

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS DE LA COSTA PERUANA DURANTE EL CRUCERO DE EVALUACIÓN HIDROACÚSTICA DE RECURSOS PELÁGICOS 2009-11

OCEANOGRAPHIC CONDITIONS OF THE PERUVIAN COAST DURING THE 2009-11 HYDROACOUSTIC ASSESSMENT CRUISE FOR PELAGIC RESOURCES

Cristhian Asto¹

Noel Dominguez

RESUMEN

ASTO, C., DOMINGUEZ, 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.- Se describen las condiciones del mar peruano durante el desarrollo del crucero de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos 2009-11. En superficie, las condiciones térmicas mostraron un ligero enfriamiento (-0,6 °C), especialmente al sur de 5°S. La salinidad, parámetro importante para la identificación de masas de agua, indicó que las Aguas Subtropicales Superficiales ($S > 35,1$ ups) se aproximaron a la costa entre Chimbote y Huacho. El oxígeno superficial mostró distribución homogénea por fuera de 30 mn; sin embargo, dentro de las primeras 10 mn se encontraron núcleos de baja concentración de oxígeno, típico del afloramiento. Los datos registrados con el CTD permitieron determinar la composición de masas de agua, destacando Aguas Tropicales Superficiales, Aguas Ecuatoriales Superficiales, Aguas Costeras Frías, Aguas Subtropicales Superficiales, Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales, Aguas Templadas de la Subantártica y Aguas Antárticas Intermedias. La profundidad promedio de la capa de mezcla fue 22,5 m y de la isoterma de 15 °C fue 45,7 m.

PALABRAS CLAVE: Pacífico Ecuatorial Oriental, temperatura, CTD

ABSTRACT

ASTO, C., DOMINGUEZ, N. (2022). *Oceanographic conditions of the Peruvian coast during the 2009-11 hydroacoustic assessment cruise for pelagic resources*. *Inf Inst Mar Peru*. 49(2): 153-166.- In this work, we describe the conditions of the Peruvian sea during the 2009-11 hydroacoustic assessment cruise for pelagic resources. Regarding thermal conditions, there was a slight cooling (-0.6 °C) on the surface, especially south of 5°S. Salinity, which is an important parameter for the identification of water masses, indicated that Subtropical Surface Waters ($S > 35.1$ PSU) approached the coast between Chimbote and Huacho. Surface oxygen was homogeneously distributed outside 30 nm, but within the first 10 nm, we found low-oxygen concentration nuclei, which are typical of upwelling. The composition of water masses was determined from the data recorded with the CTD, highlighting Tropical Surface Waters, Equatorial Surface Waters, Cold Coastal Waters, Subtropical Surface Waters, Equatorial Subsurface Waters, Subantarctic Temperate Waters, and Antarctic Intermediate Waters. The depths of the mixed layer and the 15 °C isotherm were 22.5 m and 45.7 m, respectively.

KEYWORDS: Eastern Equatorial Pacific, temperature, CTD

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones del ambiente marino desde la quincena de setiembre 2020 presentaron tendencia descendente en la región El Niño 1+2 de -0,4 °C a -1,2 °C (ENFEN, 2020-13). Efectivamente, el Índice Costero El Niño para ese mes ubicó las condiciones en el umbral de frías débiles (ENFEN, 2020-14) las cuales habrían sido reforzadas por un paquete de Ondas Kelvin frías generadas en el Pacífico Central. Bajo esas condiciones, se desarrolló el Crucero de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos 2009-11, llevado a cabo entre 23 de setiembre y 13 de noviembre 2020, desde Puerto Pizarro (Tumbes) hasta Morro Sama (Tacna).

El muestreo oceanográfico se realizó en dos embarcaciones con trayecto perpendicular a la costa. El BIC Flores tuvo un recorrido entre la costa y 90 millas náuticas (mn) desde Puerto Pizarro hasta Punta Falsa, hasta 50 mn desde Punta Falsa hacia Callao y hasta 30 mn desde Callao hasta Chala. El BIC Humboldt abarcó desde 50 hasta 100 mn en la etapa norte-centro mientras que desde San Juan de Marcona hasta Morro Sama tuvo una cobertura desde la costa hasta 30 mn. Durante el desarrollo del crucero se realizaron 11 secciones hidrográficas frente a Puerto Pizarro, Paita, Punta Falsa, Chicama, Chimbote, Punta Bermejo, Callao, Pisco, San Juan de Marcona, Atico e Ilo.

1 Instituto del Mar del Perú-Imarpe, Esq. Gamarra y Gral. Valle s/n, Chucuito, Callao, Perú. casto@imarpe.gob.pe

En este artículo, se presenta información concerniente al recorrido integrado establecido para el BIC Humboldt y el BIC Flores, donde se detallarán las condiciones oceanográficas de superficie y sub-superficie.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Este informe detalla las condiciones oceanográficas en el área marítima comprendida entre la costa y 100 mn, desde Puerto Pizarro (Tumbes) hasta Morro Sama (Tacna) (Fig. 1). Se colectaron muestras en superficie y en la columna de agua, se efectuaron 806 registros de temperatura y se tomaron 818 muestras para análisis de salinidad por medio de un Portasal Guildline modelo 8410a; además, en 11 transectos o secciones perpendiculares a la línea de costa frente a Puerto Pizarro (50 mn), Paita (100 mn), Punta Falsa (100 mn), Chicama (100 mn), Chimbote (100 mn), Punta Bermejo (50 mn), Callao (80 mn), Pisco (80 mn), San Juan de Marcona (70 mn), Atico (50 mn) e Ilo (30 mn) con la finalidad de evaluar el estado de la columna de agua hasta 500 m de profundidad. Se hicieron lances con un perfilador CTD *SeaBird 19 Plus* modelo 7838 (BIC Humboldt) y 7671 (BIC Flores)

además de lances con botellas Niskin de la marca *General Oceanics* tomando muestras de agua de mar en las profundidades estándar de 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 y 300 m.

Con los datos del CTD se estimaron las velocidades de las corrientes marinas a través del método geostrofico (POND & PICKARD, 1978). La aproximación geostrofica se genera como resultado del balance entre el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis. La circulación marina se basó en un flujo medio determinado por el campo de densidad, utilizando el método de la altura dinámica (WYLLIE, 1966). 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.

Se aprovechó la información térmica del CTD para hacer el cálculo de la profundidad de la capa de mezcla (PCM) mediante la metodología establecida por HOLTE & TALLEY (2009). El algoritmo determina si el perfil se asimila a uno de verano o invierno, tomando como premisa que un perfil de verano tiene una capa de mezcla homogénea cerca de la superficie, con una termoclina que cambia abruptamente con la profundidad. Para ello, se establece un intervalo [-0,25 °C, 0,5 °C] que representa el cambio de temperatura que uno esperaría en la termoclina de un perfil de invierno. Si este cambio estuviera fuera del intervalo, el algoritmo automáticamente asocia el perfil a uno de verano y la PCM se tomaría en el borde superior de la termoclina. Caso contrario, perfiles de invierno carecen de una termoclina intensa lo que implica que se necesitan cumplir algunas condiciones las cuales están basadas en múltiples criterios térmicos (HOLTE & TALLEY, 2009).

La información meteorológica de temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, se registró a través de estaciones meteorológicas automáticas, de marca VAISALA (BIC Humboldt y BIC Flores) con sistema de observación marítima de modelo MAWS410 (*Measure Automatic Weather Station*) y por medio de la interfaz VMO *Console MCC401*.

