

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN PRIMAVERA 2021, CRUCERO DE EVALUACIÓN HIDROACÚSTICA DE RECURSOS PELÁGICOS 2109-11

OCEANOGRAPHIC CONDITIONS IN SPRING 2021 DURING THE 2109-11 HYDROACOUSTIC ASSESSMENT CRUISE TARGETING PELAGIC RESOURCES

Cristhian Asto¹

<https://doi.org/10.53554/boletin.v38i2.386>

RESUMEN

Asto, C. (2023). *Condiciones oceanográficas en primavera 2021, Crucero de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos 2109-11*. *Bol Inst Mar Perú*, 38(2), 171-194.- Se describen las condiciones del mar peruano durante el desarrollo del Crucero de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos 2109-11. En superficie, las condiciones térmicas fueron ligeramente frías (-0,74 °C), principalmente al sur de Salaverry. En base a los datos registrados de salinidad se determinaron las masas de agua presentes en toda el área muestreada tales como: Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) -por fuera de las 60 mn frente a Talara-, Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS); asimismo las aguas costeras frías (acf) fueron observadas en una franja costera de amplitud variable llegando hasta las 30 mn. Considerando la profundidad de la isoterma de 15 °C y los cálculos geostroficados, se observaron flujos predominantes hacia el norte dentro de las 50 mn. El oxígeno superficial mostró distribución no homogénea en toda el área muestreada; adicionalmente, dentro de las primeras 10 mn se encontraron núcleos de baja concentración de oxígeno, señal típica del afloramiento costero.

PALABRAS CLAVE: Pacífico Ecuatorial Oriental, condiciones oceanográficas físicas, primavera 2021

ABSTRACT

Asto, C. (2023). *Oceanographic conditions in spring 2021 during the 2109-11 hydroacoustic assessment cruise targeting pelagic resources*. *Bol Inst Mar Perú*, 38(2), 171-194.- In this paper, the conditions of the Peruvian waters during the 2109-11 hydroacoustic assessment cruise targeting pelagic resources are described. Surface temperatures were slightly cold (-0.74 °C), particularly south of Salaverry. Salinity data helped identify various water masses in the surveyed area, such as Equatorial Surface Waters (ESW) beyond 60 nm off Talara, Subtropical Surface Waters (SSW), Equatorial Subsurface Waters (ESSW), and intermittent patches of cold coastal waters (ccw) reaching up to 30 nm. Using the 15 °C isotherm depth and geostrophic calculations, prevailing northward currents were observed within 50 nm. Surface oxygen exhibited a non-uniform distribution across the entire sampled area. Additionally, low oxygen concentration cores were found within the first 10 nm, a characteristic sign of coastal upwelling.

KEYWORDS: Eastern Equatorial Pacific, physical oceanographic conditions, spring 2021

1. INTRODUCCIÓN

De agosto a inicios de setiembre, las condiciones térmicas superficiales en la región El Niño 1+2 se presentaron en rango neutro, entre -0,2 °C y +0,2 °C (ENFEN, 2021a). Bajo esas condiciones, del 22 de setiembre al 31 de octubre 2021, se desarrolló el Crucero Hidroacústico de Evaluación de Recursos Pelágicos 2109-11 extendiéndose desde Talara hasta Morro Sama.

El muestreo oceanográfico se realizó en tres embarcaciones que aplicaron trayectos perpendiculares a la costa. El BIC Luis Alberto Flores Portugal abarcó el área de

1. INTRODUCTION

Surface temperature conditions in the El Niño 1+2 region remained in a neutral range, between August and early September, fluctuating marginally between -0.2 °C and +0.2 °C, as reported by ENFEN (2021a). Against this backdrop, the Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11 occurred from September 22 to October 31, 2021, stretching from Talara to Morro Sama.

The oceanographic sampling was meticulously executed by three vessels, each following perpendicular routes along the coast. The R/V Luis Alberto Flores Portugal covered the area from Talara to Morro Sama, encompassing

¹ IMARPE, DGIOCC, AFIOF, Centro de Datos Oceanográficos. casto@imarpe.gob.pe, <https://orcid.org/0000-0002-7737-0240>

Talara a Morro Sama y desde la costa hasta las 40 millas náuticas (mn), mientras que las embarcaciones pesqueras (E/P) TASA 314 e Incamar-I cubrieron las áreas de 40 a 80 mn y de 80 a 120 mn, respectivamente. Durante el desarrollo del crucero se realizaron 8 secciones hidrográficas (Fig. 1).

En el presente informe se describen las condiciones encontradas durante el recorrido integrado establecido para las tres embarcaciones, tanto en superficie como en sub-superficie.

the coastal region up to 40 nautical miles (nm). Additionally, the fishing vessels (F/V) TASA 314 and Incamar-I diligently explored areas ranging from 40 to 80 nm and 80 to 120 nm, respectively. Throughout the duration of the cruise, a comprehensive total of 8 hydrographic sections were conducted (Fig. 1).

This comprehensive report offers a detailed overview of the conditions encountered during the coordinated survey conducted by the three vessels, both at the surface and in the subsurface layers of the ocean.

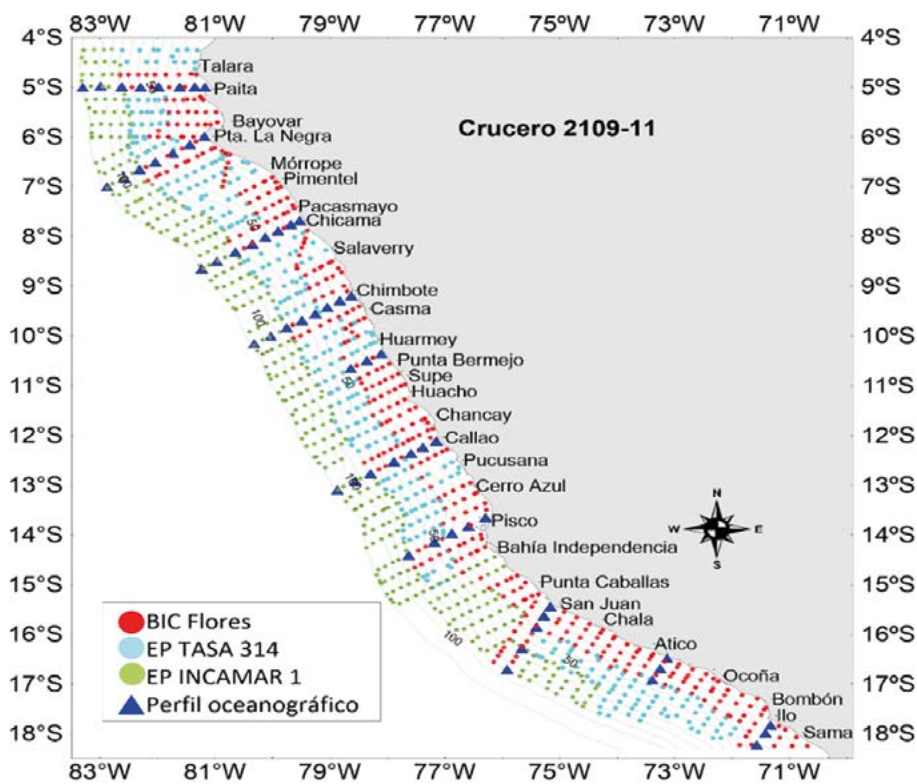


Figura 1.- Carta de distribución de las estaciones oceanográficas

Figure 1. Distribution chart of oceanographic stations

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades oceanográficas comprendieron la ejecución de 8 secciones hidrográficas realizadas en Paita, Punta La Negra, Chicama, Chimbote, Callao, Pisco, San Juan de Marcona e Ilo, hasta 120 mn de la costa, utilizando el CTD *Seabird: SBE19* Plus hasta 500 m de profundidad por cada sección, tomando muestras de agua con

2. MATERIALS AND METHODS

The oceanographic activities involved conducting 8 hydrographic sections in key locations such as Paita, Punta La Negra, Chicama, Chimbote, Callao, Pisco, San Juan de Marcona, and Ilo, extending up to 120 nm offshore. These sections were performed using the advanced *Seabird CTD: SBE19* Plus, which probed depths of 500 m for each

botellas Niskin en profundidades estándar de 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300 y 500 m.

Se realizaron 51 estaciones hidrográficas y 1138 estaciones oceanográficas superficiales (Fig. 1). En cada estación oceanográfica se recolectaron datos y muestras para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de mar; así como también, información meteorológica (estación Vaisala modelo MCC401 instalada en el BIC Flores). Se analizaron 815 muestras de salinidad por el método de inducción con el Portasal Guildline modelo 8410A. Asimismo, se analizaron 400 muestras de oxígeno, 391 muestras de nutrientes y clorofila-*a* en la superficie. El oxígeno disuelto se calculó empleando la metodología de Winkler modificado por CARPENTER (1965). Además, con los datos del CTD, se estimaron las velocidades de las corrientes marinas a través del método geostrófico (POND & PICKARD, 1978), el cual se basa en el balance entre el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis. Estos cálculos no consideran la variación de la corriente superficial generada por el esfuerzo del viento, ni el efecto de convergencia o divergencia en la superficie por efecto de la no-uniformidad espacial del campo de viento. Las anomalías de temperatura y salinidad se calcularon en base a la climatología 1981-2010 (DOMÍNGUEZ, GRADOS, VÁSQUEZ, GUTIÉRREZ & CHAIGNEAU, 2017) mientras que las anomalías de oxígeno fueron en base a la climatología 1981-2010 (Graco², comunicación personal).

Finalmente, se utilizó el método multiparamétrico OMP (*Optimum Multiparameter Analysis*; TOMCZAK, 1981) para calcular el porcentaje de contribución de las masas de agua en un punto de muestreo, en este

section. Water samples were systematically collected at standardized depths of 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, and 500 m using Niskin bottles.

A comprehensive network comprising 51 hydrographic stations and 1138 surface oceanographic stations was established, as illustrated in Figure 1. At each oceanographic station, a wide array of physical, chemical, and biological parameters of seawater were assessed. Meteorological data were obtained through the Vaisala MCC401 station installed on the R/V Flores. This detailed analysis included 815 salinity samples, analysed using the Portasal Guildline model 8410A via the induction method. Additionally, 400 oxygen samples, 391 nutrient samples, and chlorophyll-*a* samples were carefully analysed at the surface. Dissolved oxygen content was estimated using the modified Winkler method according to CARPENTER (1965). Furthermore, using CTD data, current velocities were estimated employing the geostrophic method (POND & PICKARD, 1978), based on the equilibrium between pressure gradients and Coriolis forces. It is important to note that these calculations did not incorporate variations in surface currents arising from wind stress, convergence, or divergence effects due to the non-uniformity of the wind field. Temperature and salinity anomalies were calculated with reference to the 1981-2010 climatology (DOMÍNGUEZ, GRADOS, VÁSQUEZ, GUTIÉRREZ & CHAIGNEAU, 2017) while oxygen anomalies were referenced to the same climatology (Graco², personal communication).

In the final stage of analysis, the Optimum Multiparameter (OMP) Analysis (TOMCZAK, 1981) was employed to calculate the percentage contribution of distinct water

² Graco M., Anculle, T., Chaigneau A., Ledesma J., Flores G., Morón, O., Monetti F., D. Gutiérrez. Variabilidad espacial y temporal del oxígeno disuelto y de la ZMO en el sistema de afloramiento frente a Perú. Boletín Instituto del Mar del Perú, Volumen Especial. En revisión.

caso, los lances de CTD en los perfiles mencionados anteriormente. Este método asume una mezcla lineal simple, además que todas las propiedades de las masas de agua pasan por el mismo proceso de mezcla, es decir, una mezcla turbulenta. La cantidad de parámetros recolectados por el CTD (temperatura, salinidad, oxígeno) determina la cantidad de masas de agua que se pueden comparar simultáneamente; para este estudio, se compararon dos masas de agua a la vez. Los scripts utilizados para el cálculo se pueden obtener del siguiente enlace: <http://omp.geomar.de>. Para caracterizar e identificar las masas de agua se utilizaron las clasificaciones indicadas por GRADOS, CHAIGNEAU, ECHEVIN y DOMÍNGUEZ (2018).

3. RESULTADOS

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Temperatura del aire, presión atmosférica y vientos

En la franja de las 2-120 mn de la costa, la temperatura del aire (TA) varió entre 13,7 y 18,5 °C. Los valores más altos (>17 °C) fueron detectados fuera de las 60 mn entre Punta La Negra-Chicama y cerca de las 30 mn entre Atico e Ilo, mientras que los valores más bajos (<14 °C) se registraron dentro de las 10 mn frente a Chicama-Callao y entre Pisco y San Juan de Marcona. La Presión atmosférica (PA) varió entre 1011,1 y 1019,4 hPa, con promedio de 1015,6 hPa; los valores más altos se encontraron frente a Mórrope y en toda la franja hasta 30 mn al sur de Pisco. La velocidad del viento varió entre 0,5 y 13,8 m s⁻¹, con promedio de 6,5 m s⁻¹ y dirección predominante del SSE. Se observaron vientos fuertes (> 6,8 m s⁻¹) a lo largo de toda la franja costera con núcleos de vientos muy fuertes (>10,4 m s⁻¹) frente a Chicama, y al sur de Pisco hasta Chala. Vientos débiles fueron medidos frente a Ocoña y Morro Sama (Fig. 2).

masses at each sampling point, focusing specifically on the CTD casts within the aforementioned profiles. This method, based on straightforward linear mixing assumptions, facilitated a detailed comparison of water mass properties. Two water masses were compared at a time based on the parameters collected by the CTD, including temperature, salinity, and oxygen levels. The characterization and identification of these water masses adhered to the classifications established by GRADOS, CHAIGNEAU, ECHEVIN, & DOMÍNGUEZ (2018). Detailed calculation scripts can be accessed at the following link: <http://omp.geomar.de>.

