

CARACTERÍSTICAS TERMOHALINAS Y CORRIENTES MARINAS ENCONTRADAS DURANTE EL MONITOREO “LÍNEA DE BASE” EN EL ÁREA PILOTO DE HUACHO, NOVIEMBRE 2018

THERMOHALINE CHARACTERISTICS AND OCEAN CURRENTS FOUND DURING THE “BASELINE” MONITORING IN THE HUACHO PILOT AREA - NOVEMBER, 2018

Noel Domínguez¹

RESUMEN

DOMÍNGUEZ, N. (2023). *Características termohalinas y corrientes marinas encontradas durante el monitoreo de “Línea de Base” en el Área Piloto de Huacho, noviembre 2018*. *Inf Inst Mar Perú*, 50(2), 147-160.- Se reportan las condiciones oceanográficas físicas encontradas entre Végueta y el sur de Playa Herradura (11°00' a 11°25'S, aproximadamente) y hasta 35 millas náuticas de la costa, entre el 24 y 29 de noviembre 2018. Las condiciones registradas, evidenciaron predominio de aguas de mezcla en superficie (Aguas Subtropicales Superficiales-ASS y aguas de afloramiento) principalmente en la franja paralela a la costa entre 5 y 25 mn. Las ASS se hallaron por fuera de las 28 mn asociadas a valores de temperatura mayores de 19 °C; asimismo, se encontraron muy cerca de la zona centro-sur del área prospectada formando núcleos. Las aguas de afloramiento se encontraron asociados a temperaturas menores de 17 °C en la franja de 5 a 10 mn entre Playa Chica y Végueta. La descarga del río Huaura entre 3 y 5 mn fue importante, intensificando la zona de mezcla. La circulación marina presentó, principalmente, flujos hacia el sur y sur-este, asociados a la Corriente Subsuperficial Peruano-Chilena (CSPCh). Las condiciones sub-superficiales indicaron estratificación termohalina sobre los 30 m y homogenización por debajo, con fuerte influencia del afloramiento en toda la columna de agua.

PALABRAS CLAVE: Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), aguas costeras frías (acf), Corriente Subsuperficial Peruano - Chilena (CSPCh), Huacho

ABSTRACT

DOMÍNGUEZ, N. (2023). *Thermohaline characteristics and ocean currents found during the “Baseline” monitoring in the Huacho Pilot Area (November 2018)*. *Inf Inst Mar Perú*, 50(2),147-160.- This report outlines the physical oceanographic conditions observed between Végueta and the southern part of Playa Herradura (approximately spanning from 11°00' to 11°25'S) up to 35 nm offshore, between November 24 to 29, 2018. The prevailing surface water conditions were a mixture of Subtropical Surface Waters (STSW) and upwelling waters, primarily found in the coastal area between 5 and 25 nm. The STSW occurred beyond the 28 nm range, where the temperature was greater than 19 °C. Additionally, they were found near the central-southern part of the surveyed area, forming nuclei. Upwelling waters were found between Playa Chica and Végueta, associated with temperatures below 17 °C within 5 to 10 nm. It is also important to highlight the discharge of the Huaura River within 3-5 nm since it intensifies the mixing zone. The marine circulation flowed predominantly towards the south and southeast, related to the Peru-Chile Undercurrent (PCUC). Subsurface conditions showed thermohaline stratification at depths greater than 30 m and homogenization below that, strongly influenced by upwelling throughout the water column.

KEYWORDS: Subtropical Surface Waters (STSW), cold coastal waters (CCW), Peru-Chile Undercurrent (PCUC), Huacho

1. INTRODUCCIÓN

El área marina a lo largo de la costa peruana presenta características singulares, principalmente por presencia de un sistema de corrientes marinas que trasladan aguas frías del sur con dirección norte y aguas cálidas del norte con dirección al sur (CHAIGNEAU *et al.*, 2013), también se producen focos de afloramientos costeros que originan disminución de las temperaturas en superficie y elevación de la concentración de nutrientes en toda la columna de agua, dentro de las primeras

20-30 millas, aproximadamente (ZUTA y GUILLÉN, 1970). Las bahías de Huacho y Carquín no están exentas de estas características, mostrando temperaturas superficiales frías y salinidades propias de aguas costeras en comparación a las bahías del norte del país (5°-3°S) que reciben influencias de aguas cálidas del Golfo de Guayaquil. Estas bahías también reciben influencia de las descargas del río Huaura que se intensifican o disminuyen de acuerdo a los periodos estacionales y periodos ENOS (ENFEN, 2018). Asimismo, el área recibe en ciertos periodos de tiempo descargas de al-

¹ Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático (DGIOCC), ndominguez@imarpe.gob.pe

gún tipo de contaminante, debido a los diversos efluentes ubicados en la zona como domésticos, industriales, irrigaciones, etc., todos ellos causantes del deterioro del ambiente marino (MALDONADO, 2012).

El estudio se ejecutó en un entorno ambiental con anomalías positivas (según Comunicados ENFEN 13 y 14, 2018), debido al acercamiento anómalo de aguas oceánicas de alta salinidad, alcanzando la línea de costa en la zona sur (noviembre). En la columna de agua se observó un incremento térmico, siendo significativo frente a Callao y San Juan donde se registraron anomalías de más de 2,0 °C por fuera de las 30 millas. A 10 millas de Paíta, a fines de octubre, se registró profundización de las isotermas y proyección de aguas ecuatoriales hacia el sur debido al paso de la onda Kelvin cálida. Las anomalías mensuales más altas se presentaron en Paíta (+3 °C) y en Mollendo (+2 °C), sin embargo, en la zona entre el Callao y Huarmey se hallaron condiciones neutras.

La componente física, analizó el comportamiento termal, halino y circulación marina; esta información servirá para evaluar la calidad del ambiente marino de la zona estudiada. En el presente informe, se dan a conocer los resultados de las condiciones oceanográficas obtenidas durante el monitoreo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio realizado entre el 24 y 29 de noviembre 2018, estuvo comprendido entre Végueta y el sur de Playa Herradura (11°00,061' - 11°24,974'S). Los trabajos oceanográficos comprendieron la realización de 73 estaciones oceanográficas (Fig. 1), donde se establecieron 5 secciones perpendiculares a la costa: Végueta, Huacho, humedal Paraíso, Playa Arenilla y el sur de Playa Herradura.

En todas las estaciones se efectuaron lanzamientos de botellas Niskin *General Oceanic* de 5 L de capacidad para la obtención de muestras de agua en los niveles de 10, 20, 30, 50, 75, 100 y 150 m.

Para el registro de la temperatura superficial del mar (TSM, °C) se empleó un termómetro de superficie, *Richter & Wiese* serie k92-110, mientras que para las capas subsuperficiales se obtuvo la

información con un termómetro de inversión Amarell serie 0422563. Así mismo, se obtuvieron datos de salinidad analizando las muestras colectadas por el método de inducción con el salinómetro Portasal 8410A Guildline.

