# UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

## FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

# PROGRAMA BIO-OCEANOGRÁFICO-PESQUERO
# DE LA ZONA NORTE DE CHILE (18°30´S-23°S)
# UNAP-CIAM

## RESULTADOS PRELIMINARES
## CRUCERO BIO-OCEANOGRAFICO DE OTOÑO

**MAYO DE 2023**

## INTRODUCCIÓN

Se presentan los resultados preliminares de las condiciones de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto registradas durante el crucero de otoño de 2023.

## METODOLOGIA

El crucero se llevó a cabo entre los días 8 y 12 de mayo de 2023 a bordo de la embarcación PAM "Salmón", proporcionada por la empresa pesquera CORPESCA S.A.

El área de estudio comprendió la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S), donde se establecieron 7 transectas perpendiculares a la costa con estaciones localizadas entre 1 y 40 millas náuticas (mn) de la costa (Figura 1). En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto, utilizando un CTDO SBE-19V2.

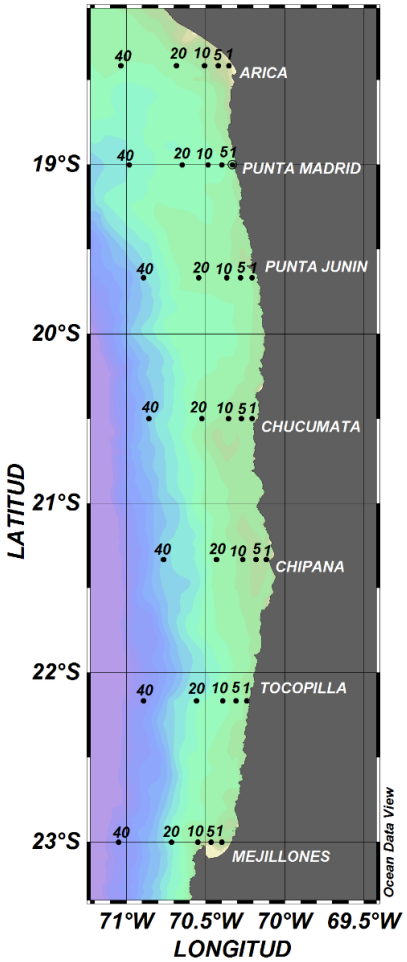


Figura 1. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo durante el crucero de mayo de 2023.

**RESULTADOS**

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre 15,5 y 22,0°C. Aguas con valores superiores a 20°C se encontraron distribuidas en toda la zona ocupando la franja entre las 20 y 40 mn, registrándose el máximo de 22°C frente a Chipana (21°20'S). Estas mayores temperaturas se acercaron a la costa en Punta Madrid (19°00'S) y entre Chucumata (20°23'S) y Chipana (21°20'S), alcanzando las 5 y 10 mn donde se detectaron valores entre 19,0 y 20,9°C. En Arica (18°25'S), punta Junín (19°40'S), Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), la franja entre 1 y 10 mn se encontró influenciada por temperaturas inferiores a 19°C, destacando el núcleo de aguas frías en el sector de Mejillones (23°00'S) que se extendió hasta las 20 mn con el mínimo de 15,5°C localizado a 5 mn de la costa (Figura 2A).

En la componente vertical se observó la presencia del agua más cálida (>19°C) ocupando los primeros 30 m de profundidad a 40 mn, haciéndose más somera (20 m) en aquellas localidades en las cuales se acercó a la costa (5-10 mn). Desde los 30 m, hacia los estratos más profundos, predominaron temperaturas inferiores a 18°C. La característica inclinación de las isotermas en la costa (1 mn), que evidencia la ocurrencia de procesos de surgencia, se restringió a Arica (18°25'S), punta Junín (19°40'S), Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 3). Al respecto, considerando la ubicación de la isoterma de 15°C como proxy, la localización de ésta promedió los 50 m en toda el área, registrándose a una máxima profundidad de 80 m frente a Chipana (21°20'S) a 10 mn. Sólo en Mejillones (23°00'S) se mantuvo sobre los 20 m entre 1 y 20 mn de la costa, alcanzando un mínimo de 8 m de profundidad a 5 mn (Figura 2B).

La salinidad en superficie fluctuó entre 34,73 y 35,34 ups. Coincidente con la distribución de la temperatura, valores superiores a 35 ups se registraron entre las 20 y 40 mn desde Chipana (21°20'S) al sur, registrándose el máximo de 35,34 ups frente a Chipana (21°20'S) a 40 mn. En el extremo norte del área, entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), se mantuvieron alrededor de los 34,95 ups. Hacia la costa los valores disminuyeron observándose el predominio de salinidades inferiores a 34,95 ups, especialmente en el sector entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), donde se detectó un núcleo de valores menores a 34,8 ups, los que alcanzaron las 20 mn en Mejillones (23°00'S), localidad que exhibió el mínimo de 34,73 ups a 5 mn de la costa (Figura 2C).

En las secciones verticales de Chipana (21°20'S), Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), se visualizó la influencia del agua salina (>35 ups) entre 20 y 40 mn y en los primeros 30 m de profundidad, mientras que hacia los estratos más profundos predominaron salinidades inferiores a 34,9. Esta condición (predominio de salinidades menores a 34,9) caracterizó toda la columna de agua de Arica (18°25'S), punta Madrid (19°00's), punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S), entre la costa y las 40 mn. Como es habitual se observó en todas las localidades, alrededor de los 50 m de profundidad, la

intrusión desde la región oceánica, de una masa de agua con salinidades menores a 34,7 ups, las que se extendieron hacia la costa alcanzando las 10 mn (Figura 4).

