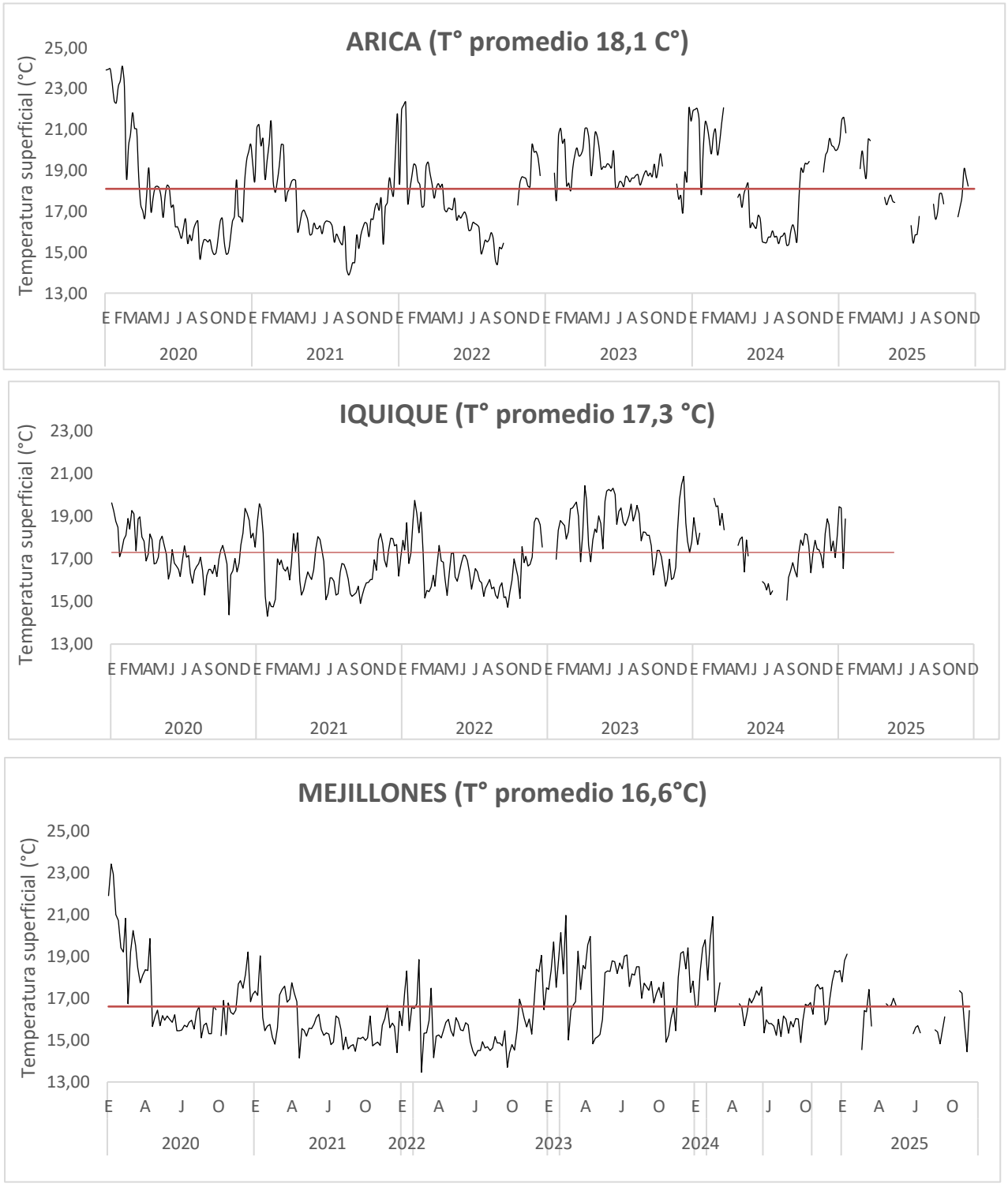
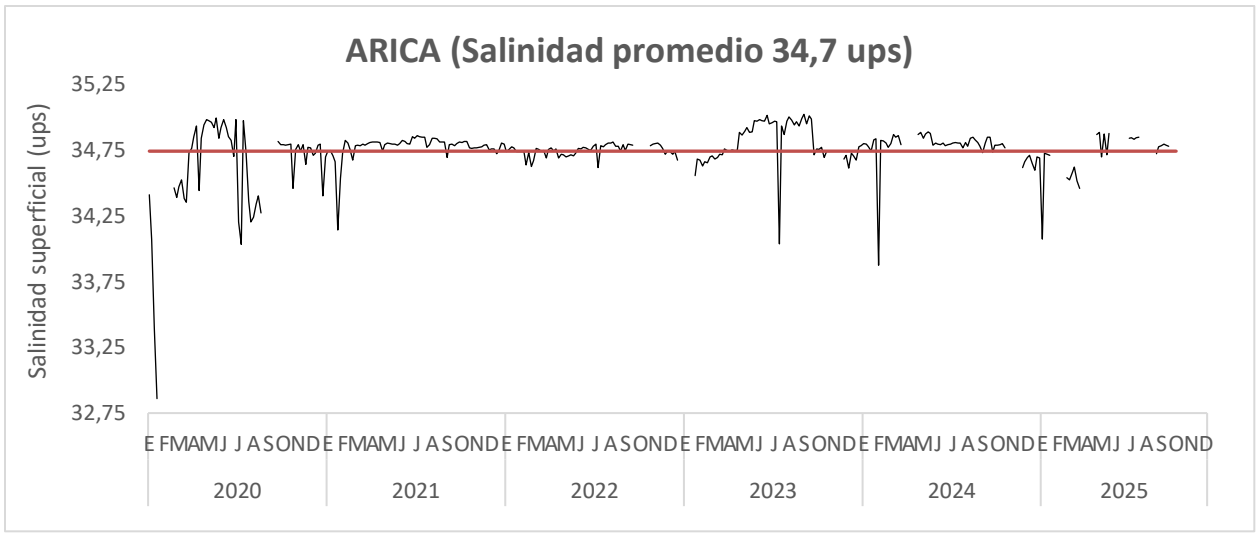


Figura 4. **Temperatura superficial del mar (TSM °C) para los puertos de desembarque de Arica, Iquique y Mejillones. Enero 2020 – noviembre 2025. Iquique sin información en noviembre 2025.**



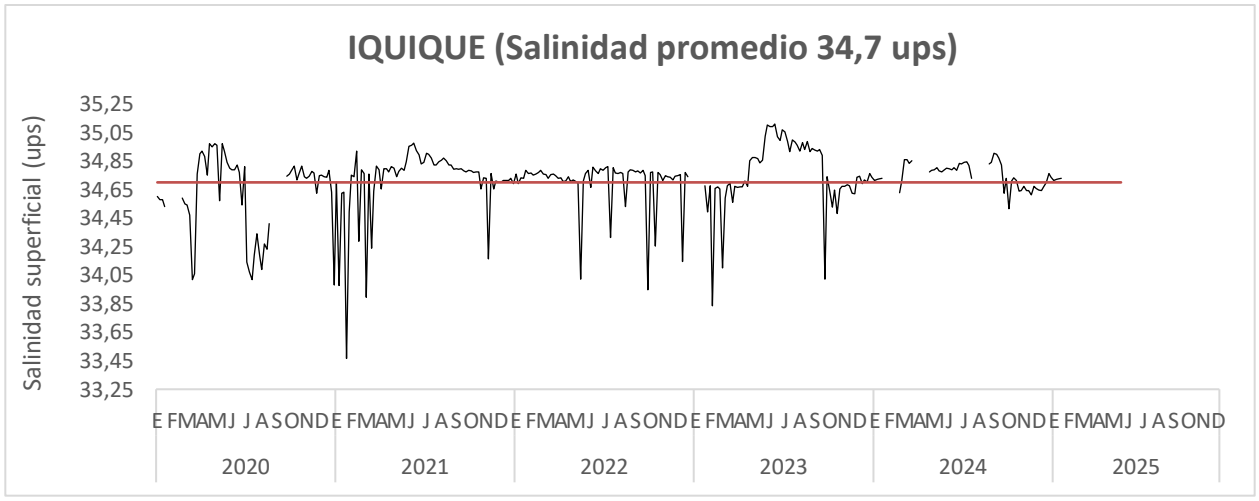




Figura 5. **Salinidad superficial promedio (ups) para los puertos de desembarque de Arica, Iquique y Mejillones. Enero 2020 – noviembre 2025. Iquique sin información en noviembre 2025.**

Tabla 1. Estadígrafos de la temperatura (°C), salinidad (ups) y densidad (Kg/m^3) superficial (1m) frente a los puertos de Arica y Mejillones durante noviembre 2025. En Iquique no se realizó crucero.

1 m	T (°C)	S (ups)	D (Kg/m^3)
Global			
Promedio	17,210	34,658	25,148
Min	14,436	34,455	24,798
Max	19,072	34,785	25,577
DS	1,253	0,128	0,219
Arica			
Promedio	17,944	34,772	25,046
Min	16,732	34,749	24,798
Max	19,072	34,785	25,290
DS	0,815	0,012	0,174
Iquique			
Promedio			
Min			
Max			
DS			
Mejillones			
Promedio	16,329	34,521	25,271
Min	14,436	34,455	25,071
Max	17,358	34,563	25,577
DS	1,111	0,038	0,204

En Arica, en noviembre 2020, destacó como el mes más frío (15,73 °C), coincidente con un evento La Niña moderada que fortaleció la surgencia y enfrió la superficie. En noviembre 2022 fue el más cálido (18,3 °C), consistente con condiciones más neutras o cálidas. En noviembre 2025 muestra un valor cercano a la media histórica (~17,8 °C), indicando una condición térmicamente normal para la zona. La variabilidad interanual es moderada ≈ 2,6 °C de rango. Arica presenta oscilaciones interanuales típicas del ENSO, pero con baja influencia de enfriamientos intensos. (**Fig. 6)**

En noviembre Iquique con valores más fríos en 2020–2023, especialmente 2020 (16,21 °C) por La Niña. 2023 también frío (16,25 °C), coincidiendo con condiciones regionales que mostraban cambios de tendencia fría. El 2024 (17,25 °C) muestra un aumento térmico. La variabilidad es menor que en Arica, rango 1,8 °C. Iquique es más sensible a la intensidad variable de surgencias que puede enfriar rápidamente las aguas superficiales**.** (**Fig. 6)**

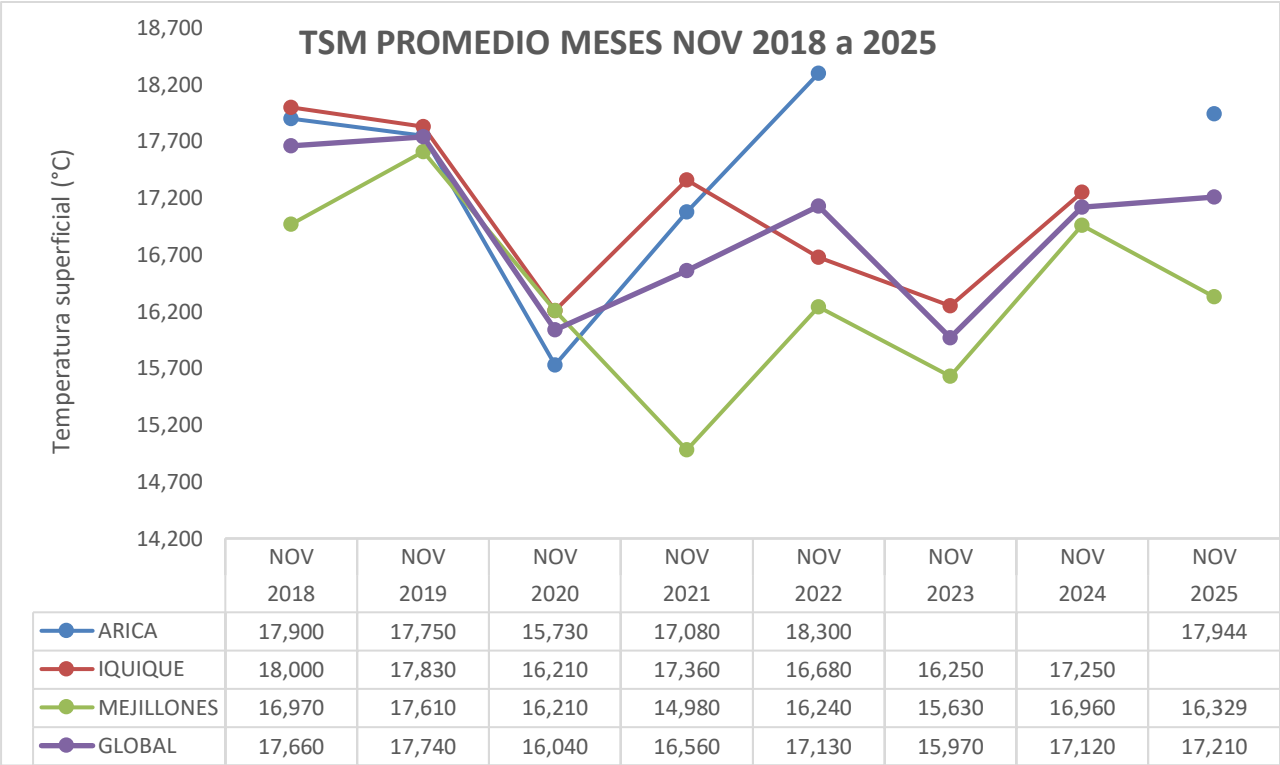
Noviembre 2021, en Mejillones, fue el mes más frío de toda la serie (14,98 °C), destacando un periodo de surgencia excepcionalmente intensa. El 2025 (16,33 °C) está por debajo del valor registrado en noviembre de 2024 (16,96 °C), indicando un enfriamiento relativo. La zona presenta la mayor variabilidad interanual, rango ≈ 2,6 °C, reflejando su dinámica como centro de surgencia. (**Fig. 6)**

La serie TSM de noviembre (2018–2025) muestra fluctuaciones interanuales controladas por la variabilidad regional y la dinámica de surgencia. Los años fríos (2020, 2021, 2023) coinciden con episodios de La Niña y fortalecimiento de surgencias. En noviembre 2025, las condiciones térmicas retornan a un estado normal-cálido, con un valor global de 17,21 °C, similar a años de condiciones neutras. Arica se mantiene como la zona de mayor estabilidad, mientras que Mejillones registra la mayor variabilidad asociada a la intensidad de surgencia costera. (**Fig. 6).**

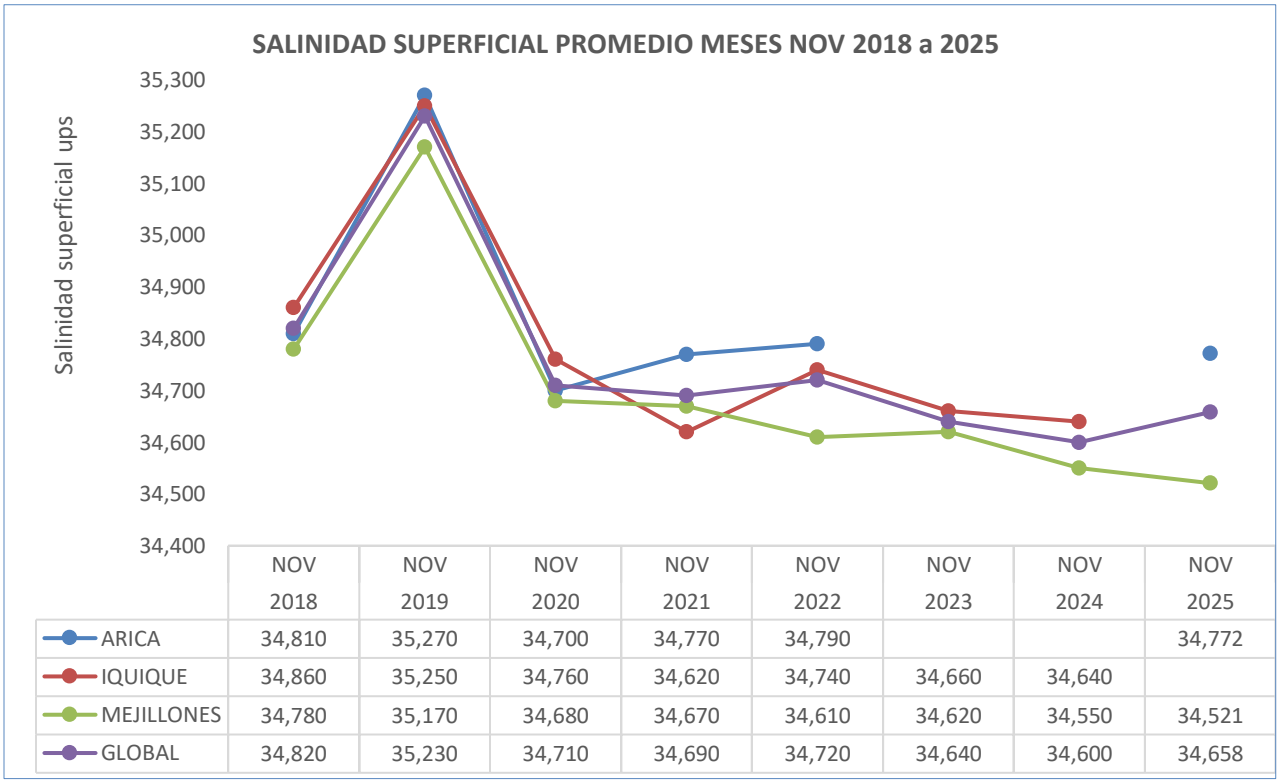
Durante noviembre 2018-2025, la salinidad superficial en la zona Arica, **2019 (35,27)** muestra la mayor salinidad de toda la serie con fuerte influencia de **ASS** y menor surgencia. En el **2020 (34,70)** durante La Niña se observa disminución, consistente con una **mayor mezcla vertical**. El **2025 (34,772)** está cerca de la media regional (~34,75–34,80), indicando una condición **normal**. Arica presenta baja variabilidad, con un rango de ≈ **0,57 ups**, mostrando estabilidad relativa de las masas de agua. **(Fig. 6).**

Iquique similar a Arica, muestra el valor más alto en **2019 (35,25)** ingreso predominante de **ASS.** Salinidad mínima en **2021 (34,62)** mezcla activa y surgencias más intensas. El **2023 y 2024** mantienen valores moderados, sugiriendo una tendencia a la estabilidad de la mezcla vertical. Variabilidad interanual moderada, rango ≈ **0,63 ups**. **(Fig. 6).**

Mejillones muestra una tendencia descendente clara entre 2018 y 2025, desde **34,78 a 34,52 ups**. Esto indica una intensificación progresiva de surgencias más frecuentes, mayor influencia de **ASE**, mayor mezcla vertical. Los valores más bajos corresponden a 2024–2025, consistentes con años donde la columna mostró gran homogenización**. (Fig. 6).**



	NOV 2018	NOV 2019	NOV 2020	NOV 2021	NOV 2022	NOV 2023	NOV 2024	NOV 2025
ARICA	17,900	17,750	15,730	17,080	18,300			17,944
IQUIQUE	18,000	17,830	16,210	17,360	16,680	16,250	17,250	
MEJILLONES	16,970	17,610	16,210	14,980	16,240	15,630	16,960	16,329
GLOBAL	17,660	17,740	16,040	16,560	17,130	15,970	17,120	17,210



	NOV 2018	NOV 2019	NOV 2020	NOV 2021	NOV 2022	NOV 2023	NOV 2024	NOV 2025
ARICA	34,810	35,270	34,700	34,770	34,790			34,772
IQUIQUE	34,860	35,250	34,760	34,620	34,740	34,660	34,640	
MEJILLONES	34,780	35,170	34,680	34,670	34,610	34,620	34,550	34,521
GLOBAL	34,820	35,230	34,710	34,690	34,720	34,640	34,600	34,658

Figura 6. **Temperatura y salinidad superficial del mar promedio (°C y ups) para los puertos de desembarque de Arica, Iquique y Mejillones. Meses de noviembre 2018 a 2025. Iquique sin información noviembre 2025.**

El análisis de perfiles térmicos en Arica y Mejillones revela que la isoterma de 15°C presentó una marcada variabilidad espacial durante noviembre 2025, reflejando diferencias locales en los procesos de mezcla y surgencia costera.