También se efectuaron 32 lanzamientos de CTD (*conductivity, temperatura and depth*) SBE19 serie 7838, obteniéndose información continua (cada metro) de presión, temperatura y salinidad hasta 217 m de profundidad máxima. Asimismo, se hicieron mediciones de corrientes marinas con un correntómetro, VM-ADCP (RDI), modelo WH-300, portátil instalado a estribor de EC IMARPE VII, con rango de profundidad de 80-100 m y resolución vertical de 2 m. Los datos se registraron con el programa RDI VMDAS, v. 1.42, instalado en una PC con el sistema Windows 7. Las posiciones (latitud y longitud) se obtuvieron de un GPS Garmin 178C. La frecuencia (disparo) de señal del ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) fue cada 3 segundos. Los datos se promediaron cada 5 minutos para mejorar la resolución. El procesamiento se realizó aplicando el sistema CODAS3 (*Common Oceanographic Data Access System*, v.3 1) (FIRING *et al.*, 1995).

Con los datos obtenidos y el programa Surfer 15.0 se elaboraron cartas de distribución horizontal y vertical de las diferentes variables y parámetros físicos que permitieron el análisis, comparación y relación entre ellos para determinar las condiciones físicas dominantes.

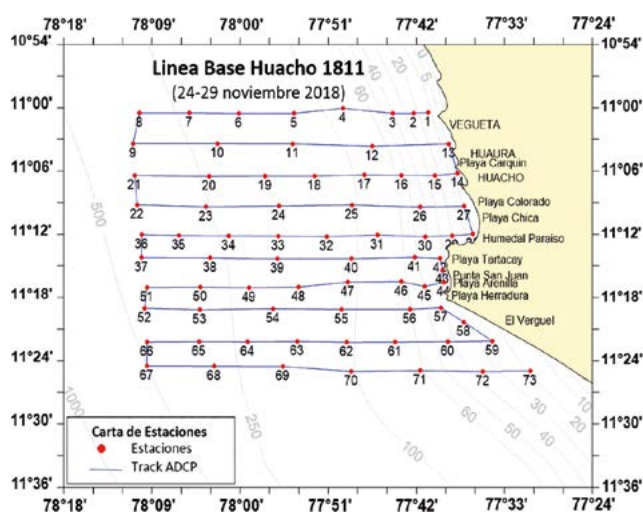


Figura 1.- Carta de Estaciones Oceanográficas y trayecto recorrido ADCP (Perfilador de corriente acústico Doppler). Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

3. RESULTADOS

Distribución de variables físicas en superficie

Las condiciones de temperatura registradas en la zona de estudio fueron normales, principalmente entre el norte de Punta La Herradura y sur de Végueta, sin embargo, en los extremos norte, sur y oeste se localizaron núcleos cálidos, debido a remanentes o incursión de aguas oceánicas y al posible paso de una onda Kelvin cálida (ENFEN 13 - 14, 2018) no obstante, no son claros los cambios asociados a esta onda. Se localizó un núcleo frío (16,5 °C) frente a Huacho con valores de anomalías térmicas < -0,5 °C (Fig. 2 a, b), en general estas anomalías presentaron valores de -0,95 a +2,24 °C.

Temperaturas con valores < 17 °C se encontraron dentro de las 15 mn entre Végueta y Playa Tartacay, y las > 17,5 °C estuvieron por fuera de las 16 mn, las mismas que en la zona sur se proyectaron hacia tierra (este) alcanzando la costa al sur de Playa Herradura. Los valores > 19 °C se ubicaron por fuera de las 30 mn, condición similar a las condiciones presentadas durante el Crucero 1812 de Evaluación del Calamar Gigante (informe ejecutivo). La formación de la isoterma de 17 °C frente a Huacho, se relacionaría a un foco de surgencia puesto que, en esa zona también se encontraron anomalías negativas > -0,5 °C. En general, la capa superficial presentó temperaturas que variaron de 16,3 a 19,5 °C, con promedio de 17,9 °C (Fig. 2a).

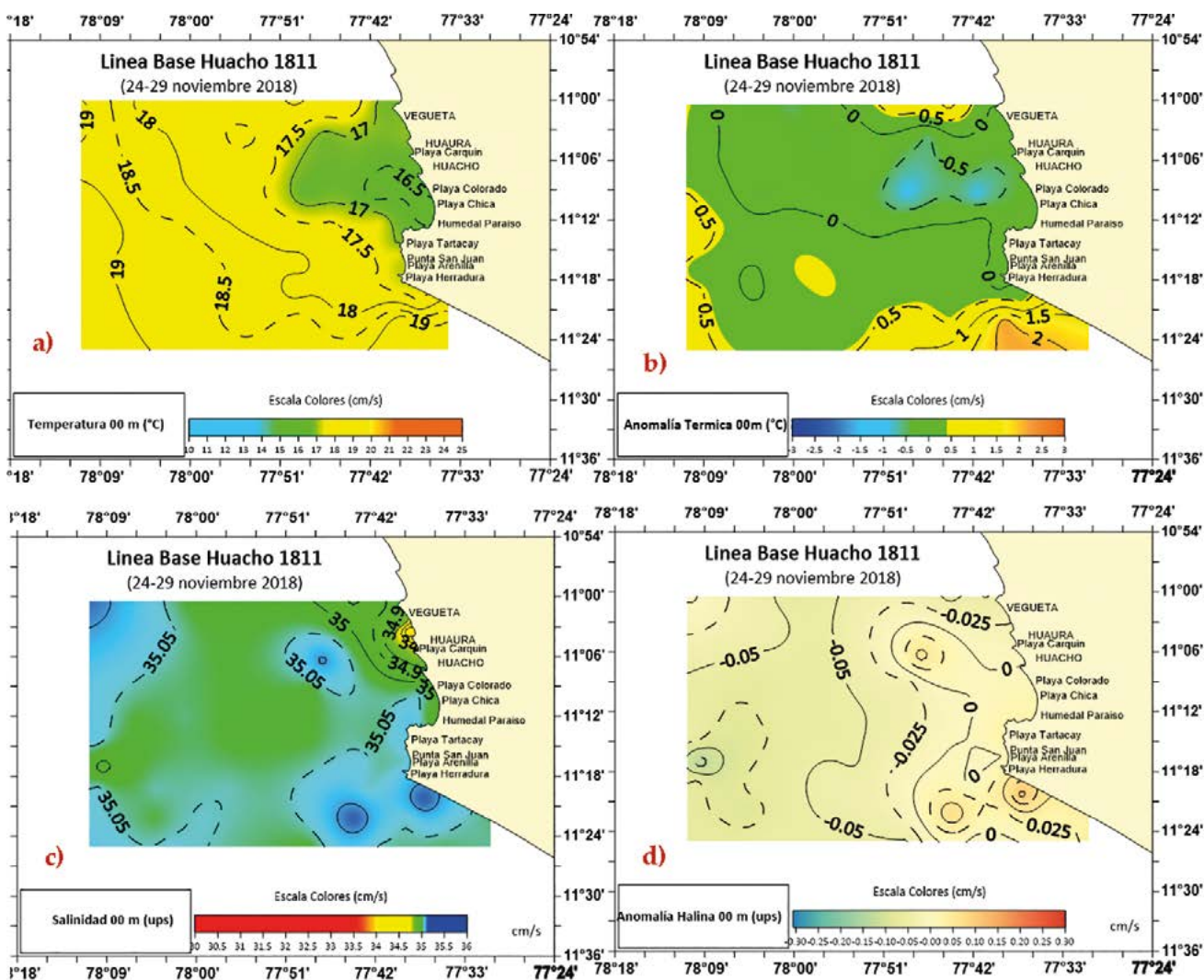


Figura 2.- (a) Temperatura (°C), (b) Anomalía Térmica (°C), (c) Salinidad y (d) Anomalía Halina en superficie. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