La densidad (sigma-t) presentó en superficie valores que fluctuaron entre 24,35 y 25,66. La presencia de densidades menores a 24,7 caracterizaron la franja de las 40 mn de la costa, coincidente con el predominio de las altas temperaturas y salinidades (>20°C, >35 ups). Hacia la zona costera (1-5 mn) los valores aumentaron detectándose núcleos mayores a 25 frente a Arica (18°25'S), punta Junín (19°40'S) y entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S). En esta última localidad las altas densidades (>25) se extendieron hasta las 20 mn y el máximo (25,66) se detectó a 5 mn junto a la menor temperatura y salinidad (Figura 2D).

En la componente vertical, se observaron aguas de baja densidad (<25) ocupando el estrato superficial, profundizándose hasta los 30 m a 40 mn. Bajo los 50 m predominaron en la columna de agua densidades superiores a 25,5. En un gradiente norte a sur, las bajas densidades se fueron restringiendo hacia la zona más oceánica (20-40 mn) en la medida que la costa (1-10 mn) fue ocupada por aguas subsuperficiales de mayor densidad, las que alcanzaron la superficie en Mejillones (23°00'S), corroborando la ocurrencia de surgencia (Figura 5).

Acorde con las condiciones descritas, los diagramas T-S revelaron la presencia de las tres masas de agua de la región: el Agua Subtropical Superficial (ASS), el Agua Subantártica (ASAA) y el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). El ASS tuvo una importante participación en la zona, registrándose su influencia hasta el sector sur. De igual manera el ASAA que evidenció una mayor participación en el sector centro (20°30'S-21°20'S) y sur (22°10'S-23°00'S), mientras que el AESS mostró escasa influencia, principalmente en mezcla con el ASAA (Figura 6).

El oxígeno disuelto en superficie fluctuó entre 2,4 y 4,0 mL $O_2$/L. Concentraciones cercanas a 3,0 mL $O_2$/L predominaron en toda la zona hasta las 40 mn. Entre 1 y 10 mn de la costa, en un gradiente norte-sur, se observó una disminución de los valores, desde el foco de máxima (4,0 mL $O_2$/L) registrado frente a Arica (18°25'S) a 10 mn, uno secundario de 3,8 mL $O_2$/L detectado en Chipana (21°20'S) a 5 mn, hasta el núcleo de concentraciones mínimas frente a Mejillones, con el mínimo de 2,4 mL $O_2$/L localizado a 5 mn de la costa (Figura 7A).

En la componente vertical, se observaron los primeros 30 m de profundidad influenciados por las aguas con concentraciones mayores a 3,0 mL $O_2$/L, las que se profundizaron costa afuera alcanzando por sobre los 50 m en Mejillones (23°00'S) y restringidas a las 40 mn de la costa, predominando en el resto de la columna de agua valores inferiores a 2,5 mL $O_2$/L. Un marcado ascenso de las oxilíneas se observó en punta Junín (19°40'S) y Mejillones (23°00'S), evidenciando procesos de surgencia que condujeron agua de bajo contenido de oxígeno a la superficie (Figura 8). No obstante, el límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (LS_ZMO) (1,0 mL $O_2$/L) promedió una profundidad de localización de 80 m, exhibiendo una profundidad mínima de 38,3 m en

Mejillones (23°00'S) a 5 mn, y un máximo de 123,9 m en la misma localidad a 40 mn de la costa (Figura 7B).

**ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Los valores extremos de temperatura y salinidad registrados durante el periodo de realización del crucero resultaron más altos que durante el otoño de 2022, evidenciándose una mayor influencia del ASS en toda el área, principalmente entre las 20 y 40 mn. No obstante, las condiciones se mantienen dentro de los rangos observados en periodos anteriores, y estarían reflejando el retiro de una condición fría que predominó en la región, asociada a un evento La Niña, que habría transitado a condiciones neutras.

Por otra parte, el transporte Ekman reveló procesos de surgencia intensos (>1.000 $m^3/s/km$) en las tres localidades, los cuales se mantuvieron durante los días del muestreo en Arica y Mejillones. En Chucumata se detectó la interrupción del proceso a partir del día 9 de mayo debido al debilitamiento de los vientos favorables a la surgencia, los cuales exhibieron intensidades inferiores a los 5,0 m/s, condición que se mantuvo hasta después de finalizado el crucero (Figura 9).

No obstante registrarse altas intensidades de surgencia, la localización del límite superior de la ZMO y de la isoterma de 15°C, como variables proxy, se registró, en promedio, bajo los 50 m de profundidad en toda la zona, lo que sugiere, de manera preliminar, que los eventos no habrían generado un ascenso efectivo del agua subsuperficial, probablemente por la mayor influencia del ASS desde la región oceánica y en el estrato superficial (30 m), considerando además, el dominio del ASAA en la región y la baja participación del AESS.

En relación con el efecto remoto de la condición regional, CIIFEN informa del desarrollo, en marzo, de una onda Kelvin cálida cruzando el océano Pacífico ecuatorial que contribuyó a suprimir completamente las anomalías frías que estaban presentes en meses anteriores, observándose un sostenido calentamiento de la temperatura en el océano Pacífico oriental, sobre todo en la región El Niño 1+2, que comprende la zona costera al sur de Ecuador y centro y norte del Perú (Figura 10).

El pronóstico del ENOS para el trimestre abril-junio de 2023 prevé un 70% de probabilidades de condiciones neutrales, las que se mantendrían hasta mediados de 2023, pudiendo desarrollarse un El Niño durante el segundo semestre.