En **Arica**, la isoterma de 15°C se ubica en un rango de 7 a 11 metros de profundidad en las estaciones evaluadas entre 1 y 5 millas náuticas (mn). El promedio general es de 8,5 metros, lo que indica una termoclina superficial típica de condiciones de primavera–verano en sistemas de afloramiento como el norte de Chile. Mínimo 7 m (Transecto sur, 3mn) máximo 11 m (Transecto sur, 5mn) variabilidad total 4 m. (**Fig. 7**).

La termoclina muestra un comportamiento **somero y relativamente estable**, coherente con periodos de mayor estratificación superficial asociados al incremento de irradiancia y debilitamiento progresivo de los vientos de afloramiento.

El transecto norte, un patrón más homogéneo (8–9 m). Indica una capa superficial de mezcla más estable, con menor influencia de turbulencia o intrusiones de agua subsuperficial. (**Fig. 7**).

El transecto Sur**,** presenta mayor variabilidad vertical (7–11 m). La estación de 5mn (11 m) evidencia un hundimiento local de la termoclina. Esta mayor dispersión sugiere influencia de cambios batimétricos, surgencias laterales, mezclas inducidas por remolinos o perturbaciones locales. (**Fig. 7**).

Durante noviembre de 2025, en **Mejillones** la isoterma de 15°C, muestra una alta variabilidad espacial, con valores que van desde 1 m hasta 13 m, reflejando un sistema altamente dinámico y fuertemente influido por procesos de afloramiento costero, retención en la bahía y diferencias entre la zona abierta y la interior. (**Fig. 8).**

Transecto Norte (1–7 m), presenta una isoterma extremadamente somera en el punto a 5mn (1 m), lo que indica un afloramiento muy intenso, intrusión directa de Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales frías hacia la superficie, fuerte ventilación por vientos predominantes del sur y sureste.

La diferencia entre 1mn (7 m) y 5mn (1 m) muestra un gradiente horizontal muy marcado, típico de zonas donde el afloramiento se intensifica mar afuera o donde existe divergencia. **(Fig. 8).**

Transecto Sur (10–13 m) la isoterma de 15°C está más profunda en comparación con Arica y otros sectores de la macrozona norte. La profundidad mayor hacia la costa (13 m en 1mn) sugiere intensidad del afloramiento local, posible estratificación térmica más estable dentro del sistema de retención de la bahía, influencia del anticiclón térmico de Mejillones, conocido por generar condiciones de recirculación y menor mezcla vertical. **(Fig. 8).**

En la región de Arica, el análisis de los valores de oxígeno disuelto superficial registrados en las seis estaciones. Rango total (4,06 – 5,64 ml O_2/L), promedio general (4,75 ml O_2/L).

Los valores se encuentran **dentro del rango típico** para la zona norte de Chile, especialmente en primavera–verano, donde la combinación de afloramiento, mezcla superficial y variabilidad en vientos modulan el contenido de oxígeno.

Transecto Norte, máximo intermedio en 3mn, valores **4,87; 5,64; 4,12 ml O_2/L.** La estación de 3mn muestra el valor más alto de todo el muestreo (**5,64 ml O_2/L**). Esto podría indicar, convergencia o retención superficial, mayor ventilación e intercambio aire–mar, mezcla vertical reducida en ese punto. La caída brusca en 5mn (**4,12 ml O_2/L**) sugiere, aguas subsuperficiales pobres en oxígeno, incremento localizado de mezcla vertical, directa de aguas de afloramiento. (**Fig. 9).**

El transecto sur, aumento progresivo hacia mar afuera con valores de (4,06; 4,74; 5,04 **ml O_2/L).** Posible **influencia del afloramiento costero** cerca de la orilla (1mn), donde emergen aguas más frías y menos oxigenadas. A medida que aumenta la distancia (5mn), hay una mejor **ventilación superficial**, favoreciendo mayores concentraciones de O_2. Este patrón es característico de la interfaz entre aguas de afloramiento y aguas superficiales más oxigenadas. (**Fig. 9).**

En Mejillones, el rango (4,49 – 9,24 ml O_2/L) el promedio general (7,94 ml O_2/L). Valores > 8 ml O_2/L dominan la mayor parte del área**.** Estos valores son extraordinariamente altos para la zona norte de Chile, superando promedio histórico de Mejillones (≈5.1 ml O_2/L), valores típicos de afloramiento (3–5 ml O_2/L). Esto sugiere condiciones oceanográficas **anómalas y altamente oxigenadas** durante noviembre 2025.

Transecto norte (9,24 - 4,49 **ml O_2/L)** el valor de 1mn (9,24 ml O_2/L) es el **máximo del muestreo**. Pero a 5mn ocurre un descenso abrupto a **4,49 ml O_2/L**, típico de afloramiento costero. El gradiente horizontal indica **intrusión localizada de aguas pobres en oxígeno** probablemente provenientes de la zona de mínimo oxígeno (ZMO) frente a Antofagasta, surgencia intensa al norte del promontorio de Punta Angamos.

Esta transición fuerte es característica de la dinámica de filamentos de afloramiento, donde lenguas de agua subsuperficial penetran hacia mar abierto. **(Fig. 9).**

Transecto sur (8,1–9,0 **ml O_2/L)** valores muy homogéneos y altos, fuerte ventilación superficial, baja influencia de aguas subsuperficiales pobres en O_2, predominio de masas de agua **bien oxigenadas**, posiblemente asociadas a mezcla por viento o intrusión de aguas de menor densidad y mayor oxigenación.

La bahía de Mejillones, caracterizada por retención, puede experimentar episodios de **hiperoxigenación** cuando hay intensa productividad fitoplanctónica, existe estratificación que mantiene el oxígeno atrapado en la superficie, los vientos generan intensa aireación superficial. **(Fig. 9)**.

La serie temporal de clorofila-a para noviembre de 2025, para Arica, muestra para el transecto norte un incremento inicial entre 1 y 3mn (0,50 - 0,55 µg/L), seguido de un descenso marcado a 5mn (0,39 µg/L). Este comportamiento sugiere, dispersión del parche fitoplanctónico hacia mar afuera, o condiciones locales de mayor turbulencia y ventilación que limitan la acumulación. **(Fig. 10).**

En el Transecto sur, se observa un **aumento progresivo** de clorofila-a desde la costa hacia las 5mn (0,46 - 0,58 µg/L). Este patrón es **típico de condiciones de surgencia débil o moderada**, donde la máxima expresión de fitoplancton se ubica ligeramente alejada de la costa, una vez que los nutrientes aflorados se mezclan y estabilizan. **(Fig. 10).**

La serie temporal de clorofila-a para noviembre de 2025, en Mejillones, muestra para el transecto norte valores mucho más bajos, **2,12 µg/L en 1mn y 0,61 µg/L en 5mn.** Esto implica una productividad superficial baja, con un descenso claro hacia fuera de la costa. El contraste con el transecto sur indica una gran heterogeneidad espacial, probablemente asociada a variaciones en la intensidad de los vientos, turbulencia local, recirculación de masas de agua o intrusión de aguas pobres en nutrientes desde el norte. **(Fig. 10).**

El transecto sur muestra altas concentraciones de clorofila-a, con un rango entre 5,93 y 10,33 **µg/L**, valores característicos de eventos intensos de surgencia costera, o floraciones fitoplanctónicas localizadas. Patrones clave, descenso inicial entre 1 y 3mn (6,66 - 5,93 **µg/L**). Aumento abrupto en 5mn hasta 10,33 **µg/L**, el valor más alto de todo el conjunto. Este comportamiento indica un núcleo productivo desplazado hacia las 5mn, típico cuando la surgencia empuja la zona de máxima estabilidad y disponibilidad de nutrientes ligeramente mar adentro**. (Fig. 10).**

El pronóstico del ENOS para el trimestre diciembre 2025 – febrero 2026 prevé la presencia de condiciones frías con 55% de probabilidad. Para el trimestre enero – marzo de 2026 el pronóstico de ATSM del NMME y ECMWF prevé anomalías frías en el Pacífico Ecuatorial Oriental, de hasta -1 °C. **(Boletín El Niño/La Niña en América Latina, CIIFEN 2025).**

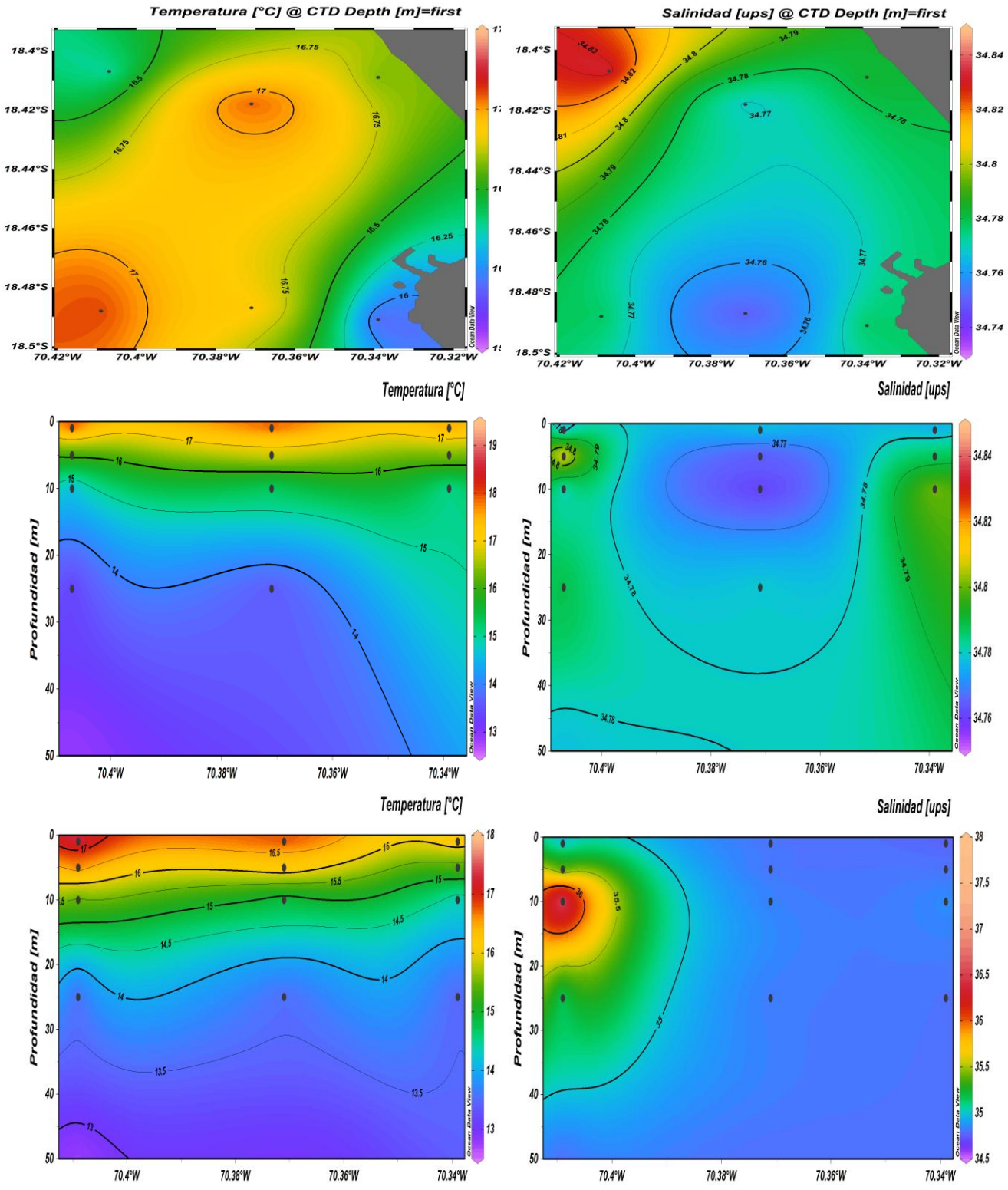


Figura 7. **Distribución superficial y vertical de temperatura (°C) (panel izquierdo) y salinidad ups (panel derecho) en Arica durante noviembre 2025.**

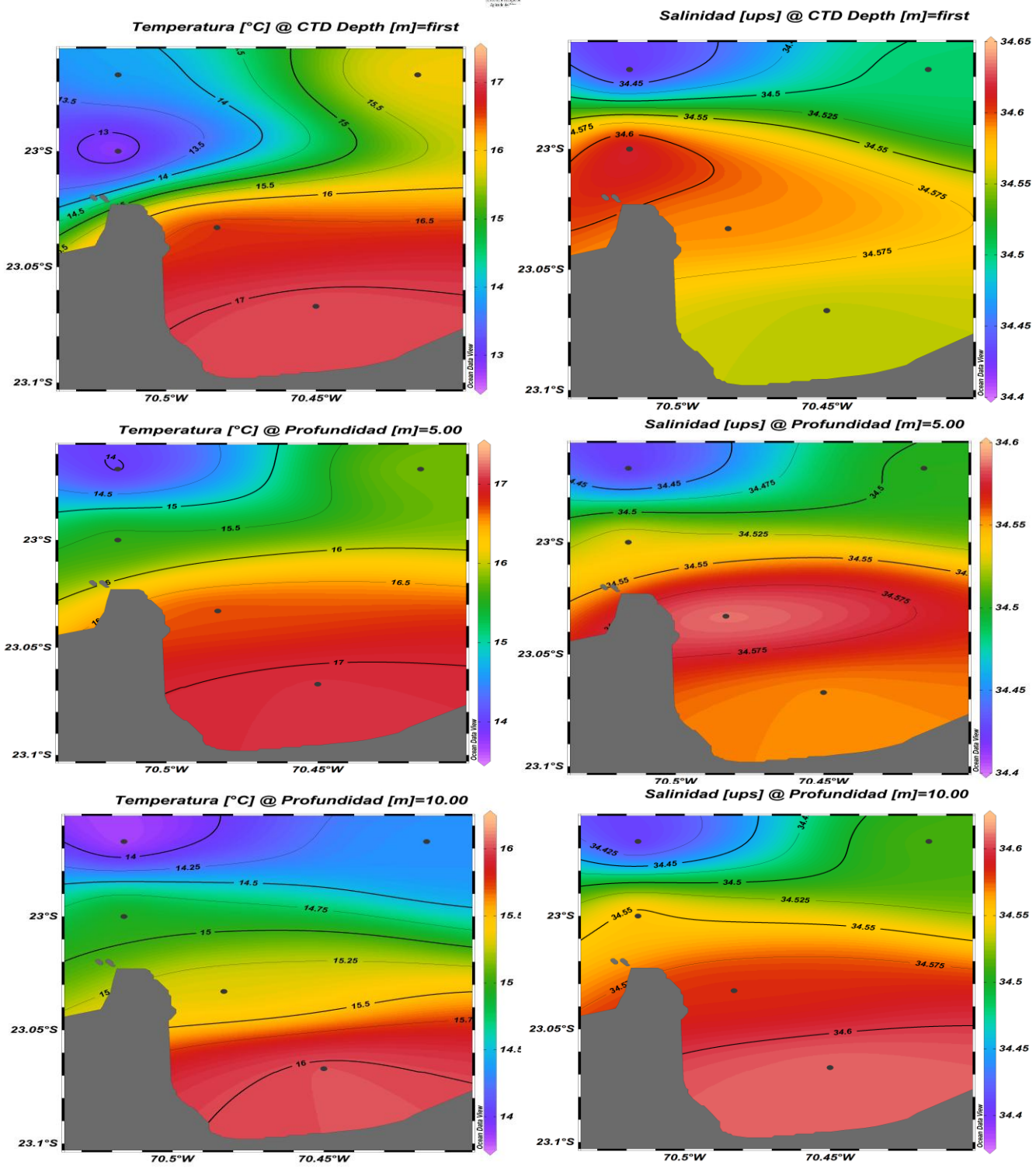


Figura 8. **Distribución de temperatura (°C) (panel izquierdo) y salinidad (ups) (panel derecho) a 0, 5 y 10 m de profundidad en Mejillones durante noviembre 2025**

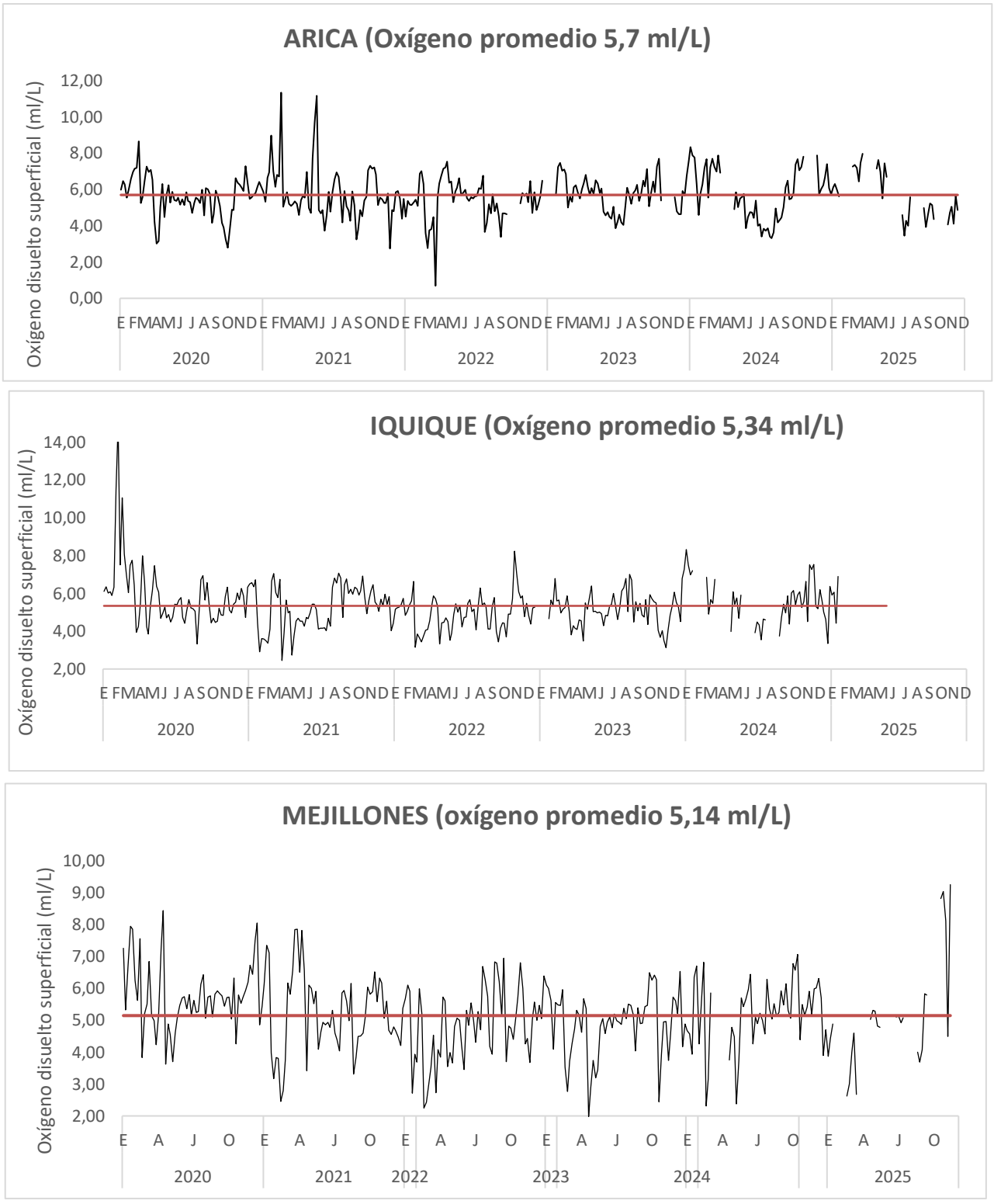


Figura 9. **Variabilidad mensual del contenido de oxígeno disuelto (ml/L) superficial en Arica, Iquique y Mejillones entre enero 2020 y noviembre 2025. (línea roja promedio). Iquique sin información en noviembre 2025.**