Respecto a la salinidad, el área mostró predominio de concentraciones entre 35,00 y 35,05, propias de aguas de mezcla. Valores $> 35,05$ se hallaron por fuera de las 28 mn asociadas a temperaturas > 19 °C vinculados a las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), en tanto que, entre Playa Chica y Végueta, valores $< 35,0$ se encontraron asociados a temperaturas < 17 °C y vinculados a las aguas costeras frías (acf) dentro de las 5 a 10 mn. Por otro lado, fue notoria la descarga del río Huaura dentro de las 3 a 5 mn mostrando valores $< 34,5$ (Fig. 2c) los que se mantuvieron hasta inicios de diciembre 2018, principalmente dentro de las 10 y 20 mn. Estos resultados estuvieron acordes con los encontrados durante los cruces de evaluación de recursos pelágicos 1809-11 y del calamar gigante 1812 (informes ejecutivos), cuando se registraron concentraciones relacionadas con aguas de mezcla (entre acf y ASS), con salinidades de 35,05 cerca de las 20 y 28 mn entre Huarmey y Huacho, respectivamente.

En general, la capa superficial mostró concentraciones de sales correspondientes a aguas de mezcla (ASS, aguas costeras frías y aguas de ríos aledaños a la zona) registrando valores que oscilaron entre 34,482 y 35,138, promedio 35,034. Las anomalías halinas presentaron valores próximos a cero (promedio patrón), principalmente en la zona costera dentro de las 10 mn. Los valores $> 0,05$ se ubicaron por fuera de las 20 mn, asociados a la presencia de las ASS. Las anomalías halinas oscilaron entre -0,141 y 0,111 (Fig. 2d).

Distribución de variables físicas a 5 m de profundidad

La temperatura a 5 metros de profundidad se presentó muy similar con la capa superficial, con la diferencia de que valores < 17 °C se extendieron hasta el sur de la Playa Herradura (8 mn más al sur respecto al de superficie). Los valores > 17 °C se hallaron por fuera de las 12 mn, y los > 19 °C se encontraron por fuera de las 28 mn (al igual que en la capa superficial). En esta profundidad la temperatura osciló entre 15,5 y 19,3 °C, con promedio de 17,5 °C (Fig. 3a).

Las anomalías térmicas se hallaron con valores próximos a condiciones normales en toda el área de muestreo, excepto por algunos núcleos fríos $< -0,5$ °C ubicados dentro de las 5 mn al sur de Playa Herradura, cerca de las 6 mn frente a Playa Chica y cerca de las 14 mn frente a Huacho.

También, se hallaron algunos núcleos cálidos $> +0,5$ °C por fuera de las 11 mn en el lado sur frente a Playa Herradura y por fuera de las 5 mn en el lado norte frente a Végueta. Las anomalías térmicas oscilaron de -0,95 a +0,71 °C (Fig. 3 b).

La salinidad osciló de 34,826 a 35,074, con promedio de 34,971. La evaluación del nivel de 5 m, mostró predominio de isohalinas < 35 dentro de las 20 – 25 mn asociadas a valores térmicos < 18 °C y vinculadas a las aguas costeras frías. Valores $> 35,05$ se hallaron en pequeña proporción en el lado norte del área por fuera de las 27 mn, asociados a aguas de mezcla con ligera influencia de la ASS (Fig. 3c).

Las anomalías halinas, en la parte central dentro de las 20 mn de costa, indicaron una zona con valores que oscilaron de 0 a -0,1, asociados a valores $< 35,0$. Valores $< -0,1$ se hallaron en los extremos sur y norte del área de evaluación, ubicándose dentro de las 10 mn frente a Playa Herradura y frente a Huaura, respectivamente; los que también se hallaron formando un núcleo por fuera de las 15 mn frente a Playa Arenilla. Los valores de anomalías halinas oscilaron entre -0,035 y 0,186 (Fig. 3d).

Respecto a la circulación marina en la capa promedio de 7 m (capa integrada de 5 a 9 m), presentó flujos con dirección hacia el sur, sur-este y sur-oeste. Los flujos débiles menores de 15 cm/s se hallaron dentro de las 5 mn en la zona costera entre Végueta y Humedal Paraíso, en tanto que, las velocidades mayores de 30 cm/s se hallaron formando un núcleo a 18 mn frente a Playa Herradura. El resto del área presentó valores moderados que oscilaron entre 15 y 30 cm/s. En el centro de la bahía (25 mn de costa) frente a Playa Chica se notó la presencia de una vorticidad (remolino) ciclónico (sentido horario) que inclina los flujos hacia el oeste. Estos flujos se encuentran asociados a la Corriente Sub-superficial Peruano - Chileno (CSPCH). No se percibe influencia de los vientos presentados en superficie (Fig. 3e).

Distribución de variables físicas a 10 m de profundidad

En este nivel la temperatura presentó isoterms paralelas a la línea de costa, que mantuvieron la homogeneidad en el área, los valores < 17 °C configuraron una franja más extensa, siempre dentro de las 20 mn al igual que la capa anterior.

Los valores $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ se extendieron hasta las 25 mn y los de $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ estuvieron por fuera de las 28 mn. Los valores térmicos variaron entre $15,4$ y $19,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, el valor promedio fue de $16,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 4a). Las anomalías térmicas mostraron valores entre $-0,97$ y $+0,79\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las anomalías evidenciaron

un incremento de las franjas frías $< -0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ asociados a la isoterma de $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin embargo, aún persisten valores ligeramente cálidos $> 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por fuera de las 22 mn. El ámbito dentro de las 10 mn se encontraría asociado a surgencias que se producen en la zona (Fig. 4 b).