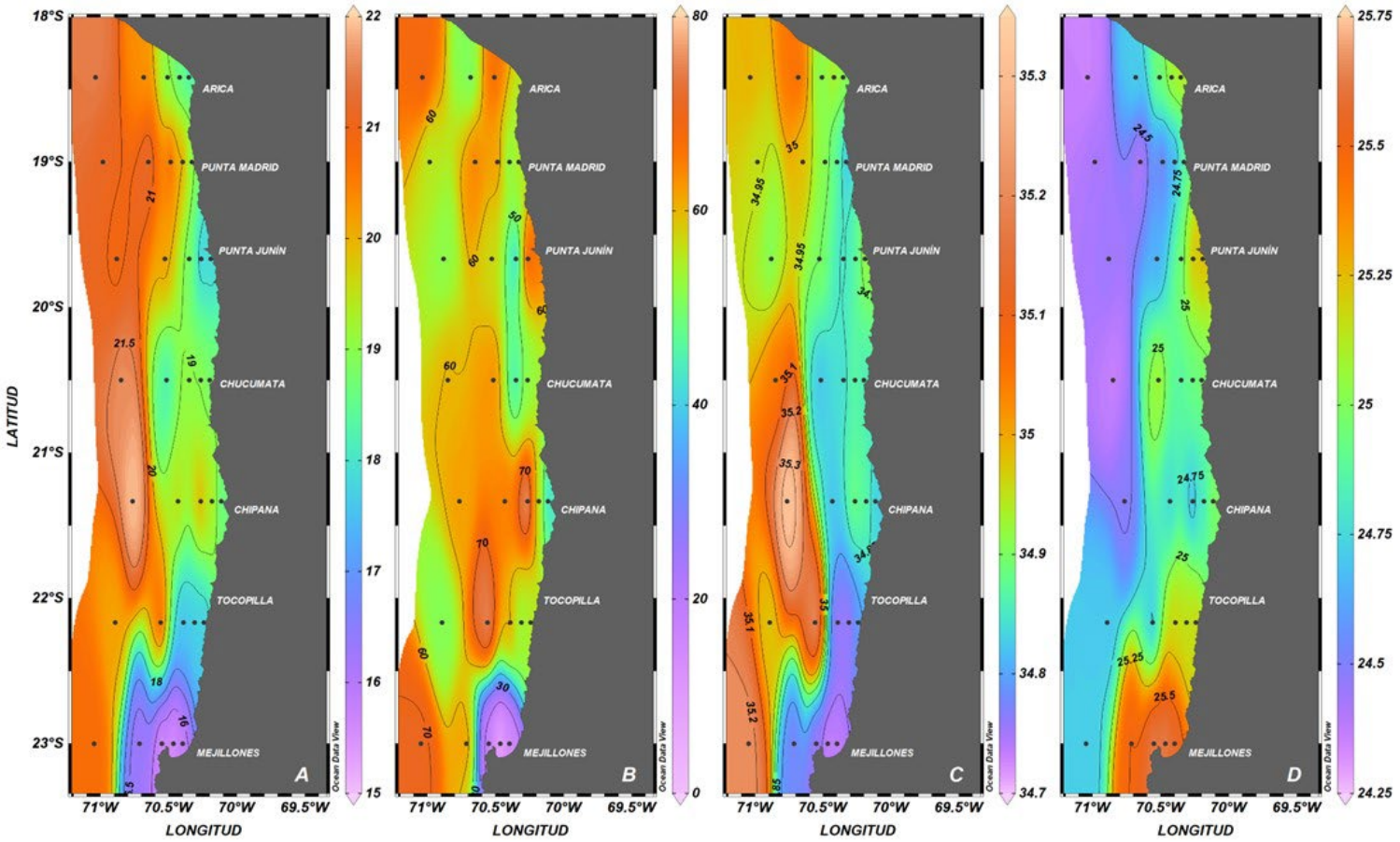


Figura 2. A: distribución superficial de la temperatura (°C), B: profundidad de la isoterma de 15°C (m), C: distribución superficial de la salinidad (ups) y D: distribución superficial de la densidad (sigma-t) entre los días 8 y 12 de mayo de 2023.