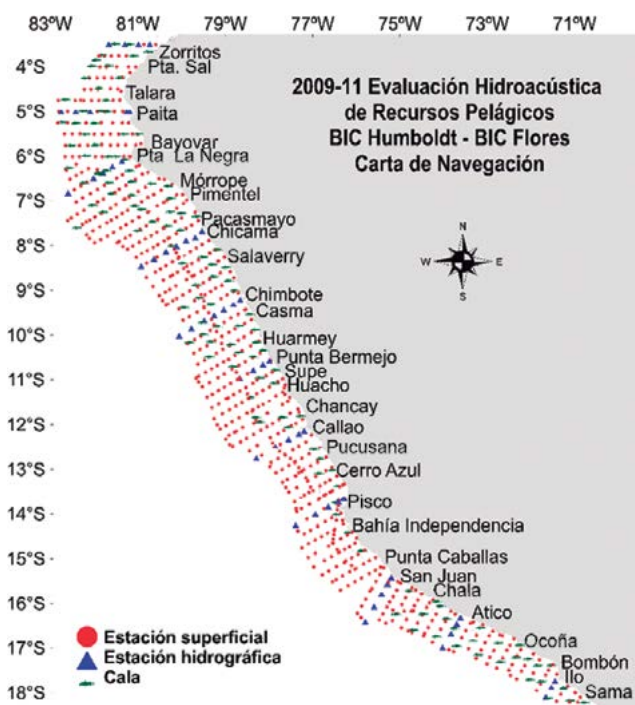


Figura 1.- Carta de distribución de estaciones oceanográficas. Cr. Pelágico 2009-11

3. RESULTADOS

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Viento

Presentó velocidades entre 0,6 y 16,2 m/s con promedio de 7,1 m/s. Vientos fuertes (> 6,8 m/s) se encontraron frente a Talara, así como entre Chicama y San Juan de Marcona. Además, se observó un núcleo de vientos muy fuertes (> 12 m/s) frente a Callao a 90 mn y frente a San Juan a 70 mn. Vientos débiles se localizaron principalmente en la zona costera entre Paita y Chimbote, entre Callao y Pisco y entre Atico y Morro Sama. En general la dirección de los vientos fue sur-sureste con periodos cortos de viento de componente norte (Fig. 2).

Temperatura del aire (TA)

La TA varió entre 14,3 y 21,1 °C con promedio de 17,1 °C. Las máximas temperaturas estuvieron confinadas entre Puerto Pizarro y Punta Sal, mientras que las mínimas (< 16 °C) se encontraron a lo largo de la zona costera entre Punta Falsa y San Juan. Por fuera de las 50 mn se registraron núcleos de 18 °C, entre Huarmey y Pimentel y entre Atico y Morro Sama dentro de las 30 mn (Fig. 2).

Presión del aire (PA)

La PA varió entre 1001,0 y 1021,1 hPa con promedio de 1013,5 hPa. En general, la distribución no

fue homogénea con muchas singularidades en la región de estudio; observándose valores altos (> 1016 hPa) al norte de Paita y núcleos de menor amplitud entre Paita, Salaverry y al sur de bahía Independencia, en cambio los núcleos con mínimos valores (< 1012 hPa) se localizaron principalmente entre Pacasmayo y Salaverry y frente a Atico (Fig. 2).

Humedad relativa (HR)

La HR osciló entre 70 y 98% con promedio de 88,1%. Se encontró los menores valores de HR (< 85%) por fuera de las 50 mn frente a Mórrope y al sur de Huarmey con tendencia hacia la costa, en esta última zona. La mayor humedad (> 95%) mayormente se presentó en la zona costera, entre Punta Falsa y Chala, con algunos núcleos por fuera de las 30 mn al norte de Punta Falsa (Fig. 2).

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS SUPERFICIALES

Temperatura superficial del mar (TSM)

Presentó valores que fluctuaron de 12,7 °C a 23,4 °C, los registros más altos (> 20 °C) se encontraron al norte de Los Órganos y los más bajos (< 16 °C) cerca de la costa a lo largo del litoral al sur de Paita, resaltando núcleos con temperaturas < 14 °C al sur de bahía Independencia. Al sur de Atico, se observó la proyección, hasta la costa, de temperaturas mayores a 18 °C.

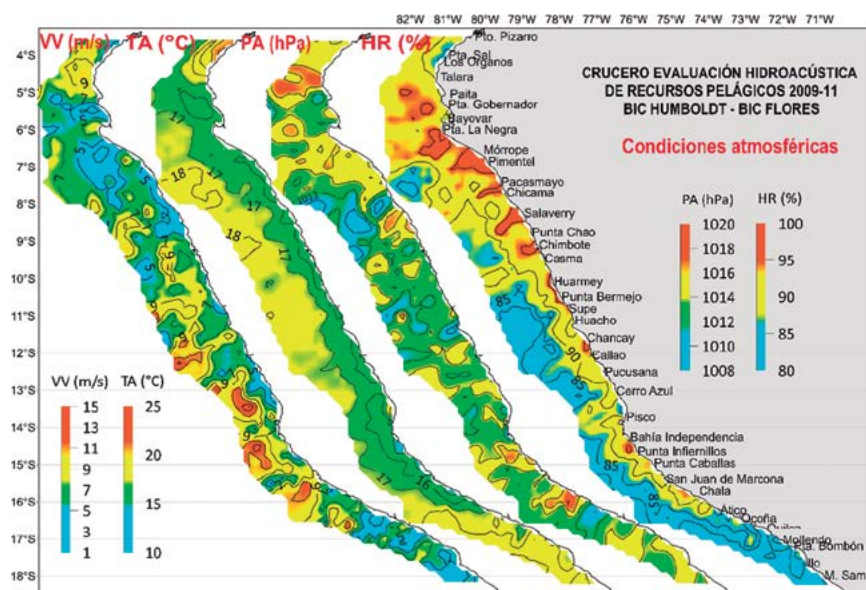


Figura 2.- Carta de distribución de Viento (m/s), Temperatura del Aire (°C), Presión Atmosférica (hPa), Humedad Relativa (%). Cr. Pelágico 2009-11

Al norte de Talara destacaron en la zona adyacente a la línea de costa (dentro de las 30 mn) las condiciones cálidas, con anomalías positivas de hasta +2,6 °C, asociadas a la intromisión de aguas provenientes del norte, así como otro núcleo cálido (1,5 °C) de menor amplitud frente a Quilca. Exceptuando las dos zonas antes mencionadas, la condición dominante en el resto del área evaluada fue la térmica fría; la zona frente y al norte de Paita fueron las más frías, donde se registraron anomalías negativas mayores a -2 °C, seguida de la zona entre Paita y Mórrope donde las anomalías estuvieron entre -1 y -2 °C. Entre Mórrope y Morro Sama se presentaron algunos núcleos con condición neutra, así como núcleos cálidos ubicados en la bahía de Paracas, entre Quilca-Mollendo y frente a Morro Sama, sin embargo, en promedio la condición dominante fue fría débil (Fig. 3). En general, y en toda la región de estudio, las anomalías fluctuaron de -4,1 a +3,5 °C, con ATSM promedio de -0,6 °C.

Salinidad superficial del mar (SSM)

La SSM fluctuó de 33,641 ups a 35,357 ups, predominando Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) desde Salaverry hasta San Juan de Marcona y entre Atico e Ilo por fuera de las 50 y 20 mn respectivamente; Aguas Costeras Frías (ACF) desde Chicama hasta Ilo en una franja de amplitud variable adyacente a la zona costera, ampliando su distribución en forma

significativa al sur del Callao, alcanzando las 90-100 mn frente a San Juan. Sin embargo, al norte de Chicama y hasta Paita fueron aguas de mezcla las que predominaron, debido a la interacción de las ASS y ACF y contribución de AES a la mezcla al norte de Paita. Asimismo, Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) se presentaron entre Puerto Pizarro y Talara por fuera de 30 mn, mientras que Aguas Tropicales Superficiales (ATS) estuvieron replegadas a la costa al norte de Los Órganos. Las anomalías halinas negativas al norte de Talara estuvieron asociadas al desplazamiento inusual de las AES y principalmente a las ATS, en cambio, las ubicadas al sur de Huacho asociadas con anomalías negativas de menor magnitud, y que se debieron al afloramiento costero que aportó aguas más frías y frescas. Las anomalías halinas positivas se asociaron a las ASS que mantuvieron una influencia en gran parte de la zona evaluada (Fig. 4).

Oxígeno disuelto en la superficie del mar (OD)

Las concentraciones de OD en la superficie del mar se encontraron en un rango de 1,49 a 9,84 mL/L. Los mayores valores estuvieron asociados a eventos de alta actividad fotosintética con isoxígenas superiores a 6,0 mL/L, que se encontraron distribuidas frente a Mórrope, entre Salaverry y Punta Bermejo. Frente a Pisco y al sur de Atico alcanzó su máxima intensidad con isoxígenas de 7,0 a 9,0 mL/L.