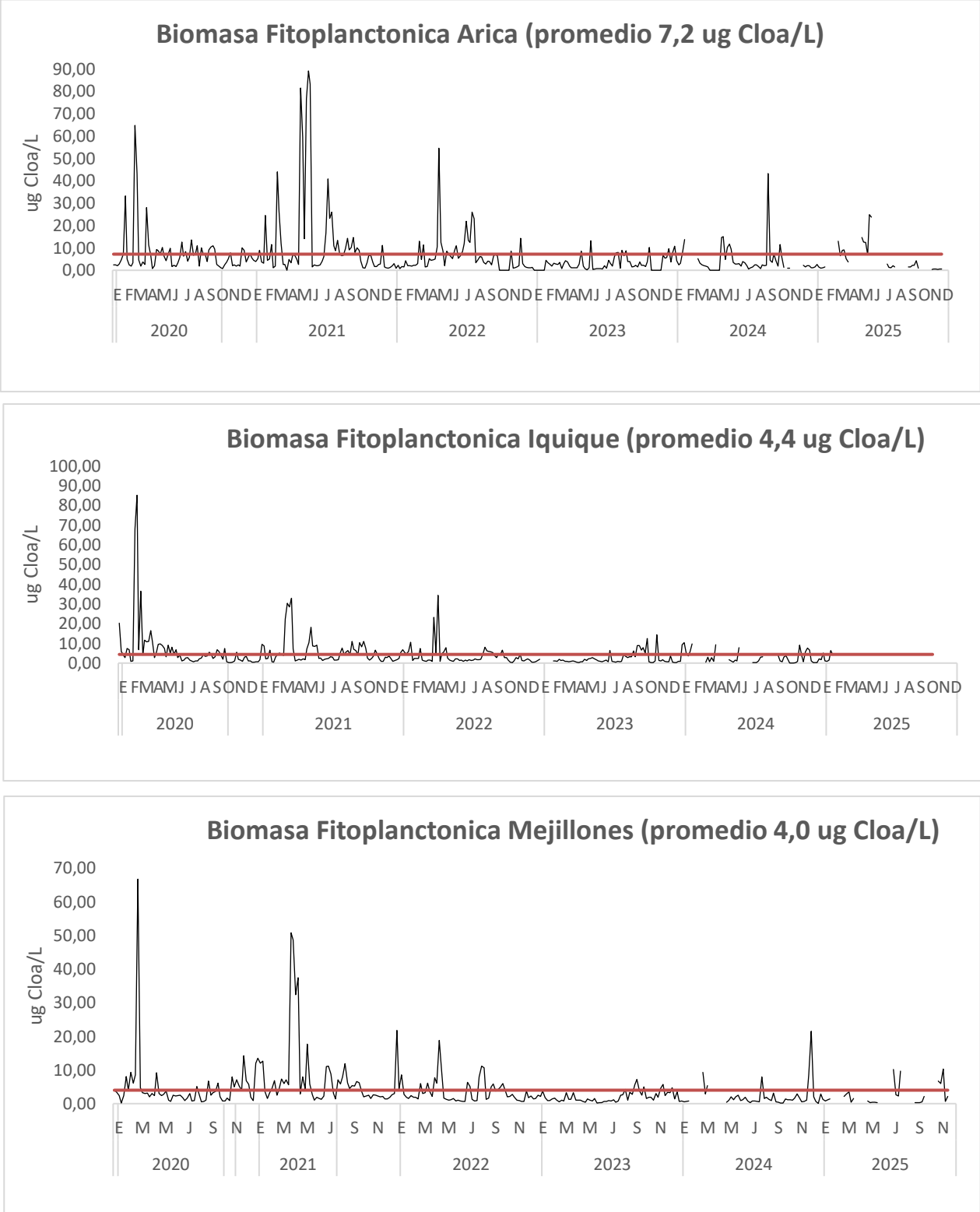


Figura 10. **Variabilidad mensual de la biomasa fitoplanctónica (µgCloa/L) en Arica, Iquique y Mejillones entre enero 2020 y noviembre 2025. (línea roja promedio). Iquique sin información en noviembre 2025.**

Tabla 2. **Estadígrafos de la temperatura (°C), salinidad (ups) y densidad (Kg/m^3) de la columna de agua frente a los puertos de Arica y Mejillones durante noviembre 2025.**

Global	T (°C)	S(ups)	D kg/m^3
Mínimo	12,628	34,335	24,798
Máximo	19,072	34,914	26,651
Promedio	13,816	34,648	26,027
Desvest	1,486	0,141	0,388
Arica	T (°C)	S(ups)	D kg/m^3
Mínimo	12,701	34,634	24,798
Máximo	19,072	34,914	26,651
Promedio	14,016	34,780	26,079
Desvest	1,599	0,027	0,416
Iquique	T (°C)	S(ups)	D kg/m^3
Mínimo			
Máximo			
Promedio			
Desvest			
Mejillones	T (°C)	S(ups)	D kg/m^3
Mínimo	12,628	34,335	25,071
Máximo	17,358	34,888	26,425
Promedio	13,623	34,522	25,978
Desvest	0,134	0,076	0,352

1.1 Arica

El análisis del oxígeno disuelto en el área de estudio la capa superficial (1–5 m)**.** Las concentraciones superficiales oscilan entre **4,5 y 5,0 ml O_2/L**, con los valores más altos en estaciones de **3 y 5mn**, especialmente en el **transecto norte**. Esto indica una **capa superficial moderadamente bien oxigenada**, consistente con intercambio atmósfera–océano y producción primaria superficial activa. **(Fig. 11).**

El transecto norte muestra, en promedio, **mayor oxigenación superficial** que el transecto sur, sugiriendo **condiciones más favorables de ventilación o productividad**.

En la sección vertical del transecto **norte** presenta mayores concentraciones de oxígeno en toda la columna de agua, especialmente en superficie y capa media. La superficie y los primeros 5 m presentan buenas condiciones oxigenadas **(≈5 ml O_2/L)**. Entre 10 y 25 m, el oxígeno cae a valores entre **2,5 y 1,5 ml O_2/L**, reflejando la **transición a la ZMO**. En 50 m, el valor de **0,25 ml O_2/L** evidencia la **presencia plena de la ZMO**. **(Fig. 12).**

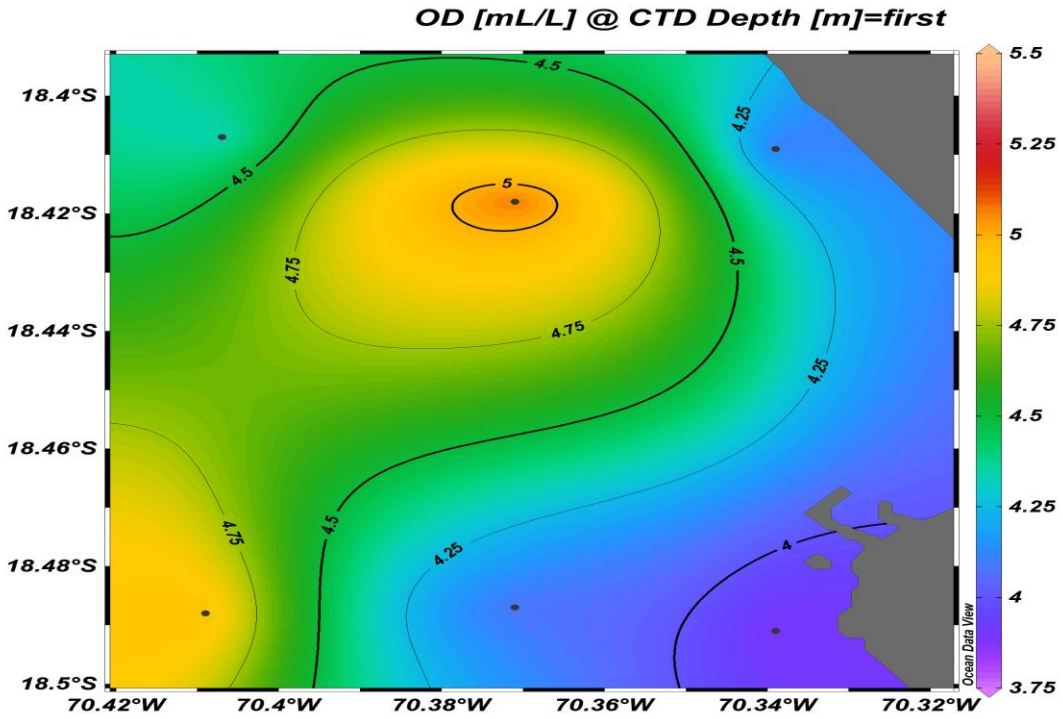


Figura 11. Distribución superficial de oxígeno disuelto (ml/L) en Arica durante noviembre 2025.

Tabla 3. **Estadígrafos de la concentración de clorofila a (µg/L) y contenido de oxígeno disuelto (ml/L) de la columna de agua frente a los puertos de Arica y Mejillones, noviembre 2025.**

Global	Cloa (µg/L)	O_2(mL/L)
Mínimo	0,01	0,23
Máximo	33,52	9,24
Promedio	4,94	3,58
Desvest	7,55	2,57
Arica		
Mínimo	0,01	0,23
Máximo	13,72	5,64
Promedio	2,73	2,88
Desvest	4,18	1,93
Iquique		
Mínimo		
Máximo		
Promedio		
Desvest		
Mejillones		
Mínimo	0,06	0,70
Máximo	33,52	9,24
Promedio	7,35	4,34
Desvest	9,41	2,93

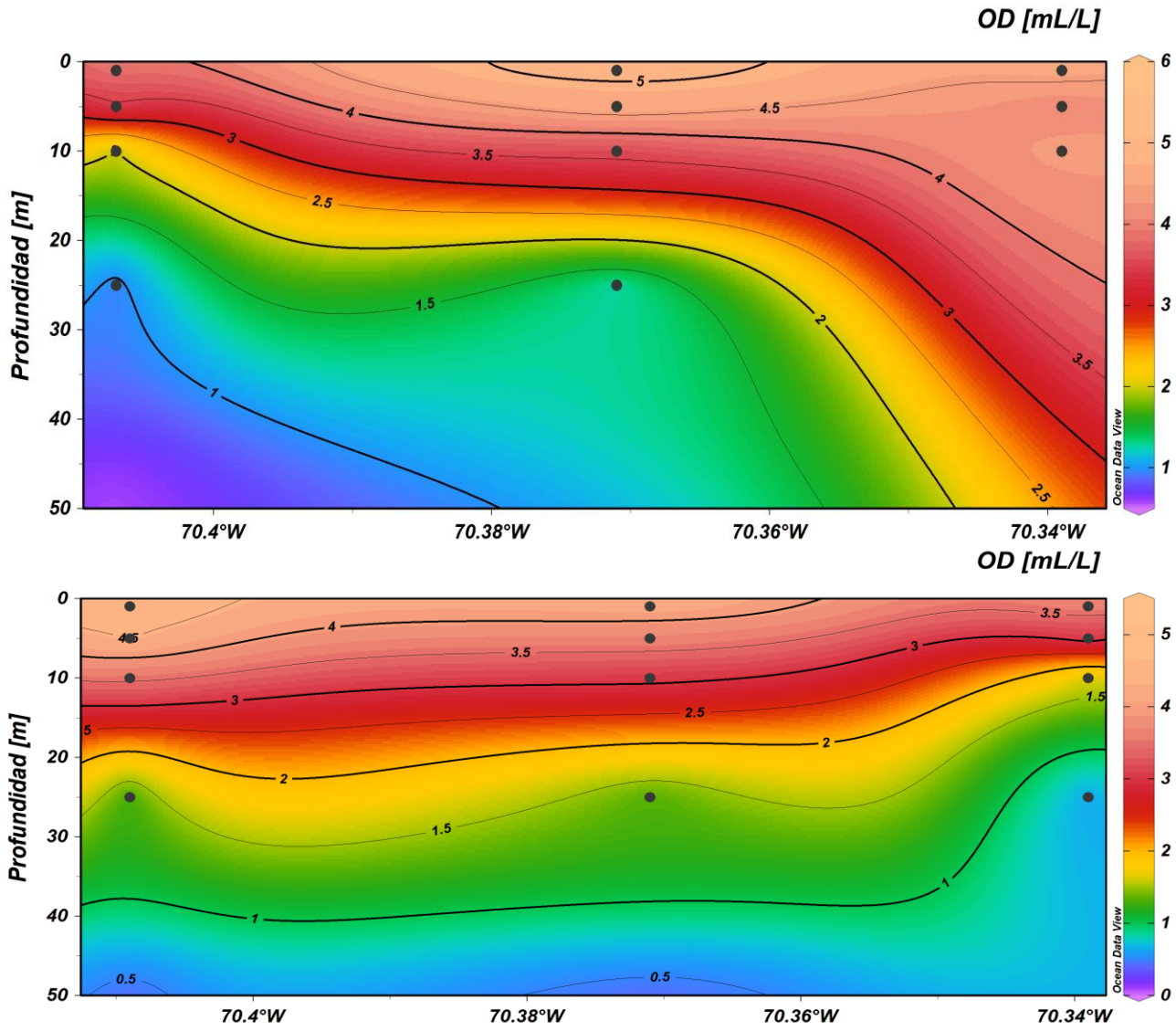


Figura 12. **Secciones verticales de oxígeno disuelto (ml/L) en Arica durante noviembre 2025. A: transecto norte, B: transecto sur.**

El transecto sur muestra **una caída más abrupta** con la profundidad y niveles más bajos en 10-25m, lo que podría asociarse a una **menor ventilación local** o influencia de **aguas subsuperficiales pobres en oxígeno** (masas de Agua Ecuatorial Subsuperficial). De la superficie hacia los 10 m, el oxígeno disminuye desde 4,0 a 3,0 ml O_2/L, mostrando el inicio de la **zona de mínimo oxígeno (ZMO)**. A partir de los 25 m, los valores son **muy bajos (<1,5 ml O_2/L)**, lo que indica una **ZMO bien desarrollada**. **(Fig. 12).**

Los valores de clorofila-a (Cl-a) superficiales son **bajos y relativamente homogéneos 0,39 – 0,58 µg Cl-a/L**. Esto sugiere una **capa superficial empobrecida en biomasa fitoplanctónica**, posiblemente asociada a mezcla reciente, fotoinhibición, consumo por zooplancton. No se observan máximos productivos en superficie en ninguno de los transectos. **(Fig. 13).**

En el **transecto norte** se observan, los máximos valores desplazados preferentemente a **10 m a las 3mn** con **10,17 µg Cl-a/L** y **5mn** (**12,71 µg Cl-a/L)**. Este patrón sugiere un **desplazamiento mar afuera y en profundidad del máximo productivo**, asociado a diferencias locales en la circulación y estratificación. **(Fig. 14).**

El transecto sur el **máximo de clorofila-a** se presenta entre **5 y 10 m**, con un valor medio de a los **5 m – a 1mn** (**11,50 µg Cl-a/L)**, indicando un **máximo subsuperficial costero muy intenso**. A **10 m y 3mn** (**13,72 µg Cl-a/L)**, el valor más alto del conjunto. Estos máximos reflejan aporte de nutrientes por **surgencia costera** y condiciones óptimas de luz y estabilidad para el crecimiento fitoplanctónico. **(Fig. 14).**

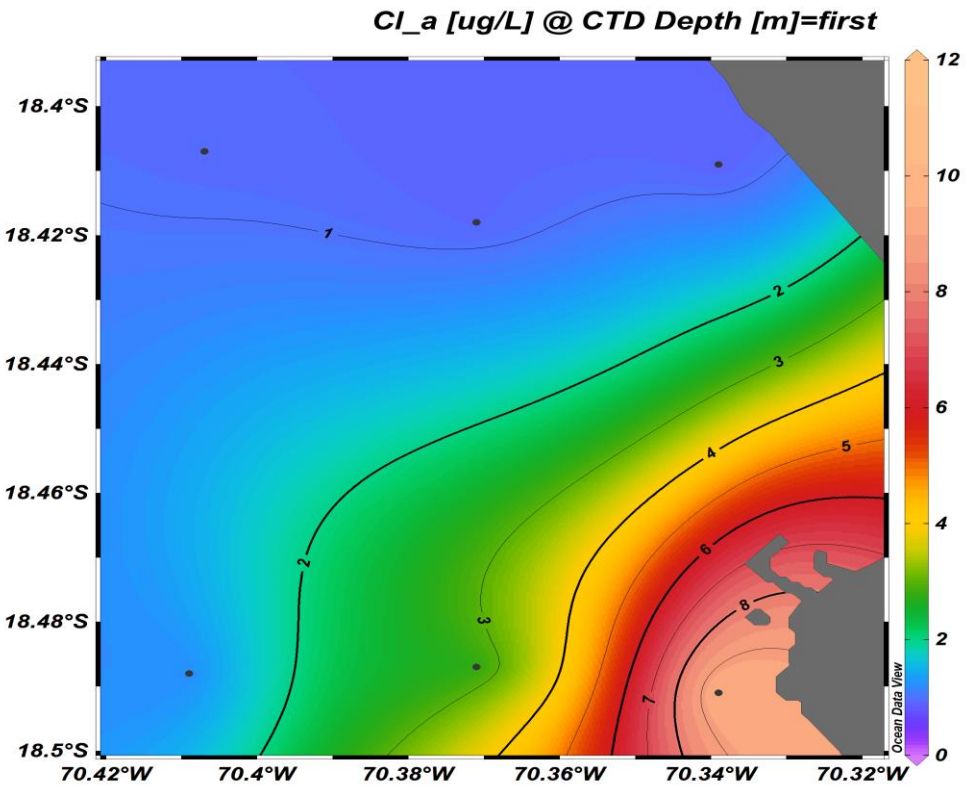


Figura 13. Distribución superficial de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) en Arica durante noviembre 2025

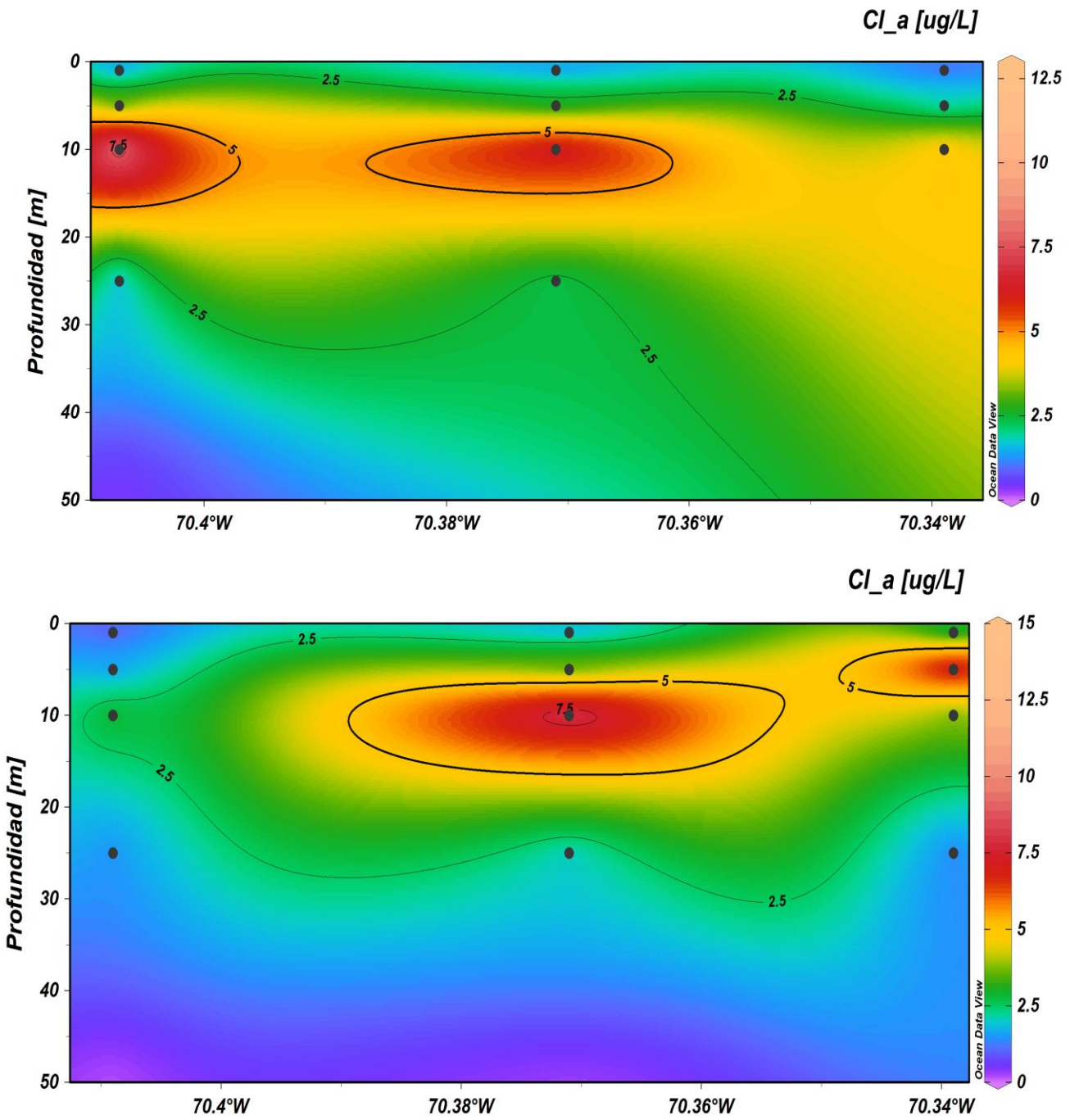


Figura 14. **Secciones verticales de biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) en Arica durante noviembre 2025. A: transecto norte, B: transecto sur.**

1.2 Mejillones

En noviembre de 2025, la columna de agua frente a Mejillones mostró buenas condiciones oxigenadas en superficie (2-7 ml O_2/L).