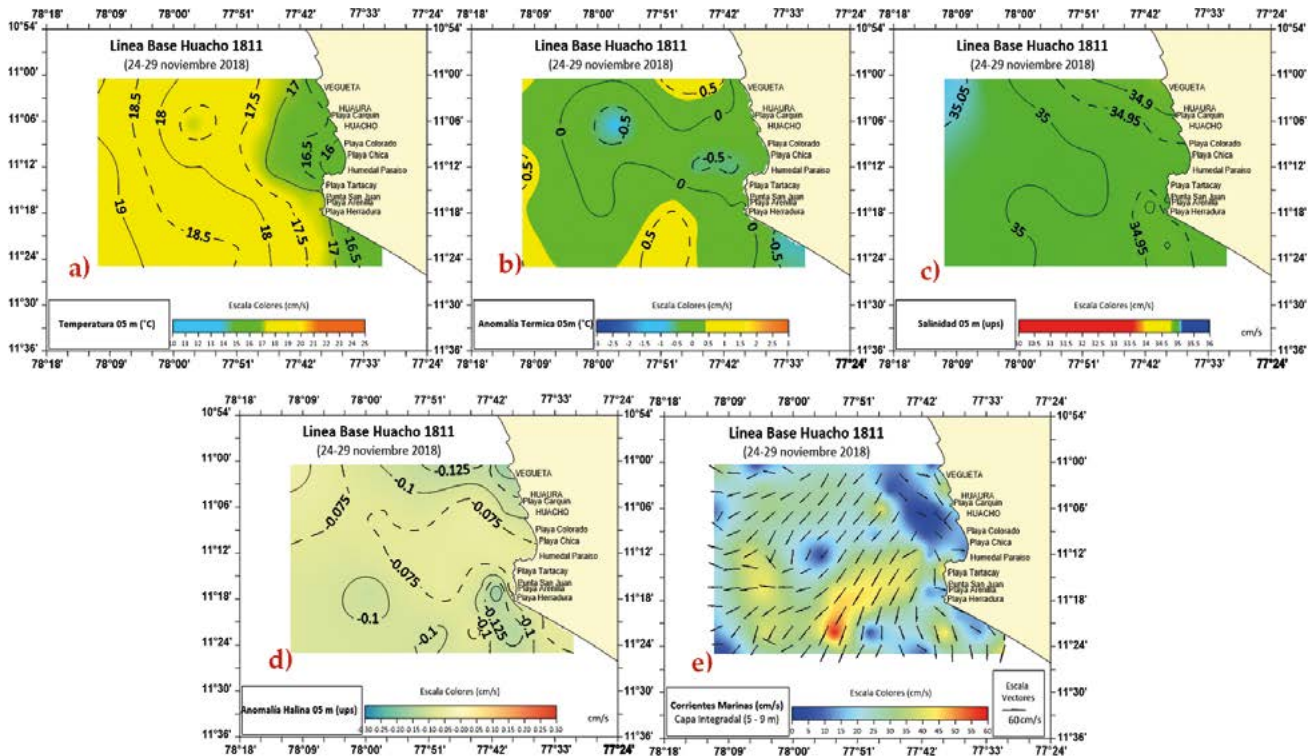


Figura 3.- (a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) Anomalia Térmica ($^{\circ}\text{C}$), (c) Salinidad, (d) Anomalia Halina, (e) Corrientes marinas (cm/s) a 5 m de profundidad. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

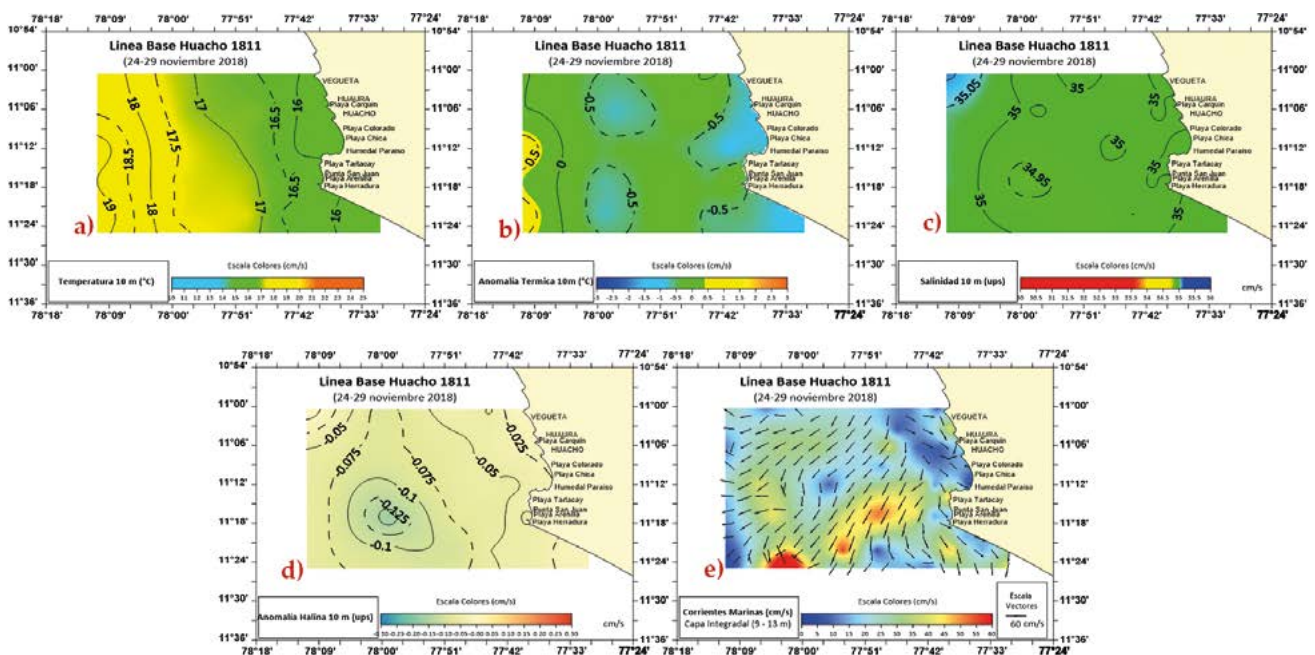


Figura 4.- (a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) Anomalia Térmica ($^{\circ}\text{C}$), (c) Salinidad, (d) Anomalia Halina, (e) Corrientes marinas (cm/s) a 10 metros de profundidad. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

La salinidad en este nivel presentó valores próximos a 35,0 en toda el área evaluada, vinculados a condiciones térmicas $< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y relacionados con aguas costeras frías. Se observó persistencia de valores $> 35,05$ en el lado norte del área por fuera de las 28 mn frente a Végueta, asociados a valores térmicos $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a las ASS. Los valores halinos variaron entre 34,910 y 35,112, con promedio de 35,001 (Fig. 4c). Las anomalías halinas fueron $> -0,1$ excepto por un núcleo ubicado frente a Playa Arenilla por fuera de las 13 mn donde los valores fueron $< -0,1$. Toda el área se encontró asociada a las aguas costeras frías, relacionado con valores de 35,0 excepto una pequeña zona frente a Végueta por fuera de los 22 mn con valores positivos. Los valores de anomalías halinas oscilaron entre $-0,170$ y $0,018$ (Fig. 4d).

La capa promedio de 11 m evidenció flujos hacia el sur, sureste y suroeste y al igual que en la capa anterior, los valores menores de 10 -15 cm/s están agrupados en el borde costero dentro de las 5 mn entre Végueta y Humedal Paraíso, en tanto que, los valores mayores de 30 cm/s se presentan en el lado sur, a 25 mn de costa frente a Playa Herradura. El resto del área mantiene una velocidad moderada de 15 a 30 cm/s. Dentro de

las 5-10 mn, los flujos tienen un comportamiento paralelo a la costa tanto en este nivel como en la de 7 metros, sin embargo, los flujos que vienen por fuera de las 5-10 mn sufren un desvío hacia el oeste por el impacto con Punta San Juan (Fig. 4e).