3. RESULTS

ATMOSPHERIC CONDITIONS

Air temperature, atmospheric pressure, and winds

The air temperature in the region fluctuated between 13.7 °C and 18.5 °C within 2-120 nautical miles offshore. Higher temperatures (>17 °C) were observed beyond 60 nm, notably between Punta La Negra-Chicama and around 30 nm between Atico and Ilo. Conversely, lower temperatures (<14 °C) were recorded within 10 nm off the coasts of Chicama-Callao and between Pisco and San Juan de Marcona. Atmospheric pressure ranged from 1011.1 to 1019.4 hPa, averaging at 1015.6 hPa. Elevated pressure values were noted off Mórrope and persisted up to 30 nm south of Pisco. Winds varied from 0.5 to 13.8 m s⁻¹, predominantly blowing from the SSE direction. Strong winds (>6.8 m s⁻¹) were observed along the coastal strip, with areas of very strong winds (>10.4 m s⁻¹) off Chicama and south of Pisco extending towards Chala. Weaker winds were measured off Ocoña and Morro Sama (Fig. 2).

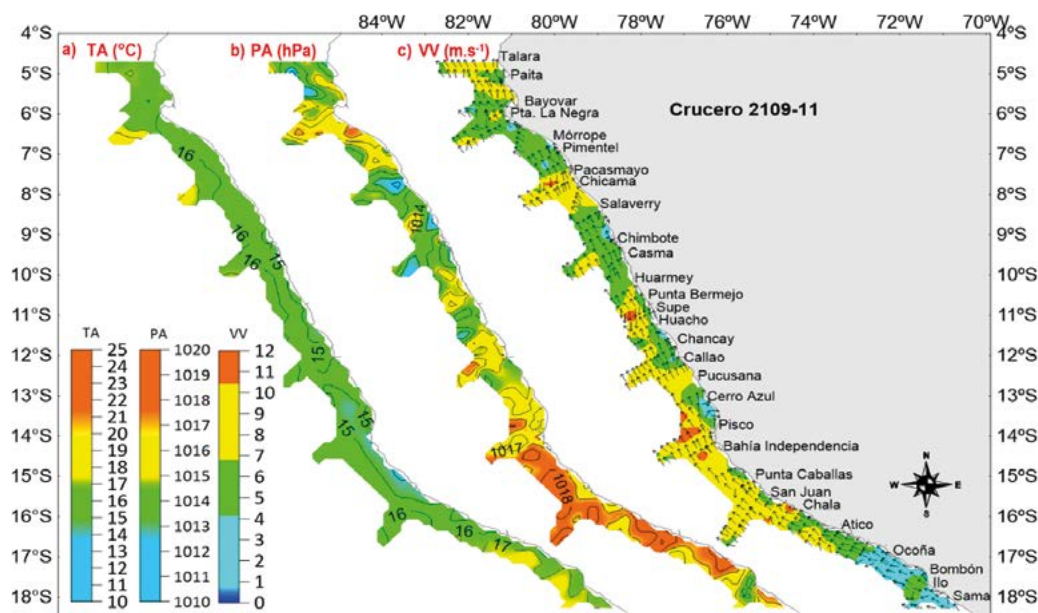


Figura 2.- Distribución espacial de a) temperatura del aire, b) presión atmosférica, c) velocidad y dirección de vientos. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11, BIC Flores

Figure 2. Spatial distribution of a) air temperature, b) atmospheric pressure, c) wind speed and direction. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11, R/V Flores

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS SUPERFICIALES

Temperatura en la superficie del mar (TSM)

La TSM varió entre 12,67 y 19,95 °C con promedio de 16,9 °C. Las TSM predominantes dentro de las 30 mn fueron menores a 16 °C desde Mórrope hasta Callao. Las aguas de 16 °C alcanzaron hasta 90 mn desde Cerro Azul hasta Chala. Valores menores a 14 °C estuvieron confinados dentro de las 20 mn entre Pisco y Chala. La anomalía de TSM (ATSM) promedió fue de -0,74 °C; sin embargo, se encontraron núcleos cálidos entre Mórrope-Chicama hasta +1,0 °C; frente a la bahía de Paracas y Ocoña, se detectaron núcleos cálidos muy costeros con ATSM de +1,1 °C (Fig. 3).

Salinidad en la superficie del mar (SSM)

La salinidad en la superficie del mar (SSM) varió de 33,70 a 35,37. Se observó intrusión de Aguas Tropicales Superficiales (ATS) y Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) provenientes del norte llegando hasta Talara; mientras que, hacia el sur entre Punta La Negra y Callao, las aguas costeras frías (acf) predominaron hasta las 30 mn, llegando a su máxima extensión horizontal entre Pisco y San Juan de Marcona. Las aguas de mezcla entre acf y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) tuvieron distribución homogénea

SURFACE OCEANOGRAPHIC CONDITIONS

Sea surface temperature (SST)

Sea Surface Temperature (SST) ranged from 12.67 °C to 19.95 °C, averaging at 16.9 °C. SST values below 16 °C were observed within 30 nautical miles from Mórrope to Callao. Temperatures of 16 °C extended up to 90 nm from Cerro Azul to Chala. SST values below 14 °C were confined within 20 nm between Pisco and Chala. The Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) averaged -0.74 °C, with warm cores identified between Mórrope and Chicama, reaching up to +1.0 °C. Warm coastal cores with an SSTA of +1.1 °C were detected near Paracas Bay and Ocoña (Fig. 3).

Sea surface salinity (SSS)

Sea surface salinity ranged from 33.70 to 35.37. Intrusions of Surface Tropical Waters (STW) and Equatorial Surface Waters (ESW) from the north extended as far as Talara. South of Punta La Negra and Callao, cold coastal waters (ccw) prevailed up to 30 nm, reaching their maximum horizontal extent between Pisco and San Juan de Marcona. Mixing waters (ccw + Surface Subtropical

desde Punta La Negra hasta Bahía Independencia. Asimismo, las ASS se encontraron por fuera de las 30 mn siendo más notorias frente a Pacasmayo, Callao y Chala. En general, las anomalías halinas (ASSM) fluctuaron entre -1,12 y +0,24 con promedio de -0,01, lo cual evidencia las condiciones neutras en el área muestreada (Fig. 4).

Waters (SSTW)) were uniformly distributed from Punta La Negra to Independencia Bay. SSTW also occurred beyond 30 nm, notably off Pacasmayo, Callao, and Chala. Salinity Anomalies fluctuated between -1.12 and +0.24, averaging at -0.01, indicating neutral conditions in the sampled area (Fig. 4).

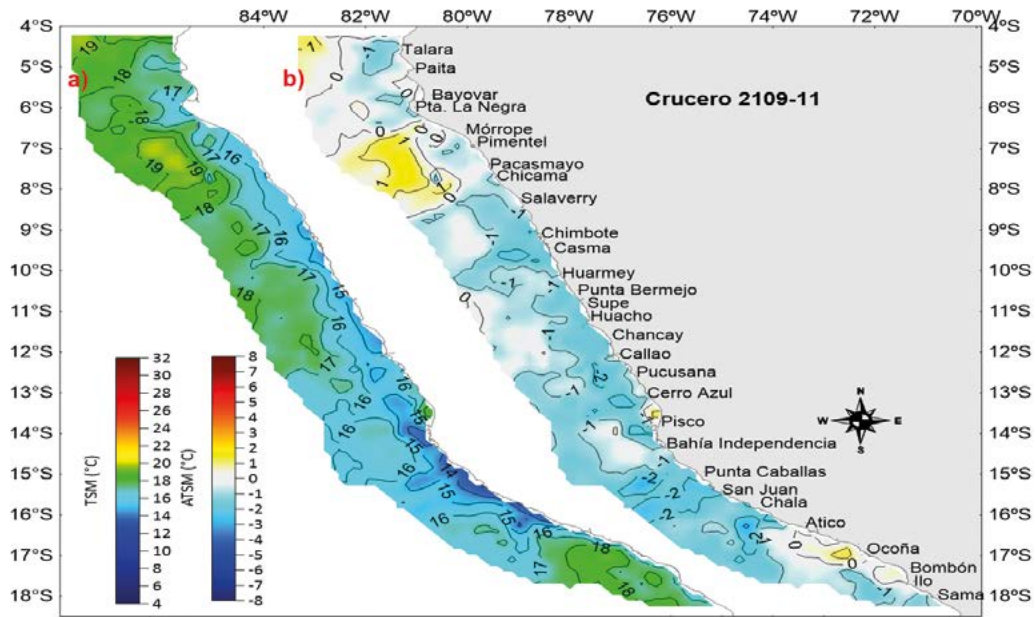


Figura 3.- Distribución espacial de a) Temperatura superficial del mar, b) Anomalías de la temperatura superficial del mar. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores, EP TASA 314 e Incamar-I

Figure 3. Spatial distribution of a) Sea surface temperature, b) Sea surface temperature anomalies. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores, F/V TASA 314, and Incamar-I

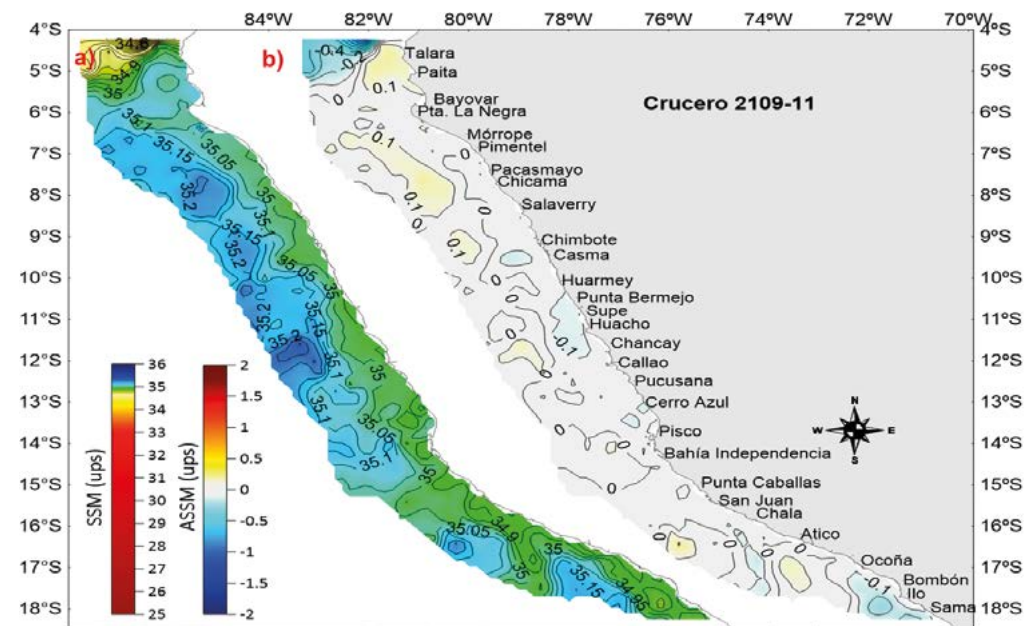


Figura 4.- Distribución espacial de a) Salinidad superficial del mar, b) Anomalías de la Salinidad superficial del mar. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos, Cr. 2109-11. BIC Flores, EP TASA 314 e Incamar-I

Figure 4. Spatial distribution of a) Sea surface salinity, b) Sea surface salinity anomalies. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores, F/V TASA 314, and Incamar-I