El estrato 1 metro, valores **muy altos de oxígeno** rango **4,49–9,24 ml O_2/L**. Máximos en transecto norte **1mn 9,24 ml O_2/L**. Transecto sur **3mn 9,03 ml O_2/L**. Estos valores sugieren fuerte **intercambio atmósfera–océano** y alta **producción fotosintética superficial**. El valor más bajo a 1 m (**4,49 ml O_2/L en 5mn norte**) indica mayor influencia de aguas menos ventiladas mar afuera. **(Tabla 4) (Fig. 15, panel izquierdo).**

En el estrato 5 metros se observa un **descenso progresivo del oxígeno**, aunque los valores permanecen elevados **3,62–7,91 ml O_2/L**. En el transecto sur, persisten condiciones **bien oxigenadas** (>6,8 ml O_2/L). En el transecto norte, el oxígeno disminuye notablemente hacia **5mn (3,62 ml O_2/L)**, evidenciando un **gradiente costa–océano** más marcado. **(Tabla 4) (Fig. 15, panel izquierdo).**

El estrato 10 metros, los valores oscilan entre **2,90 y 6,04 ml O_2/L**. Se identifican condiciones aún **óxicas** en estaciones costeras del transecto sur (**6,04 ml O_2/L a 1mn**). Valores cercanos al umbral hipóxico (**≈3 ml O_2/L**) en estaciones más oceánicas del transecto norte. Esto sugiere que el **límite superior de aguas pobres en oxígeno** se ubica **por debajo de 10 m**, especialmente en el sector costero. **(Tabla 4) (Fig. 15, panel izquierdo).**

Las concentraciones de clorofila-a varían entre **0,61 y 33,52 µg Cl-a/L**, valores que corresponden a un **escenario de muy alta productividad**, particularmente en el **transecto sur**. Estos niveles son consistentes con **eventos de surgencia intensa** y una alta disponibilidad de nutrientes en la zona de Mejillones. (**Tabla 3**).

En el estrato a **1 metro** de profundidad, valores entre **0,61 y 10,33 µg Cl-a/L**, con fuerte contraste entre transectos **sur** concentraciones elevadas (5,93–10,33 µg Cl-a/L)**, norte** valores bajos a moderados (0,61–2,12 µg Cl-a/L). Esto indica una **floración superficial activa** en el sector sur, mientras que el norte presenta condiciones más oligotróficas en superficie. **(Tabla 4) (Fig. 15, panel derecho)**

En el estrato a **5 metros** de profundidad, se observa un **marcado incremento de clorofila-a** de **33,52 µg Cl-a/L (5mn sur)**. Valores consistentemente altos en todo el transecto sur (**16,89–33,52 µg Cl-a/L**). En el transecto norte, las concentraciones aumentan levemente, pero se mantienen bajas (**1,07–5,60 µg/L**). Este patrón revela un **máximo productivo somero**, asociado a condiciones óptimas de luz, alta inyección de nutrientes desde aguas subsuperficiales. **(Tabla 4) (Fig. 15, panel derecho).**

En el estrato a **10 metros** de profundidad, el máximo absoluto se registra a **10 m – 1mn sur 28,87 µg Cl-a/L**. En el transecto sur, se mantiene una **biomasa elevada** (≈17–29 µg Cl-a/L). En el transecto norte, persisten valores bajos (**1,25–3,67 µg/L**). Esto sugiere que el **máximo profundo de clorofila (MPC)** se localiza entre **5 y 10 m**, especialmente en el sector costero sur. **(Tabla 4) (Fig. 15, panel derecho).**

Los valores elevados de clorofila-a, definen a Mejillones como un punto de acceso de producción primaria en noviembre 2025. Generan una alta oferta trófica para zooplancton, peces pelágicos y estadios tempranos. La localización somera del máximo productivo favorece, alta eficiencia en la transferencia de energía hacia niveles tróficos superiores.

La clorofila-a en la columna de agua frente a Mejillones en noviembre 2025 muestra una estructura altamente productiva y fuertemente estratificada, con máximos muy intensos entre 5 y 10 m en el transecto sur y valores significativamente menores en el transecto norte. Este patrón es consistente con una surgencia costera intensa y localizada, que impulsa una elevada biomasa fitoplanctónica sin generar, en este periodo, condiciones hipóxicas superficiales.

Tabla 4. **Valores de biomasa fitoplanctónica (Cloa) (µg Clo-a/L) y oxígeno disuelto (O_2 mL/L) registrados en Mejillones durante noviembre 2025.**

N° Estación	Z(m)	Cloa (µg/L)	O_2(mL/L)
13	0	6,66	8,81
	5	18,18	7,86
	10	28,87	6,04
	25	0,90	1,61
	50		
14	0	5,93	9,03
	5	16,89	7,91
	10	17,78	4,07
	25	0,57	1,45
	50	0,06	1,04
15	0	10,33	8,11
	5	33,52	6,86
	10	16,95	3,81
	25	1,55	1,52
	50	0,16	0,81
16	0	0,61	4,49
	5	1,07	3,62
	10	1,25	2,90
	25	0,54	2,24
	50	1,01	1,16
17	0	2,12	9,24
	5	5,60	6,11
	10	3,67	3,44
	25	1,04	1,26
	50	1,04	0,70

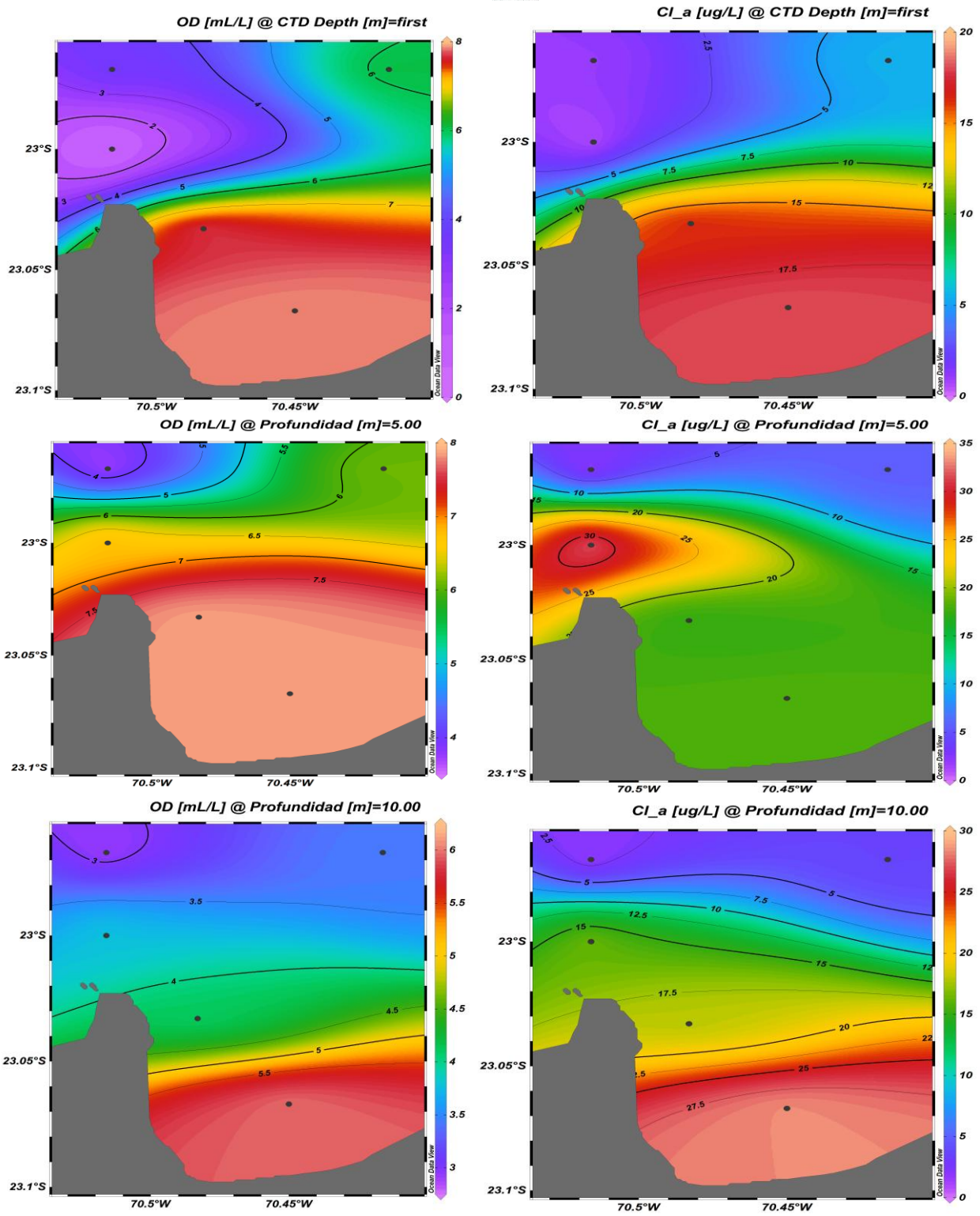


Figura 15. **Distribución del oxígeno disuelto (mL/L) (panel izquierdo) y de la biomasa fitoplanctónica (µg Clo-a/L) (panel derecho) en Mejillones a 0, 5 y 10 m de profundidad, noviembre 2025.**

2. Distribución y abundancia de huevos y larvas de peces

El procesamiento y análisis de las 11 muestras de zooplancton colectadas durante noviembre de 2025, frente a los puertos de desembarque de Arica y Mejillones, permitió cuantificar la presencia de 75.784 huevos y 9.168 larvas de peces. Esto representa un incremento del 50% y del 179%, respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos en septiembre de 2025 para las mismas fases de desarrollo. Del total de individuos cuantificados, el 85% de los huevos y el 86% de las larvas correspondieron a las especies objetivo del estudio. Cabe destacar que, la colecta de huevos de sardina española solo se registró en el puerto de Mejillones. (**Tabla 5).**

La fase de huevos totales presentó densidades que oscilaron entre 1.451 y 11.098 huevos por 10 m². La media de huevos por estación positiva fue de 6.889 (DS=3.311,67), lo que representa un incremento del 50% en comparación con la cifra obtenida en septiembre de 2025. Esta fase de desarrollo abarcó una cobertura máxima tanto latitudinal como longitudinal. En cuanto a la distribución de huevos, la zona de Arica contribuyó con el 61% del total, mientras que Mejillones aportó el 39% (**Tabla 5**).

Las fases larvarias totales se registraron en 11 estaciones positivas, con una abundancia total de 9.168 larvas/10 m², lo que representa un incremento del 179% en comparación con septiembre de 2025. Este estadio de desarrollo mostró densidades que oscilaron entre 226 y 1.820 larvas/10 m², con una densidad promedio de 833 larvas por estación positiva. En cuanto a la distribución de larvas, la zona de Arica contribuyó con el 73% del total, mientras que Mejillones aportó el 27% (**Tabla 5**)

2.1 Anchoveta, *Engraulis ringens*

Para esta especie, se identificaron 11 estaciones positivas tanto para huevos y para larvas de anchoveta, en las cuales se recolectaron 64.491 huevos y 7.883 larvas, cifras referidas a un área superficial de 10 m². Esto representó una frecuencia porcentual del 100% y 100% para ambos estadios de desarrollo, respectivamente, reflejando actividad reproductiva en la zona explorada. (**Tabla 5**)

La serie de la densidad promedio Est (+) presenta variaciones interanuales notables, con **años de alta intensidad reproductiva** (2024) y otros con actividad más moderada (2022 y 2023). El patrón estacional no es completamente uniforme, en 2022 y 2023, la mayor actividad de desove se concentró hacia **primavera y verano austral** (septiembre-diciembre), mientras que en 2024 el **máximo histórico se registró en otoño (mayo-junio)**. La información parcial disponible para 2025 muestra una tendencia a niveles intermedios de densidad, con un máximo en enero (18.061 huevos/m²), seguido de un descenso hasta mayo (1.691) una leve recuperación en julio (4.207), septiembre (3.934) y noviembre (5.863). Esto podría reflejar una fase de ajuste post-productiva, con la población manteniendo niveles de desove moderados, posiblemente en respuesta a condiciones térmicas más estables y menores pulsos de surgencia. (**Fig. 16**).

La serie de la densidad de Est (+) de larvas, entre 2022 y 2025, indica una alta variabilidad mensual e interanual en la densidad promedio de larvas de anchoveta, lo que refleja fluctuaciones en el éxito reproductivo y en las condiciones ambientales que determinan la supervivencia temprana de los estadios larvales. Los datos disponibles a noviembre 2025 muestran un inicio activo en enero (1.021), pero una tendencia descendente hacia el invierno y primavera, con valores moderados entre 403 y 409 larvas/m², mínimo en septiembre (340) y un incremento en noviembre (717).

Este patrón podría asociarse a una reducción del aporte de nutrientes o a condiciones térmicas más estables y cálidas, que suelen disminuir la productividad y afectar la supervivencia larval. En conjunto, los valores sugieren un ajuste natural de la población tras la alta actividad de 2024. (**Fig. 16**).

La fase de huevos totales de anchoveta presentó densidades que oscilaron entre 1.224 y 9.288 huevos por 10 m². La media de huevos por estación positiva fue de 5.863 (DS=2.742,59), lo que representa un incremento del 49% en comparación con la cifra obtenida en septiembre de 2025. Esta fase de desarrollo abarcó una cobertura máxima tanto latitudinal como longitudinal. En cuanto a la distribución de huevos, la zona de Arica contribuyó con el 59% del total, mientras que Mejillones aportó el 41%. (**Tabla 5**)

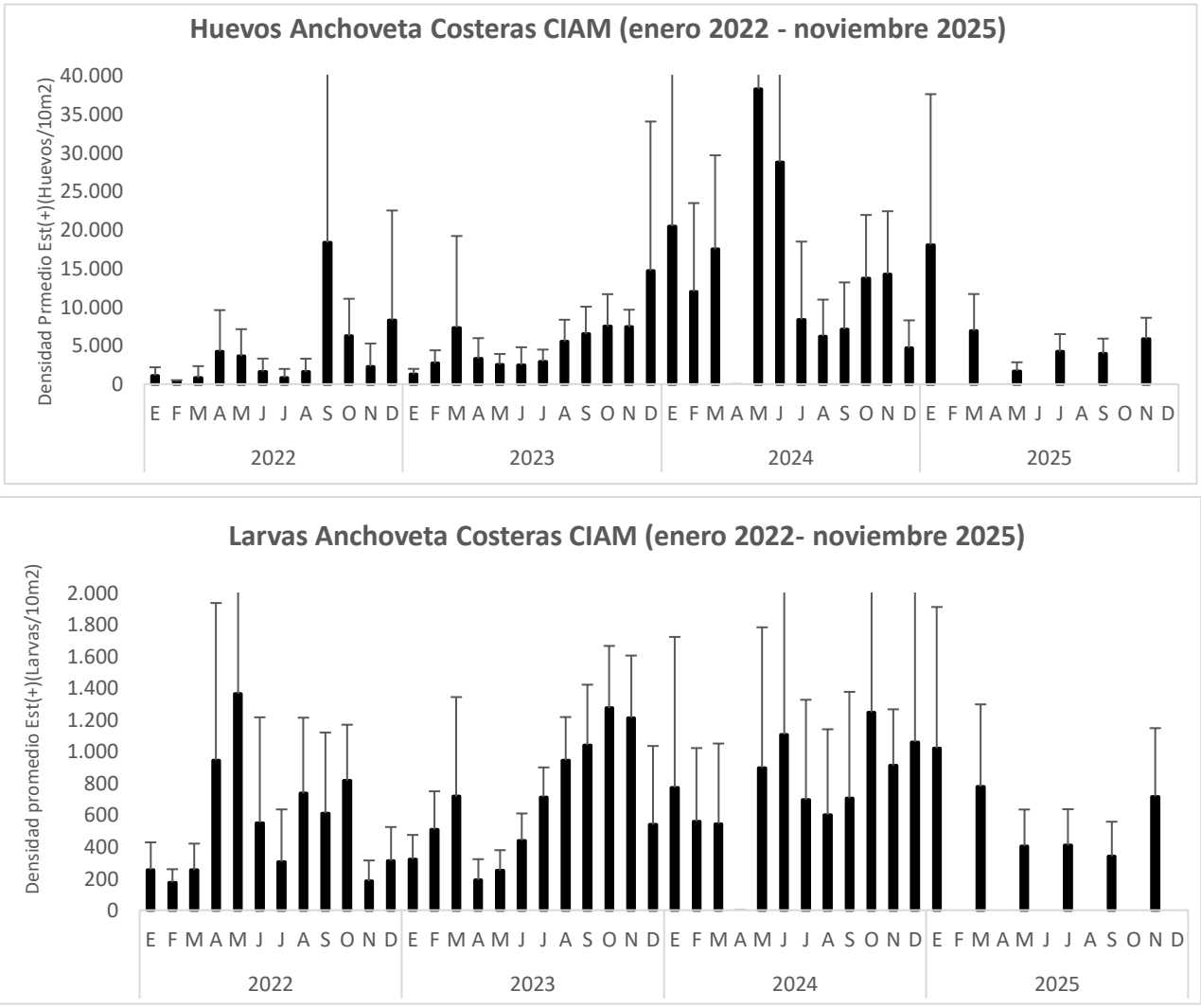
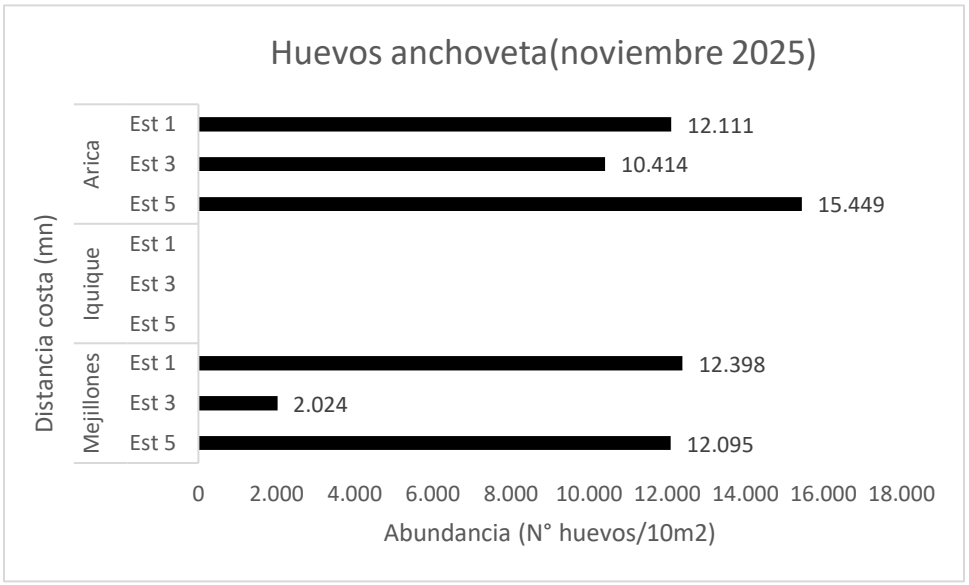