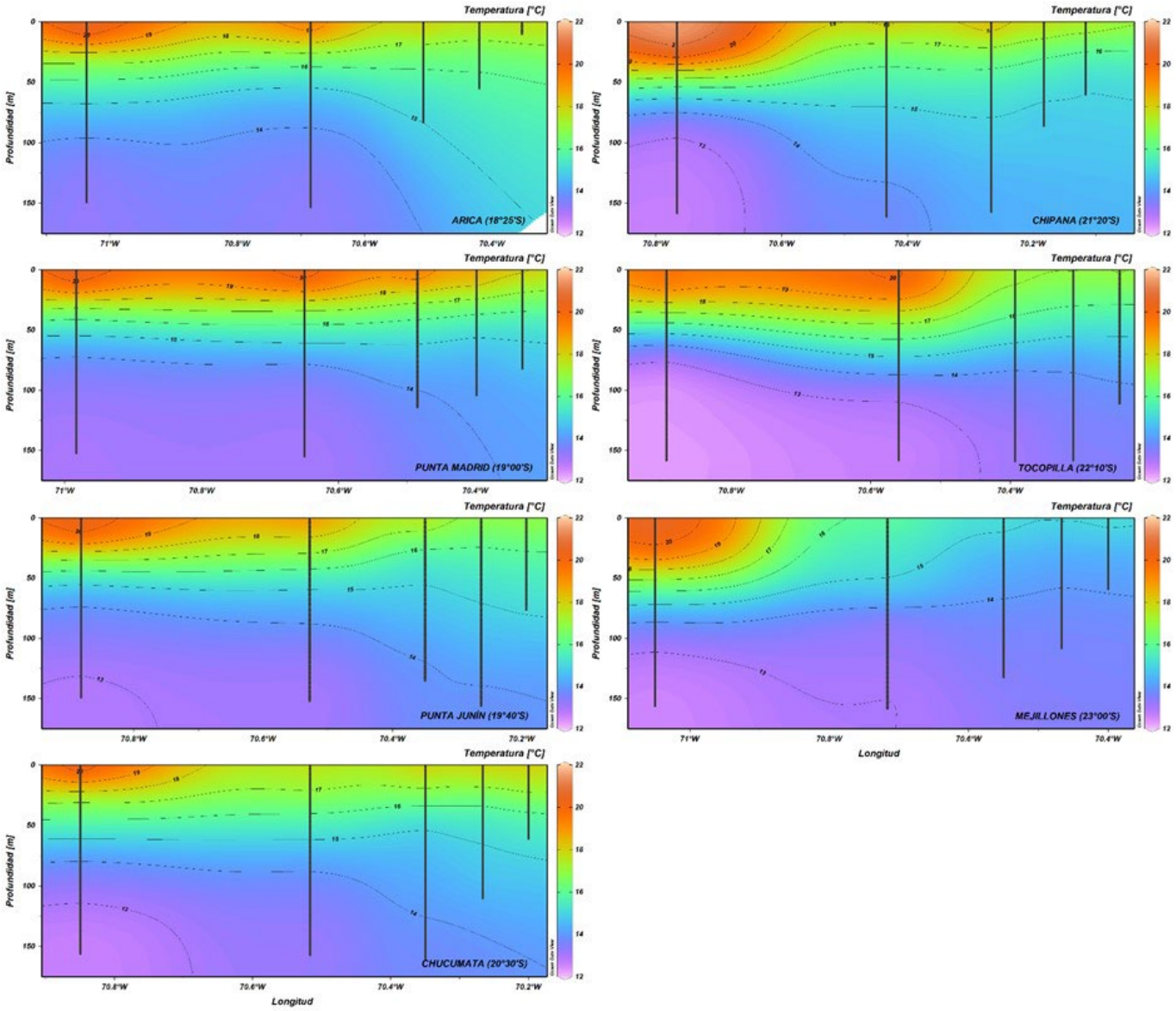


Figura 3. Distribución vertical de la temperatura (°C) entre los días 8 y 12 de mayo de 2023.

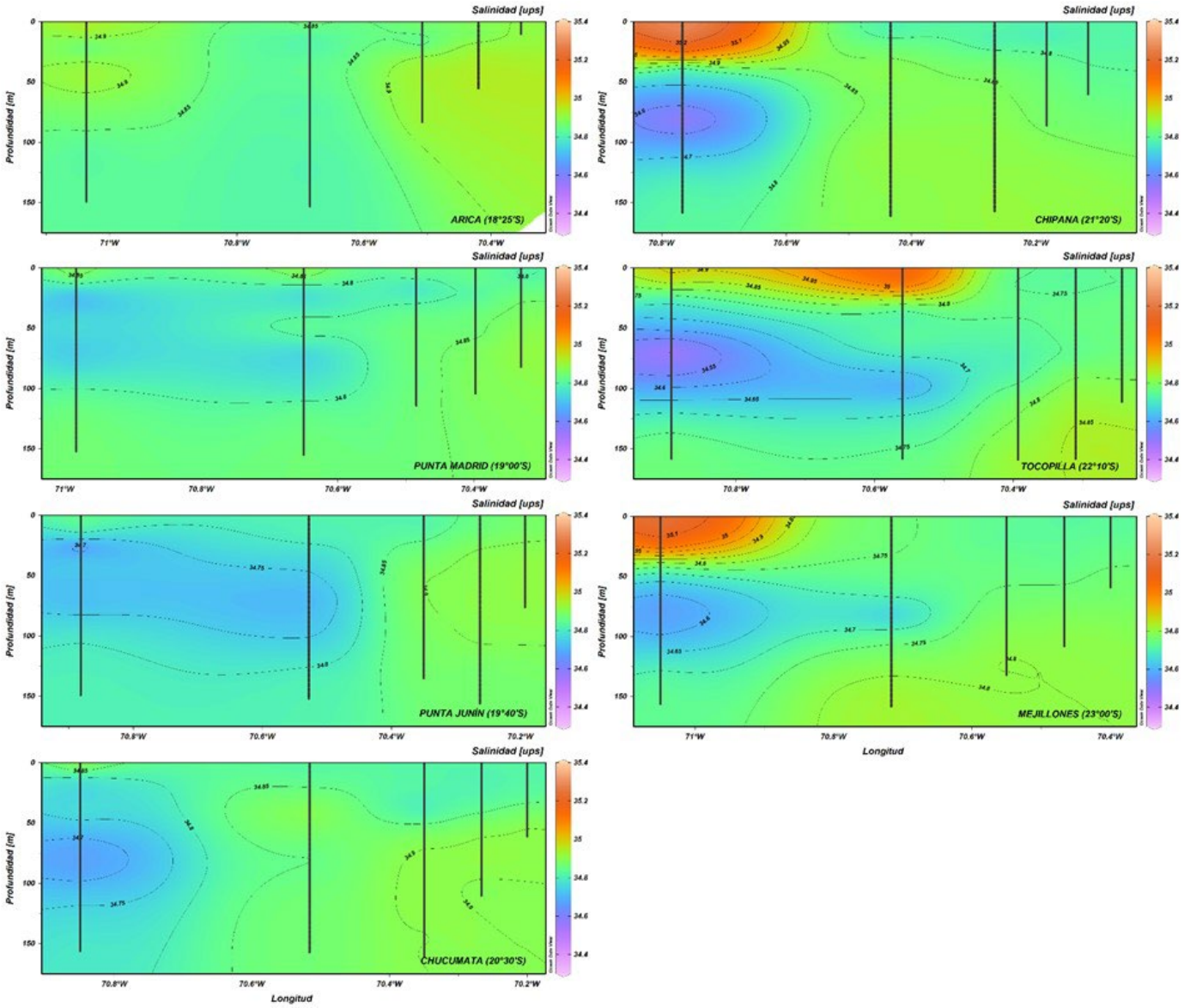


Figura 4. Distribución vertical de la salinidad (ups) entre los días 8 y 12 de mayo de 2023.