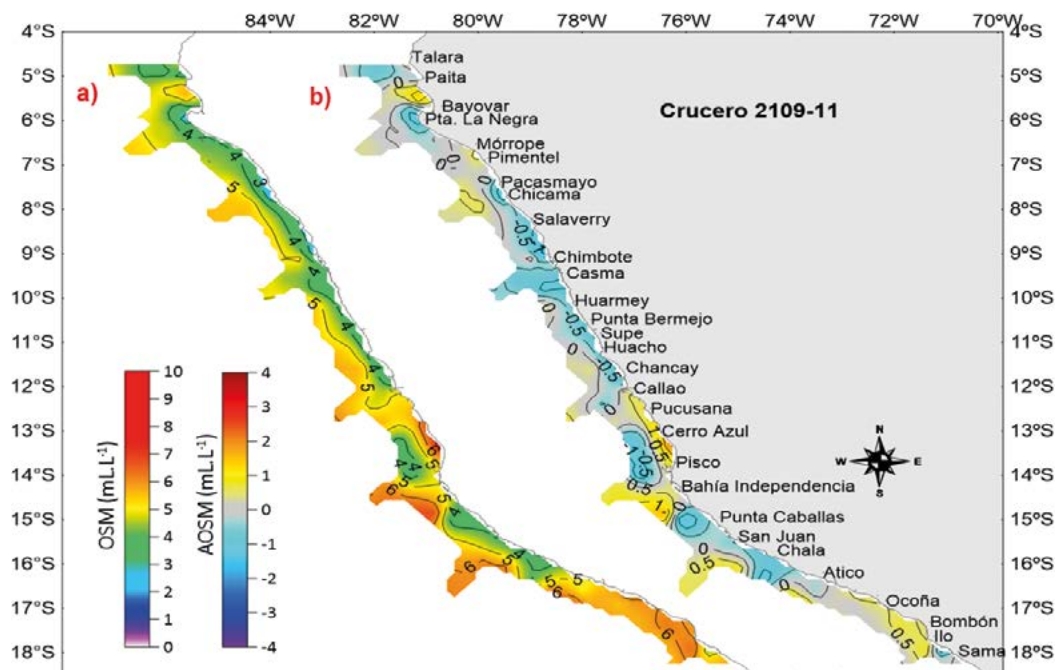


Figura 5.- Distribución espacial de a) Oxígeno disuelto en la superficie del mar, b) Anomalías de oxígeno disuelto en la superficie del mar. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores

Figure 5. Spatial distribution of a) sea surface dissolved oxygen, b) sea surface dissolved oxygen anomalies. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores

Oxígeno disuelto en la superficie del mar (OSM)

El contenido OSM en la superficie del mar presentó valores que variaron de 1,82 a 7,41 mL L⁻¹. Dentro de las 10 mn los valores menores a 4 mL L⁻¹, se ubicaron frente a Punta La Negra, en las zonas desde Chicama hasta Huacho y de Punta Caballas a Chala, asociados a procesos de afloramiento recientes. Asimismo, se observó presencia de aguas oxigenadas, con valores mayores a 5 mL L⁻¹, en la zona de Pisco, fuera de las 60 mn frente a Punta La Negra, Chicama, Callao y San Juan, relacionadas posiblemente a una alta actividad fotosintética. En general, las anomalías de oxígeno fluctuaron entre -1,93 y +2,03 mL L⁻¹, con promedio de -0,06 mL L⁻¹; los valores negativos en la franja adyacente al litoral evidenciaron procesos de afloramiento activos en el área de estudio (Fig. 5).

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS SUB-SUPERFICIALES

Sección Paita (24-25 setiembre 2021)

La sección vertical frente a Paita presentó, encima de 20 m y fuera de 60 mn, temperaturas sobre 18 °C, mayormente en el rango neutral.

Sea surface dissolved oxygen (SSDO)

SSDO content ranged from 1.82 to 7.41 mL L⁻¹. Values lower than mL L⁻¹ were observed within 10 nm, off Punta La Negra, Chicama to Huacho, and from Punta Caballas to Chala, indicating recent upwelling processes. Oxygen-rich waters (values >5 mL L⁻¹) were observed in the Pisco area, beyond 60 nm off Punta La Negra, Chicama, Callao, and San Juan. Oxygen anomalies ranged from -1.93 to +2.03 mL L⁻¹, averaging at -0.06 mL L⁻¹. Negative values in the coastal zone indicated active upwelling processes (Fig. 5).

SUBSURFACE OCEANOGRAPHIC CONDITIONS

Paita Section (September 24-25, 2021)

The vertical section off the coast of Paita, beyond 20 m and extending over 60 nm, exhibited temperatures above 18 °C, primarily within the neutral range. Within 60 nm offshore and at depths greater than 20 m, surface temperatures ranged between 16 and 17 °C, accompanied by anomalies

Dentro de las 60 mn de la costa y por encima de 20 m, las temperaturas en la capa superficial variaron entre 16 y 17 °C, asociadas a anomalías de -1 °C. La isoterma de 15 °C mostró profundización de la zona oceánica a la costera, de 50 a 100 m. En la capa de 30 m superficial, se registraron salinidades de 34,8 por fuera de las 60 mn y de 35,1 dentro de las 40 mn, reflejándose en anomalías halinas negativas por fuera de 60 mn (-0,2) y anomalías positivas dentro de 50 mn (+0,15) (Fig. 6).

El oxígeno disuelto en la capa de 50 m presentó valores mayores a 2 mL L⁻¹, alcanzando 5 mL L⁻¹ por fuera de las 70 mn. La profundidad de la isoxígena de 1 mL L⁻¹ varió entre 100 y 150 m, mientras que el límite superior de la zona de mínima de oxígeno (ZMO, < 0,5 mL L⁻¹) estuvo por debajo de 180 m. Los flujos geostroficó alternaron hacia el norte y hacia el sur dentro de 120 mn. Entre 30 y 60 mn y por fuera de 90 mn (debajo de 30 m de profundidad) se determinaron flujos hacia el norte, alcanzando hasta 20 cm s⁻¹ sobre 50 m. Entre 60 y 90 mn, así como dentro de las 30 mn, se detectaron corrientes hacia el sur con velocidades de hasta 15 cm s⁻¹ en la capa superficial (Fig. 6).

of -1 °C. The 15 °C isotherm indicated a deepening of the oceanic zone towards the coastal region, reaching depths of 50 to 100 m. In the superficial layer at 30 m, salinity measurements recorded 34.8 beyond 60 nm and 35.1 within 40 nm, resulting in negative haline anomalies beyond 60 nm (-0.2) and positive anomalies within 50 nm (+0.15) (Fig. 6).

The dissolved oxygen levels in the 50-meter layer exceeded 2 mL L⁻¹, reaching 5 mL L⁻¹ beyond 70 nm. The depth of the 1 mL L⁻¹ iso-oxygen varied between 100 and 150 m, while the upper limit of the oxygen minimum zone (OMZ, < 0.5 mL L⁻¹) was below 180 m. Geostrophic flows alternated between northward and southward directions within 120 nm. Between 30 and 60 nm, and beyond 90 nm (below 30 m depth), northward flows were observed, reaching speeds of up to 20 cm s⁻¹ at 50 m. Between 60 and 90 nm, as well as within 30 nm, southward currents were detected with speeds of up to 15 cm s⁻¹ in the surface layer (Fig. 6).

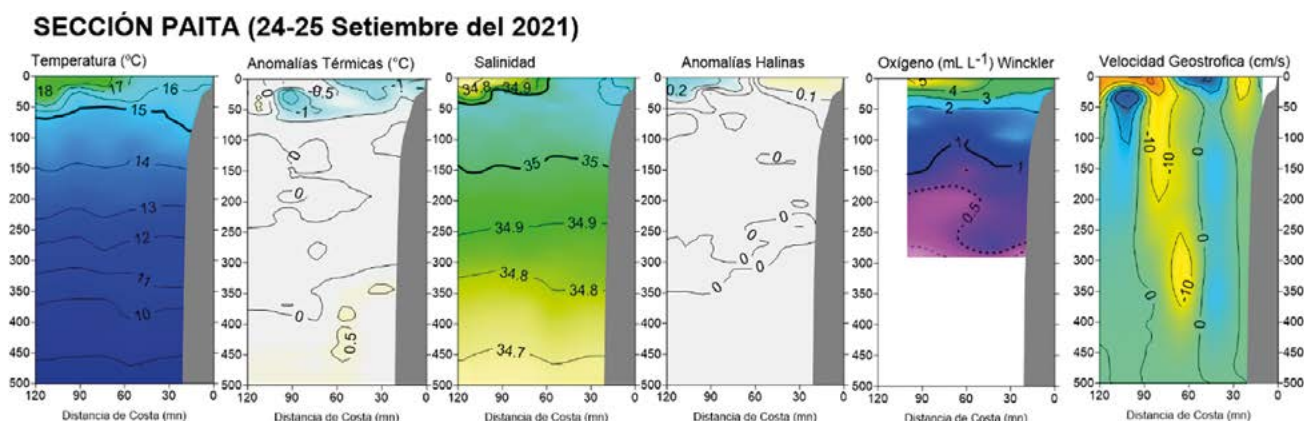


Figura 6.- Distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, en la sección Paita. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores, EP Incamar-I

Figure 6. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the Paita section. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores, and F/V Incamar-I

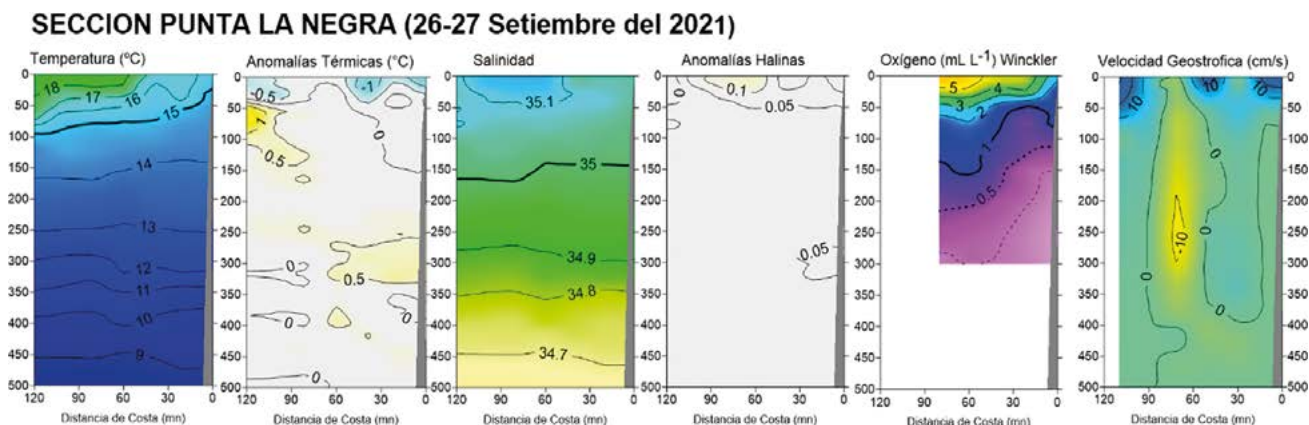


Figura 7.- Distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, en la sección Punta La Negra. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11, BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 7. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the Punta La Negra section. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores, and F/V Incamar-I

Sección Punta La Negra (26-27 setiembre 2021)

La sección vertical frente a Punta La Negra presentó a la isoterma de 15 °C con tendencia ascendente hacia la costa, temperaturas mayores a 18 °C por encima de los 30 m y por fuera de las 50 mn, asociadas a condiciones normales a ligeramente frías; mientras que dentro de las 50 mn las temperaturas fueron menores a 17 °C con anomalías de -1 °C encima de 30 m. La salinidad presentó una celda de 35,1 encima de 60 m y entre las 50 y 100 mn, asociada a anomalías de +0,1, mientras que en el resto de la columna predominaron condiciones normales. En cuanto al oxígeno disuelto, la profundidad de la isoxígena de 1 mL L⁻¹ ascendió hacia la costa desde 150 m hasta 50 m, y el límite superior de la ZMO desde 220 m hasta 120 m. Los flujos geostrofos predominantes indicaron núcleos con corrientes de hasta 20 cm s⁻¹ con dirección hacia el norte por encima de 50 m, así como un flujo dirigido al sur centrado en 250 m de profundidad a 60 mn de la costa (Fig. 7).

Sección Chicama (1 octubre 2021)

La sección frente a Chicama, encima de 50 m, presentó temperaturas entre 18 y 19 °C por fuera de las 60 mn y temperaturas entre 14 y 17 °C dentro de las 50 mn. Se detectó un núcleo de anomalías de +1 °C a 80 mn y a 50 m de profundidad, mientras que dentro de las 30 mn se detectaron anomalías de -1 °C.

Punta La Negra Section (September 26-27, 2021)

The vertical section off Punta La Negra revealed the 15 °C isotherm ascending toward the coast. Temperatures above 18 °C were found beyond 30 m and outside 50 nm, indicating normal to slightly cool conditions. Within 50 nm, temperatures dropped below 17 °C, with anomalies of -1 °C above 30 m. Salinity showed a 35.1 layer above 60 m and between 50 and 100 nm, with anomalies of +0.1. Normal conditions prevailed in the rest of the water column. In terms of dissolved oxygen, the depth of the 1 mL L⁻¹ iso-oxygen rose from 150 m to 50 m toward the coast, and the upper limit of the OMZ decreased from 220 m to 120 m. Predominant geostrophic flows indicated northward currents up to 20 cm s⁻¹ above 50 m and a southward flow centered at 250 m deep, 60 nm offshore (Fig. 7).