Distribución de variables físicas a 20 m de profundidad

Como era de esperar las condiciones en el nivel de 20 metros fueron más homogéneas respecto a los niveles superiores. Las temperaturas oscilaron entre $15,2$ y $19,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. La distribución térmica mostró valores $< 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de 25 mn en toda el área evaluada, la isoterma de $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ se ubicó dentro de las 10 mn, en tanto que, los valores $> 18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ se hallaron por fuera de las 28 mn (Fig. 5a). En este nivel se hallaron condiciones frías con anomalías $< 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta cerca de las 21 mn, en tanto que, valores $> 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ se hallaron por fuera de las 22 mn. No se percibe el ingreso de la onda Kelvin en ninguno de los estratos descritos anteriormente. Las condiciones frías tienen mayor área de influencia respecto al nivel anterior y están asociados a mayor cobertura de la isoterma de $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de las 18 mn. Las anomalías térmicas mostraron predominio entre $-0,94$ y $+1,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 5b).

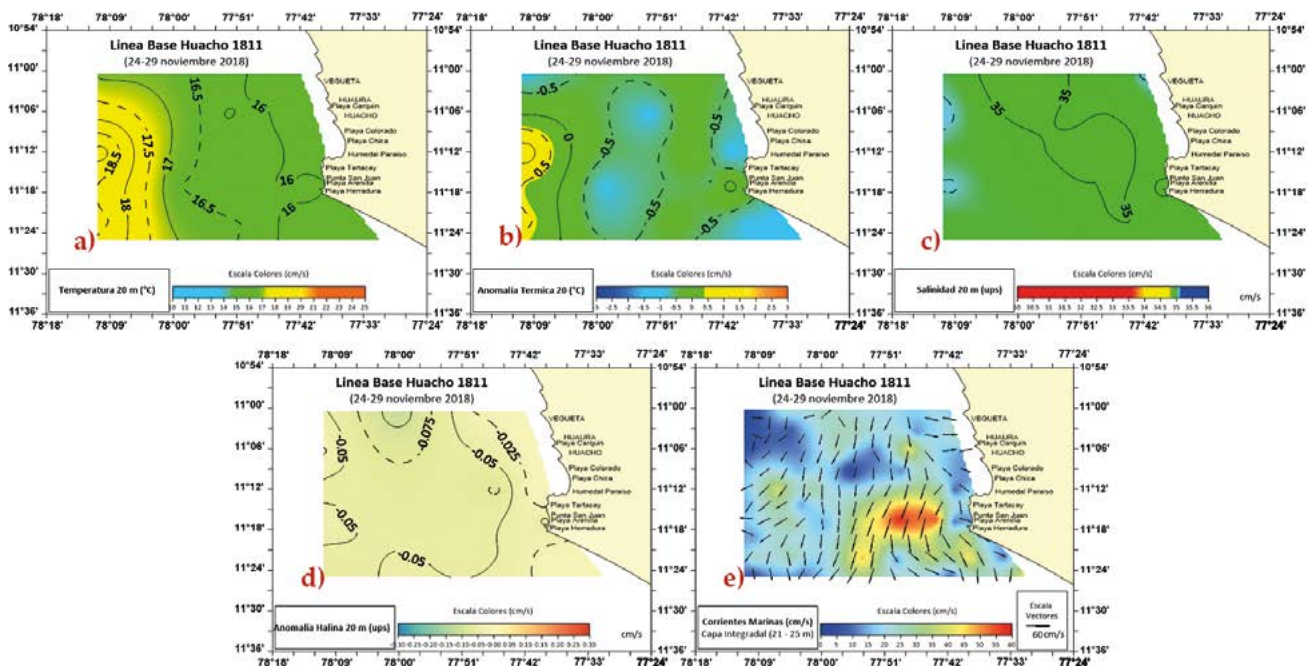


Figura 5.- (a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) Anomalía Térmica ($^{\circ}\text{C}$), (c) Salinidad, (d) Anomalía Halina, (e) Corrientes marinas (cm/s) a 20 metros de profundidad. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

La salinidad presentó cambios mínimos en este nivel, lo que se observa en los gráficos. Los valores halinos reflejaron características uniformes detectándose un área muy homogénea con valores próximos a 35,00 asociados a valores de temperatura $< 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ y vinculados a las aguas costeras frías. La salinidad varió de 34,951 a 35,066, con promedio de 35,012 (Fig. 5c). En cuanto a las anomalías halinas, se hallaron valores $> -0,05$, principalmente en toda la zona al sur de Huacho, en tanto que, un núcleo con valores menores de $-0,05$ a $-0,1$ se halló después de las 10 mn frente a Végueta. Esta área se muestra con zonas muy homogéneas. Las anomalías halinas oscilaron entre $-0,010$ y $0,117$ (Fig. 5d).

El nivel promedio de 23 m mostró flujos mejor direccionados hacia el sur dentro de las 20-25 mn, asociados a la CSPCh y a velocidades moderadas de 10-15 a 30 cm/s. Por fuera de las 27 mn, al sur de Huacho se hallaron flujos con inclinación hacia el suroeste. Por otro lado, flujos con ciertas vorticidades no definidas, se registraron por fuera de las 25 mn frente a Végueta, como consecuencia las velocidades fueron menores de 15 cm/s. Frente a Punta San Juan y dentro de las 18 mn, las velocidades continuaron más intensas (Fig. 5e).

Distribución de variables físicas a 30 m de profundidad

En el nivel de 30 metros se evidenció un comportamiento más homogéneo que en la capa anterior y principalmente con valores de temperatura $< 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta las 27 mn. La distribución de isoterma fue en forma paralela a la línea de costa, con valores $< 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta las 20 mn. En este nivel se observó disminuida presencia de valores $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (en forma de núcleo) por fuera de las 28 mn. La temperatura varió de $15,0$ a $18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, con promedio de $15,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 6a). Las anomalías térmicas, fueron $< -0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ principalmente dentro de las 22 mn. Frente a Végueta se registró un pequeño núcleo $< -1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ por fuera de las 21 mn. Valores positivos $> 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ se hallaron en la zona central del área por fuera de las 22 mn, sin embargo, este nivel no presentó influencia de la onda Kelvin cálida anunciada por ENFEN. La anomalía térmica mostró valores de $-1,15^{\circ}$ a $+1,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 6b).

La salinidad exhibió valores uniformes donde predominó la isohalina de 35,0 dentro de las

27 mn de costa. Se observó presencia de valores $> 35,05$ asociados a temperaturas $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ vinculadas a las aguas de mezcla, por fuera de las 27 mn (Fig. 6c). La salinidad osciló de 34,943 a 35,068, con promedio en 35,014. Las anomalías halinas se mostraron neutras con valores próximos a cero (promedio patrón), principalmente al norte de Playa Hermosa. Los valores $< -0,05$ a $-0,1$ se ubicaron en el extremo sur del área por fuera de las 10 mn asociados a la presencia de las aguas costeras frías. Las anomalías halinas oscilaron entre $-0,009$ y $0,108$ (Fig. 6d).