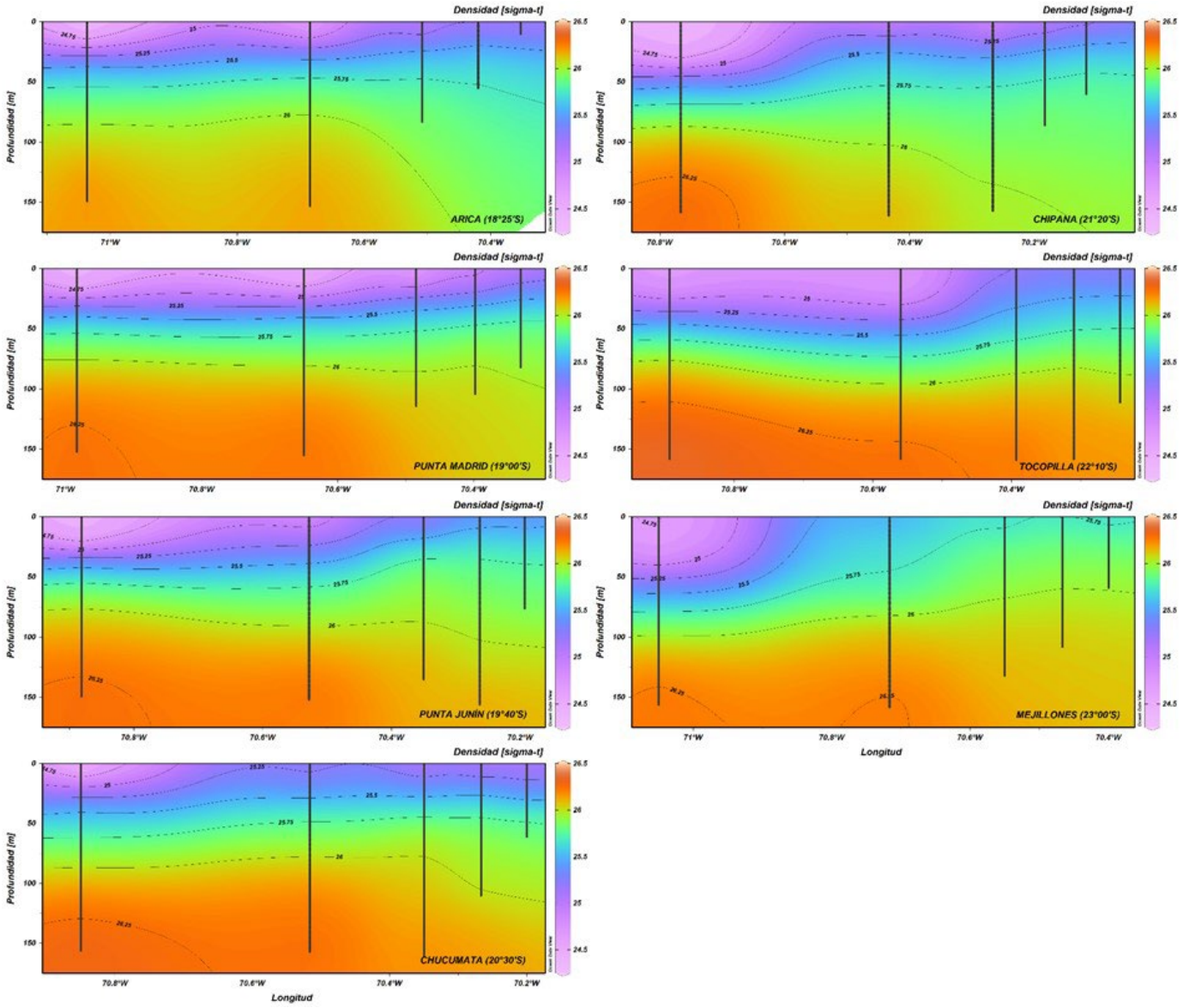


Figura 5. Distribución vertical de la densidad (sigma-t) entre los días 8 y 12 de mayo de 2023.