Chicama Section (October 1, 2021)

The section off Chicama, beyond 50 m, displayed temperatures ranging from 18 to 19 °C beyond 60 nm, and between 14 and 17 °C within 50 nm. A core of +1 °C anomalies was detected at 80 nm and 50 m deep, while anomalies of -1 °C were found within 30 nm. The 15 °C isotherm

La isoterma de 15 °C mostró tendencia ascendente hacia la costa, desde 80 m a 100 mn hasta superficie a 10 mn de la costa, indicando un proceso de afloramiento activo. Por su parte, las condiciones halinas, mostraron anomalías positivas de +0,1 encima de 50 m y por fuera de 60 mn, debido a salinidades mayores de 35,1, propias de las ASS, mientras que en el resto de la columna predominaron condiciones halinas normales. El oxígeno disuelto exhibió valores mayores a 5 mL L⁻¹ encima de 30 m y por fuera de 30 mn, mientras que cerca de la costa presentó valores muy reducidos debido al afloramiento costero. Es así que, la profundidad de la isoxígena de 1 mL L⁻¹ mostró tendencia ascendente desde 80 mn hacia la costa variando de 70 a 10 m de profundidad. Igualmente, el límite superior de la ZMO ascendió de 140 m a 20 m, en el mismo tramo. Los flujos geostroficados de sur a norte predominaron encima de 50 m, alcanzando velocidades de 10 cm s⁻¹, mientras que fuera de las 60 mn, se presentaron flujos de norte a sur, con un núcleo de 10 cm s⁻¹ entre los 100 y 150 m de profundidad (Fig. 8).

Sección Chimbote (4-5 octubre 2021)

La sección frente a Chimbote, encima de 50 m, presentó condiciones térmicas con anomalía negativa de -1 °C desde la costa hasta 80 mn. La isoterma de 15 °C, mostró tendencia ascendente hacia la costa dentro de las 60 mn, pasando de 80 m de profundidad a la superficie a 10 mn de la costa. La salinidad varió entre 35,0 y 35,1 en la capa superior a 70 m, en promedio. En la mayor parte de la columna de agua las condiciones halinas estuvieron en el rango normal. El oxígeno disuelto exhibió valores mayores a 4 mL L⁻¹ en la capa superficial. La profundidad de la isoxígena de 1 mL L⁻¹ dentro de las 85 mn ascendió de 90 m a 25 m, cerca de la costa. El límite superior de la ZMO ascendió desde 100 m hasta 70 m cerca de la plataforma. Predominaron flujos geostroficados de sur a norte con velocidades de 10 cm s⁻¹ encima de 50 m a lo largo de la sección, aunque fuera de 60 mn, se presentaron flujos de norte a sur entre los 150 y 250 m de profundidad (Fig. 9).

showed an upward pattern toward the coast, from 80 m at 100 nm to the surface within 10 nm offshore, indicating an active upwelling process. Salinity conditions exhibited positive anomalies of +0.1 above 50 m and beyond 60 nm, due to salinities higher than 35.1, typical of SSW. Normal salinity conditions prevailed in the rest of the water column. Dissolved oxygen values exceeded 5 mL L⁻¹ above 30 m and beyond 30 nm, while near the coast, values were significantly reduced due to coastal upwelling. The depth of the 1 mL L⁻¹ iso-oxygen showed an upward pattern from 80 nm toward the coast, ranging from 70 to 10 m in depth. Similarly, the upper limit of the OMZ rose from 140 m to 20 m within the same stretch. Geostrophic flows from south to north dominated above 50 m, reaching speeds of 10 cm s⁻¹, while outside 60 nm, north-to-south flows were observed, with a core of 10 cm s⁻¹ between 100 and 150 m deep (Fig. 8).

Chimbote Section (October 4-5, 2021)

Off the coast of Chimbote, the thermal conditions displayed a negative anomaly of -1°C beyond 50 m, extending up to 80 nm offshore. The 15 °C isotherm displayed an upward pattern toward the coast within 60 nm, rising from 80 m deep to the surface within 10 nm offshore. Salinity levels ranged between 35.0 and 35.1 in the upper layer above 70 m, on average, maintaining a relatively normal range throughout the water column. In the surface layer, dissolved oxygen levels exceeded 4 mL L⁻¹. Within a span of 85 nm, the depth of the 1 mL L⁻¹ iso-oxygen rose from 90 m to 25 m near the coast. The upper limit of the OMZ increased from 100 m to 70 m near the continental shelf. Geostrophic flows primarily followed a south-to-north direction, reaching velocities of 10 cm s⁻¹ above 50 m along the section. Beyond 60 nm, north-to-south flows were observed between depths of 150 m and 250 m (Fig. 9).

SECCIÓN CHICAMA (01 Octubre del 2021)

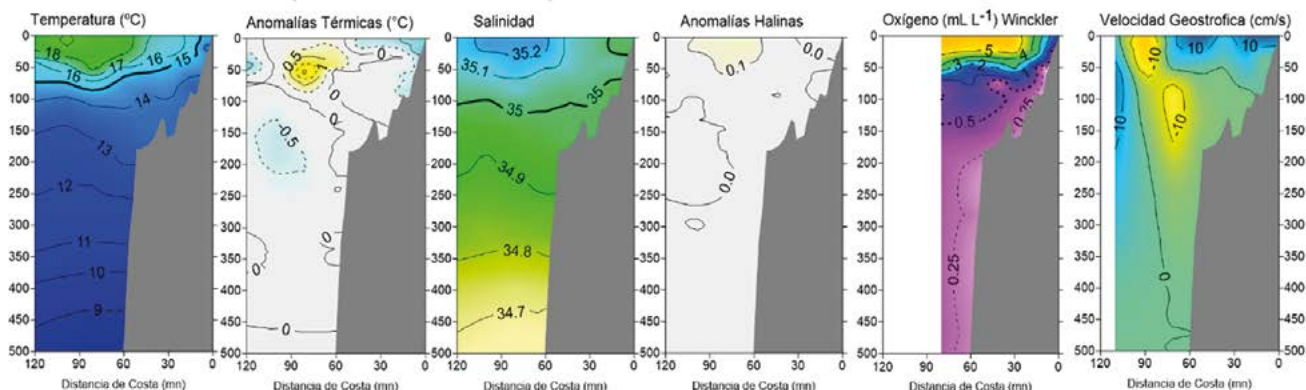


Figura 8.- Distribución vertical de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, en la sección Chicama. Cruceo de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 8. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the Chicama section. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores, and F/V Incamar-I

SECCIÓN CHIMBOTE (04-05 Octubre del 2021)

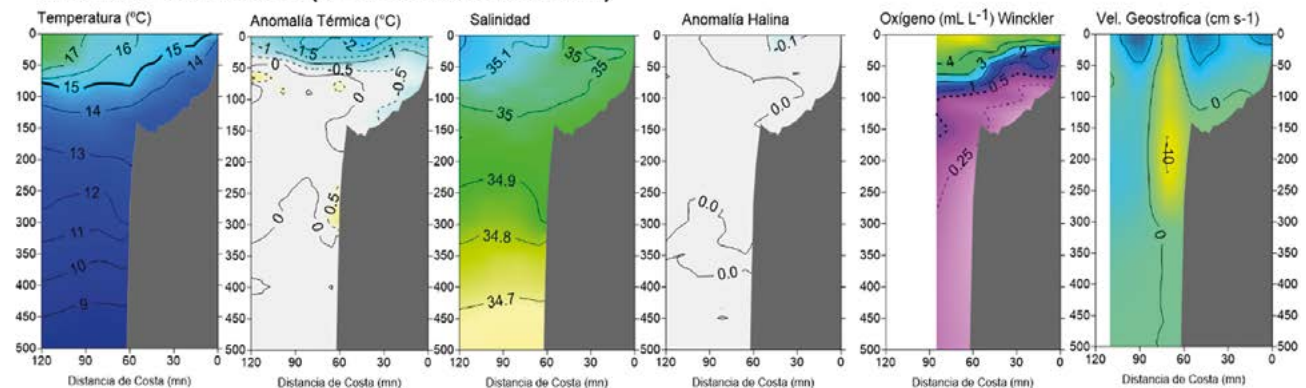


Figura 9.- Distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, en la sección Chimbote. Cruceo de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11, BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 9. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the Chimbote section. Pelagic Resources Assessment Cruise Cr. 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

Sección Callao (12-13 octubre 2021)

La sección frente a Callao, sobre 50 m, presentó temperaturas entre 14 y 16 °C en promedio, con predominio de anomalías negativas que alcanzaron hasta -2 °C dentro de las 40 mn. La isoterma de 15 °C mostró tendencia ascendente hacia la costa dentro de las 120 mn, desde 75 m en la zona oceánica hasta aflorar en superficie a 10 mn de la costa. Además, por debajo de 50 m y hasta 450 m de profundidad se registraron núcleos con anomalías térmicas negativas junto al talud continental. Las condiciones halinas mostraron condiciones neutras en toda la columna, con salinidades de 35,0 en la capa superficial de la franja costera; y mayores de

Callao Section (October 12-13, 2021)

Off the coast of Callao, beyond 50 m, the section exhibited average temperatures ranging from 14 to 16 °C, marked by notable negative anomalies plunging as low as -2 °C within 40 nm. The 15 °C isotherm displayed an upward pattern toward the coast within 120 nm, emerging from 75 m in the open sea to the surface within 10 nm offshore. Furthermore, at depths below 50 m and extending down to 450 m, distinct cores with negative thermal anomalies were identified along the continental slope. Salinity conditions remained neutral across the water column, measuring at 35.0 in the surface

35,05 por fuera de las 60 mn y hasta 50 m de profundidad. La isoxígena de 1 mL L⁻¹ mostró tendencia ascendente hacia la costa dentro de 80 mn, pasando de 100 a 50 m, así como el límite superior de la ZMO, que ascendió desde 115 m hasta 50 m, cerca de la costa. Estas características estuvieron relacionadas al predominio de flujos geostroficados de sur a norte, particularmente encima de los 25 m, alcanzando velocidades de 10 cm s⁻¹ (Fig. 10).

Sección Pisco (15-19 octubre 2021)

La sección frente a Pisco presentó temperaturas promedio entre 14 y 16 °C sobre 50 m de profundidad. Entre 20 y 30 mn y sobre 50 m, se determinaron anomalías negativas de hasta -2,6 °C, en tanto que, por debajo de 50 m hasta 400 m, se detectaron anomalías de hasta -0,5 °C. La isoterma de 15 °C mostró tendencia ascendente hacia la costa indicando proceso de afloramiento activo. La salinidad mostró condiciones neutras en toda la columna; se registraron valores de 35,0, propios de acf, sobre 100 m desde la franja costera hasta 30 mn; mientras que, por fuera de 40 mn en la misma capa, se registraron salinidades mayores de 35,05. El oxígeno disuelto presentó valores mayores a 2 mL L⁻¹ encima de 50 m y dentro de 20 mn, mientras que por fuera de 30 mn se registraron valores superiores a 5 mL L⁻¹. Dentro de 40 mn, la oxiclina ascendió hacia la costa desde 100 m a 20 m de profundidad. El

layer along the coastal zone and above 35.05 beyond 60 nm and down to 50 m. The 1 mL L⁻¹ iso-oxygen showed an upward pattern toward the coast within 80 nm, decreasing from 100 to 50 m. The upper limit of the OMZ rose from 115 m to 50 m near the coast. These features were influenced by prevailing geostrophic flows from south to north, particularly above 25 m, reaching velocities of 10 cm s⁻¹ (Fig. 10).

Pisco Section (October 15-19, 2021)

Off the coast of Pisco, temperatures in the upper 50 m of the water column ranged from 14 to 16 °C. Within a range of 20 to 30 nm and at a depth of 50 m, negative anomalies as low as -2.6 °C were observed. Below 50 m and down to 400 m, anomalies of up to -0.5 °C were detected. The 15 °C isotherm displayed an upward pattern toward the coast, indicating an active upwelling process in the region. Salinity remained stable across the water column, with values of 35.0, characteristic of ccw, observed from the coastal area up to 30 nm at a depth of 100 m. Beyond 40 nm in the same layer, salinities exceeding 35.05 were recorded. Dissolved oxygen levels were consistently above 2 mL L⁻¹ beyond 50 m and within 20 nm. Beyond 30 nm, oxygen values surpassed 5 mL L⁻¹. Within 40 nm, the oxycline ascended toward

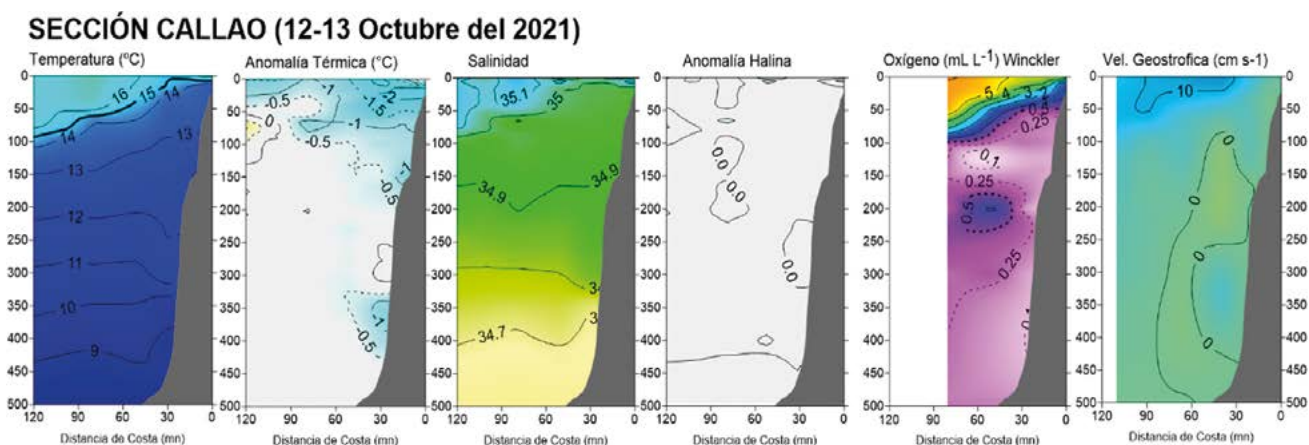


Figura 10.- Distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, en la sección Callao. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11, BIC Flores y EP Incamar-I
 Figure 10. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the Callao section. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

límite superior de la ZMO se presentó a 150 m de profundidad a lo largo de la sección de 80 mn. Los flujos geostroficados tuvieron una dirección de sur a norte con velocidades de hasta 20 cm s^{-1} por encima de 50 m y en un núcleo ubicado a 40 mn de la costa (Fig. 11).