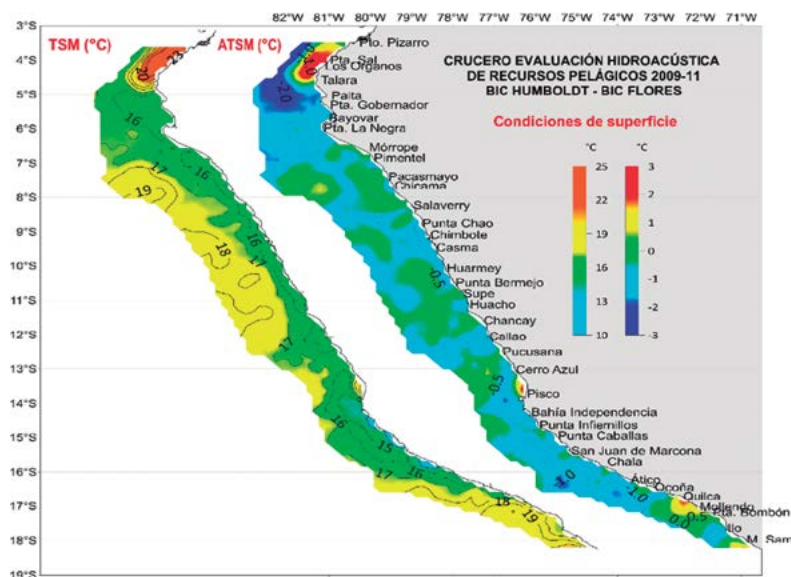


Figura 3.- Carta de distribución de a) Temperatura superficial del mar (°C), b) Anomalía de la temperatura superficial del mar (°C). Cr. Pelágico 2009-11

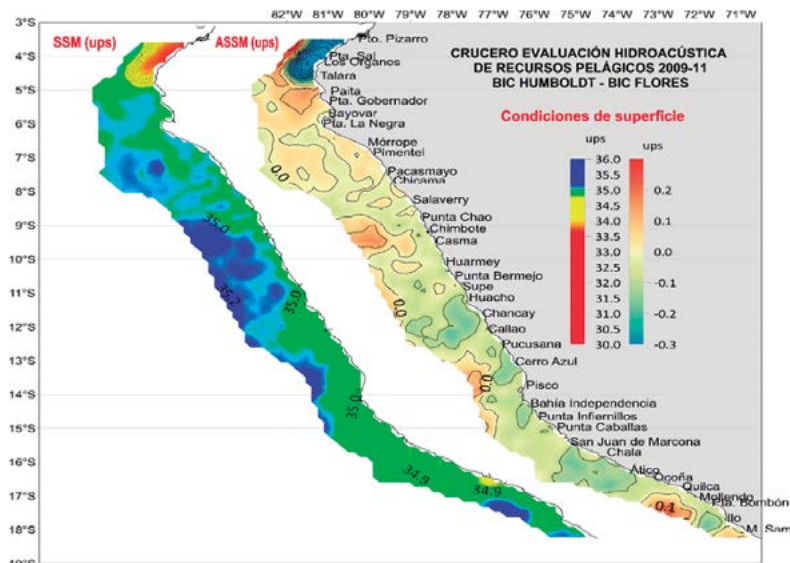


Figura 4.- Carta de distribución de a) Salinidad superficial del mar (ups) y b) Anomalía de la salinidad superficial del mar (ups). Cr. Pelágico 2009-11

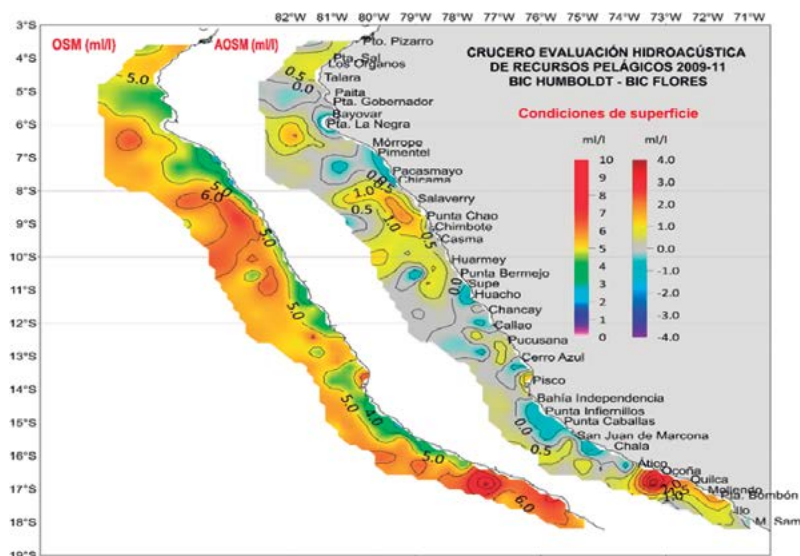


Figura 5.- Carta de distribución de a) Oxígeno disuelto en la superficial del mar (mL/L) y b) Anomalía del oxígeno (mL/L). Cr. Pelágico 2009-11

Los procesos de afloramiento estuvieron restringidos por valores inferiores a 5,0 mL/L, destacando las zonas frente a Punta La Negra, la zona dentro de las 30 mn de costa entre Mórrope y Huacho con isoxígenas de 3,0 y 4,0 mL/L y la región entre bahía Independencia y Chala con valores inferiores a 4,0 mL/L. Las isoxígenas entre 5,0 y 6,0 mL/L ubicadas por fuera de las 30 mn de costa, estuvieron mayormente asociadas a las ASS y condiciones de TSM entre 17,0 y 20,0 °C (Fig. 5).

Condiciones oceanográficas subsuperficiales

Los perfiles acumulados de temperatura y salinidad obtenidos a partir de los lanzamientos de CTD se muestran en la figura 6. Las mediciones

hidrográficas revelan que la temperatura y la salinidad presentaron mayores valores en la capa superficial. Registrándose la mayor variación con respecto a la profundidad en los primeros 70 m de profundidad, asociadas a condiciones ligeramente estratificadas. En cambio, por debajo de esta capa se observó una tasa menor de cambio principalmente en la temperatura, la que disminuye hacia el fondo donde se ubicó el mínimo valor térmico. La salinidad presentó sus mínimos valores en la capa superficial asociada a aguas tropicales, también se registraron relativas bajas salinidades (< 34,6 ups). Los lanzamientos de CTD realizados al norte y sur del Callao ocuparon 47% y 53%, respectivamente (Fig. 6).

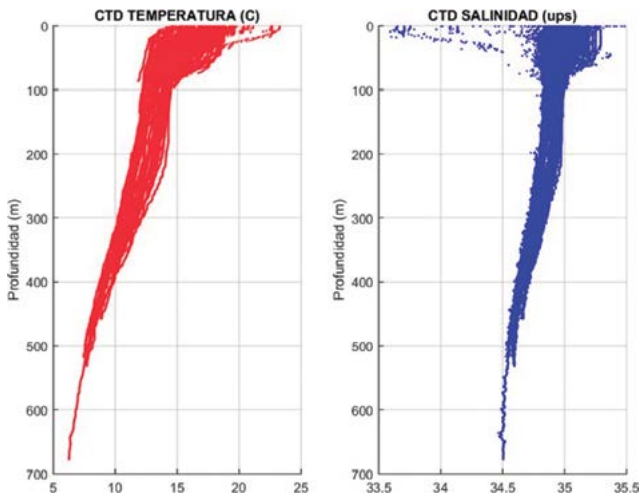


Figura 6.- Perfiles de temperatura (°C) y salinidad (ups). BIC Humboldt y BIC Flores. Cr. Peláigo 2009-11

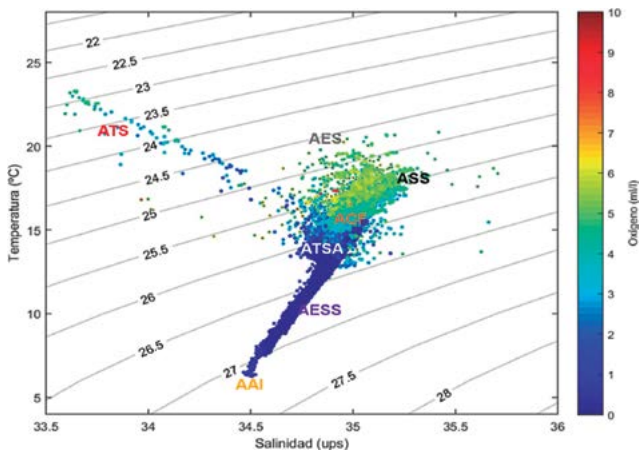


Figura 7.- Diagrama T-S en superficie y sub-superficie. BIC Humboldt y BIC Flores. ATS (Aguas Tropicales Superficiales), AES (Aguas Ecuatoriales Superficiales), ASS (Aguas Subtropicales Superficiales), ACF (Aguas Costeras Frías), AESS (Aguas Ecuatoriales Sub-Superficiales), ATSA (Aguas Templadas de la Subantártica) y AAI (Aguas Antárticas Intermedias). Los contornos negros representan la densidad. En colores se muestra la concentración de OD (mL/L). Cr. Peláigo 2009-11

Masas de agua

Frente a la costa peruana se presentaron las siguientes masas de agua (Fig. 7):

Aguas Tropicales Superficiales (ATS) con salinidad < 34,0 ups y temperatura > 22 °C. Además, se caracterizaron por un rango de OD entre 4 y 5,5 mL/L. Se ubicaron al norte de 5°S, dentro de las 40 mn y con espesor de 25 m frente a Puerto Pizarro.

Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) con características termohalinas > 18 °C y < 34,8 ups. El rango de OD estuvo entre 5,5 y 6 mL/L.

Estuvieron presentes hasta las 60 mn y con una extensión vertical de 50 m frente a Puerto Pizarro.

Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) con salinidad > 35,1 ups y temperatura > 18 °C se presentaron entre 7°S y 15°S con su máximo acercamiento a la costa entre Chimbote y Huacho. Se caracterizaron además por concentraciones de OD entre 5,5 y 6,1 mL/L.

Aguas Costeras Frías (ACF) están asociadas a procesos de afloramiento, se encontraron distribuidas a lo largo de toda la costa alcanzando su mayor extensión entre 15°S y 17°S.

Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) se caracterizan por condiciones térmicas > 15 °C y halinas > 34,9 ups, además, presentan concentraciones de OD entre 0,1 y 0,5 mL/L. Se extendieron en toda la capa subsuperficial de los perfiles muestreados.

Aguas Templadas de la Subantártica (ATSA) caracterizada por temperaturas entre 15 – 13 °C, salinidades de 34,8 a 34,6 ups y baja concentración de OD. Se ubican por encima de 100 m en los perfiles más al sur como por ejemplo Ilo y Atico.

Aguas Antárticas Intermedias (AAI) tienen salinidad < 34,6 ups y por lo general están por debajo de los 500 m de profundidad.

Profundidad de la capa de mezcla (PCM)

Los perfiles de temperatura de los CTD permitieron determinar la distribución de la PCM. La profundidad varió entre 10,25 y 63,46 m con promedio de 22,5 m en toda el área de estudio. Los valores más someros estuvieron cerca de la costa dentro de las 30 mn. En la zona norte entre Punta Sal y Pacasmayo la PCM alcanzó valores de hasta 20 m, en especial frente a Paita y Pimentel por fuera de las 50 mn. En la zona centro, desde Salaverry hasta Callao se pudo determinar mayor profundidad de la PCM, llegando hasta 40 m por fuera de las 70 mn. La zona sur tiene una distribución muy similar a la norte, sin embargo, frente a Pucusana y Pisco la PCM alcanza su máximo con un valor mayor a 50 m (Fig. 8).

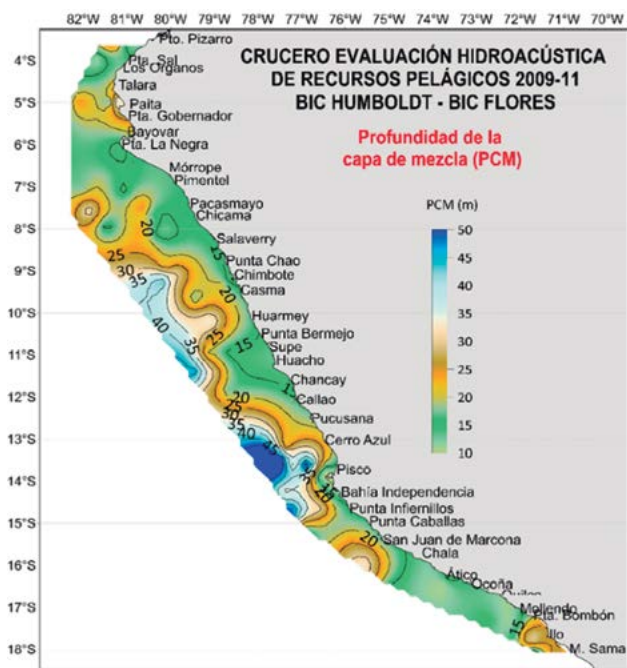


Figura 8.- Profundidad de la Capa de Mezcla (m) calculado en base a los datos de CTD. Cr. Pelágico 2009-11

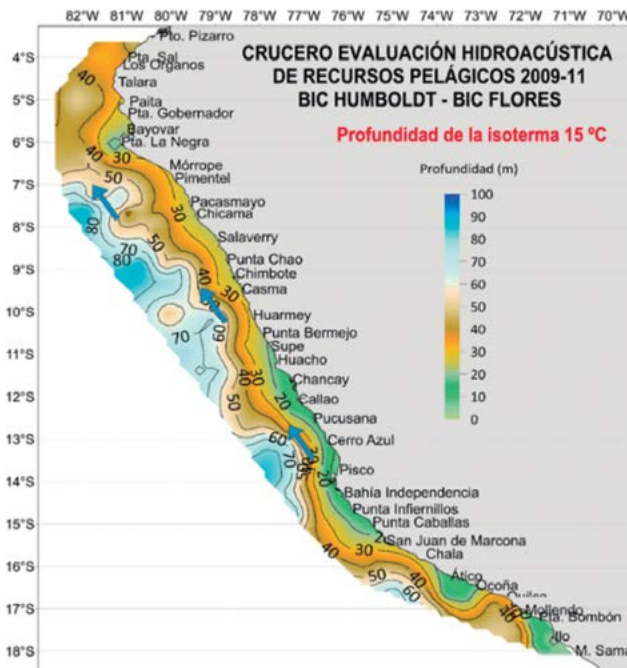


Figura 9.- Profundidad de la Isotherma de 15 °C (m) determinado en base a los datos de CTD. Las flechas azules indican los flujos hacia el norte. Cr. Pelágico 2009-11

SECCIÓN PUERTO PIZARRO (23/9/2020) BIC FLORES

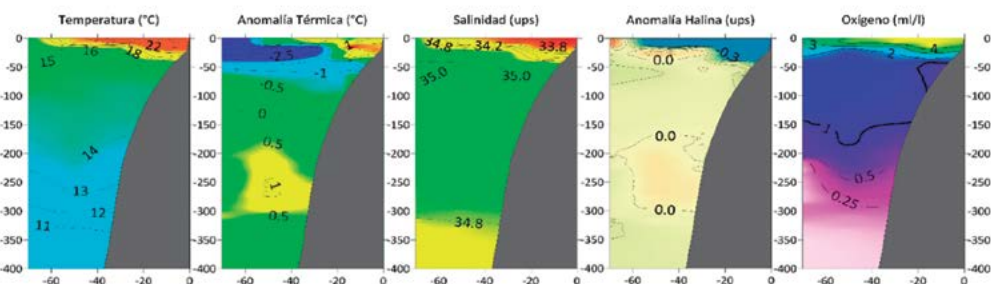


Figura 10.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalía térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups) y e) Oxígeno disuelto (mL/L). Cr. Pelágico 2009-11

Profundidad de la isoterma de 15 °C

La profundidad de la isoterma de 15 °C varió entre 10 y 90 m con promedio de 45,7 m. Los máximos valores estuvieron distribuidos frente a Pacasmayo, Salaverry y Cerro Azul por fuera de 50 m y con valores de hasta 90 m. Los valores más someros se encontraron entre Huacho y Morro Sama con la isoterma sobre los 20 m (Fig. 9). La distribución de las isobatas indicó flujos de sur a norte frente a Chicama y Chimbote alrededor de las 80 mn lo cual se ratifica con los cálculos geostróficos detallados más adelante.