Las corrientes marinas con dirección al sur encontrados en los niveles superiores (31 m) de manera clara y definida, se hallaron interceptadas por flujos proveniente del oeste, ocasionando fuera de las 15 mn cierto remolino ciclónico principalmente entre Punta San Juan y Végueta, sin embargo, no se trataría de otra corriente marina sino de los diversos movimientos oscilatorios que contienen las grandes corrientes marinas (para nuestro caso la CSPCH). Dentro de las 15 mn los flujos conservaron tendencia al sur siguiendo la configuración de la costa (Fig. 6e).

Distribución de variables físicas a 40 m de profundidad

La temperatura en el nivel de 40 metros evidenció características homogéneas en toda el área de evaluación, ubicándose la isoterma de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 17 mn y la isoterma de $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 23 mn. En este nivel se percibió menos influencia de las capas superficiales mostrando temperatura de $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ solo en forma de núcleos y por fuera de las 28 mn. La temperatura osciló de $14,7^{\circ}$ a $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, con promedio de $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 7a). Las anomalías térmicas fueron < 0 y de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en toda el área de evaluación, excepto por un pequeño núcleo con valores $> +0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ubicado frente a Humedal Paraíso por fuera de las 27 mn. El área se encontró estable con isolíneas paralelas a la línea de costa. Las anomalías térmicas presentaron valores de $-1,08$ a $+1,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 7b).

La salinidad en este nivel varió de 34,984 a 35,061, con promedio de 35,018. El área se caracterizó por mayor permanencia de aguas costeras frías con valores próximos a 35,0 y asociados a valores térmicos menores de $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Asimismo, el área presentó poca influencia de las capas superiores notándose en las isohalinas paralelas a la costa,

ya que en los niveles superiores los procesos de mezcla estuvieron poco disminuidos debido a la debilitada turbulencia generada por los vientos débiles a moderados que se presentaron en la zona (Informe "Pronostico frente y a lo largo de la costa peruana" – Modelo GFS; Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico

Pesqueras - octubre 2018) (Fig. 7c). Las anomalías halinas variaron de -0,005 a 0,059. El área evidenció características homogéneas asociados a valores de 35 y a las aguas costeras frías. Este nivel no mostró cambios por surgencia ni en zonas próximas a la costa ni por fuera de las 20 mn (Fig. 7d).

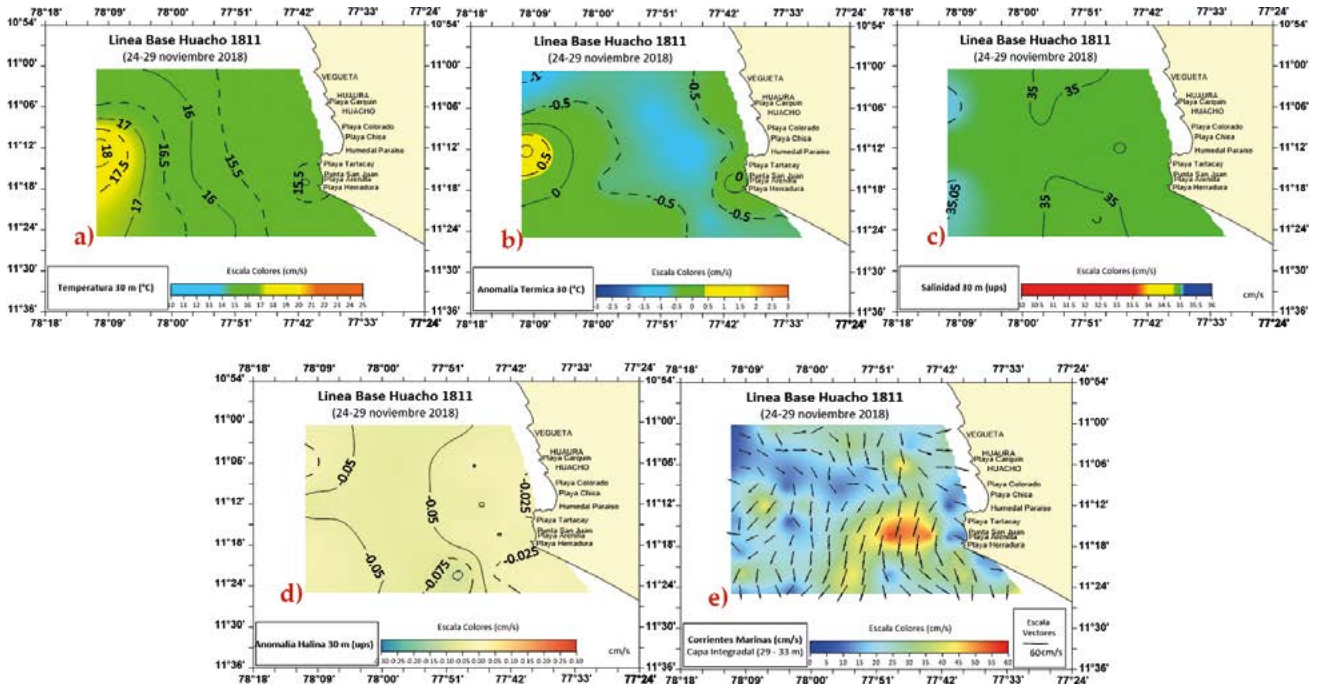


Figura 6.- (a) Temperatura (°C), (b) Anomalia Térmica (°C), (c) Salinidad, (d) Anomalia Halina, (e) Corrientes marinas (cm/s) a 30 metros de profundidad. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