Sección San Juan de Marcona (22-23 octubre 2021)

En esta sección, se encontraron temperaturas entre 13 y $16 \text{ }^\circ\text{C}$ en los primeros 50 m de la columna de agua, correspondientes a anomalías promedio entre $-0,5$ y $-1,5 \text{ }^\circ\text{C}$, las más extremas dentro de las 30 mn. La profundidad de la isoterma de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ pasó de 100 m a aflorar en superficie entre 50 y 20 mn de distancia a la costa. Los valores de salinidad fueron propios de las aguas del afloramiento (acf) costero, observándose predominio de condiciones halinas neutras en toda la sección. La concentración promedio de oxígeno disuelto en superficie varió de 6 mL L^{-1} en la zona oceánica a 2 mL L^{-1} cerca de la costa. La isoxígena de 1 mL L^{-1} ascendió de 150 m a 30 m entre 50 mn y cerca del litoral. El límite superior de la ZMO, se ubicó muy cerca de la isoxígena de 1 mL L^{-1} , manteniendo un comportamiento similar a esta, aunque cerca de las 5 mn se mantuvo próxima a los 50 m. Los flujos geostroficados indicaron la presencia de corrientes en dirección sur a norte con velocidad de hasta 20 cm s^{-1} en la capa de 50 m a 50 mn de la costa (Fig. 12).

the coast from 100 m to 20 m in depth. The upper limit of the Oxygen Minimum Zone (OMZ) occurred at a depth of 150 m along the 80 nm section. Geostrophic flows primarily followed a south-to-north direction, reaching velocities of up to 20 cm s^{-1} above 50 m, with a core located 40 nm offshore (Fig. 11).

San Juan de Marcona Section (October 22-23, 2021)

In this area, temperatures ranging from 13 to $16 \text{ }^\circ\text{C}$ were recorded in the upper 50 m of the water column, reflecting average anomalies between -0.5 and $-1.5 \text{ }^\circ\text{C}$, with the most significant ones being observed within 30 nm. The depth of the $15 \text{ }^\circ\text{C}$ isotherm transitioned from 100 m to the surface between 50 and 20 nm offshore. Salinity values were characteristic of coastal upwelling waters (ccw), maintaining predominantly neutral haline conditions throughout the section. At the surface, the average dissolved oxygen concentration varied from 6 mL L^{-1} in the oceanic zone to 2 mL L^{-1} near the coast. The 1 mL L^{-1} iso-oxygen layer ascended from 150 m to 30 m between 50 nm and the coastline. The upper limit of the OMZ closely followed the 1 mL L^{-1} iso-oxygen maintaining a consistent pattern. However, near 5 nm, it remained at approximately 50 m. Geostrophic flows indicated south-to-north currents with velocities of up to 20 cm s^{-1} in the 50-meter layer, 50 nm offshore (Fig. 12).

SECCIÓN PISCO (15-19 Octubre del 2021)

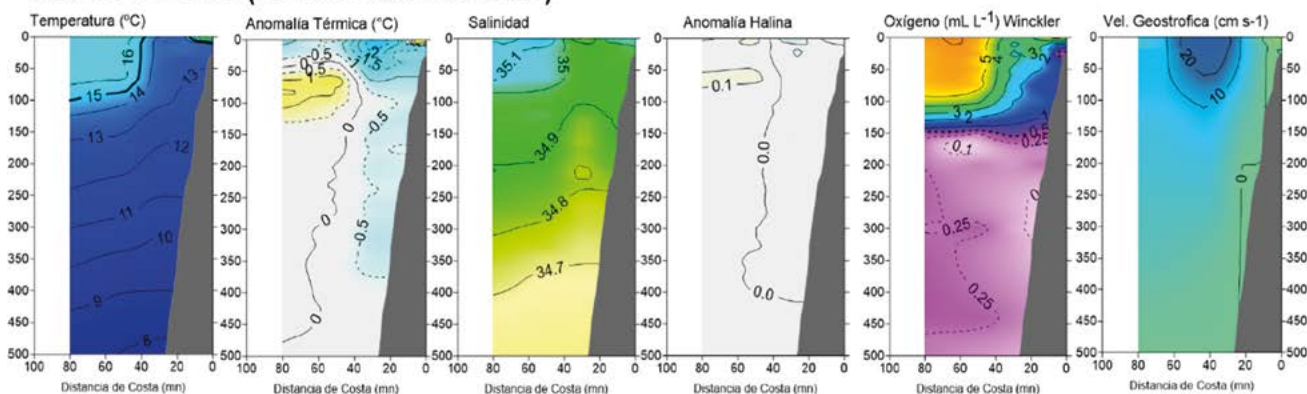


Figura 11.- Distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, en la sección Pisco. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11, BIC Flores

Figure 11. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the Pisco section. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11, R/V Flores

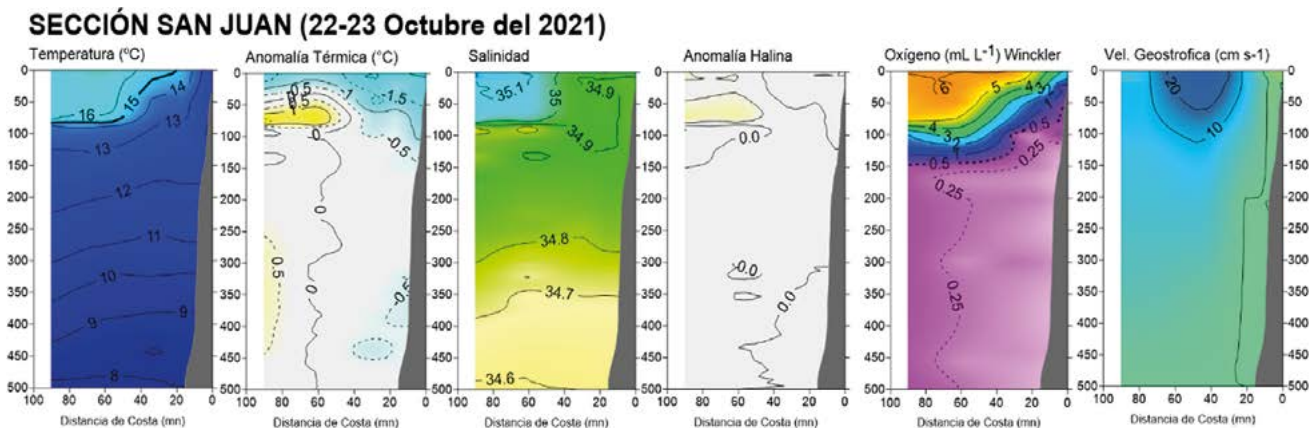


Figura 12.- Distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, sección San Juan de Marcona. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores

Figure 12. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the San Juan de Marcona section. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores

Sección Ilo (30 octubre 2021)

En esta sección la temperatura varió entre 13 y 17 °C sobre los primeros 50 m de la columna de agua, correspondientes a anomalías negativas entre -2 y -3 °C, las más extremas por fuera de las 15 mn. La profundidad de la isoterma de 15 °C mostró ligera elevación cerca de la costa, pasando de 25 m a 30 mn hasta 10 m en 5 mn. La salinidad mostró predominancia de las acf hasta los 200 m con anomalías de hasta -0,1 en los primeros 50 m. El oxígeno disuelto en superficie mostró estratificación muy marcada, variando desde 6 mL L⁻¹ hasta 1 mL L⁻¹ en los primeros 25 m de profundidad. La isoxígena de 0,1 mL L⁻¹ tuvo distribución horizontal cerca de 25 m; mientras que, el límite superior de la ZMO se ubicó muy cerca de ésta y mantuvo un comportamiento similar. Los flujos geostrofos indicaron una corriente muy somera en dirección de sur hacia el norte (Fig. 13).

Corrientes marinas (cm s⁻¹) – Balance Geostrofico

En base a los cálculos del balance geostrofico se evidenciaron flujos costeros y oceánicos hasta profundidades de 300 m en promedio. Los flujos hacia el sur (Fig. 14) se presentaron frente a Paita, Punta La Negra, Chicama y Chimbote por fuera de las 60 mn hasta 300 metros de profundidad vinculados a la Corriente Subsupsficial Perú-Chile (CSPCh) que exhibió valo-

Ilo Section (October 30, 2021)

In this region, temperatures ranged from 13 to 17 °C in the upper 50 m of the water column, indicating negative anomalies between -2 and -3 °C, with the most significant variations observed beyond 15 nm. The depth of the 15 °C isotherm showed a slight increase near the coast, transitioning from 25 m at 30 nm to 10 m within 5 nm. Salinity patterns revealed the prevalence of ccw down to 200 m, with anomalies as low as -0.1 in the top 50 m. Dissolved oxygen exhibited noticeable stratification at the surface, ranging from 6 mL L⁻¹ to 1 mL L⁻¹ in the upper 25 m. The 0.1 mL L⁻¹ iso-oxygen layer maintained a horizontal distribution near 25 m, while the upper limit of the Oxygen Minimum Zone (OMZ) closely followed this iso-oxygen layer, displaying similar behavior. Geostrophic flows indicated a very shallow current flowing from south to north in this area (Fig. 13).

Marine currents (cm s⁻¹) – Geostrophic Balance

Geostrophic balance calculations unveiled coastal and oceanic currents extending to depths of approximately 300 m. Southward flows (Fig. 14) were observed off Paita, Punta La Negra, Chicama, and Chimbote, ranging from 60 nm up to 300 meters deep. These currents were associated with the Peru-Chile Undercurrent (PCUC), reaching velocities of

SECCIÓN ILO (30 Octubre del 2021)

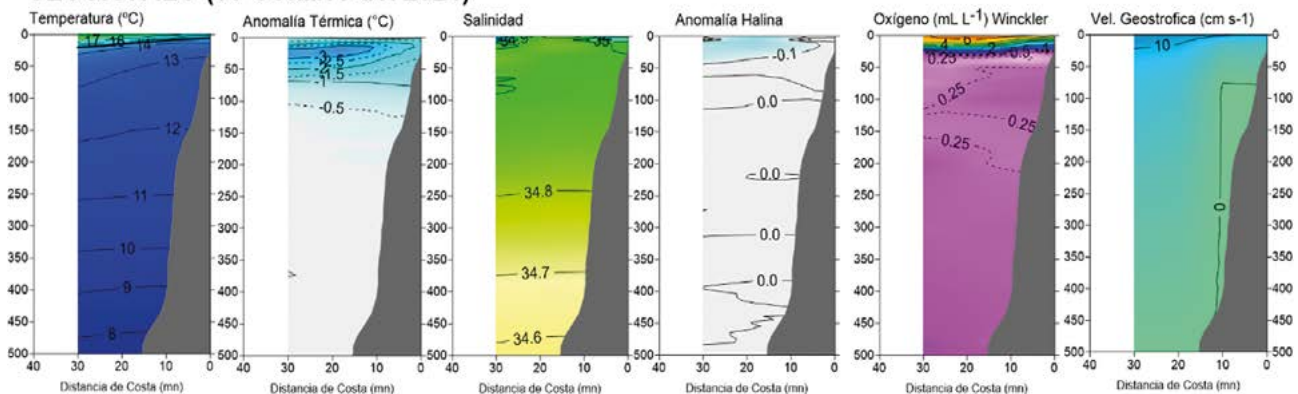


Figura 13.- Distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y velocidad geostrofica, sección San Juan de Marcona. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores

Figure 13. Vertical distribution of temperature, salinity, dissolved oxygen, and geostrophic velocity in the Ilo section. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores

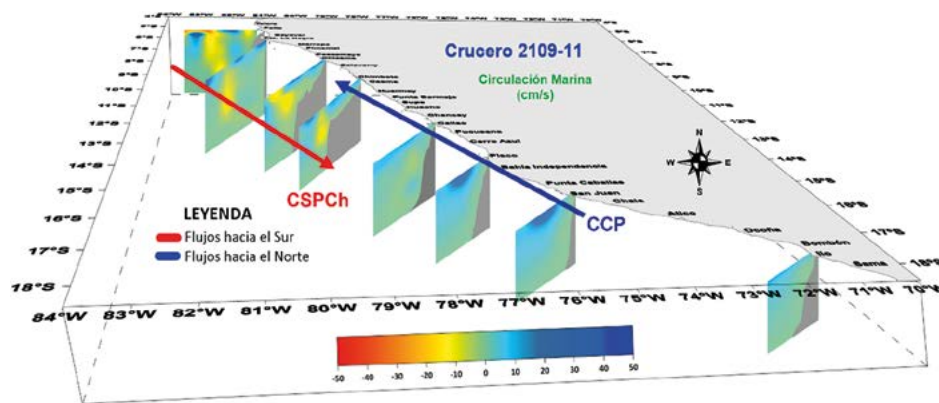


Figura 14.- Corrientes Marinas (cm/s) en base al balance geostrofico (método indirecto). Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 14. Marine currents (cm/s) based on geostrophic balance (indirect method). Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

res de hasta 20 cm s^{-1} . Los flujos con dirección hacia el norte (Fig. 14) asociados a la Corriente Costera Peruana (CCP) se hallaron dentro de las primeras 60 mn, con sus núcleos máximos sobre 50 m de profundidad y mostrando velocidades mayores en San Juan de Marcona y Pisco, debilitándose y tornándose más superficiales en su trayecto hacia el norte.