Sección Puerto Pizarro (23 de setiembre 2020)

En esta sección se presentó la termoclina formada por las isotermas de 22 a 16 °C, con tendencia a profundizarse cerca de la costa, debido a la

incursión de AES y ATS. La isoterma de 15 °C estuvo a ~50 m de profundidad, ubicación más somera que su posición habitual para la época. Las anomalías térmicas indicaron condición fría sobre 70 m excepto en la capa de 0 a 40 m dentro de las 30 mn, donde la condición fue cálida con anomalías de hasta +1 °C. Las concentraciones de sales indicaron presencia de ATS, sobre 20 m dentro de 40 mn de la costa, y de AES sobre 50 m que generaron anomalías negativas sobre 50 m dentro de 60 mn de la costa. El OD presentó una oxiclina de 2 a 4 mL/L encima de los 40 m y los valores mayores a 4 mL/L se encontraron sobre 20 m cerca de la costa. La iso-oxígena de 0,5 mL/L, asociada al borde superior de la zona de mínima de oxígeno (ZMO), varió entre 200 y 250 m de profundidad, evidenciando una capa bien oxigenada sobre 250 m de profundidad (Fig. 10).

Sección Paita (26 - 27 de setiembre 2020)

En esta sección, se presentaron isotermas de 16 a 10 °C, asociadas a condición fría sobre los 100 m de profundidad, con anomalías negativas de -2 °C sobre 50 m y entre neutra a ligeramente fría por debajo de 100 m. La salinidad presentó concentraciones similares a la de las ACF; sin embargo, las anomalías halinas negativas por fuera de 90 mn habrían indicado influencia de AES y las anomalías positivas, influencia de las ASS dentro de las 80 mn. El OD presentó, en promedio, bajos valores en la capa superficial (3 mL/L), mientras que la iso-oxígena de 0,5 mL/L (borde superior de ZMO) se presentó alrededor de 50 m y por fuera de 80 mn, alrededor de los 100 m entre las 80 y 40 mn, para luego profundizarse rápidamente hasta 190 m dentro de 30 mn de la costa. Las corrientes marinas (geostróficas), presentan dos núcleos con flujos hacia el sur, uno dentro de las 20 mn, débil y de poca amplitud, y otro entre las 40 y 60 mn sobre 250 m con velocidades de 20 cm/s en su núcleo, así como un amplio núcleo sobre

300 m con flujos hacia el norte con velocidades de 10 cm/s (Fig. 11).

Sección Punta Falsa (30 de setiembre - 4 de octubre 2020)

La estructura térmica mostró una capa fría sobre 60 m, con núcleos de anomalías negativas mayores a 1,5°C sobre 20 m. Por debajo de 100 m, la condición térmica fue neutra. Las concentraciones de sales (34,8 y 35,0 ups) y las anomalías cercanas a cero indicaron influencia de las aguas del afloramiento. El OD presentó valores de 1 a 6 mL/L, encima de 50 m de profundidad; la ZMO se ubicó entre 80 m (80 mn) y 20 m en la zona costera, ubicación más somera de lo habitual. La estimación de la velocidad geostrófica presentó dentro de 80 m dos celdas con flujos de sur a norte (dentro de 35 mn y entre 60 y 80 mn) con velocidades de 20 cm/s en su núcleo y dos celdas más pequeñas con flujos de norte a sur; la primera celda, con eje en las 45 mn, mostró flujos débiles (< 5 cm/s) y la segunda, por fuera de 80 mn, velocidades mayores a 15 cm/s (Fig. 12).

SECCIÓN PAITA (26-27/9/2020. BIC FLORES

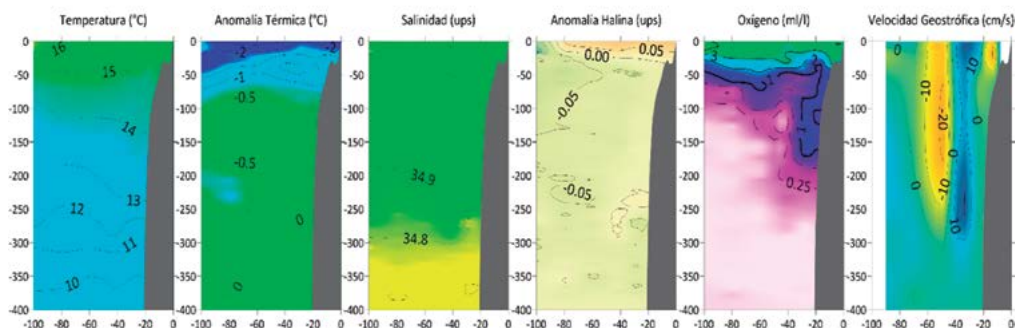


Figura 11.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalía térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostróficas (cm/s). Cr. Pelágeo 2009-11

SECCIÓN PUNTA FALSA (30/9 – 4/10/2020. BIC FLORES

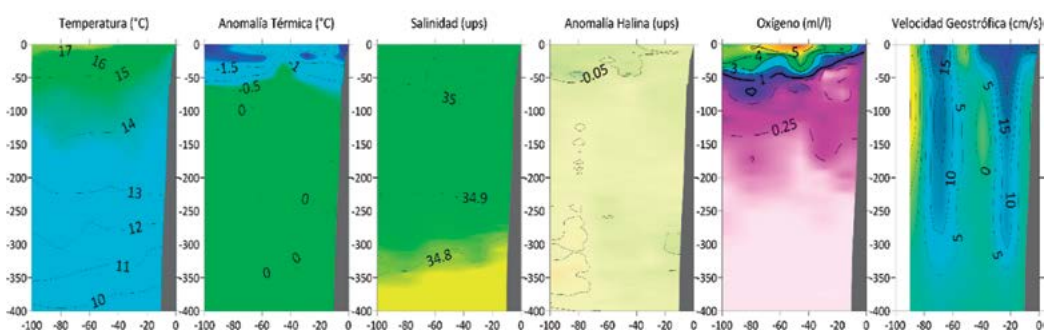


Figura 12.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalía térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostróficas (cm/s). Cr. Pelágeo 2009-11

Sección Chicama (14 - 15 de octubre 2020)

La sección Chicama se caracterizó por presentar condiciones frías sobre 70 m. Por debajo, predominaron condiciones neutras excepto la capa entre 150 y 350 m cerca al talud donde la condición también fue fría ($> 0,5$ °C). Observándose aguas de mezcla en una delgada capa (sobre 10-15 m) debido a la influencia de las ASS; sin embargo, las anomalías halinas indican una condición neutra con predominio de ACF en esta zona. Los valores de oxígeno observados mostraron una oxiclina por encima de 50 m de profundidad, debilitándose y haciéndose más superficial hacia la zona costera. El borde superior de la ZMO también se encontró somero, ubicándose entre 60 y 20 m de profundidad. Las velocidades geostroficadas, en promedio, fueron hacia el norte, con una amplia celda por fuera de las 60 mn, donde los flujos fueron mayores a 20 cm/s sobre 50 m, y otra celda sobre 50 m dentro de las 25 mn con flujos de hasta 10 cm/s (Fig. 13).

Sección Chimbote (12 - 13 de octubre 2020)

En esta sección, se presentó una termoclina sobre 60 m de profundidad, desapareciendo dentro de las 40 mn debido a los procesos de afloramiento que rompe la estratificación y provoca el ascenso de las isothermas. La capa de 0 a 100 m mostró condición fría con núcleos de anomalía de -1 °C. Los valores de salinidad indicaron presencia de ACF dentro de 40 mn y ASS por fuera de 40 mn y sobre 50 m de profundidad. Sin embargo, las anomalías halinas indicaron condiciones en el rango neutro a negativo. El OD, presentó una oxiclina de 5 mL/L a 1 mL/L entre 20 y 50 m de profundidad por fuera de las 50 mn, mientras que cerca de la costa la oxiclina se mostró ascendente. La ZMO (0,5 mL/L) se ubicó entre 50 y 10 m de profundidad. La velocidad geostrofica, presentó celdas con flujos hacia el norte por fuera de 80 mn con velocidades de 10 cm/s entre 50 y 300 m de profundidad, así como celdas de menor extensión sobre 30 m y dentro de 80 mn (Fig. 14).