Figura 16. **Variabilidad temporal de la densidad promedio Est(+) de huevos y larvas de anchoveta, zona norte. Enero 2022 – noviembre 2025.**



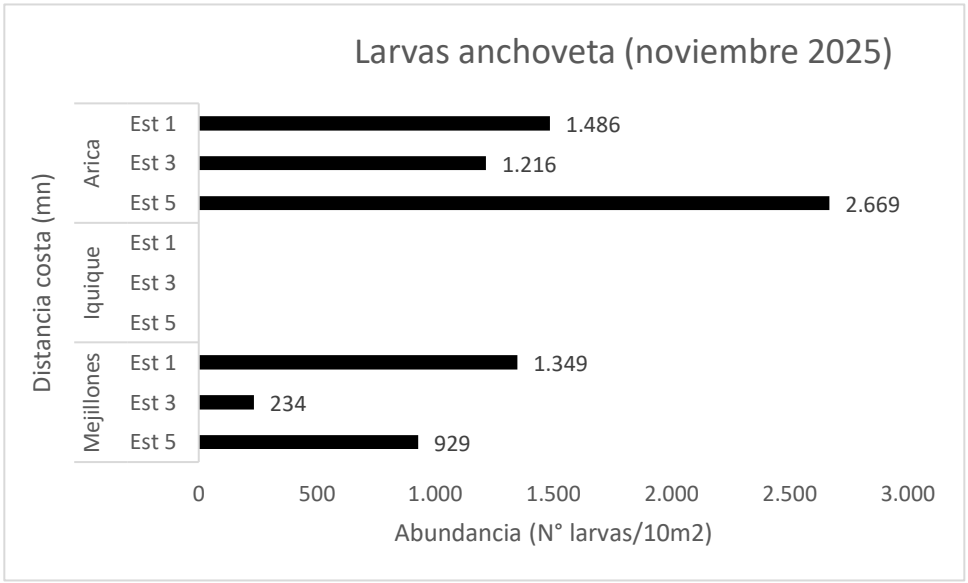


Figura 17. **Abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta, con respecto a la distancia de la costa (mn), para los puertos de Arica y Mejillones en noviembre 2025. Iquique sin información en noviembre 2025.**

Tabla 5. Densidad promedio, constancia, dominancia numérica y rangos de huevos y larvas de peces para los puertos de Arica y Mejillones, noviembre 2025.

Estadígrafos Huevos	Anchoveta	Sardina	Otros Huevos	Total, Huevos
N° Total Estaciones	11	11	11	11
N° Estaciones positivas	11	9	11	11
% Est (+)	100,00	82,00	100,00	100,00
Abundancia (H/10m^2)	64.491	920	10.373	75.784
Densidad Mínima Est (+)	1.224	0	227	1.451
Densidad Máxima Est (+)	9.288	261	2.325	11.098
Std.Dev Est (+)	2742,59	71,56	645,99	3311,67
Media Est. Positivas	5.863	102	943	6.889
Media Est. Totales	5.863	84	943	6.889
Mediana	6.161	63	754	7.481
Constancia	100,00	82,00	100,00	100,00
Dominancia numérica	85,10	1,21	13,69	100,00
CV+(%)	0,48	0,70	0,69	0,48

Estadígrafos Larvas	Anchoveta	Sardina	Otros Larvas	Total, Larvas
N°Total Estaciones	11	11	11	11
N° Estaciones positivas	11	0	6	11
% Est (+)	100,00	0	55,00	100,00
Abundancia (L/10m^2)	7.883	0	1.285	9.168
Densidad Mínima Est (+)	181	0	0	226
Densidad Máxima Est (+)	1.569	0	317	1.820
Std.Dev Est (+)	431,05	0	124,19	517,83
Media Est. Positivas	717	0	214	833
Media Est. Totales	717	0	117	833
Mediana	608	0	45	608
Constancia	100,00	0	55,00	100,00
Dominancia numérica	85,98	0	14,02	100,00
CV+(%)	0,61	0	0,58	0,62

Las fases larvarias totales de anchoveta se registraron en 11 estaciones positivas, con una abundancia total de 7.883 larvas/10 m², lo que representa un incremento del 158% en comparación con septiembre de 2025. Este estadio de desarrollo mostró densidades que oscilaron entre 181 y 1.569 larvas/10 m², con una densidad promedio de 717 larvas por estación positiva. **(Tabla 5).**

Las áreas de mayor abundancia de huevos por 10 m² se ubicaron a 1 y 5 millas náuticas frente a Arica. En Mejillones, la mayor presencia de huevos se registró a 1 y 5mn. (**Fig. 17**).

Las larvas de anchoveta muestran una tendencia similar, las que se localizaron a 1 y 5 millas náuticas frente a Arica, representando el 68% de las larvas. En Mejillones, las mayores abundancias en 1 y 5mn, aportando el 32% de las larvas (**Fig. 17).**

El análisis de datos CIAM en noviembre de 2025, para la abundancia de huevos muestra una **variabilidad interanual muy alta**, con valores que oscilan entre **centenas y cientos de miles**, lo que es característico de especies pelágicas pequeñas (anchoveta) altamente sensibles a la variabilidad ambiental. **Máximo absoluto**, **Arica 2018 (395.752 huevos)**, un evento excepcional. **Mínimos** Iquique 2017 (**480 huevos).** Mejillones 2016 (**1.765 huevos)**. Esta amplitud evidencia un **reclutamiento altamente pulsátil**, controlado por condiciones oceanográficas favorables en ventanas temporales específicas. (**Fig. 18**).

La abundancia larval presenta un rango amplio, desde **0 hasta 21.813 larvas**, lo que refleja una **alta variabilidad interanual**, aunque con una **amplitud menor que la observada en huevos**, como es esperable por la mortalidad temprana post-eclosión. **Máximo absoluto**, **Arica 2020 (21.813 larvas)**, indicando un evento de supervivencia larval excepcional. **Mínimos**, **Iquique 2017 y 2018 (0–53 larvas)**. **Mejillones 2018 (0 larvas)**. (**Fig. 19**)**.**

Arica presenta una **variabilidad muy marcada**, con máximo en **2020 (21.813)**, valores muy bajos en **2017–2018** y **2022**. El **2025 (5.371)**, la abundancia es **moderada**, superior a 2021–2022, pero muy inferior a 2020.Este patrón sugiere, el desove puede ser elevado algunos años (ej. 2018 en huevos), pero la **supervivencia larval está fuertemente condicionada** por oxígeno subsuperficial (ZMO somera), retención costera efectiva y coincidencia espacio–temporal con máximos de clorofila.

Iquique Registra valores generalmente **bajos a moderados**, con un periodo favorable reciente **2023–2024 (6.516–10.686 larvas**). Valores casi nulos antes de 2020 reflejan menor consistencia como área de retención larval. La ausencia de dato en 2025 impide confirmar continuidad, pero el patrón sugiere una **mejora reciente en las condiciones de supervivencia**.

Mejillones Presenta una serie **más estable**, sin eventos extremos. Valores típicos entre **1.500 y 7.000 larvas**. En **2025 (2.512)**, se observa una **abundancia moderada**, coherente con alta clorofila-a observada en noviembre 2025. Buena oxigenación superficial, valor nulo de 2018 indica un **fracaso reproductivo local**, pese a altos huevos en Arica ese mismo año, reforzando la **desconexión espacial** entre desove y supervivencia. (**Fig. 19**).

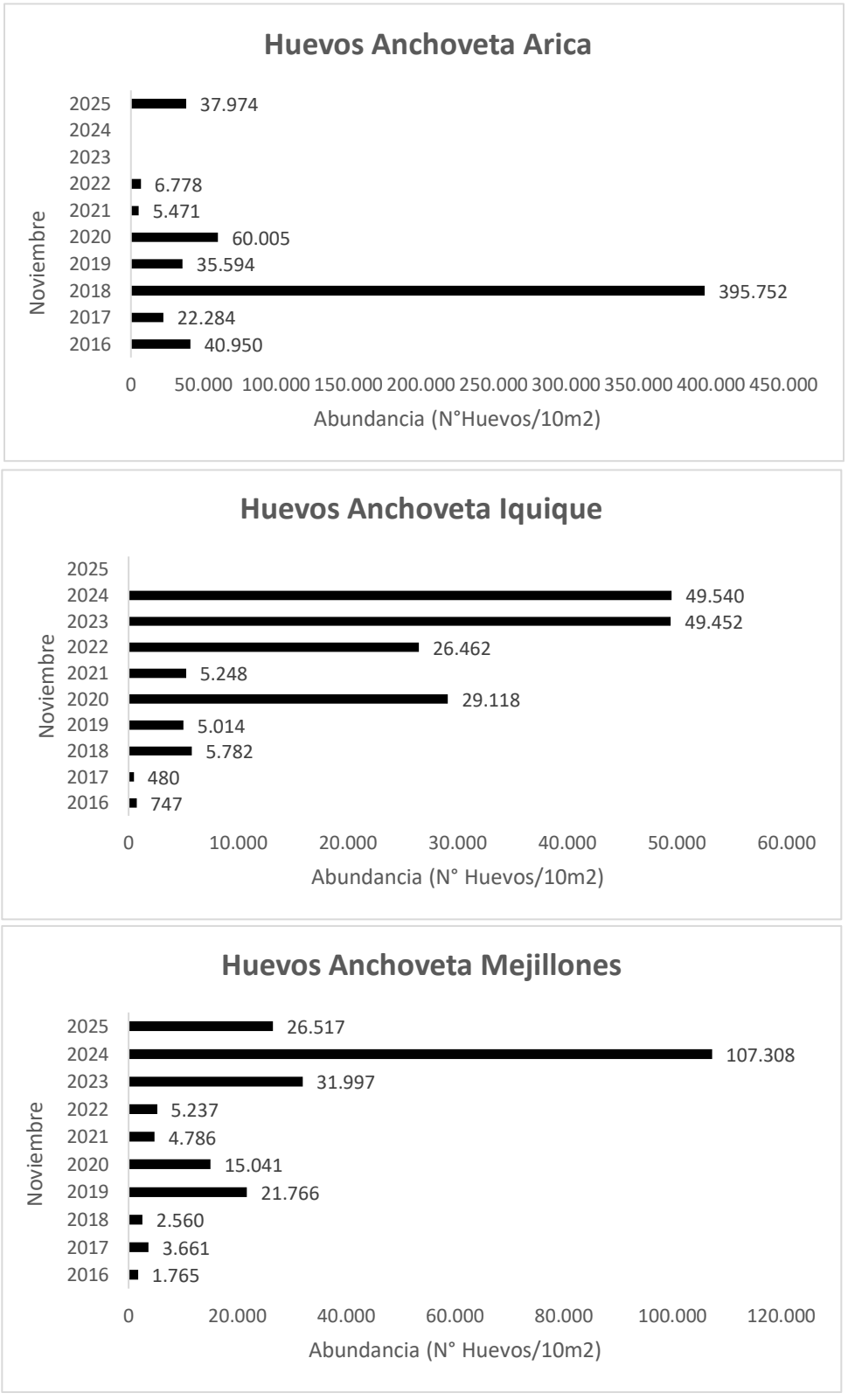


Figura 18. **Abundancia de huevos de anchoveta para los puertos de Arica, Iquique y Mejillones. Serie meses de noviembre 2016 - 2025. Iquique sin información en noviembre 2025.**

.

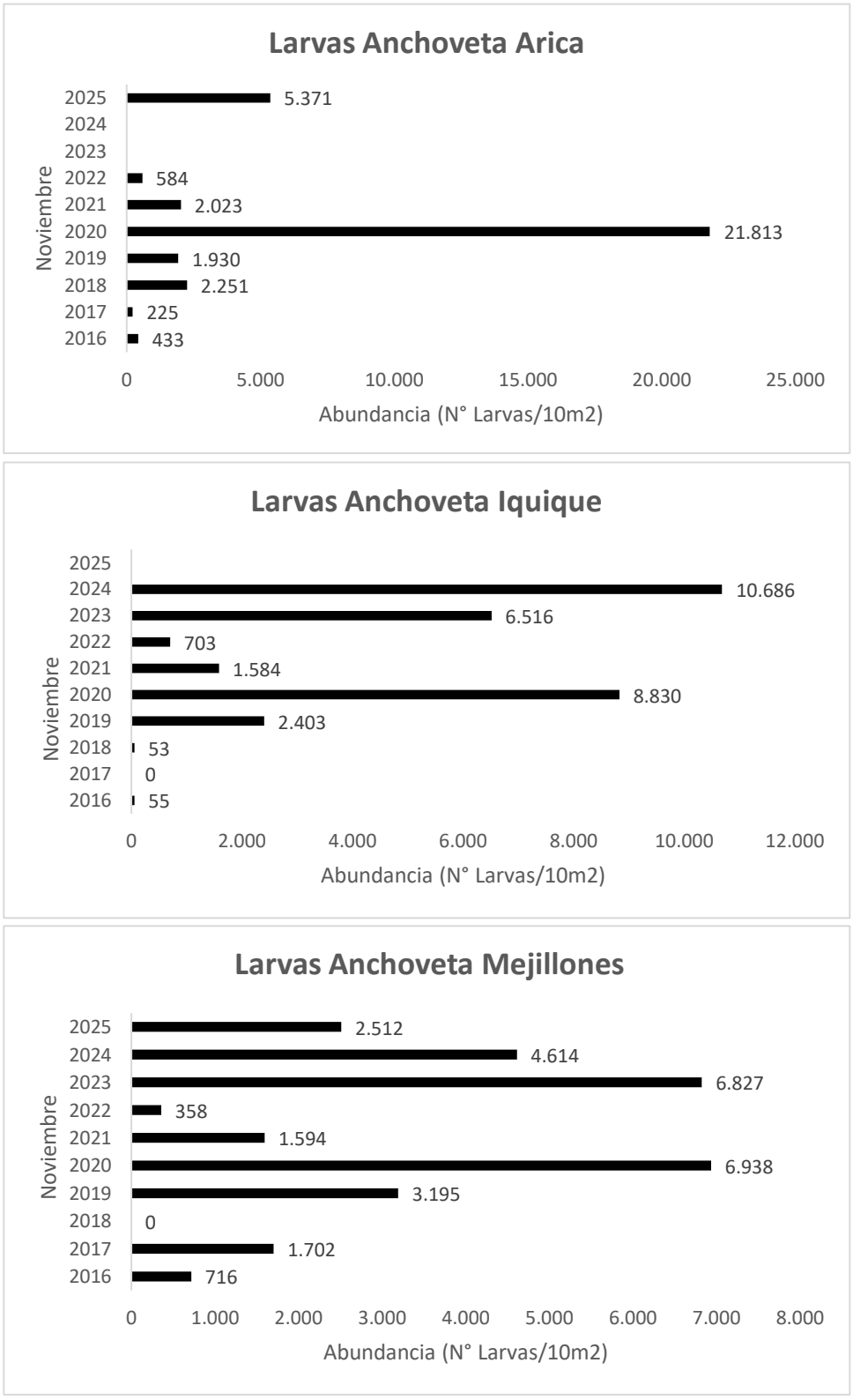


Figura 19. **Abundancia de larvas de anchoveta para los puertos de Arica, Iquique y Mejillones. Serie meses de noviembre 2016 - 2025. Iquique sin información en noviembre 2025.**

La serie de variación temporal de la intensidad de desove (oct 2014-nov2025), muestra una tendencia ascendente entre 2022–2024 y una fase de declive en 2025, lo que sugiere un control ambiental interanual sobre la intensidad reproductiva de la anchoveta, posiblemente vinculado a fluctuaciones térmicas, disponibilidad de nutrientes y estabilidad de la columna de agua. (**Fig. 20**)

La serie indica que durante el 2022-2023, se evidenció una baja densidad y alta variabilidad oceanográfica, periodo que correspondió a un post-periodo frío seguido de un evento El Niño 2023. El 2024, el proceso comienza con una estabilización y aumento de la densidad del desove, con condiciones oceanográficas favorables e importante respuesta reproductiva y signos iniciales de una probable recuperación después de un intenso evento cálido (El Niño). Para el 2025, se observa un descenso de la actividad asociado a un periodo de transición y cambios oceanográficos con alta variabilidad que ha transitado entre condiciones neutrales y frías. (**Fig. 20**).

Los resultados indican que la abundancia de huevos de anchoveta estimada en noviembre de 2025 para la serie, varía entre **15.505 y 404.094**, evidenciando una **variabilidad interanual extremadamente alta**, típica de especies pelágicas pequeñas. **Máximo 2018 (404.094 huevos)**, evento excepcional. **Mínimo 2021 (15.505 huevos)**. La amplitud de variación (≈26 veces entre mínimo y máximo) indica un **sistema reproductivo altamente pulsátil**, dominado por pocos años de desove masivo. El año 2018 domina estadísticamente la serie y representa un **evento reproductivo extremo**, no necesariamente representativo del estado medio del sistema. Este patrón indica una **recuperación parcial del esfuerzo reproductivo**, aunque sin alcanzar los niveles extremos de 2018.