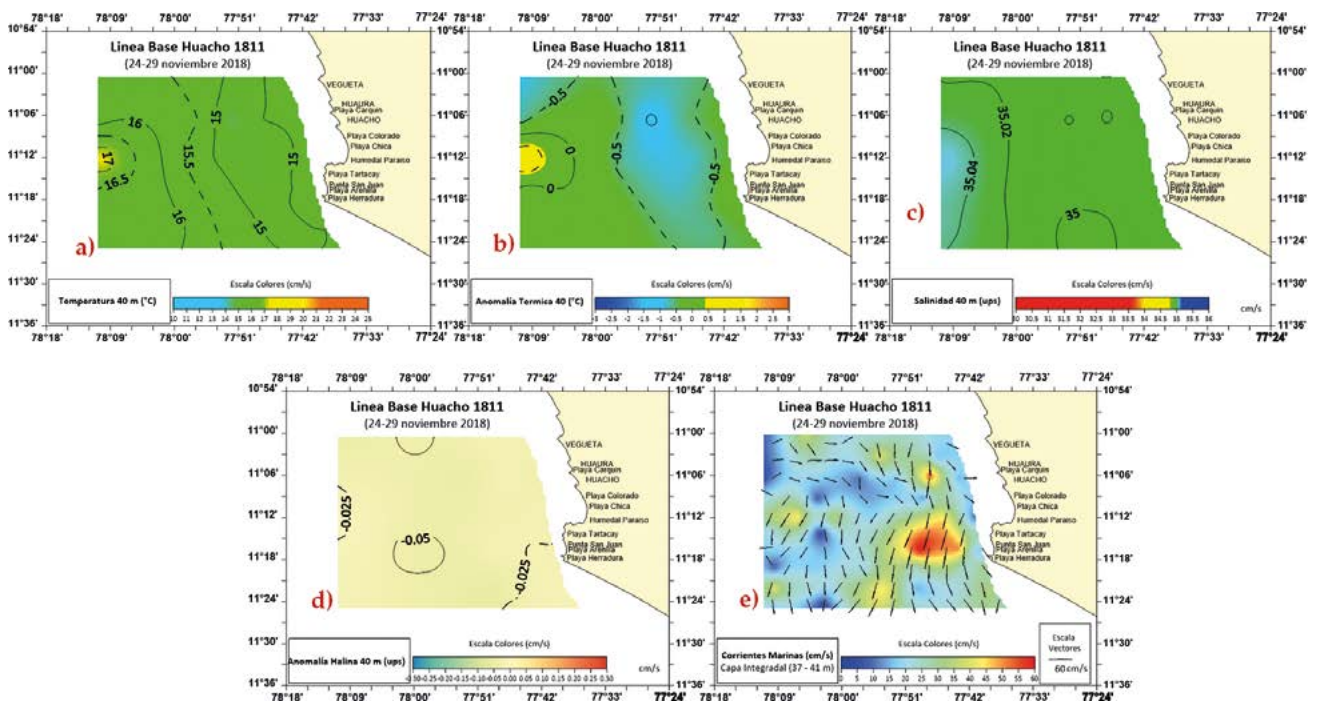


Figura 7.- (a) Temperatura (°C), (b) Anomalia Térmica (°C), (c) Salinidad, (d) Anomalia Halina, (e) Corrientes marinas (cm/s) a 40 metros de profundidad. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

La circulación marina en la capa promedio de 39 m presentó flujos hacia el sur, los que dentro de las 15 mn se mostraron de manera muy definida, sin embargo, por fuera de las 15 mn fueron intersectados por flujos provenientes del oeste originando movimientos oscilatorios hacia el centro de la bahía, con entrada por el extremo norte y salida por el extremo sur, debido a ello se apreció movimientos oscilatorios ciclónicos frente a Huacho. Flujos intensos se hallaron al sur de la bahía dentro de las 15 mn. Los flujos hallados en la zona se encontraron asociados a la CSPCH (Fig. 7e).

Distribución de variables físicas y químicas a 50 m de profundidad

El nivel de 50 metros, presentó características térmicas homogéneas, con solo una isoterma predominante (15 °C). La isoterma de 16 °C se encontró en forma de núcleo por fuera de las 27 mn frente a Humedal Paraíso. Este nivel (al igual que el nivel de 40 m) no mostró influencia de las capas superficiales registrándose temperaturas uniformes muy próximas a 15 °C. En esta capa, la temperatura varió de 14,5 a 16,3 °C, con promedio de 15,1 °C (Fig. 8a). Las anomalías térmicas presentaron un área homogénea con valores neutrales (próximos a 0 °C) asociados principalmente a la isoterma de 15 °C. En este nivel, juzgando por los valores hallados en la componente física y química (informe químico del monitoreo), no se evidenció movimiento de surgencia. Las anomalías térmicas variaron de -0,58 a +0,68 °C (Fig. 8b).

Las características halinas en este nivel fueron uniformes en toda el área de evaluación debido al poco cambio en la zona (según las secciones verticales del área evaluada). Los valores halinos se aproximaron a 35, ocasionando poca modificación dentro de su distribución por fuera de las 28 mn frente a Huacho. Los valores variaron de 34,988 a 35,049, con promedio de 35,017 (Fig. 8c). En cuanto a la anomalía halina, no se evidenciaron grandes cambios, por el contrario, el área estuvo homogénea predominando la isohalina de -0,025, asociado a la salinidad de 35,0. Juzgando por la temperatura y salinidad, se hallaron aguas costeras frías en toda el área de evaluación. Los valores de anomalías halinas oscilaron entre -0,048 y 0,007 (Fig. 8d).

El nivel de 51 metros muestra incursión de aguas del oeste mejor definidos frente a Huacho por

fuera de las 17 mn. Los flujos dentro de la zona costera (15 mn) mantienen la dirección hacia el sur al igual que en las capas superiores, asimismo, en el lado sur del área y por fuera de las 20 mn, los flujos se encontraron mejor definidos que en las capas superiores, con dirección hacia el sur y suroeste. Los flujos más intensos se presentaron en el lado sur de la bahía dentro de las 10 mn y los más débiles hacia el interior de la bahía a 15 mn de Playa Colorado (Fig. 8e).

Distribución de variables físicas y químicas a 60 m de profundidad

La temperatura en este nivel alcanzó valores próximos a 15 °C, presentando distribución homogénea, y de acuerdo a la información de las secciones verticales es la profundidad donde los cambios de termoclina se hacen mínimos, indicándonos zonas uniformes. Este nivel mostró temperaturas que oscilaron entre 14,5 y 15,4 °C, con promedio de 14,9 °C (Fig. 9a). Las anomalías térmicas registradas en este nivel fueron neutras con valores próximas a 0°C desde Végueta hasta el sur de Playa Herradura por fuera de las 6 mn de costa. El área presentó valores uniformes con una isoterma de 0 °C que recorre de norte a sur siguiendo la configuración de la costa hasta Playa Hermosa. Se registraron valores de -0,38° a +0,32 °C (Fig. 9b).

La salinidad varió de 34,998 a 35,035, con promedio de 35,014. En general, el comportamiento halino presentó muy pocos cambios, con valores próximos a 35,02 y asociados a temperaturas de 15 °C. Las masas de agua correspondieron a las aguas costeras frías. En este nivel no se percibió influencia de las capas superficiales (Fig. 9c). Las anomalías halinas dejaron ver un área homogénea con predominio de la isohalina de -0,01 sin cambios sustanciales, no hubo indicio de afloramiento ni surgencia en la zona. Los valores hallados de anomalías halinas oscilaron entre -0,024 y 0,010 (Fig. 9d).

Las corrientes marinas en el nivel de 59 metros promedio, presentó flujos mejor definidos hacia el sur con poca influencia de flujos provenientes del oeste. Asimismo, la circulación se encontró asociada a la CSPCh y en relación a las capas superficiales continuaron los flujos más intensos dentro de las 15 mn (debido a la poca obstrucción tanto en batimetría como la nula influencia

del viento), en tanto que, los más débiles se hallaron hacia el centro de la bahía, producto del encuentro de flujos y del movimiento oscilatorio ciclónico originado por el impacto de los flujos. El resto del área mostró flujos moderados de 15 a 30 cm/s con dirección hacia el sur (Fig. 9e).