SECCIÓN CHICAMA (14-15/10/2020. BIC HUMBOLDT)

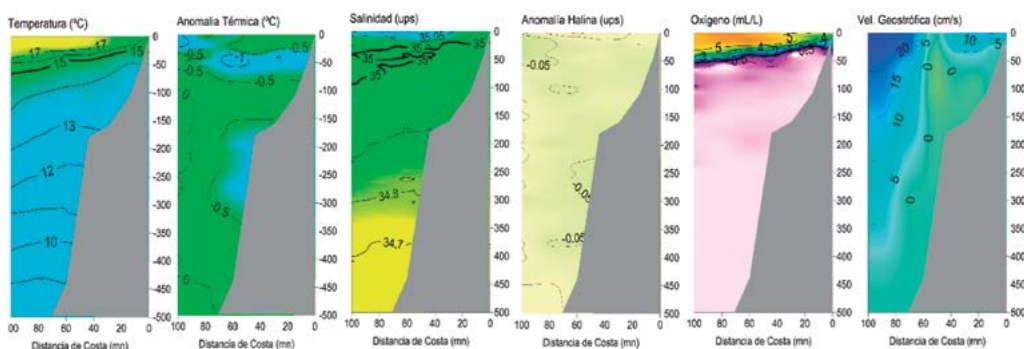


Figura 13.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalia térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostroficadas (cm/s). Cr. Pelágico 2009-11

SECCIÓN CHIMBOTE (12-13/10/2020) BIC FLORES

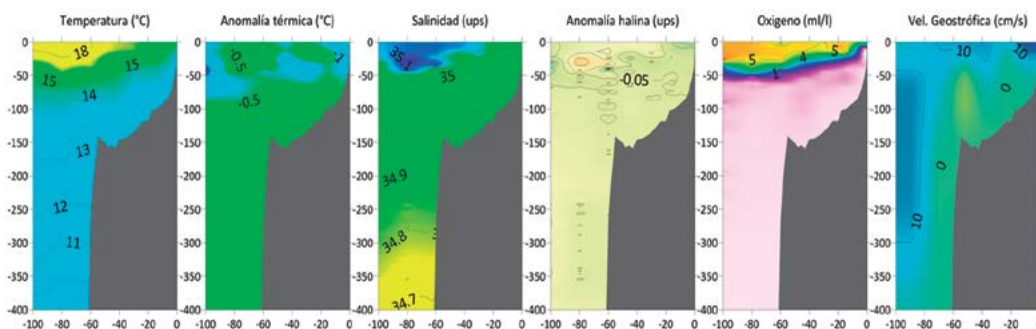


Figura 14.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalia térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostroficadas (cm/s). Cr. Pelágico 2009-11

Sección Punta Bermejo (17 de octubre 2020)

En la sección Punta Bermejo, los procesos de afloramiento mantuvieron a las isotermas con tendencia ascendente dentro de 40 mn, lo cual contribuyó a que la columna de agua sobre 100 m presentara condiciones frías; esta condición se mantuvo hasta 350 m, aunque con menor intensidad (-0,5 a -1 °C). Las ASS en esta zona respecto a Chimbote mostraron menor influencia, encontrándose mezcladas con las ACF por fuera de 30 mn y sobre 20 m. El OD presentó oxiclina sobre 50 m de profundidad debilitándose conforme se proyectaba a la costa debido a procesos de afloramiento ya mencionados, en tanto que la ZMO se ubicó entre 50 y 15 m, encontrándose más somera en la zona costera (Fig. 15).

Sección Callao (24 de octubre 2020)

En esta sección, se presentó una termoclina muy débil y superficial debido a los procesos

de afloramiento, registrándose isotermas con tendencia ascendente dentro de 40 mn. La columna de agua presentó condiciones frías sobre 150 m de profundidad, anomalías mayores a -1°C en la capa entre 30 y 100 m; por debajo de 150 m la condición térmica fue neutra. Las concentraciones de sales evidenciaron el predominio de las ACF hasta las 60 mn y hacia afuera se presentaron mezclas asociadas a las ASS y ACF sobre 25 m de profundidad. El OD presentó oxiclina sobre 50 m de profundidad. La ZMO (0,5 mL/L) se mantuvo pegada a la oxiclina, mostrando una elevación hasta 30 m alrededor de las 25 mn para luego profundizarse hasta 45 m. Las velocidades geostróficas mostraron dos celdas principales, una entre 55 y 80 mn asociada a flujos hacia el sur sobre 350 m, con velocidades mayores a 10 cm/s sobre 200 m; y la otra entre 20 y 45 mn relacionada a flujos hacia el norte, los que alcanzaron intensidades de 10 cm/s sobre 20 m de profundidad (Fig. 16).

SECCIÓN PUNTA BERMEJO (17/10/2020) BIC FLORES

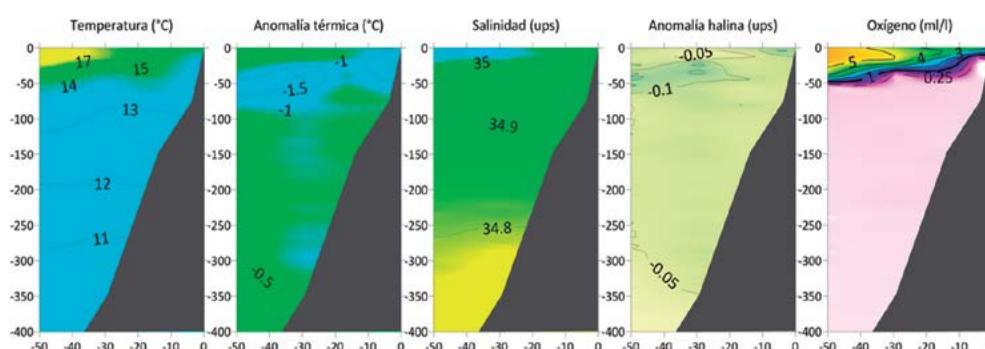


Figura 15.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalía térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups) y e) Oxígeno disuelto (mL/L). Cr. Pelágeo 2009-11

SECCIÓN CALLAO (24/10/2020) BIC HUMBOLDT

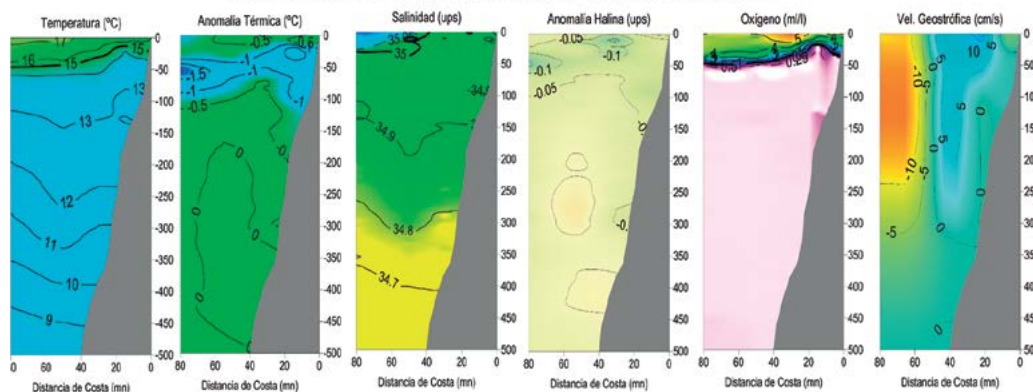


Figura 16.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalía térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostróficas (cm/s). Cr. Pelágeo 2009-11

Sección Pisco (26-27 de octubre 2020)

Esta sección se caracterizó por presentar condiciones ligeramente frías ($> -0,5$ °C) sobre 100 m y en la capa entre 150 y 350 m dentro de 50 mn. A juzgar por las concentraciones de sales, fueron las ACF las que predominaron a lo largo de la sección, exceptuando un núcleo ubicado dentro de 20 mn y sobre 10 m con bajas salinidades, anomalías térmicas positivas y altos valores de oxígeno. La distribución de oxígeno mostró mayores valores por fuera de 50 mn y dentro de 20 mn, asociados a procesos fotosintéticos en la zona costera. Las velocidades geostóficas en promedio fueron hacia el norte por fuera de 20 mn, con velocidades de 5 cm/s y 10 cm/s sobre 60 y 15 m de profundidad, respectivamente (Fig. 17).

Sección San Juan de Marcona (29 – 30 de octubre 2020)

La sección San Juan se caracterizó por presentar isotermas con tendencia ascendente debido a los procesos de afloramiento, con anomalías menores a $0,5$ °C sobre 150 m dentro de las 40 mn y sobre 100 m fuera de las 40 mn. La salinidad se asoció con aguas características del afloramiento (ACF), observándose anomalías halinas negativas ($> 0,1$ ups) alrededor de 50 m de profundidad y las 50 mn y, otro núcleo con anomalías positivas en la capa superficial cerca de la línea de costa. El OD presentó una oxiclina sobre 100 m de profundidad, ascendiendo y alcanzando 20-15 m cerca de la costa. La ZMO ($0,5$ mL/L), se ubicó muy ceca a la base de la oxiclina, manteniendo un comportamiento similar a esta, encontrándose somera (20 m) cerca de la costa. Las corrientes marinas fueron predominantes hacia el norte con intensidades mayores a 10 cm/s sobre 50 m; presentándose flujos muy débiles (< 5 cm/s) por debajo de 50 m dentro de las 40 mn (Fig. 18).