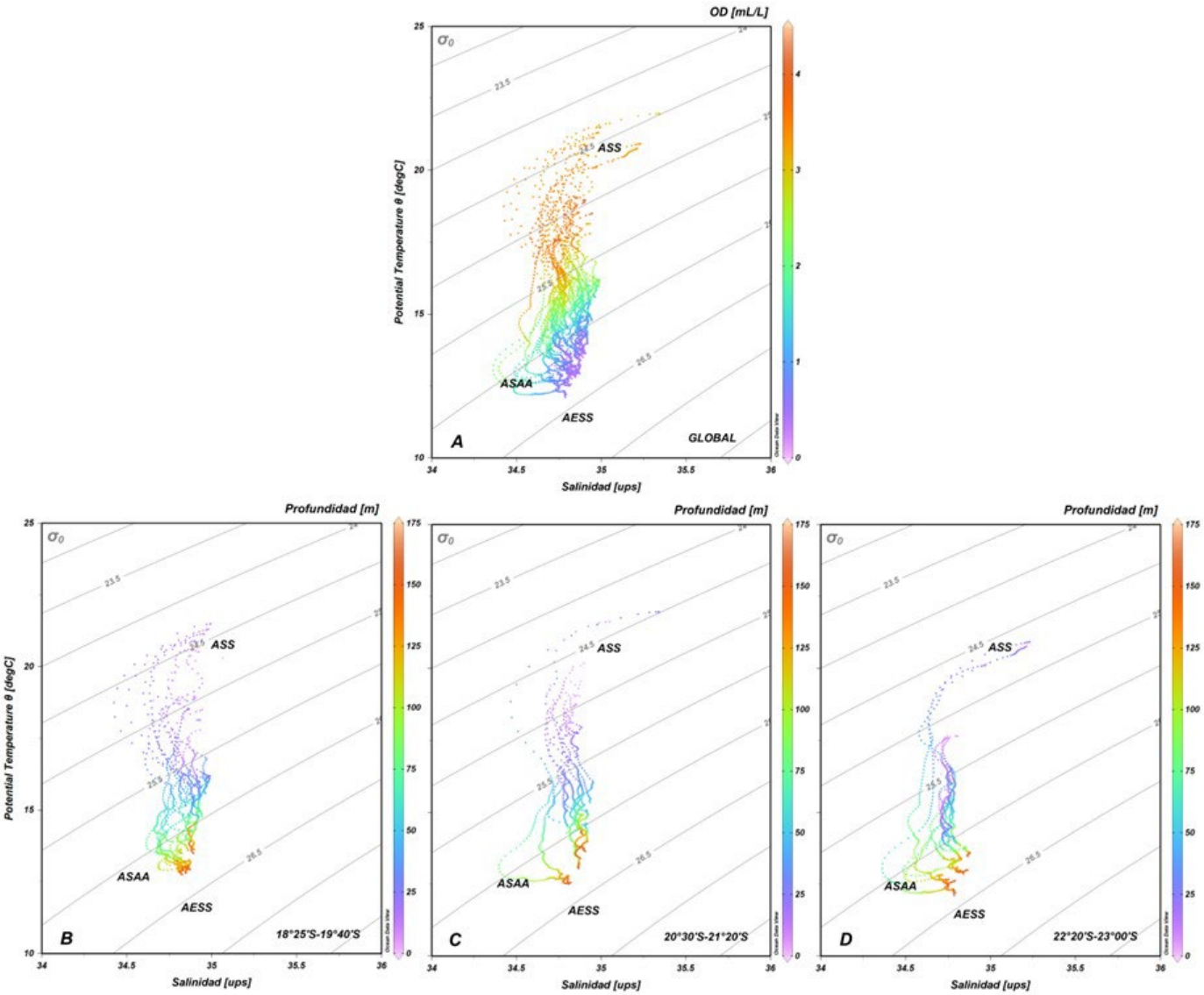


Figura 6. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) A: global, B: sector norte: 18°25’S-19°40’S, C: sector centro: 20°30’S-21°20’S y D: sector sur: 22°10’S-23°00’S, entre los días 8 y 12 de mayo de 2023.

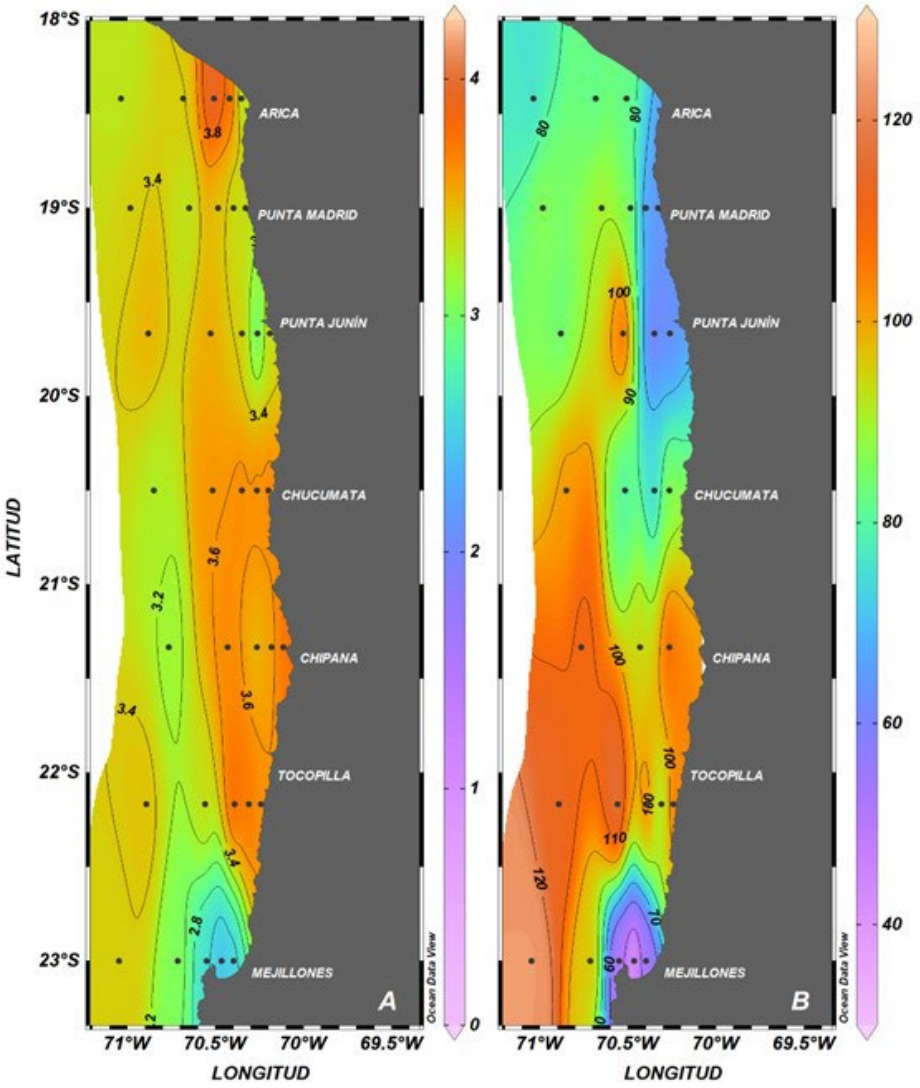


Figura 7. A: distribución superficial del oxígeno disuelto (mL $O_2$/L) y B: profundidad del LS_ZMO (m) entre los días 8 y 12 de mayo de 2023.