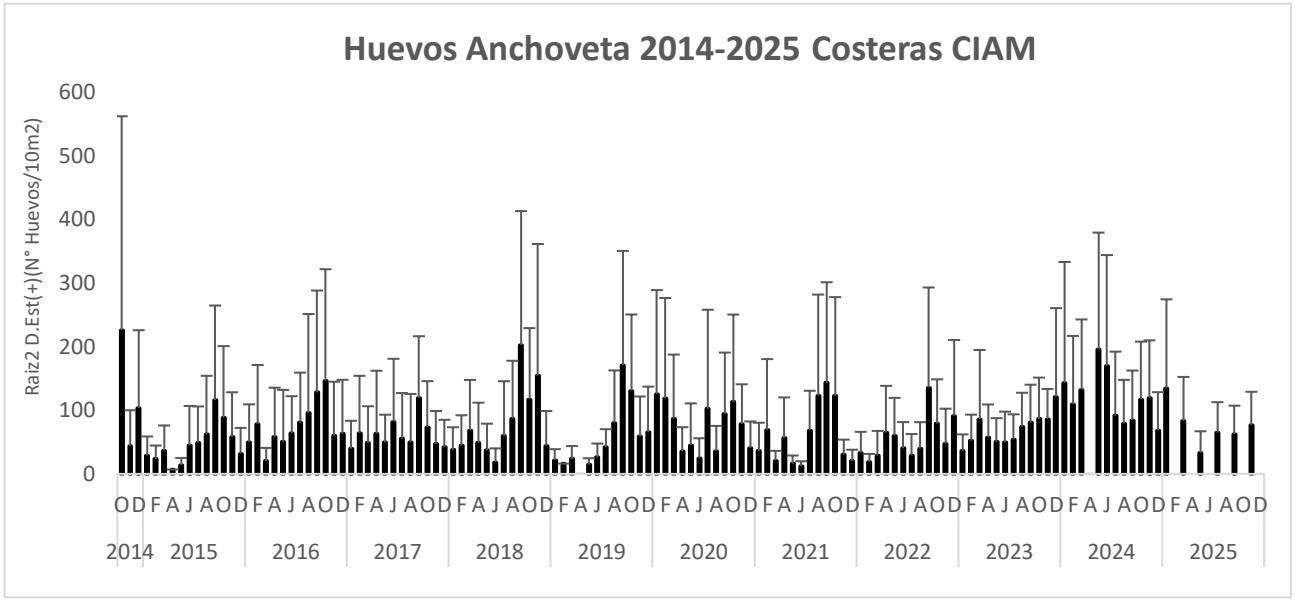
La disminución en noviembre 2025 respecto a noviembre 2024 sugiere que la recuperación **no fue lineal**, sino modulada por la variabilidad ambiental interanual.

El valor de **2025 (64.491)** corresponde a un **nivel reproductivo intermedio**, mayor que 2021–2022 pero inferior a 2023–2024. Este nivel es consistente con condiciones productivas activas. Posibles restricciones ambientales (ZMO somera en el norte), que limitan la expansión del desove. (**Fig. 21**).

La abundancia larval total en noviembre varía entre **1.204 y 37.581 larvas**, evidenciando una **alta variabilidad interanual**, aunque **menor que la observada en huevos**, lo cual es consistente con la **alta mortalidad durante las primeras fases ontogenéticas**. **El máximo obtenido en noviembre de 2020 (37.581 larvas),** correspondió a un alto valor en términos de supervivencia temprana. **Mínimo 2016 (1.204 larvas)**, la amplitud (~31 veces entre mínimo y máximo) confirma que la **fase larval es altamente sensible a las condiciones ambientales**.

Periodo de alta supervivencia larval (2020), destaca claramente sobre el resto de la serie. Ese año se interpreta como un escenario donde coincidieron, alta disponibilidad trófica efectiva, condiciones físicas favorables (retención, estabilidad) y oxigenación adecuada de la capa superficial. Es un ejemplo de **alta eficiencia huevos - larvas** (**Fig. 21**).

En noviembre de **2023–2024** representan un periodo favorable, con abundancias larvales relativamente moderadas. Año **2025 (7.883)** muestra una disminución respecto a 2023–2024, pero se mantiene en un **nivel funcionalmente relevante**. Es coherente con un escenario ambiental **moderadamente favorable**, sin condiciones extremas. Este patrón es consistente con alta productividad (clorofila elevada en sectores como Mejillones). Persistencia de restricciones regionales (ZMO somera en el norte), que limitan la supervivencia máxima. (**Fig. 21**).



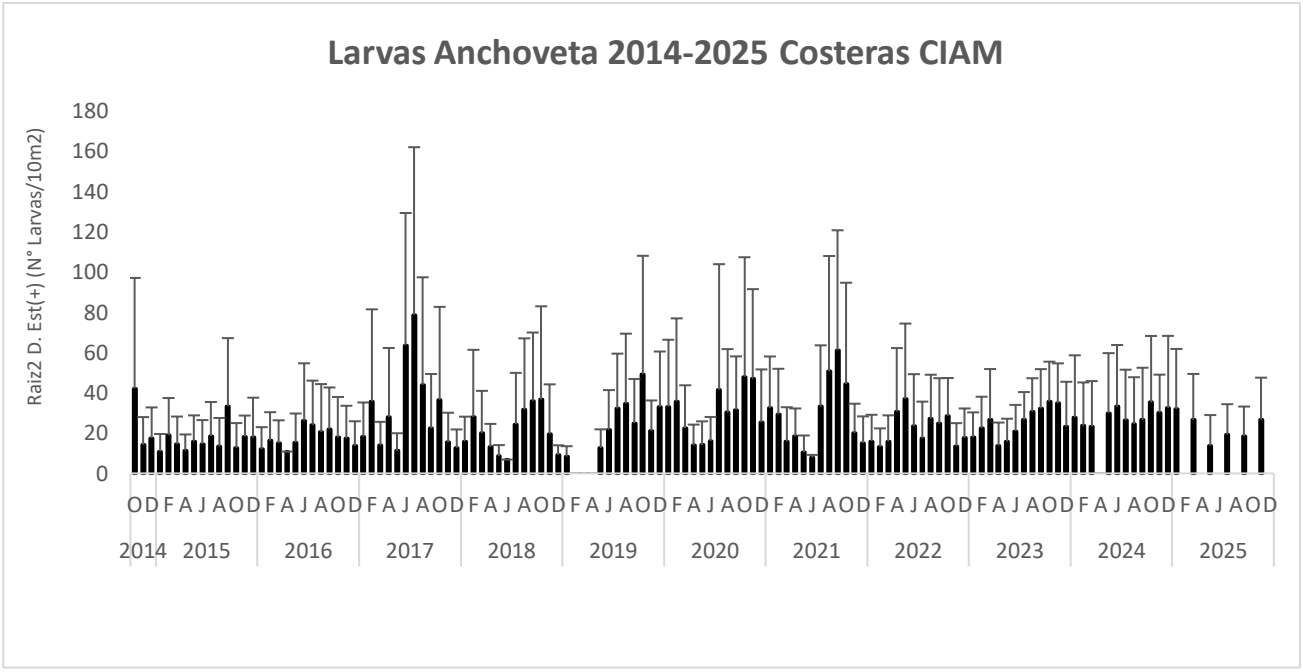
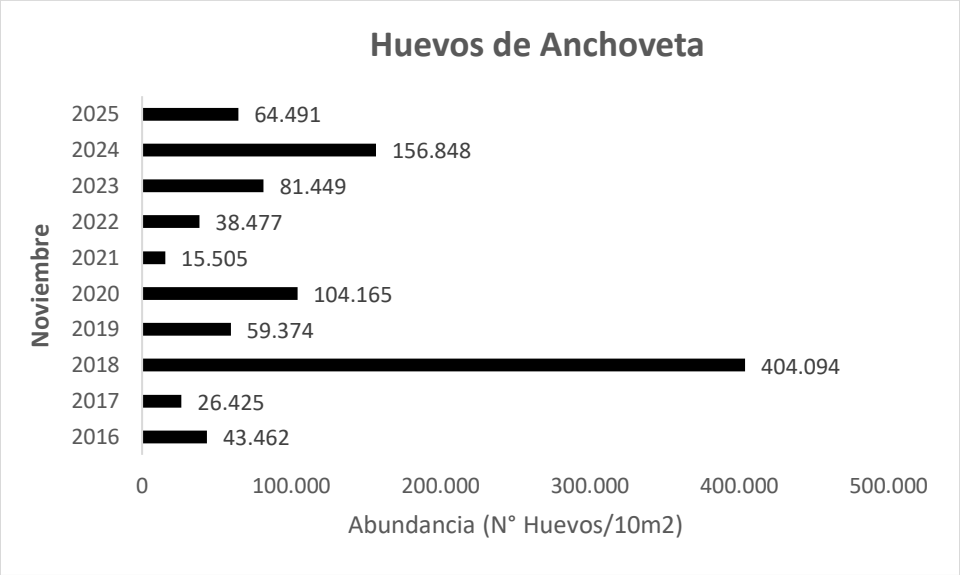


Figura 20. **Variación temporal de la intensidad del desove de anchoveta para la zona Arica, Iquique y Mejillones en el período octubre 2014 – noviembre 2025.**



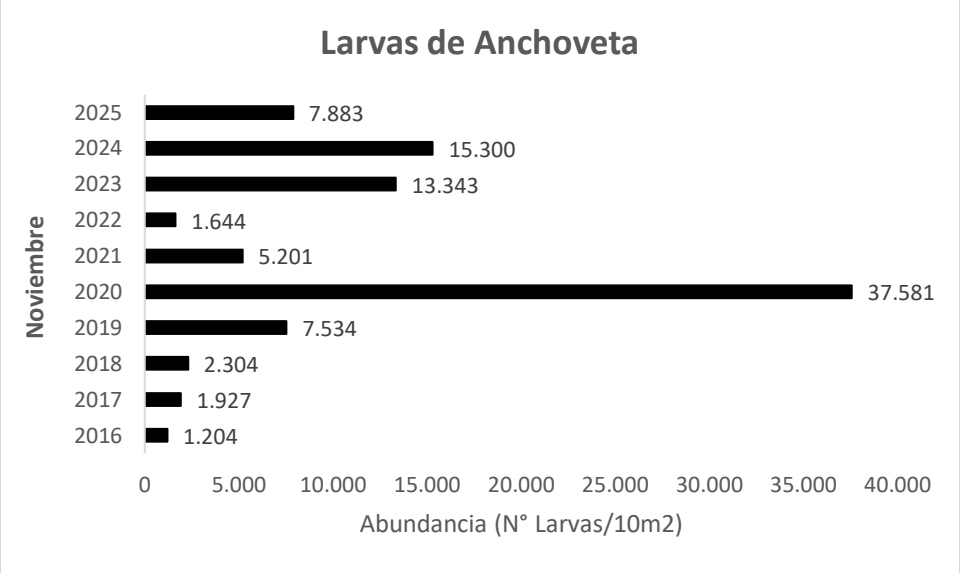


Figura 21. **Abundancia de huevos y larvas de anchoveta para los puertos de Arica, Iquique y Mejillones. Meses de noviembre 2016 a 2025.**

El patrón estacional de la abundancia de huevos de anchoveta a lo largo de los años analizados muestra que los meses con mayor frecuencia de altos valores son julio, agosto, septiembre y octubre, lo cual coincide con el período de mayor actividad reproductiva de la anchoveta en el ecosistema costero del norte de Chile.

De enero a julio 2025, se observa un decrecimiento paulatino de la abundancia de huevos de anchoveta, en comparación con lo reportado en el primer semestre del año 2024 donde se observó abundancias importantes que superaron el rango habitual para ese periodo. (**Fig. 22**).

La serie evidencia la influencia de eventos El Niño y La Niña. Durante los años cálidos (como El Niño 2023), se observa una reducción en la abundancia de huevos en los meses clave de reproducción. Por el contrario, en años asociados a condiciones neutras o frías (La Niña) como en 2020-2021, la actividad reproductiva parece intensificarse.

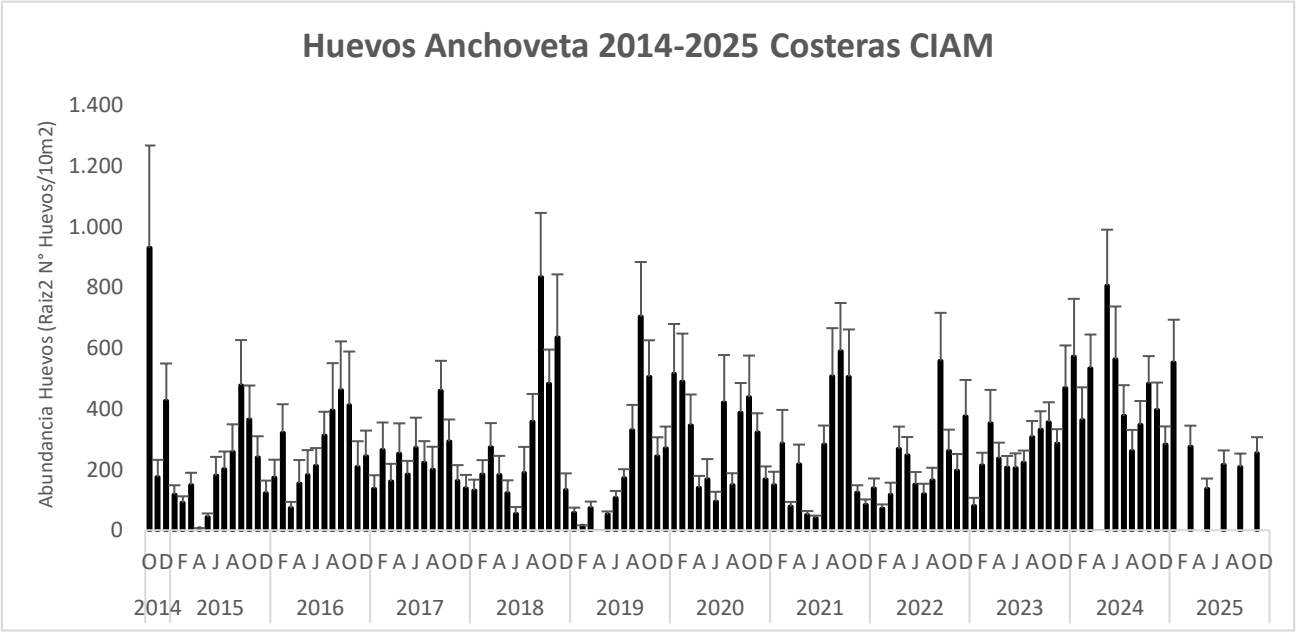
El análisis de la abundancia de larvas de anchoveta entre 2015 y 2025 revela un patrón estacional bien definido, con máximos entre agosto y octubre, y mínimos entre diciembre y marzo. Sin embargo, esta estacionalidad se ha vuelto más difusa en los últimos años, con aumentos en meses inusuales, como enero y julio (2024 y 2025).

La variabilidad interanual es evidente y parece estar fuertemente influenciada por las condiciones oceanográficas regionales, como la intensidad de la surgencia costera, la disponibilidad de nutrientes y eventos climáticos globales (El Niño/La Niña). Años con condiciones favorables presentan altos niveles de abundancia larval, reflejando un entorno propicio para el reclutamiento.

Los valores más bajos de la serie, posiblemente ligados a una persistencia de anomalías térmicas positivas y menor disponibilidad trófica para el desove.

La disminución de la abundancia de huevos puede estar influenciada por, aumento de la temperatura superficial del mar (TSM), que afecta la distribución y sincronía del desove. Reducción de la biomasa reproductiva (stock desovante). Menor disponibilidad de alimento para los adultos, especialmente en años con baja concentración de clorofila-a **(Fig. 22).**

La disminución observada en 2025 también se refleja en la baja abundancia de larvas, lo cual sugiere una menor eficiencia reproductiva global y una posible disminución en el reclutamiento futuro **(Fig. 22).**



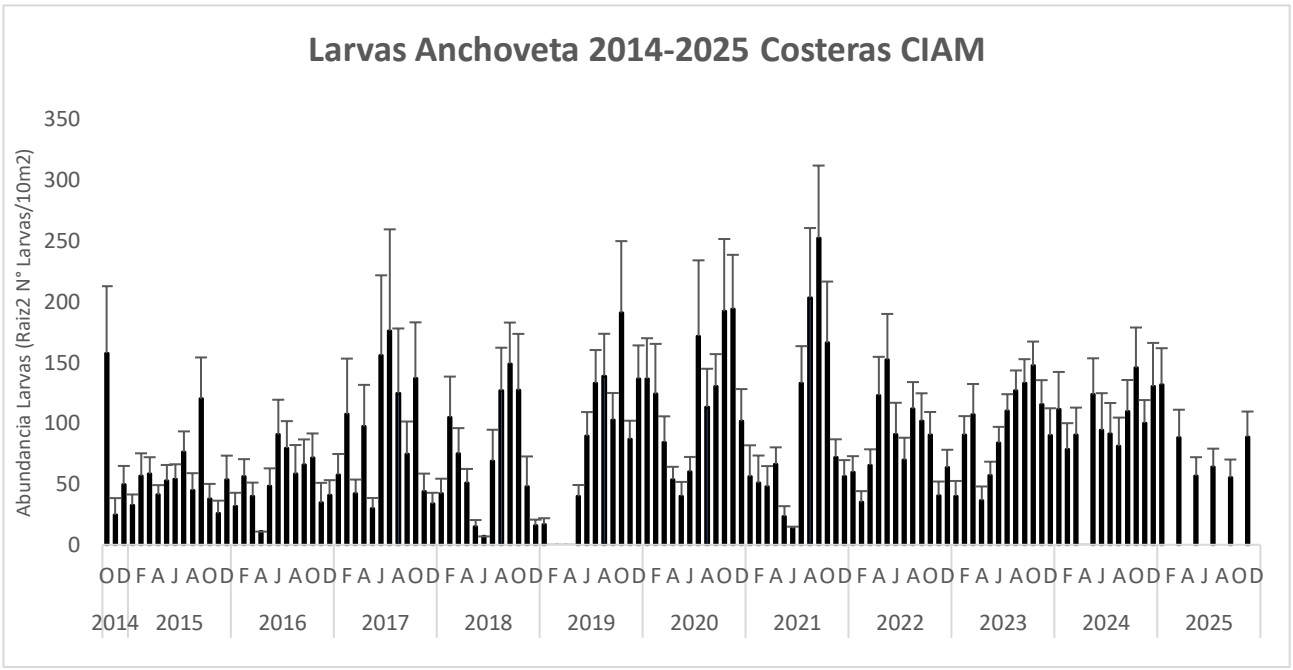


Figura 22. **Abundancia de huevos y larvas de anchoveta para los puertos de Arica, Iquique y Mejillones. Serie octubre 2014 – noviembre 2025.**

2.2 Sardina española, ***Sardinops sagax***

En el análisis de huevos de la sardina española, en noviembre 2025, se identificaron 9 estaciones con presencia positiva de huevos, recolectándose un total de 920 huevos en un área de 10 m², lo que representa una frecuencia porcentual del 82% (**Tabla 5**).

Durante esta fase del desarrollo, las abundancias de huevos fluctuaron entre 0 y 261 huevos por 10 m². La media de huevos en estaciones positivas fue de 102 huevos por 10 m², mientras que la media general, considerando todas las estaciones, fue de 84 huevos por 10 m². Las abundancias se distribuyeron Arica con 40% y Mejillones con el 60% de los huevos colectados. (**Tabla 5 y Fig. 23**).

En noviembre de 2025, la distribución de huevos de sardina española en relación con la distancia a la costa, mostró un predominio en 5 millas náuticas, en Arica y Mejillones (**Fig. 23**).

La abundancia de huevos de sardina española frente a Arica, Iquique y Mejillones durante el período 2015–2025 exhibe una **alta variabilidad interanual**, marcada por **pulsos reproductivos intensos en 2017, 2023 y 2024**, intercalados con años de **baja actividad**. Este patrón sugiere que la sardina española responde fuertemente a **fluctuaciones ambientales**, como la temperatura superficial del mar, la productividad primaria y la intensidad de la surgencia costera.

El **repunte observado en 2023 y 2024** podría indicar un retorno de condiciones oceanográficas favorables tras un período de baja reproducción entre 2018 y 2022. Sin embargo, la **disminución en 2025** plantea la necesidad de un monitoreo continuo para determinar si se trata de una variabilidad natural o el inicio de una nueva fase de baja actividad reproductiva.