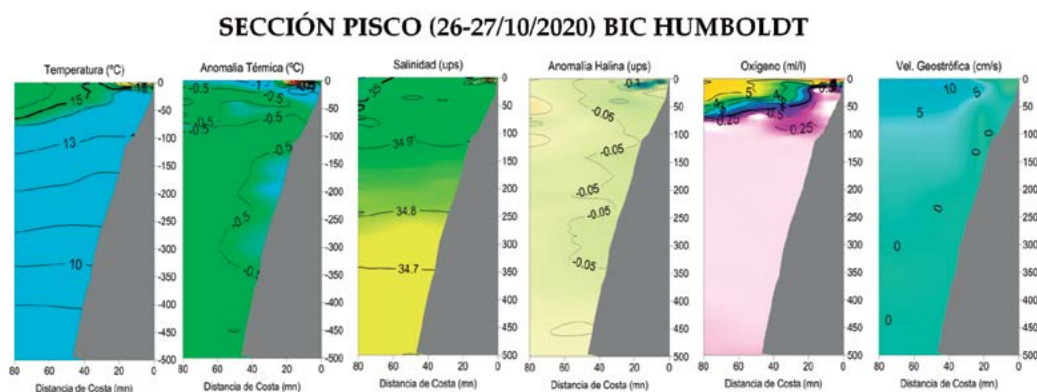


Figura 17.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalia térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostóficas (cm/s). Cr. Pelágico 2009-11

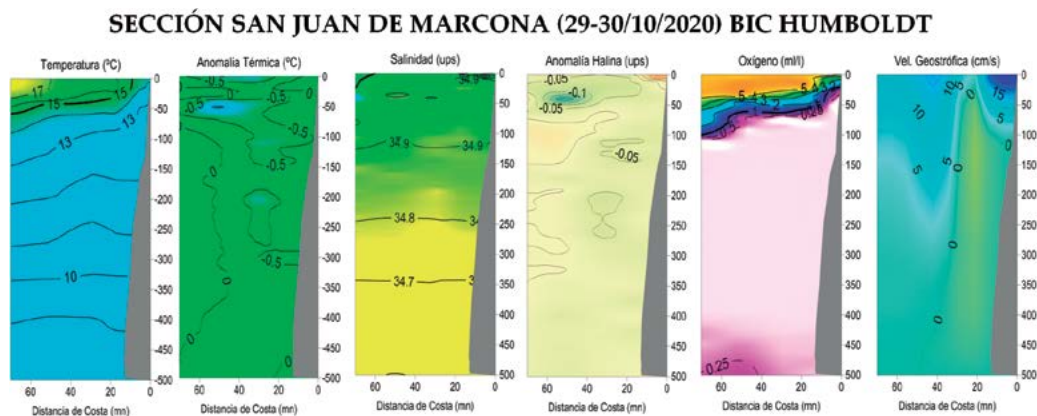


Figura 18.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalia térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostóficas (cm/s). Cr. Pelágico 2009-11

Sección Atico (6 – 7 de noviembre 2020)

En esa sección se apreciaron procesos de afloramiento dentro de las 30 mn, ascendiendo la isoterma de 15 °C de 50 m (50 mn) a 5-10 m de profundidad. Según el patrón climatológico, las condiciones fueron frías con una anomalía de hasta -2 °C sobre 50 m. Las condiciones halinas muestran procesos de mezcla (ACF+ASS) por fuera de las 45 mn, hasta 30 m de profundidad; sin embargo, fueron las ACF las predominantes. Las anomalías halinas fueron negativas en la capa superficial con un núcleo de hasta -0,2 ups y de menor magnitud cerca de la plataforma continental, así como un núcleo con anomalías positivas (+0,005 ups) por fuera de las 45 mn. También se apreció a las ATSA con núcleos de salinidad ~ 34,8 ups sobre 60 m. La distribución del OD sobre 40 m, presentó un gradiente con iso-oxígenas de 6,0 a 0,5 mL/L, observándose el ascenso de la iso-oxígena de 4,0 mL/L de 50 m a 10 m de profundidad. El límite superior de la ZMO (0,5 mL/L) se registró de 75 m en las 50 mn a 15 m de profundidad en la zona costera. Las

corrientes marinas predominaron hacia el norte con intensidades mayores a 10 cm/s sobre 20 m; presentándose flujos muy débiles (<5 cm/s) por debajo de 50 m en toda la sección (Fig. 19).

Sección Ilo (10 de noviembre 2020)

En la sección Ilo se aprecia un gradiente térmico importante, aunque somero sobre 20 m de profundidad. En promedio sobre 100 m la condición térmica fue fría con anomalías de hasta -3,0 °C. La salinidad presentó valores de 35,0 ups por fuera de las 30 mn, sobre 10 m de profundidad, asociado al acercamiento de ASS con TSM de 19 °C; aunque, en general en casi toda la sección se registraron anomalías de salinidad negativas, con máximos negativos por encima de 50 m, esta condición se debería a la influencia de ATSA. Finalmente, se observó, sobre 40 m, un gradiente con iso-oxígenas de 6,0 a 0,5 mL/L, con profundización de las iso-oxígenas menores a 5 mL/L en la zona costera. El límite superior de la ZMO (0,5 mL/L) se registró a 25 m a 30 mn de la costa profundizándose hasta 40 m en la zona costera (Fig. 20).

SECCION ATICO (6/7/11/2020) BIC HUMBOLDT

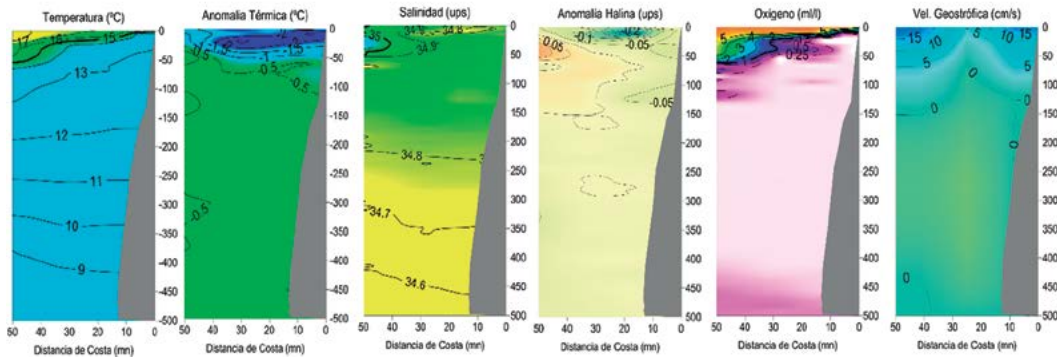


Figura 19.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalía térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups), e) Oxígeno disuelto (mL/L) y f) Velocidades geostroficas (cm/s). Cr. Peláigo 2009-11

SECCION ILO (10/11/2020) BIC HUMBOLDT

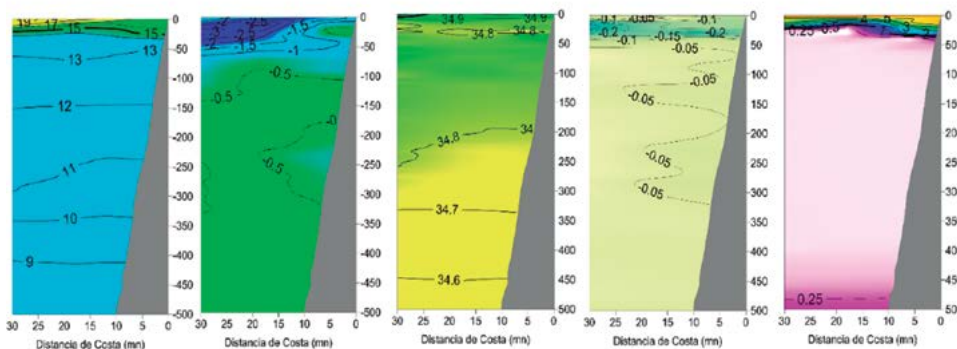


Figura 20.- Distribución de a) Temperatura (°C), b) Anomalía térmica (°C), c) Salinidad (ups), d) Anomalías de salinidad (ups) y e) Oxígeno disuelto (mL/L). Cr. Peláigo 2009-11

4. DISCUSIÓN

Las condiciones frías que prevalecieron durante el desarrollo del crucero, guardan relación con las condiciones de macro escala. Durante el tiempo de evaluación, el Pacífico Ecuatorial presentó condiciones frías, en octubre con anomalías de TSM del orden de $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la región central y de $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la región Niño 1+2; sin embargo, la ubicación zonal del núcleo del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) en los últimos dos meses del 2020 favoreció la ocurrencia de vientos del sudeste menos intensos frente a la costa peruana respecto a meses anteriores, lo cual a su vez permitió una ligera disminución de las anomalías térmicas frente a la costa respecto a lo encontrado en setiembre (Cr. Evaluación de anchoveta por el método de producción de huevos, MPH 2020-09), así como la generación de intensos procesos de mezcla principalmente al norte de Pimentel, donde se registró alta interacción de aguas oceánicas (ASS) con aguas típicas del afloramiento y contribución de aguas ecuatoriales al norte de Paita.