Identificación de masas de agua por el método OMP

El método OMP (Tomczak, 1981) permitió identificar presencia de las principales masas de agua frente a la costa peruana (Grados, Chaigneau, Echevin & Domínguez, 2018) en base a los lances de CTD realizados en las secciones oceanográficas.

up to 20 cm s^{-1} . Conversely, northward flows (Fig. 14) linked to the Peru Coastal Current (PCC) were identified within the initial 60 nm, with peak velocities occurring at depths exceeding 50 m. Notably, these currents exhibited higher velocities near San Juan de Marcona and Pisco, gradually diminishing and shallowing as they moved northward.

Identification of water masses by the OMP method

Using the OMP method (Tomczak, 1981), extensive water masses along the Peruvian coast were identified (Grados, Chaigneau, Echevin & Domínguez, 2018) based on CTD casts conducted in oceanographic sections.

Frente a Paita (Fig. 15), se observa por fuera de 90 mn y sobre 30 m la contribución tanto de AESS (~40 %) como de ASS (~60 %), esta última se incrementó hasta ser máxima (~80 %) cerca de la costa. Entre 100 y 200 m se pudo hallar presencia casi similar entre las ASS y las AESS (~50 %) lo que indicaría un proceso de mezcla que contribuye a la formación de las acf. Finalmente, por debajo de los 100 m, las isolíneas de contribución porcentual tuvieron distribución horizontal a lo largo del perfil y muestran la disminución de las ASS con la profundidad y el incremento de las AESS, que alcanzaron su máximo valor a 400 m (~80 %).

Off Paita (Fig. 15), beyond 90 nm and at 30 m deep, both ESSW (~40 %) and SSW (~60 %) contributions were noted. The SSW contribution peaked (~80 %) near the coast. Between 100 and 200 m, an almost equal presence of SSW and ESSW (~50 %) indicated a mixing process contributing to the ccw formation. Below 100 m, the percentage contribution isolines displayed a horizontal distribution, signifying decreasing SSW with depth and increasing ESSW, peaking at 400 meters (~80 %).

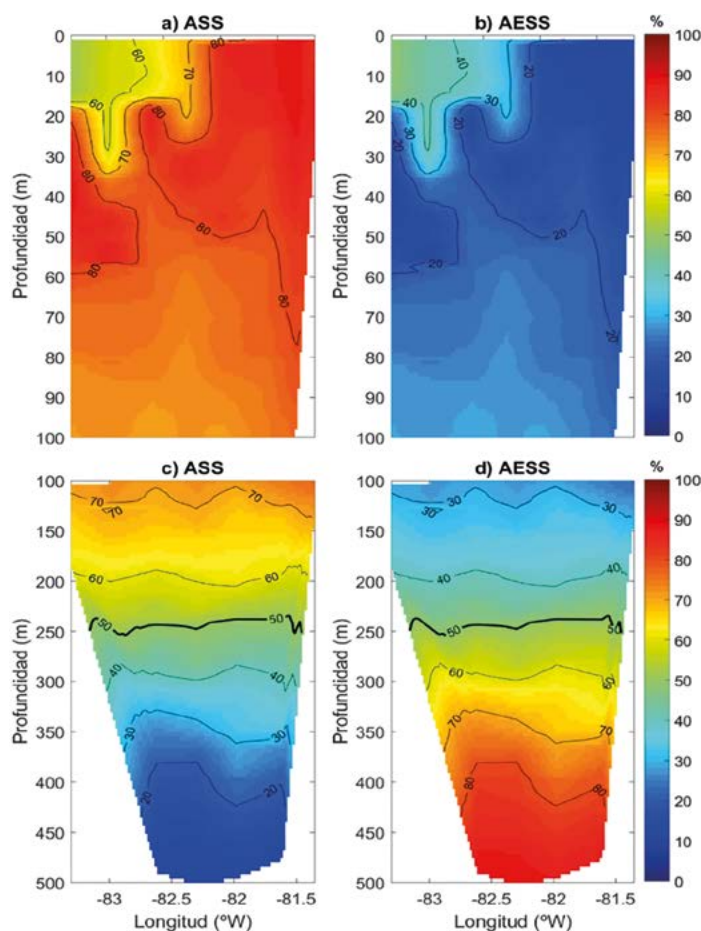


Figura 15.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a Paita. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 15. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off Paita. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

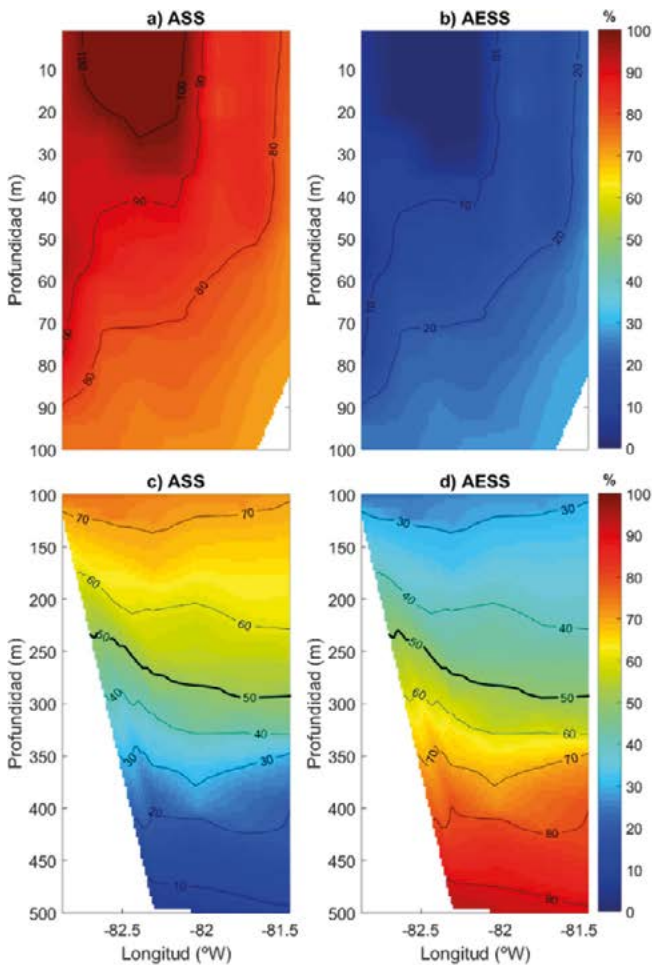


Figura 16.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a Punta La Negra. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 16. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off Punta La Negra. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

El perfil correspondiente a Punta La Negra (Fig. 16), sobre 100 m, indicó presencia de ASS en su totalidad frente a las AESS cuyo aporte fue mínimo. Entre 200 y 300 m se observó una contribución similar entre las ASS y las AESS (~ 50 %) lo que indica la formación de las acf. Además, las isolíneas de contribución porcentual tuvieron distribución casi horizontal a lo largo del perfil, siendo notoria la presencia de las ASS hasta los 250 m y cuyo aporte disminuyó progresivamente hasta 500 m en donde alcanzó valores mínimos. Por el contrario, las AESS indican mayor presencia asociada al aumento de la profundidad llegando a su máximo valor por debajo de los 350 m.

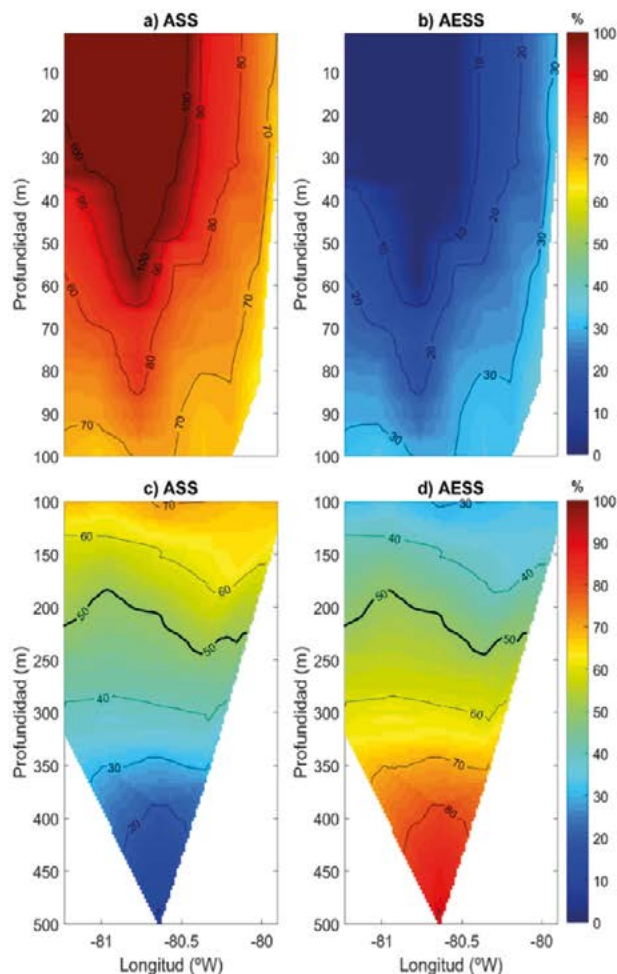


Figura 17.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a Chicama. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 17. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off Chicama. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

In the Punta La Negra profile (Fig. 16), SSW presence was noted up to 100 m, with minimal ESSW contribution. Between 200 and 300 m, similar contributions of SSW and ESSW (~50%) indicated ccw formation. The percentage contribution isolines exhibited an almost horizontal distribution, with SSW presence extending up to 250 m, gradually diminishing to minimal values at 500 m. In contrast, ESSW showed increased presence with depth, peaking below 350 m.

El perfil frente a Chicama (Fig. 17) exhibió en la capa superficial presencia total de las ASS hasta 60 m por fuera de 50 mn, cuyo valor fue disminuyendo ligeramente cerca del litoral en donde podemos observar una ligera contribución de las AESS (~20 %). Entre 150 y 300 m la contribución de la ASS y las AESS tuvieron valores similares (~50 %) lo que indica una mezcla homogénea que formaron a las acf. En la capa más profunda se pudo determinar que la columna de agua está compuesta principalmente por AESS.

Off Chicama (Fig. 17), the surface layer demonstrated total SSW presence up to 60 m beyond 50 nm, slightly decreasing near the coast, where a minor ESSW contribution (~20%) was observed. Between 150 and 300 m, comparable SSW and ESSW contributions (~50%) suggested a homogeneous mixing forming ccw. In the deepest layer, the water column was primarily composed of ESSW.