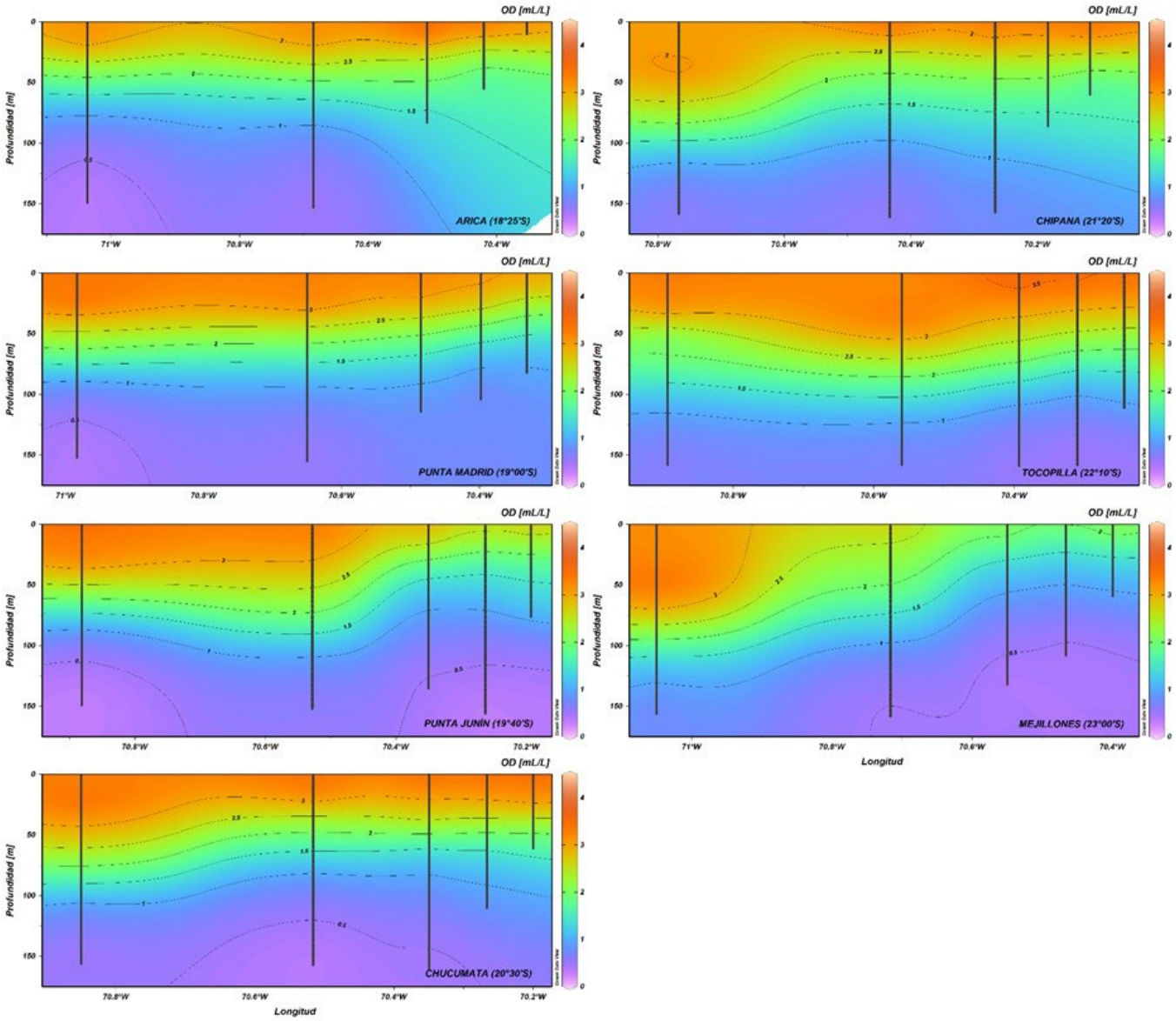


Figura 8. Distribución vertical del oxígeno disuelto (mL $O_2$/L) entre los días 8 y 12 de mayo de 2023.