Las evaluaciones oceanográficas realizadas durante los cruceros del 2018, 2019 y 2020, indican, con respecto al comportamiento de las masas de agua, alta variabilidad de este parámetro tanto espacial como temporalmente. Es así que, en enero persistió la intromisión de AES hasta Chicama, generando condiciones de mezcla con ASS y ACF. Al sur de esta localidad se observó predominio de ASS manteniendo a las ACF dentro de las 30 mn en promedio. En Junio (Cr. Demersales 2020-06) y en setiembre (Cr. MPH 2020-09) persistieron las aguas de mezcla al norte de Pimentel. Las ASS se

localizaron principalmente al sur de Chicama, con proyecciones a la línea de costa, hasta las 20 mn en septiembre, sin embargo, las ACF frías ampliaron su distribución del verano hacia la primavera, alcanzando las 60 mn al sur de los 11°S en setiembre. Sin embargo, a finales de setiembre (Cr. Evaluación de Recursos Pelágicos 2020-0911) se observó una proyección inusual de ATS y AES al norte de Talara generando una condición cálida ($+2\text{ }^{\circ}\text{C}$) en esta zona. En octubre, aunado a la evolución de un periodo frío (Comunicado ENFEN 2020-10, 11, 12 y 13) las aguas típicas del afloramiento costero ampliaron su distribución proyectándose más allá de las 60 mn al sur del Callao. Comparando los 3 últimos cruceros de recursos pelágicos (Cr. 2018-0911, 2019-09-11 y 2020-09-11), destaca que en la primavera del 2020 se presentó menor presencia de ASS, así como mayor cobertura de las ACF principalmente al sur del Callao, persistiendo amplias zonas de mezcla al norte de Chicama en las tres últimas primaveras (Fig. 21).

Las condiciones ambientales marinas entre 8 y 12°S , durante el periodo de primavera de los últimos 5 años hasta este estudio, indicaron aproximación de las ASS hasta las 20 mn, a excepción de los años 2015 y 2016 que mostraron acercamiento máximo de hasta 5 mn, como consecuencia del evento cálido presentado en la costa peruana (El Niño 2015-16). Para el periodo 2017, después del periodo cálido del 2016, las ASS se mantuvieron por fuera de las 20-25 mn entre Chimbote y Huacho. Por otro lado, las condiciones mostradas durante la primavera del 2017 y el verano del 2018 indicaron un periodo frío con presencia de ACF, sin embargo, hubo aproximación de las ASS hasta las 15-30 mn,

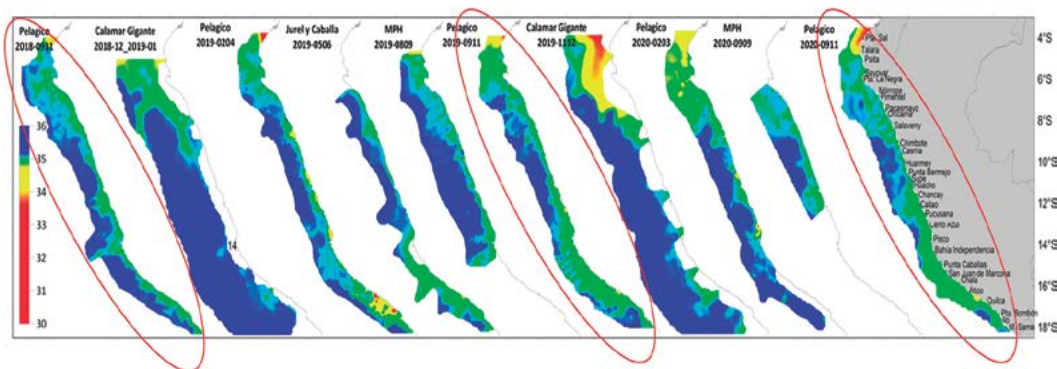


Figura 21.- Cronología de la evolución de la SSM durante los cruceros de evaluación realizados por IMARPE 2018-2020

principalmente en la zona central entre Chimbote y Punta Bermejo. Para el 2019 las condiciones se mantuvieron neutras con periodos de anomalías positivas y negativas mostrando en ambos casos valores que no excedieron ± 1 °C, y con las ASS por fuera de las 20 mn entre Salaverry y Chancay. Para el periodo de verano y primavera del 2020 las condiciones indicaron acercamiento de ASS hasta las 15-20 mn entre Chimbote y Huacho. Por lo antes mencionado, se puede inferir que la aproximación de las ASS en la zona central se está produciendo de manera continua, indiferente si es un periodo cálido o frío, debido posiblemente a que en los últimos años se ha evidenciado que el campo de velocidad de vientos frente a Chimbote ha sido entre moderado a débil con anomalías neutras a negativas dentro de las 50 mn.

5. CONCLUSIONES

Las condiciones ambientales predominantes durante el desarrollo del crucero, entre Puerto Pizarro y Morro Sama fueron frías, excepto dentro de las 30 mn al norte de Talara, en la bahía Paracas y Quilca, donde la condición fue cálida con anomalías mayores a $+2$ °C. Siendo la zona más fría la ubicada al norte de Sechura con anomalías mayores a -2 °C, en cambio la zona al sur de Mórrope también fue en promedio fría con anomalías menores a -1 °C, con amplios núcleos de condiciones neutras que se extendieron hasta Morro Sama.

Se observó la presencia de ACF a lo largo de toda la zona costera, proyectándose más allá de las 60 mn al sur del Callao hasta Ocoña; ASS por fuera de las 50 y 30 mn al sur de Salaverry y Punta Bombón y muy cerca de Chimbote; AES y ATS al norte de Talara y al norte de Pimentel se presentaron intensos procesos de mezcla entre ACF y ASS y entre AES, ASS y ACF al norte de Sechura.

La columna de agua en las primeras capas (entre 0 y 100 m) mostró condiciones frías debido al paso de las ondas Kelvin Frías y a los procesos de afloramiento que se mantuvieron activos y con moderada intensidad dentro de las 30 mn.

Entre Punta Falsa y Atico los flujos hacia el norte fueron predominantes, exceptuando la zona por fuera de las 60 mn frente a Callao y Punta Falsa donde se presentaron celdas de flujos hacia el sur con velocidades de hasta 20 cm/s. En cambio, frente a Paita se presentó una alternancia de flujos al norte y al sur.

Se identificaron Aguas Tropicales Superficiales, Aguas Ecuatoriales Superficiales, Aguas Costeras Frías, Aguas Subtropicales Superficiales, Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales, Aguas Templadas de la Subantártica y Aguas Antárticas Intermedias.

Se ha podido estimar la profundidad de la capa de mezcla (PCM) satisfactoriamente mediante los datos de temperatura recolectados por el CTD y, como era de esperar, se ubicó sobre la termoclina representada por la isoterma de 15 °C.

6. REFERENCIAS

- ENFEN. (2020). Comunicado Oficial ENFEN, N°s 10, 11, 12, 13 y 14-2020 (www.enfen.gob.pe).
- HOLTE, J., TALLEY, L. (2009). A new algorithm for finding mixed layer depths with applications to Argo data and Subantarctic Mode Water formation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(9), 1920-1939.
- POND, S., PICKARD, G. L. (1978). *Introductory Dynamical Oceanography*.
- WYLLIE, J.G. (1966). Geostrophic flow of the California Current at the surface and at 200 meters. *State of California Marine, Research Committee*.