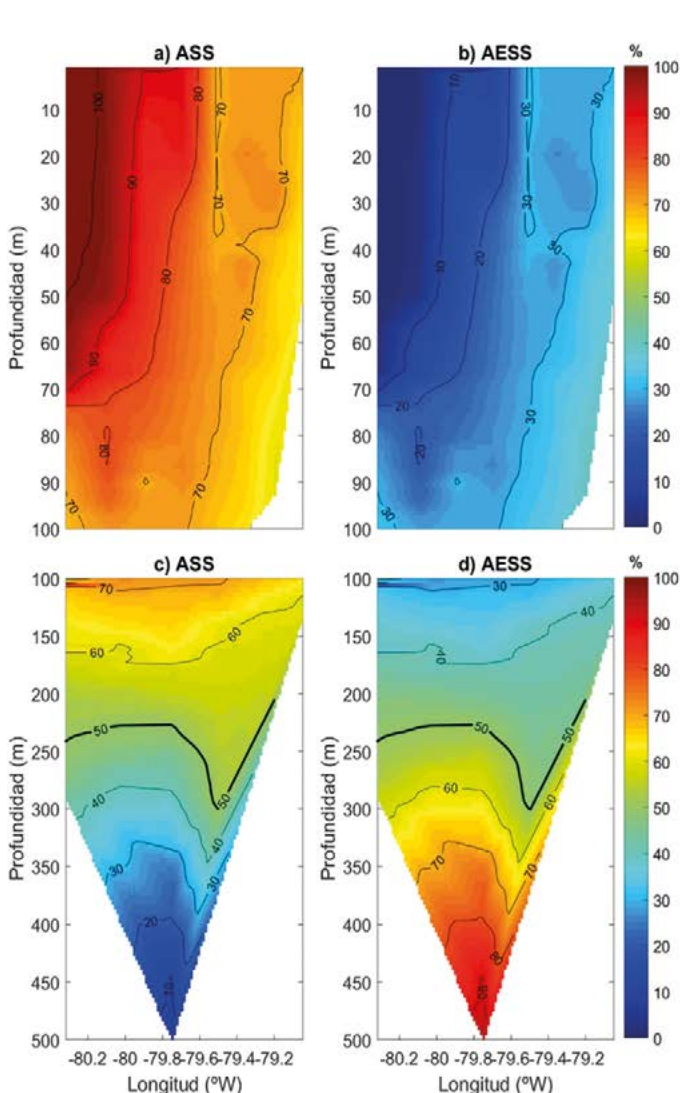


Figura 18.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a Chicama. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre los 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 18. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off Chicama. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

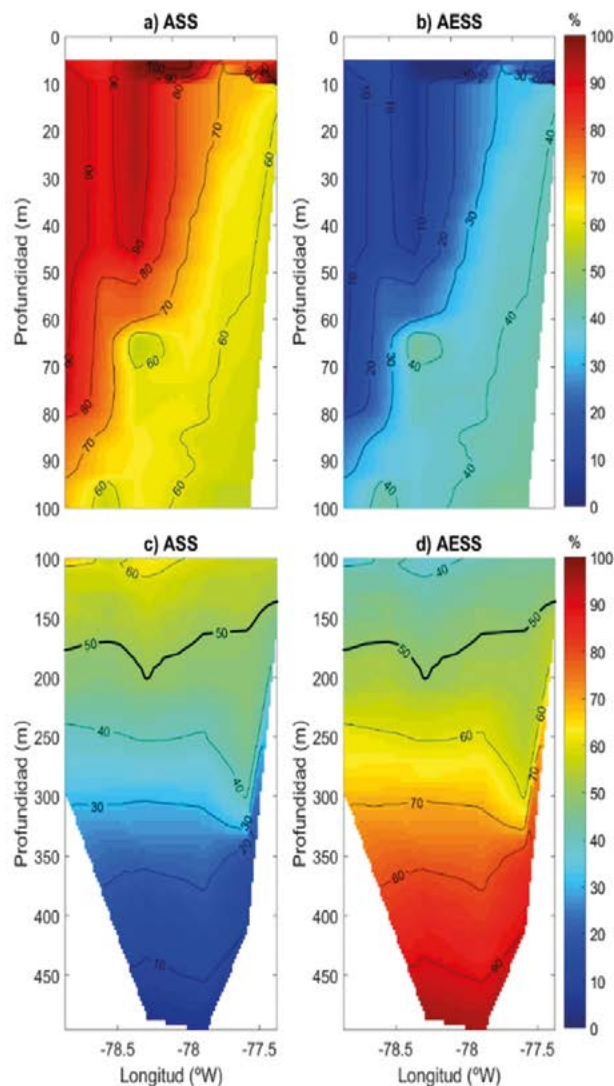


Figura 19.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a Callao. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 19. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off Callao. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

El perfil frente a Chimbote (Fig. 18) mostró en la capa superficial presencia total de las ASS hasta 60 m por fuera de 50 mn que fue disminuyendo ligeramente cerca del litoral en donde podemos observar mínima contribución de las AESS (~20 %). Entre 150 y 300 m la contribución de la ASS y las AESS tuvieron valores similares (~50 %) lo que indica una mezcla homogénea que generan a las acf. Además, las isolíneas del porcentaje de contribución muestran una ligera profundización cerca de la plataforma. Por debajo de los 400 m la presencia de las AESS fue máxima (~80 %).

El perfil frente a Callao (Fig. 19) sobre los 10 m mostró pequeños núcleos centrados en 50 y 10 mn con mezcla entre las AESS y las ASS cuya contribución varió entre 50 y 60 %. Además, la columna de agua hasta 100 m, indicó procesos de mezcla cerca de la plataforma continental en donde la contribución de las ASS fue de 60 % y las AESS alcanzaron valores de hasta 40 %. Mientras que, por fuera de las 50 mn las ASS fueron predominantes. Por debajo de 100 m se observó una mezcla homogénea (50 %) entre ASS y AESS, centrada en 170 m. Finalmente las AESS fueron predominantes por debajo de 300 m.

La sección de Pisco (Fig. 20), sobre 80 m, mostró clara predominancia (80 %) de las ASS por fuera de 40 mn; mientras que, cerca de la costa la contribución disminuyó (60 %) en presencia de las AESS (40 %). Por debajo de 100 m el núcleo de mezcla (50 %) entre las ASS y AESS estuvo centrado en 200 m por fuera de 40 mn, mientras que cerca del litoral esta fue somera llegando hasta 125 m. Las capas más profundas (> 400 m) mostraron predominancia (90 %) de las AESS sobre las ASS.

En la sección de San Juan de Marcona (Fig. 21), el núcleo de mezcla (50 %) entre las ASS y las AESS estuvo presente en la columna sobre 100 m hasta 40 mn, mientras que en la zona más oceánica predominaron las ASS. Por debajo de 100 m, se continuó observando una mezcla importante hasta 200 m. Finalmente, las capas más profundas (> 450 m) mostraron predominancia (90 %) de las AESS sobre las ASS.

The Chimbote profile (Fig. 18) exhibited a comprehensive presence of SSW in the surface layer, extending up to 60 m beyond 50 nm, gradually diminishing closer to the coast, where a minimal contribution from Equatorial Subsurface Waters (ESSW) (~20 %) was noted. Between 150 and 300 m, both SSW and ESSW contributed similarly (~50 %), indicating a homogeneous mixing process generating ccw. Additionally, the percentage contribution isolines showed a slight deepening near the continental shelf. Below 400 m, ESSW presence was predominant (~80 %).

In the profile off Callao (Fig. 19), at 10 m, small cores (ESSW + SSW) were centered at 50 and 10 nm, with contributions varying between 50 and 60 %. Furthermore, within the water column up to 100 m, mixing processes near the continental shelf were evident, with SSW contributing 60 % and ESSW reaching values of up to 40 %. Beyond 50 nm, SSW was predominant. Below 100 m, a homogeneous mix (50 %) of SSW and ESSW was observed, centered at 170 m. Finally, ESSW predominated below 300 m.

In the Pisco section (Fig. 20), at a depth of 80, SSW were predominant (80 %) beyond 40 nm, decreasing to 60 % near the coast, accompanied by the presence of ESSW at 40 %. Below 100 m, the mixing core (50 %) between SSW and ESSW was centered at 200 m beyond 40 nm, whereas near the coastline, it extended shallower to 125 m. Deeper layers (> 400 meters) exhibited a strong prevalence (90 %) of ESSW over SSW.

In the San Juan de Marcona section (Fig. 21), the mixing core (50 %) between SSW and ESSW was observed in the water column up to 100 m, extending to 40 nm, with SSW prevailing in the more oceanic zone. Below 100 m, significant mixing persisted down to 200 m. Finally, in deeper layers (> 450 m), ESSW dominated, comprising 90 % of the composition, surpassing SSW.

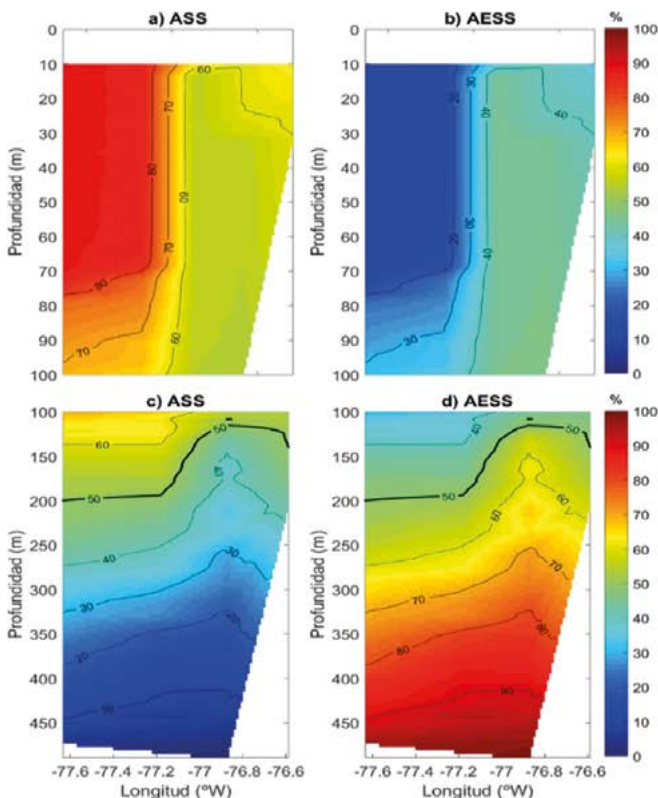


Figura 20.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a Pisco. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores y EP Incamar-I

Figure 20. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off Pisco. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores and F/V Incamar-I

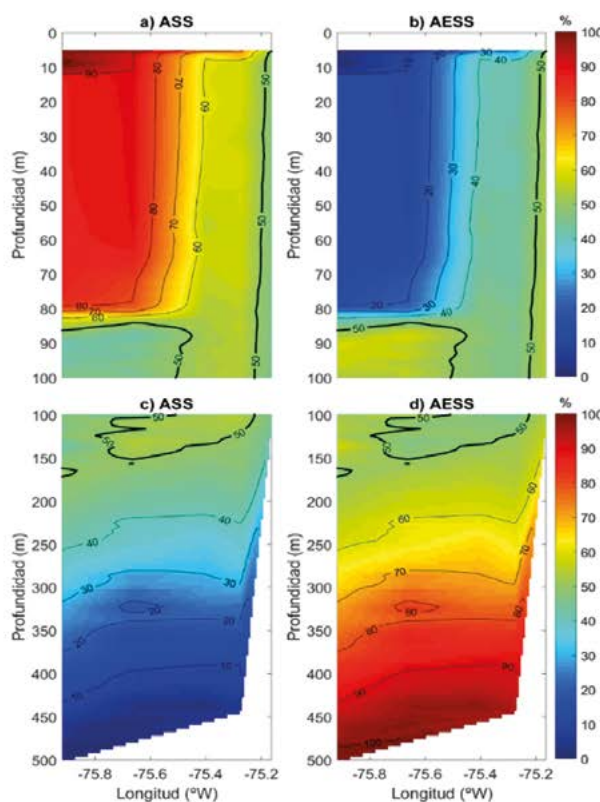


Figura 21.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a San Juan de Marcona. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores

Figure 21. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off San Juan de Marcona. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores

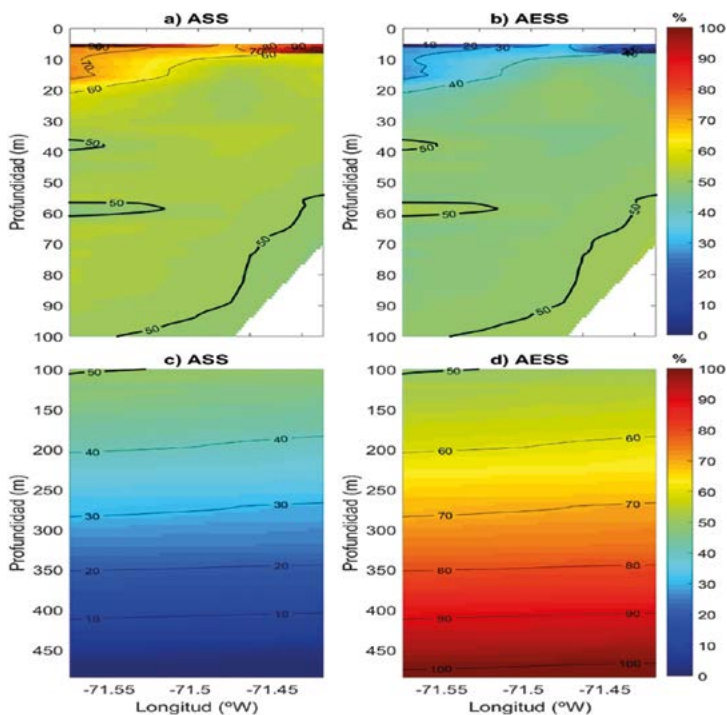


Figura 22.- Porcentaje de contribución de masas de agua calculado por el método OMP frente a Ilo. Los colores y contornos indican el porcentaje de presencia de a) ASS, b) AESS sobre 100 m y c) ASS, d) AESS entre 100 y 500 m. Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos Cr. 2109-11. BIC Flores

Figure 22. Percentage contribution of water masses calculated by the OMP method off Ilo. Colors and contours indicate the percentage of presence of a) SSW, b) ESSW above 100 m, and c) SSW, d) ESSW between 100 and 500 m. Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2109-11. R/V Flores

La sección de Ilo (Fig. 22), mostró en los primeros 20 m ligera predominancia de las ASS frente a las AESS; mientras que, por debajo y hasta 100 m, el núcleo de mezcla (50 %) entre estas dos masas de agua mostró inclinación ascendente cerca de la costa. Finalmente, la distribución de las isolíneas de aporte porcentual, en las capas más profundas, tuvieron distribución horizontal con mayor presencia (80 %) de las AESS por debajo de 350 m.