En conjunto, los resultados reflejan el **carácter oportunista y altamente variable de la reproducción de la sardina española en el ecosistema de la corriente de Humboldt**, y subrayan la importancia de integrar estos indicadores tempranos en las estrategias de manejo y conservación del recurso **(Fig. 24).**

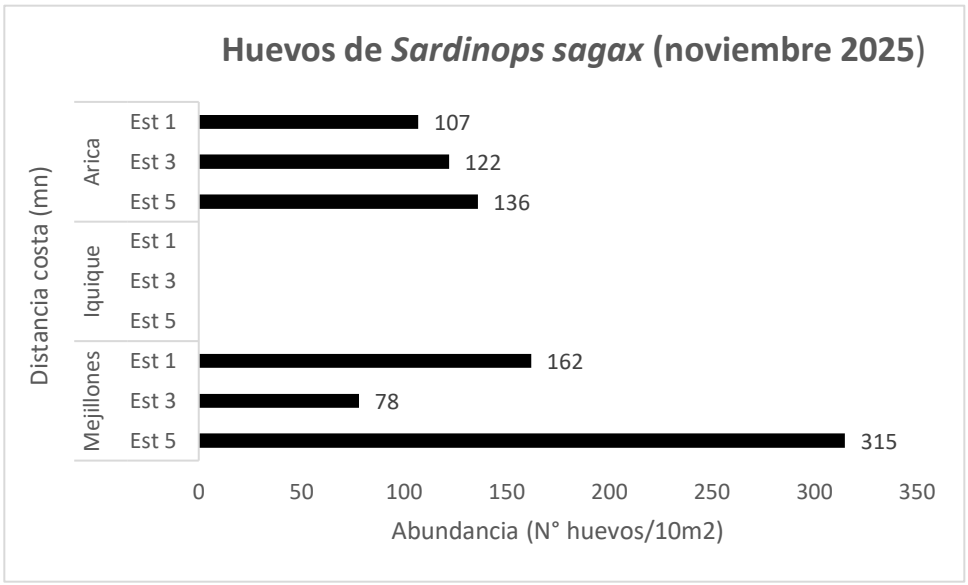


Figura 23. **Abundancia promedio de huevos de sardina española con respecto a la distancia de la costa para los puertos de Arica y Mejillones noviembre 2025.**

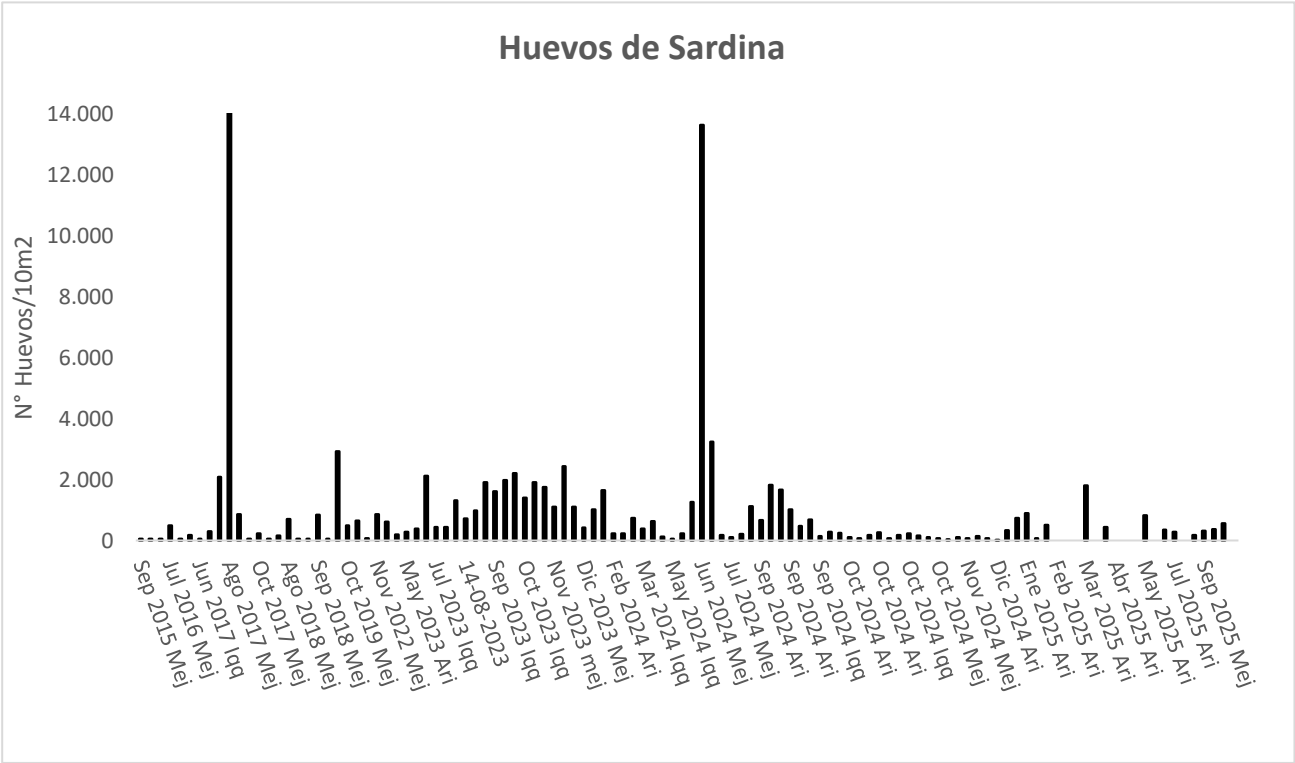


Figura 24. **Abundancia de huevos de sardina española, *Sardinops sagax,* frente a los puertos de Arica - Mejillones. Serie CIAM noviembre 2015 – noviembre 2025.**

CONCLUSIONES

Durante noviembre de 2025, el análisis de la temperatura superficial del mar (TSM) en la franja costera norte de Chile, que abarca las zonas frente a Arica y Mejillones, evidenció un patrón de variabilidad térmica moderada. Las temperaturas oscilaron entre 14,44 °C y 19,07 °C, con un promedio de 17,21 °C ± 1,253, lo que representa un incremento de 0,7 °C en comparación con los valores registrados en septiembre de 2025, con una salinidad de 34,66 ups y una densidad de 25,15 kg/m³. Este patrón corresponde al gradiente térmico típico del norte de Chile, donde las aguas cálidas subtropicales tienen mayor influencia en Arica, mientras que en Mejillones predomina la influencia de aguas más frías asociadas a **surgencias costeras**.

En noviembre de 2025, los valores promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) mostraron un claro gradiente térmico latitudinal a lo largo de las localidades estudiadas. En la zona de Arica se registró una temperatura promedio de 17,94 °C, la más alta del conjunto, con valores que variaron entre 16,73 °C y 19,07 °C, y una desviación estándar baja (0,82 °C), lo que indica baja variabilidad térmica. La salinidad promedio fue de 34,77 ups, con valores mínimos y máximos entre 34,75 y 34,79 ups, también con escasa variación (DS = 0,012). La densidad promedio (25,05 kg/m³) fue la menor del conjunto, coherente con las mayores temperaturas registradas.

Estas condiciones sugieren la influencia de aguas superficiales cálidas y de baja densidad, probablemente asociadas a una mezcla más intensa por acción del viento y a la advección de aguas tropicales o subtropicales superficiales desde el norte**.**

En contraste, en Mejillones se observó una temperatura promedio menor (16,33 °C), con un rango de 14,44 a 17,36 °C y una variabilidad moderada (DS = 1,11 °C). La salinidad promedio (34,52 ups) fue ligeramente inferior a la registrada en Arica, pero con densidades mayores (25,27 kg/m³), lo que indica la presencia de aguas más frías y densas, características de procesos de surgencia costera.

La surgencia es un fenómeno recurrente en esta zona, especialmente frente a Punta Angamos, donde afloran aguas subsuperficiales ricas en nutrientes, lo que también condiciona una mayor densidad y una disminución térmica local.

Los valores muestran una gradiente térmica decreciente hacia el sur, pasando de temperaturas más elevadas en Arica (17,21°C) a menores en Mejillones (16,33°C). De manera inversa, la densidad del agua aumenta hacia el sur, desde 25,15 kg/m³ en Arica a 25,27 kg/m³ en Mejillones, lo que refleja la influencia combinada de procesos de enfriamiento y surgencia en las zonas más australes.

Las mayores salinidades en Arica reflejan la influencia de **Aguas Subtropicales Superficiales (ASS)**. Las salinidades más bajas en Mejillones sugieren mayor aporte de **Aguas Subsuperficiales Ecuatoriales (ASE)** o mezcla con aguas provenientes de procesos de surgencias. Las variaciones son pequeñas (±0,3 ups), lo cual es típico de la zona y sugiere estabilidad en la composición de masas de agua. Arica presenta extrema homogeneidad salina, indicativa de una masa de agua bien definida. En Mejillones la variabilidad, aunque baja, es mayor por la influencia de surgencia.

Se mantiene el gradiente norte–sur característico del sistema de Humboldt más cálido y salino en Arica, más frío y denso en Mejillones. **La influencia de surgencias es mayor hacia Mejillones**, evidenciada por temperaturas mínimas más bajas, densidades más altas, mayor dispersión térmica. **La salinidad es más homogénea que la temperatura**, lo que indica que la variabilidad de la columna superficial en noviembre 2025 está controlada principalmente por procesos térmicos (mezcla, surgencia, calentamiento solar). **Las condiciones son coherentes con un periodo de transición primavera–verano**, donde la surgencia se intensifica en Mejillones.

En conjunto, la columna de agua en noviembre presenta para **Arica–Mejillones** 13,82 °C, **Arica** 14,02 °C levemente más cálida. **Mejillones** 13,62 °C levemente más fría. El gradiente térmico vertical se mantiene, pero **mucho menos marcado que en superficie**, lo que indica mezcla vertical o penetración de aguas subsuperficiales frías hacia el norte. El rango térmico vertical es amplio (6,4 °C), consistente con una columna estratificada arriba y con influencia de aguas más profundas frías abajo. Mejillones muestra **una columna bien mezclada**, probablemente por surgencias fuertes o mezcla turbulenta. Arica, en cambio, presenta una columna más **estratificada**, con un contraste mayor entre aguas cálidas superficiales y frías profundas.

La salinidad promedio en **Arica–Mejillones** 34,648 ups, **Arica** 34,780 ups *mayor salinidad* **Mejillones** 34,522 ups menor salinidad. Arica presenta una columna dominada por **Aguas Subtropicales Superficiales (ASS)** y/o mezcla con Aguas Subtropicales Intermedias. Mejillones muestra influencia de **Aguas Subsuperficiales Ecuatoriales (ASE)** más frescas y menos salinas. La columna de Arica es salinamente uniforme, lo que indica masas de agua bien definidas verticalmente. En Mejillones existe una mayor mezcla de masas de agua.

La densidad está controlada por el balance entre temperatura (principal) y salinidad (secundaria). **Arica–Mejillones** 26,027 kg/m³, **Arica** 26,079 kg/m³ levemente más densa, **Mejillones** 25,978 kg/m³ levemente menos densa. La densidad promedio es similar entre zonas, pero **Arica es marginalmente más densa**, probablemente por menor influencia de surgencias intensas y mayor penetración de aguas subsuperficiales. La mayor variabilidad de Arica indica **estratificación**. Mejillones muestra **mayor homogenización estacional** producto de procesos de surgencia.

La columna de agua en noviembre 2025 muestra condiciones coherentes con un periodo de transición hacia el verano, donde las surgencias se mantienen activas especialmente al sur, homogenizando la columna en Mejillones, mientras que en Arica la estructura permanece estratificada.

En Arica la TSM, en noviembre de 2020, destacó como el mes más frío (15,73 °C), coincidente con un evento La Niña moderada que fortaleció la surgencia y enfrió la superficie. En noviembre de 2022 fue el más cálido (18,3 °C), consistente con condiciones neutras a cálidas. En noviembre de 2025 se registró un valor cercano a la media histórica (~17,8 °C), indicando una condición térmica normal para la zona. La variabilidad interanual es moderada ≈ 2,6 °C de rango. Arica presenta oscilaciones interanuales típicas del ENSO, pero con baja influencia de enfriamientos intensos.

En Iquique se registraron valores más fríos en 2020–2023, especialmente en noviembre 2020 (16,21 °C) por La Niña. En noviembre 2023 también fue frío (16,25 °C), coincidiendo con condiciones regionales que mostraron cambios de tendencia fría. En noviembre de 2024 (17,25 °C)

se observó un aumento térmico. La variabilidad es menor que en Arica, rango 1,8 °C. Iquique es más sensible a la intensidad variable de surgencias que puede enfriar rápidamente las aguas superficiales**.**

En Mejillones en noviembre 2021, se registró el mes más frío de toda la serie (14,98 °C), destacando un periodo de surgencia excepcionalmente intensa. En noviembre de 2025 (16,33 °C) está por debajo del valor registrado en noviembre de 2024 (16,96 °C), indicando un enfriamiento relativo. La zona presenta la mayor variabilidad interanual, rango ≈ 2,6 °C, reflejando su dinámica como centro de surgencia.

La serie TSM de noviembre (2018–2025) muestra fluctuaciones interanuales controladas por la variabilidad regional y la dinámica de surgencia. Los Años fríos (2020, 2021, 2023) coinciden con episodios de La Niña y fortalecimiento de surgencias. En 2025, las condiciones térmicas retornan a un estado normal-cálido, con un valor global de 17,21 °C, similar a años de condiciones neutras. Arica se mantiene como la zona de mayor estabilidad, mientras que Mejillones registra la mayor variabilidad asociada a la intensidad de surgencia costera.

Durante noviembre en el periodo 2018-2025, la salinidad superficial en la zona Arica, **2019 (35,27ups)** muestra la mayor salinidad de toda la serie fuerte influencia de **ASS** y menor surgencia. En el **2020 (34,70 ups)** durante La Niña se observó una ligera disminución, consistente con **mayor mezcla vertical**. **2025 (34,77ups)** está cerca de la media regional (~34,75–34,80ups), indicando una condición **normal**. **Arica presenta baja variabilidad**, con un rango de ≈ **0,57 ups**, mostrando estabilidad relativa de las masas de agua.

Iquique similar a Arica muestra el valor más alto se registra en **2019 (35,25)** ingreso predominante de ASS. Salinidad mínima en **2021 (34,62)** mezcla activa y surgencias más intensas. **2023 y 2024** mantienen valores moderados, sugiriendo una tendencia a la estable mezcla vertical. Variabilidad interanual moderada, rango ≈ **0,63 ups**.

Mejillones muestra una tendencia descendente clara entre 2018 y 2025, desde **34,78 a 34,52 ups**. Esto indica una intensificación progresiva de surgencias más frecuentes, mayor influencia de ASE, mayor mezcla vertical. Los valores más bajos corresponden a 2024–2025, consistentes con años donde la columna mostró gran homogenización**.**

La serie de salinidad superficial de noviembre (2018–2025) muestra un patrón claro de variabilidad interanual dominado por la influencia de las masas de agua subtropicales y ecuatoriales. Los valores más altos se registran en 2019, reflejando la presencia dominante de aguas subtropicales superficiales y condiciones de baja surgencia. En contraste, los valores mínimos registrados en 2023–2024, y especialmente la disminución sostenida en Mejillones, evidencian un fortalecimiento regional de las surgencias y una mayor presencia de aguas subsuperficiales ecuatoriales. Para 2025, la salinidad superficial se recupera ligeramente en Arica y en el promedio global, aunque Mejillones mantiene la tendencia a la baja, indicativa de persistencia de mezcla vertical y surgencia intensa en la zona sur del transecto**.** El análisis de perfiles térmicos en Arica y Mejillones revela que la isoterma de 15 °C presenta una marcada variabilidad espacial durante noviembre 2025, reflejando diferencias locales en los procesos de mezcla y surgencia costera.

En **Arica**, La isoterma de 15°C se ubica en un rango de 7 a 11 metros de profundidad en las estaciones evaluadas entre 1 y 5 millas náuticas (mn) frente a Arica. El promedio general es de 8,5

metros, lo que indica una termoclina superficial típica de condiciones de primavera–verano en sistemas de afloramiento como el norte de Chile. Mínimo 7 m (Transecto sur, 3mn) máximo 11 m (Transecto sur, 5mn) variabilidad total 4 m.

La termoclina muestra un comportamiento **somero y relativamente estable**, coherente con periodos de mayor estratificación superficial asociados al incremento de irradiancia y debilitamiento progresivo de los vientos de afloramiento.

El transecto norte, un patrón más homogéneo (8–9 m). Indica una capa superficial de mezcla más estable, con menor influencia de turbulencia o intrusiones de agua subsuperficial.

El transecto Sur**,** presenta mayor variabilidad vertical (7–11 m). La estación de 5mn (11 m) evidencia un hundimiento local de la termoclina. Esta mayor dispersión sugiere influencia de cambios batimétricos, surgencias laterales, mezclas inducidas por remolinos o perturbaciones locales.

La estructura térmica observada en Arica muestra una **termoclina superficial y moderadamente estable**, con profundidades de la isoterma de 15°C que oscilan entre 7 y 9 m en la mayor parte del área. La excepción detectada en el transecto sur a 5mn (11 m) indica **procesos oceanográficos locales**, probablemente relacionados con mezcla inducida por vientos, topografía o circulación meso escala.

En conjunto, el sistema evidencia condiciones de **afloramiento moderado**, coherentes con un estado transicional estacional, y con posibles efectos sobre la productividad del ecosistema y la distribución de especies pelágicas comerciales como la anchoveta.

Durante noviembre de 2025, en **Mejillones** la isoterma de 15°C, muestra una alta variabilidad espacial, con valores que van desde 1 m hasta 13 m, reflejando un sistema altamente dinámico y fuertemente influido por procesos de afloramiento costero, retención en la bahía y diferencias entre la zona abierta y la interior.

Transecto Norte (1–7 m), presenta una isoterma extremadamente somera en el punto a 5mn (1 m), lo que indica un afloramiento muy intenso, intrusión directa de Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales frías hacia la superficie, fuerte ventilación por vientos predominantes del sur y sureste.

La diferencia entre 1mn (7 m) y 5mn (1 m) muestra un gradiente horizontal muy marcado, típico de zonas donde el afloramiento se intensifica mar afuera o donde existe divergencia.

Transecto Sur (10–13 m) La isoterma de 15°C está más profunda en comparación con Arica y otros sectores de la macrozona norte. La profundidad mayor hacia la costa (13 m en 1mn) sugiere, intensidad del afloramiento local, posible estratificación térmica más estable dentro del sistema de retención de la bahía, influencia del anticiclón térmico de Mejillones, conocido por generar condiciones de recirculación y menor mezcla vertical.

Los datos de Mejillones evidencian un sistema altamente dinámico, donde coexisten dos estados oceanográficos. Un sector norte con afloramiento muy intenso, reflejado por una isoterma de 15°C que emerge casi a la superficie (1 m), característica de situaciones de divergencia fuerte y mezcla vertical vigorosa. Un sector sur más estratificado, con la isoterma ubicada entre 10 y 13 m,

asociado a procesos de retención, menor mezcla y estabilidad térmica propia de la bahía.

Este contraste genera una estructura térmica con gradientes marcados, influyendo directamente en la distribución del fitoplancton, el aporte de nutrientes y la dinámica de especies pelágicas como la anchoveta.

En la región de Arica, el análisis de los valores de oxígeno disuelto superficial registrados en las seis estaciones. Rango total (4,06 – 5,64 ml O_2/L), promedio general (4,75 ml O_2/L).

Los valores se encuentran **dentro del rango típico** para la zona norte de Chile, especialmente en primavera–verano, donde la combinación de afloramiento, mezcla superficial y variabilidad en vientos modulan el contenido de oxígeno.

Transecto Norte, máximo intermedio en 3mn, valores **4,87; 5,64; 4,12 ml O_2/L.** La estación de 3mn muestra el valor más alto de todo el muestreo (5,64 **ml O_2/L**). Esto podría indicar, convergencia o retención superficial, mayor ventilación e intercambio aire–mar, mezcla vertical reducida en ese punto. La caída brusca en 5mn (4,12 **ml O_2/L**) sugiere, aguas subsuperficiales pobres en oxígeno, incremento localizado de mezcla vertical, directa de aguas de afloramiento.