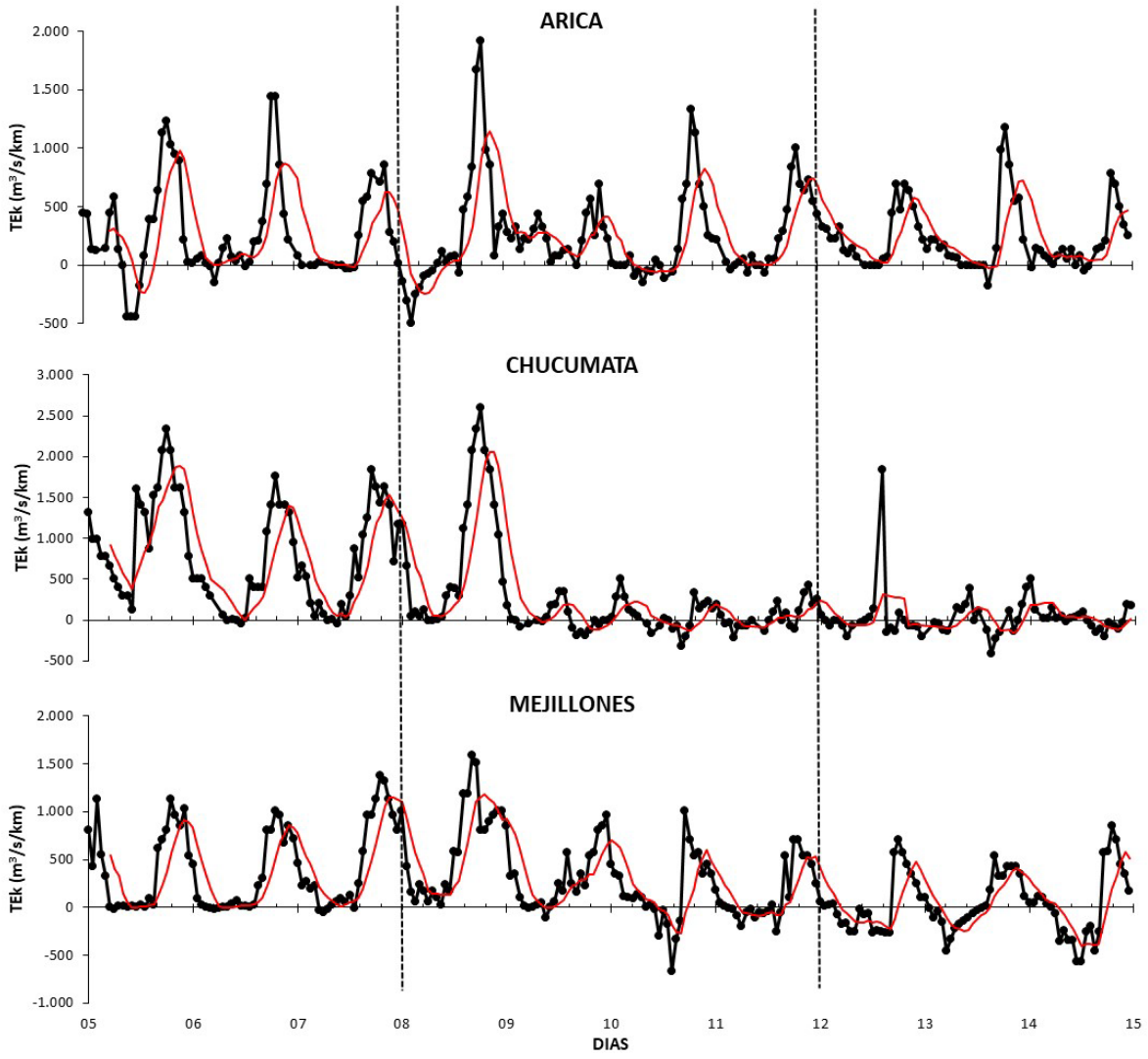


Figura 9. Valores horarios del Transporte de Ekman ($m^3/s/km$) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 5 y 15 de mayo de 2023 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

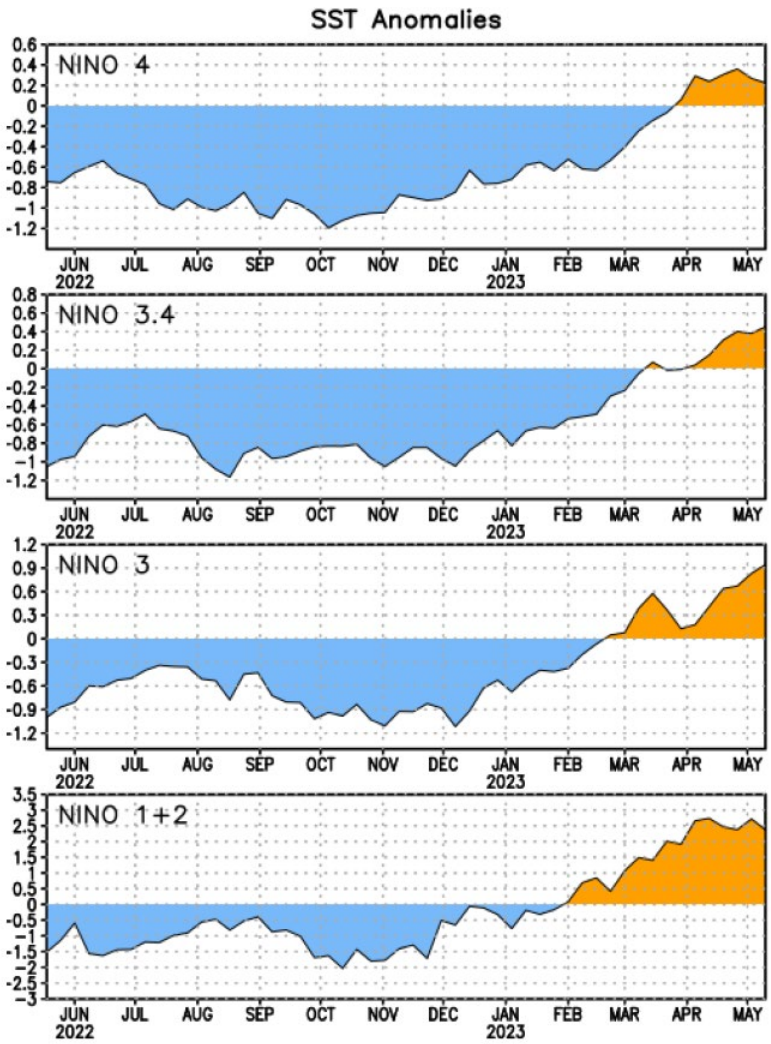


Figura 10. Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (°C) en las regiones El Niño entre junio de 2022 y el 15 de mayo de 2023 (fuente: www.cpc.ncep.noaa.gov).

**LITERATURA CONSULTADA**

Boletín CIIFEN El Niño/La Niña en América Latina abril 2023.

ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Update prepared by: Climate Prediction Center/NCEP 15 May 2023. https://www.cpc.ncep.noaa.gov.