4. DISCUSIÓN

Previo a este crucero los parámetros ambientales en el área evaluada mostraron condiciones térmicas ligeramente frías, con núcleos muy puntuales de anomalías positivas. Efectivamente, según el ENFEN (2021b), la región costera al sur de Paita presentó anomalías de hasta $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la superficie mientras que la columna de agua hasta 60 m estuvo mostrando una configuración ligeramente fría. Estas características se han mantenido durante el periodo de evaluación del crucero, en el cual observamos anomalías de hasta $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la franja costera. De igual forma, en la columna de agua, hasta 70 m y dentro de 10 mn, hemos encontrado las máximas anomalías negativas asociadas a procesos de afloramiento. Las condiciones térmicas observadas durante el otoño 2020 mostraron, en promedio, enfriamiento con núcleos muy puntuales de hasta $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a lo largo del litoral (ASTO & DOMÍNGUEZ, 2022). Además, durante ese periodo se evidenció aproximación de las ASS frente a Chimbote (Fig. 23) que implicó que las acf se encuentren confinadas en una franja muy angosta.

Respecto a la distribución de las masas de agua durante el crucero, se observó acercamiento de las ASS hacia la costa entre Pimentel y Pucusana a comparación del Crucero 2108-09 de Evaluación de Biomasa Desovante de la Anchoqueta, cuando predominaron aguas de mezcla entre Punta La Negra y Callao por fuera de 30 mn (Fig. 23). Asimismo, en comparación al Crucero 2102-04 de Evaluación de Recursos Pelágicos realizado en verano, se encontró mayor presencia de acf entre Callao y Pucusana.

In the Ilo section (Fig. 22), a slight prevalence of SSW over ESSW was observed in the upper 20 m. Below this depth and up to 100 m, the mixing core (50 %) between these two water masses showed an upward pattern near the coast. Lastly, in the deeper layers, the isolines representing the percentage contribution had a horizontal distribution, with ESSW dominating (80 %) below 350 m.

4. DISCUSSION

Before this cruise, the environmental conditions in the study area exhibited slightly cold thermal conditions, marked by specific localized positive anomalies. According to ENFEN (2021b), the coastal region south of Paita displayed anomalies of up to $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ at the surface, with the water column up to 60 m indicating a mildly cold setup. These conditions persisted during the cruise evaluation period, where anomalies of up to $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ were noted along the coast. Similarly, in the water column, up to 70 m and within 10 nm, the most significant negative anomalies associated with upwelling processes were observed. Thermal observations during the autumn of 2020 revealed an overall cooling pattern with specific localized cores of up to $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ along the coastline (ASTO & DOMÍNGUEZ, 2022). Additionally, during that period, there was an influx of SSW off the coast of Chimbote (Fig. 23) leading to the confinement of ccw within a very narrow strip.

Concerning the distribution of water masses during the cruise, SSW approached the coast between Pimentel and Pucusana, a departure from *E. ringens* Spawning Biomass Assessment Cruise 2108-09 when mixing waters prevailed between Punta La Negra and Callao beyond 30 nm (Fig. 23). Moreover, in comparison with the Hydroacoustic Pelagic Resources Cruise 2102-04 conducted in the summer, there was a higher occurrence of ccw between Callao and Pucusana.

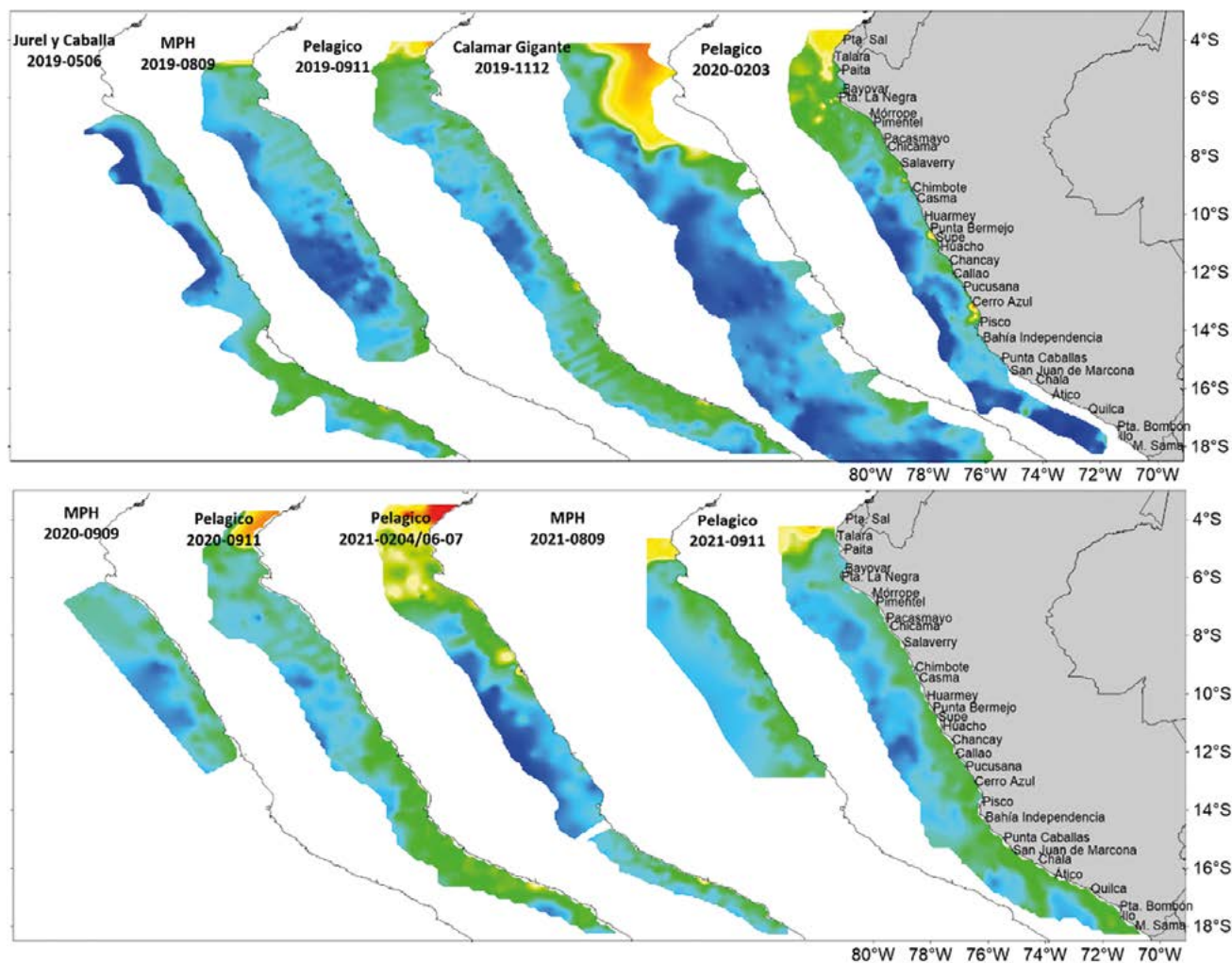


Figura 23.- Cronología de la distribución espacial de la SSM durante los crueros de evaluación realizados por IMARPE desde otoño 2019

Figure 23. Chronology of the spatial distribution of SSS during assessment cruises conducted by IMARPE since autumn 2019

El método OMP permitió cuantificar la presencia de las ASS y AESS en los perfiles oceanográficos, en donde se ha mostrado que existió un núcleo de mezcla entre estas dos masas de agua centrado en 200 m en la zona norte-centro y que se hizo superficial considerablemente en la región sur entre Pisco e Ilo. Esto debido al intenso afloramiento ya mencionado y demostrado por la distribución de la isoterma de 15 °C (Figs. 11, 12 y 13). Por otro lado, el método guardó una concordancia con lo mostrado por la distribución vertical de la salinidad en los perfiles, permitiendo cuantificar la mezcla que forma a las acf como una contribución equivalente (~50 %) de las ASS y AESS.

The OMP method facilitated the quantification of SSW and ESSW in the oceanographic profiles, revealing a mixing core between these two water masses centered at 200 m in the north-central region and becoming considerably shallower in the southern region between Pisco and Ilo. This phenomenon was attributed to the intense upwelling previously mentioned, as corroborated by the distribution of the 15 °C isotherm (Figs. 11, 12, and 13). Furthermore, the method aligned with the vertical salinity distribution, enabling the quantification of the mixing forming ccw, with an equivalent contribution (~50 %) from both SSW and ESSW.

5. CONCLUSIONES

Las condiciones ambientales predominantes fueron frías ($-0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$), excepto núcleos cálidos entre Mórrope-Chicama y Ocoña donde las condiciones fueron cálidas con anomalías mayores a $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. La zona más fría ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$) fue la franja costera hasta las 20 mn desde Talara hasta Chala.

Se encontró la predominancia de acf a lo largo de toda la zona costera hasta las 30 mn. Se observó intrusión de las AES hasta Talara.

La mayor oxigenación ($\text{OSM} > 5\text{ mL L}^{-1}$) se observó por fuera de 60 mn asociadas a las masas de agua oceánicas fuera de la zona de afloramiento. Por otro lado, se detectaron núcleos poco oxigenados ($\text{OSM} < 1\text{ mL L}^{-1}$) muy cerca de la costa sur asociado a procesos de afloramiento.

En las zonas costeras, la columna de agua sobre 100 m, mostró condiciones frías debido a los procesos de afloramiento que se mantuvieron activos y con moderada intensidad.

Entre Paita y Chimbote se presentó alternancia de flujos al norte y al sur; mientras que, entre Pisco y San Juan de Marcona los flujos hacia el sur fueron predominantes sobre los 100 m.

Agradecimientos

A los profesionales de la Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático (DGIOCC) que participaron del Crucero de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos 2109-11. Al Dr. Dimitri Gutiérrez, Ing. Luis Vásquez y el Ing. Noel Domínguez por sus comentarios para enriquecer el contenido de este documento.

5. CONCLUSIONS

The prevailing environmental conditions were cold, averaging at $-0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$. However, noticeable warm cores were observed between Mórrope-Chicama and Ocoña, with anomalies exceeding $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. The coldest area, reaching $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, extended along the coastal strip up to 20 nm from Talara to Chala.

Cold coastal waters (ccw) dominated the entire coastal region up to 30 nm, with ESSW intrusions observed up to Talara.

The highest oxygenation levels ($\text{SSO} > 5\text{ mL L}^{-1}$) were found beyond 60 nm, associated with oceanic water masses outside the upwelling zone. Conversely, poorly oxygenated cores ($\text{SSO} < 1\text{ mL L}^{-1}$) were detected very close to the southern coast, linked to upwelling processes.

In coastal areas, the water column over 100 m exhibited cold conditions due to active and moderately intense upwelling processes.

Between Paita and Chimbote, there was an alternating pattern of northward and southward flows. The latter prevailed over depths exceeding 100 m between Pisco and San Juan de Marcona.

Acknowledgments

To the staff of IMARPE's Directorate General of Oceanography and Climate Change Research who participated in the Hydroacoustic Assessment of Pelagic Resources Cruise 2109-11. To Dr. Dimitri Gutiérrez, Engr. Luis Vásquez, and Engr. Noel Domínguez for their comments to enhance the content of this document.

6. REFERENCIAS

- ASTO, C. & DOMÍNGUEZ, N. (2022). Condiciones oceanográficas de la costa peruana durante el crucero de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos 2009-11. *Inf Inst Mar Perú*, 49(2), 153-166. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/4779>
- CARPENTER, J. H. (1965). The Accuracy of the Winkler Method for Dissolved Oxygen Analysis. *Limnology and Oceanography*, 10(1), 135-140. <https://doi.org/10.4319/lo.1965.10.1.0135>
- DOMÍNGUEZ, N., GRADOS, C., VÁSQUEZ, L., GUTIÉRREZ, D. & CHAIGNEAU, A. (2017). Climatología Termohalina frente a las costas de Perú, Periodo: 1981-2010. *Inf Inst Mar Perú*, 44(1), 5 -13. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3146>
- ENFEN. (2021a). Estado del Sistema de alerta: No activo. Comunicado Oficial ENFEN, N° 09-2021. www.gob.pe
- ENFEN. (2021b). Condiciones atmosféricas durante octubre del 2021. Informe Técnico SENAMHI-ENFEN, N° 10/2021. www.gob.pe
- GRADOS, C., CHAIGNEAU, A., ECHEVIN, V. & DOMÍNGUEZ, N. (2018). Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in Oceanography*, 165, 123-144. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.05.005>
- POND, S. & PICKARD, G. L. (1978). *Introductory Dynamical Oceanography*. New York: Pergamon Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-24288-7>
- TOMCZAK Jr., M. (1981). A multi-parameter extension of temperature/salinity diagram techniques for the analysis of non-isopycnal mixing. *Progress in Oceanography*, 10(3), 147-171. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(81\)90010-0](https://doi.org/10.1016/0079-6611(81)90010-0)