El transecto sur, aumento progresivo hacia mar afuera con valores de (4,06; 4,74; 5,04 **ml O_2/L).** Posible **influencia del afloramiento costero** cerca de la orilla (1mn), donde emergen aguas más frías y menos oxigenadas. A medida que aumenta la distancia (5mn), hay una mejor **ventilación superficial**, favoreciendo mayores concentraciones de O_2. Este patrón es característico de la interfaz entre aguas de afloramiento y aguas superficiales más oxigenadas.

En Mejillones, el rango (4,49 – 9,24 ml O_2/L) el promedio general (7,94 ml O_2/L). Valores > 8 ml O_2/L dominan la mayor parte del área**.** Estos valores son extraordinariamente altos para la zona norte de Chile, superando promedio histórico de Mejillones (≈5.1 ml O_2/L), valores típicos de afloramiento (3–5 ml O_2/L). Esto sugiere condiciones oceanográficas **anómalas y altamente oxigenadas** durante noviembre 2025.

Transecto norte (9,24 - 4,49 **ml O_2/L)** el valor de 1mn (9,24 ml O_2/L) es el **máximo del muestreo**. Pero a 5mn ocurre un descenso abrupto a **4,49 ml O_2/L**, típico de afloramiento costero. El gradiente horizontal indica **intrusión localizada de aguas pobres en oxígeno** probablemente provenientes de la zona de mínimo oxígeno (ZMO) frente a Antofagasta, surgencia intensa al norte del promontorio de Punta Angamos.

Esta transición fuerte es característica de la dinámica de filamentos de afloramiento, donde lenguas de agua subsuperficial penetran hacia mar abierto.

Transecto sur (8,1–90 **ml O_2/L)** valores muy homogéneos y altos, fuerte ventilación superficial, baja influencia de aguas subsuperficiales pobres en O_2, predominio de masas de agua **bien oxigenadas**, posiblemente asociadas a mezcla por viento o intrusión de aguas de menor densidad y mayor oxigenación (p. ej. aguas subtropicales superficiales modificadas).

La bahía de Mejillones, caracterizada por retención, puede experimentar episodios de **hiperoxigenación** cuando hay intensa productividad fitoplanctónica, existe estratificación que mantiene el oxígeno atrapado en la superficie, los vientos generan intensa aireación superficial.

La serie temporal de clorofila-a para noviembre de 2025. Arica, muestra para el transecto norte un incremento inicial entre 1 y 3mn (0,50 - 0,55 µg/L), seguido de un descenso marcado a 5mn (0,39 µg/L). Este comportamiento sugiere, dispersión del parche fitoplanctónico hacia mar afuera, o condiciones locales de mayor turbulencia y ventilación que limitan la acumulación.

En el Transecto sur, se observa un **aumento progresivo** de clorofila-a desde la costa hacia las 5mn (0,46 - 0,58 µg/L). Este patrón es **típico de condiciones de surgencia débil o moderada**, donde la máxima expresión de fitoplancton se ubica ligeramente alejada de la costa, una vez que los nutrientes aflorados se mezclan y estabilizan.

La serie temporal de clorofila-a para noviembre de 2025, en Mejillones, muestra para el transecto norte valores mucho más bajos, **2,12 µg/L en 1mn 0,61 µg/L en 5mn.** Esto implica una productividad superficial baja, con un descenso claro hacia fuera de la costa. El contraste con el transecto sur indica una gran heterogeneidad espacial, probablemente asociada a variaciones en la intensidad de los vientos, turbulencia local, recirculación de masas de agua o intrusión de aguas pobres en nutrientes desde el norte.

El transecto sur muestra altas concentraciones de clorofila-a, con un rango entre 5,93 y 10,33 **µg/L**, valores característicos de eventos intensos de surgencia costera, o floraciones fitoplanctónicas localizadas. Patrones clave, descenso inicial entre 1 y 3mn (6,66 - 5,93 **µg/L**). Aumento abrupto en 5mn hasta 10,33 **µg/L**, el valor más alto de todo el conjunto. Este comportamiento indica un núcleo productivo desplazado hacia las 5mn, típico cuando la surgencia empuja la zona de máxima estabilidad y disponibilidad de nutrientes ligeramente mar adentro**.**

El procesamiento y análisis de las 11 muestras de zooplancton colectadas durante noviembre de 2025, frente a los puertos de desembarque de Arica y Mejillones, permitió cuantificar la presencia de 75.784 huevos y 9.168 larvas de peces. Esto representa un incremento del 50% y del 179%, respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos en septiembre de 2025 para las mismas fases de desarrollo. Del total de individuos cuantificados, el 85% de los huevos y el 86% de las larvas correspondieron a las especies objetivo del estudio. Cabe destacar que, la colecta de huevos de sardina española solo se registró en el puerto de Mejillones.

La fase de huevos totales presentó densidades que oscilaron entre 1.451 y 11.098 huevos por 10 m². La media de huevos por estación positiva fue de 6.889 (DS=3.311,67), lo que representa un incremento del 50% en comparación con la cifra obtenida en septiembre de 2025. Esta fase de desarrollo abarcó una cobertura máxima tanto latitudinal como longitudinal. En cuanto a la distribución de huevos, la zona de Arica contribuyó con el 61% del total, mientras que Mejillones aportó el 39%.

Las fases larvarias totales se registraron en 11 estaciones positivas, con una abundancia total de 9.168 larvas/10 m², lo que representa un incremento del 179% en comparación con septiembre de 2025. Este estadio de desarrollo mostró densidades que oscilaron entre 226 y 1.820 larvas/10 m², con una densidad promedio de 833 larvas por estación positiva. En cuanto a la distribución de larvas, la zona de Arica contribuyó con el 73% del total, mientras que Mejillones aportó el 27%.

Para anchoveta, se identificaron 11 estaciones positivas tanto para huevos y para larvas de anchoveta, en las cuales se recolectaron 64.491 huevos y 7.883 larvas, cifras referidas a un área

superficial de 10 m². Esto representó una frecuencia porcentual del 100% y 100% para ambos estadios de desarrollo, respectivamente, reflejando actividad reproductiva en la zona explorada.

La serie de la densidad promedio Est (+) presenta variaciones interanuales notables, con **años de alta intensidad reproductiva** (2024) y otros con actividad más moderada (2022 y 2023). El patrón estacional no es completamente uniforme, en 2022 y 2023, la mayor actividad de desove se concentró hacia **primavera y verano austral** (septiembre-diciembre), mientras que en 2024 el **máximo histórico se registró en otoño (mayo-junio)**. La información parcial disponible para 2025 muestra una tendencia a niveles intermedios de densidad, con un máximo en enero (18.061 huevos/m²), seguido de un descenso hasta mayo (1.691) una leve recuperación en julio (4.207), septiembre (3.934) y noviembre (5.863). Esto podría reflejar una fase de ajuste post-productiva, con la población manteniendo niveles de desove moderados, posiblemente en respuesta a condiciones térmicas más estables y menores pulsos de surgencia.

La serie de la densidad de Est (+) de larvas, entre 2022 y 2025, indica una alta variabilidad mensual e interanual en la densidad promedio de larvas de anchoveta, lo que refleja fluctuaciones en el éxito reproductivo y en las condiciones ambientales que determinan la supervivencia temprana de los estadios larvales. Los datos disponibles a noviembre 2025 muestran un inicio activo en enero (1.021), pero una tendencia descendente hacia el invierno y primavera, con valores moderados entre 403 y 409 larvas/m², mínimo en septiembre (340) y un incremento en noviembre (717).

Este patrón podría asociarse a una reducción del aporte de nutrientes o a condiciones térmicas más estables y cálidas, que suelen disminuir la productividad y afectar la supervivencia larval. En conjunto, los valores sugieren un ajuste natural de la población tras la alta actividad de 2024.

La fase de huevos totales de anchoveta presentó densidades que oscilaron entre 1.224 y 9.288 huevos por 10 m². La media de huevos por estación positiva fue de 5.863 (DS=2.742,59), lo que representa un incremento del 49% en comparación con la cifra obtenida en septiembre de 2025. Esta fase de desarrollo abarcó una cobertura máxima tanto latitudinal como longitudinal. En cuanto a la distribución de huevos, la zona de Arica contribuyó con el 59% del total, mientras que Mejillones aportó el 41%.

Las fases larvarias totales de anchoveta se registraron en 11 estaciones positivas, con una abundancia total de 7.883 larvas/10 m², lo que representa un incremento del 158% en comparación con septiembre de 2025. Este estadio de desarrollo mostró densidades que oscilaron entre 181 y 1.569 larvas/10 m², con una densidad promedio de 717 larvas por estación positiva.

Las áreas de mayor abundancia de huevos por 10 m² se ubicaron a 1 y 5 millas náuticas frente a Arica. En Mejillones, la mayor presencia de huevos se registró a 1 y 5mn.

Las larvas de anchoveta muestran una tendencia similar, las que se localizaron a 1 y 5 millas náuticas frente a Arica, representando el 68% de las larvas. En Mejillones, las mayores abundancias en 1 y 5mn, aportando el 32% de las larvas.

El análisis de datos CIAM en noviembre de 2025, para la abundancia de huevos muestra una **variabilidad interanual muy alta**, con valores que oscilan entre **centenas y cientos de miles**, lo que es característico de especies pelágicas pequeñas (anchoveta) altamente sensibles a la variabilidad ambiental. **Máximo absoluto**, **Arica 2018 (395.752 huevos)**, un evento excepcional.

Mínimos Iquique 2017 (**480 huevos).** Mejillones 2016 (**1.765 huevos)**. Esta amplitud evidencia un **reclutamiento altamente pulsátil**, controlado por condiciones oceanográficas favorables en ventanas temporales específicas.

La abundancia de huevos en noviembre presenta una **marcada variabilidad interanual y espacial**, reflejando la fuerte dependencia del proceso reproductivo a la **productividad primaria, oxigenación y estructura física de la columna de agua**. Arica destaca por su carácter extremo e inestable, Iquique por su estabilidad relativa y Mejillones por su creciente importancia como **zona reproductiva en años recientes**.

La abundancia larval presenta un rango amplio, desde **0 hasta 21.813 larvas**, lo que refleja una **alta variabilidad interanual**, aunque con una **amplitud menor que la observada en huevos**, como es esperable por la mortalidad temprana post-eclosión. **Máximo absoluto**, **Arica 2020 (21.813 larvas)**, indicando un evento de supervivencia larval excepcional. **Mínimos**, **Iquique 2017 y 2018 (0–53 larvas)**. **Mejillones 2018 (0 larvas)**.

Arica presenta una **variabilidad muy marcada**, con máximo en **2020 (21.813)**, valores muy bajos en **2017–2018** y **2022**. El **2025 (5.371)**, la abundancia es **moderada**, superior a 2021–2022, pero muy inferior a 2020.Este patrón sugiere, el desove puede ser elevado algunos años (ej. 2018 en huevos), pero la **supervivencia larval está fuertemente condicionada** por oxígeno subsuperficial (ZMO somera), retención costera efectiva y coincidencia espacio–temporal con máximos de clorofila.

Iquique Registra valores generalmente **bajos a moderados**, con un periodo favorable reciente **2023–2024 (6.516–10.686 larvas**). Valores casi nulos antes de 2020 reflejan menor consistencia como área de retención larval. La ausencia de dato en 2025 impide confirmar continuidad, pero el patrón sugiere una **mejora reciente en las condiciones de supervivencia**.

Mejillones presenta una serie **más estable**, sin eventos extremos. Valores típicos entre **1.500 y 7.000 larvas**. En **2025 (2.512)**, se observa una **abundancia moderada**, coherente con alta clorofila-a observada en noviembre 2025. Buena oxigenación superficial. Valor nulo de 2018 indica un **fracaso reproductivo local**, pese a altos huevos en Arica ese mismo año, reforzando la **desconexión espacial** entre desove y supervivencia.

La abundancia de larvas de anchoveta en noviembre evidencia una fuerte variabilidad interanual y regional, con un claro desacople entre desove y supervivencia temprana. En noviembre 2025, Arica y Mejillones presentan niveles moderados de larvas, coherentes con condiciones oceanográficas favorables, pero no óptimas. La supervivencia larval emerge como el principal filtro ecológico, determinado por la interacción entre productividad, oxígeno y dinámica física local.

Los resultados indican que la abundancia de huevos de anchoveta estimada en noviembre de 2025 para la serie, varía entre **15.505 y 404.094**, evidenciando una **variabilidad interanual extremadamente alta**, típica de especies pelágicas pequeñas. **Máximo 2018 (404.094 huevos)**, evento excepcional. **Mínimo 2021 (15.505 huevos)**. La amplitud de variación (≈26 veces entre mínimo y máximo) indica un **sistema reproductivo altamente pulsátil**, dominado por pocos años de desove masivo. El año 2018 domina estadísticamente la serie y representa un **evento reproductivo extremo**, no necesariamente representativo del estado medio del sistema. Este patrón indica una **recuperación parcial del esfuerzo reproductivo**, aunque sin alcanzar los niveles extremos de 2018.

La disminución en 2025 respecto a 2024 sugiere que la recuperación **no es lineal**, sino modulada por la variabilidad ambiental interanual.

El valor de **2025 (64.491)** corresponde a un **nivel reproductivo intermedio**, mayor que 2021–2022 pero inferior a 2023–2024. Este nivel es consistente con condiciones productivas activas. Posibles restricciones ambientales (ZMO somera en el norte), que limitan la expansión del desove.

La abundancia total de huevos en noviembre muestra una **dinámica altamente variable y dominada por pulsos reproductivos**, sin una tendencia de largo plazo claramente definida. El sistema alterna entre años de desove masivo y periodos de baja intensidad reproductiva, reflejando la fuerte dependencia del proceso reproductivo a la **variabilidad oceanográfica regional**. El año 2025 se sitúa en un escenario **moderado**, compatible con una fase de estabilidad relativa pero lejos de condiciones excepcionales.

La abundancia larval total en noviembre varía entre **1.204 y 37.581 larvas**, evidenciando una **alta variabilidad interanual**, aunque **menor que la observada en huevos**, lo cual es consistente con la **alta mortalidad durante las primeras fases ontogenéticas**. El **máximo** observado en noviembre **2020 (37.581 larvas)**, corresponde a un alto valor en términos de supervivencia temprana. **Mínimo 2016 (1.204 larvas)**. La amplitud (~31 veces entre mínimo y máximo) confirma que la **fase larval es altamente sensible a las condiciones ambientales**.

Periodo de alta supervivencia larval (2020), destaca claramente sobre el resto de la serie. Ese año se interpreta como un escenario donde coincidieron, alta disponibilidad trófica efectiva, condiciones físicas favorables (retención, estabilidad) y oxigenación adecuada de la capa superficial. Es un ejemplo de **alta eficiencia huevos – larvas.**

El **2023–2024** representan un periodo favorable, con abundancias larvales relativamente altas. Año **2025 (7.883)** muestra una disminución respecto a 2023–2024, pero se mantiene en un **nivel funcionalmente relevante**. Es coherente con un escenario ambiental **moderadamente favorable**, sin condiciones extremas. Este patrón es consistente con alta productividad (clorofila elevada en sectores como Mejillones). Persistencia de restricciones regionales (ZMO somera en el norte), que limitan la supervivencia máxima.

La abundancia total de larvas de anchoveta en noviembre presenta una **dinámica altamente variable y no lineal**, dominada por la supervivencia temprana más que por la magnitud del desove. El año 2020 destaca como un evento excepcional de éxito larval, mientras que el periodo 2023–2025 muestra una **estabilidad relativa en niveles intermedios**, compatible con condiciones oceanográficas moderadamente favorables. En conjunto, la serie refuerza que el **reclutamiento de anchoveta está fuertemente controlado por procesos físicos y biogeoquímicos durante la fase larval temprana**.

El patrón estacional de la abundancia de huevos de anchoveta a lo largo de los años analizados muestra que **l**os meses con mayor frecuencia de altos valores son julio, agosto, septiembre y octubre, lo cual coincide con el período de mayor actividad reproductiva de la anchoveta en el ecosistema costero del norte de Chile.

De enero a julio 2025 se observa un decrecimiento paulatino de la abundancia de huevos de anchoveta, en comparación con lo reportado en el primer semestre del año 2024 donde se

observó abundancias importantes que superaron el rango habitual para ese periodo.

La serie evidencia la influencia de eventos El Niño y La Niña. Durante los años cálidos (como El Niño 2023), se observa una reducción en la abundancia de huevos en los meses clave de reproducción. Por el contrario, en años asociados a condiciones neutras o frías (La Niña) como en 2020-2021, la actividad reproductiva parece intensificarse.

El análisis de la abundancia de larvas de anchoveta entre 2015 y 2025 revela un patrón estacional bien definido, con máximos entre agosto y octubre, y mínimos entre diciembre y marzo. Sin embargo, esta estacionalidad se ha vuelto más difusa en los últimos años, con aumentos en meses inusuales, como enero y julio (2024 y 2025).

La variabilidad interanual es evidente y parece estar fuertemente influenciada por las condiciones oceanográficas regionales, como la intensidad de la surgencia costera, la disponibilidad de nutrientes y eventos climáticos globales (El Niño/La Niña). Años con condiciones favorables presentan altos niveles de abundancia larval, reflejando un entorno propicio para el reclutamiento.

Los valores más bajos de la serie, posiblemente ligados a una persistencia de anomalías térmicas positivas y menor disponibilidad trófica para el desove.

La disminución de la abundancia de huevos puede estar influenciada por, aumento de la temperatura superficial del mar (TSM), que afecta la distribución y sincronía del desove. Reducción de la biomasa reproductiva (stock desovante). Menor disponibilidad de alimento para los adultos, especialmente en años con baja concentración de clorofila-a**.**

La disminución observada en 2025 también se refleja en la baja abundancia de larvas, lo cual sugiere una menor eficiencia reproductiva global y una posible disminución en el reclutamiento futuro**.**

En el análisis de huevos de la sardina española, en noviembre 2025, se identificaron 9 estaciones con presencia positiva de huevos, recolectándose un total de 920 huevos en un área de 10 m², lo que representa una frecuencia porcentual del 82%.

Durante esta fase del desarrollo, las abundancias de huevos fluctuaron entre 0 y 261 huevos por 10 m². La media de huevos en estaciones positivas fue de 102 huevos por 10 m², mientras que la media general, considerando todas las estaciones, fue de 84 huevos por 10 m². Las abundancias se distribuyeron Arica con 40% y Mejillones con el 60% de los huevos colectados.

En noviembre de 2025, la distribución de huevos de sardina española en relación con la distancia a la costa, mostró un predominio en 5 millas náuticas, en Arica y Mejillones.

La abundancia de huevos de sardina española frente a Arica, Iquique y Mejillones durante el período 2015–2025 exhibe una **alta variabilidad interanual**, marcada por **pulsos reproductivos intensos en 2017, 2023 y 2024**, intercalados con años de **baja actividad**. Este patrón sugiere que la sardina española responde fuertemente a **fluctuaciones ambientales**, como la temperatura superficial del mar, la productividad primaria y la intensidad de la surgencia costera.

El **repunte observado en 2023 y 2024** podría indicar un retorno de condiciones oceanográficas favorables tras un período de baja reproducción entre 2018 y 2022. Sin embargo, la **disminución en 2025** plantea la necesidad de un monitoreo continuo para determinar si se trata de una variabilidad natural o el inicio de una nueva fase de baja actividad reproductiva.

En conjunto, los resultados reflejan el **carácter oportunista y altamente variable de la reproducción de la sardina española en el ecosistema de la corriente de Humboldt**, y subrayan la importancia de integrar estos indicadores tempranos en las estrategias de manejo y conservación del recurso**.**