Distribución vertical por secciones

Sección Vertical frente a Végueta: la distribución de isotermase isohalinas indicaron estratificación en el comportamiento termohalino sobre los 30 metros y homogenización por debajo de los 30 m. Las concentraciones de sales indican fuerte in-

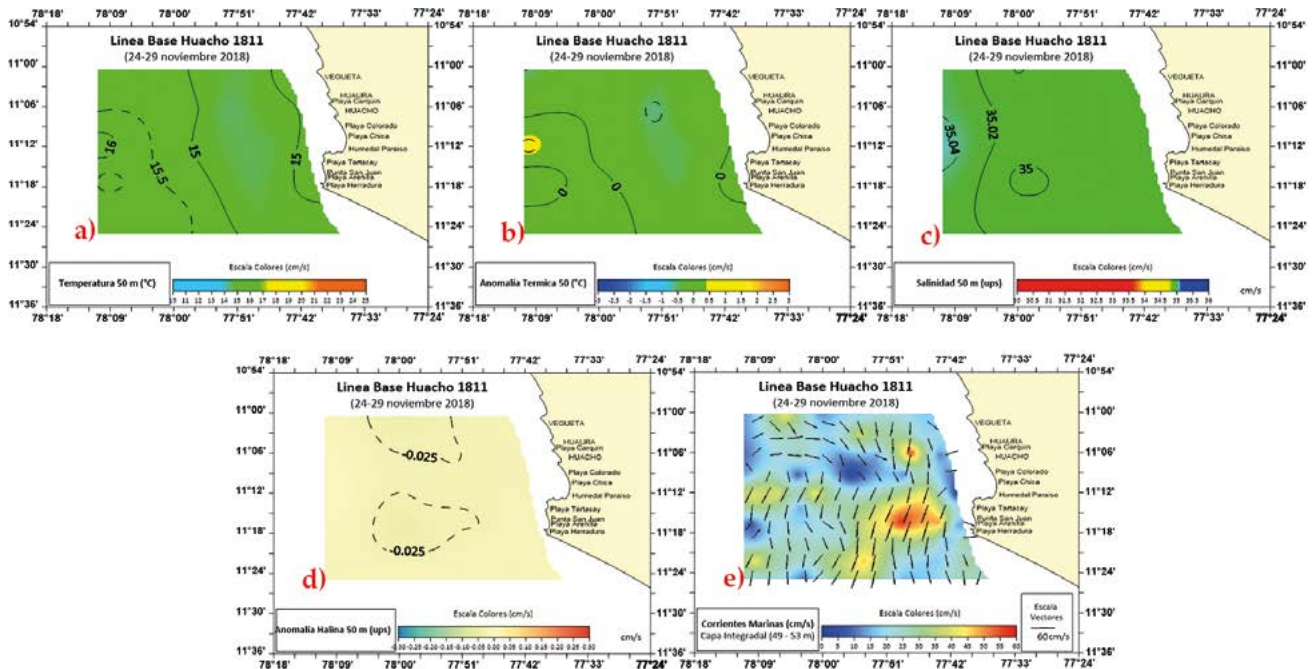


Figura 8.- (a) Temperatura (°C), (b) Anomalia Térmica (°C), (c) Salinidad, (d) Anomalia Halina, (e) Corrientes marinas (cm/s) a 50 metros de profundidad. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

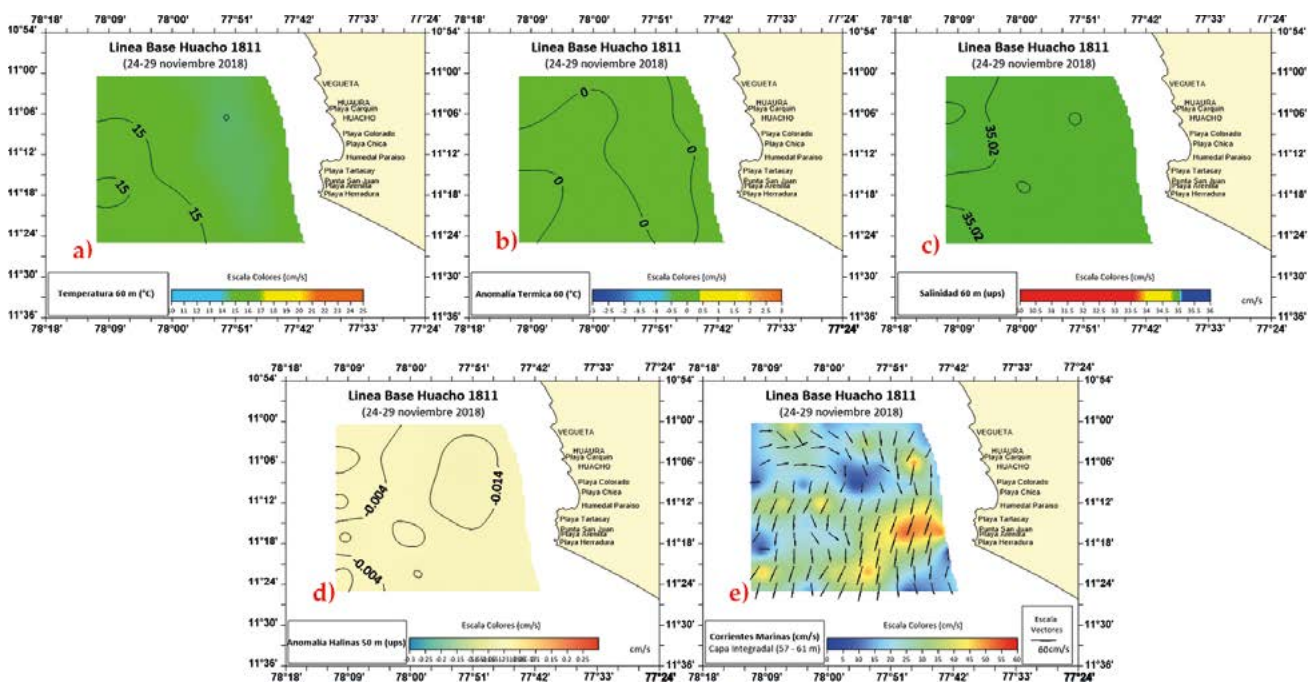


Figura 9.- (a) Temperatura (°C), (b) Anomalia Térmica (°C), (c) Salinidad, (d) Anomalia Halina, (e) Corrientes marinas (cm/s) a 60 metros de profundidad. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

fluencia de las aguas costeras frías en toda la columna de agua. Por fuera de las 25 mn se observó ligera influencia de las ASS que al interactuar con las aguas costeras frías dieron lugar a procesos de mezcla.

La componente meridional (norte-sur) de la circulación marina presentó flujos hacia el sur con velocidades moderadas entre 15 y 30 cm/s. Esos flujos hacia el sur se presentaron en forma de núcleos a 10 y 25 mn de la costa entre 10 y 90 metros de profundidad asociados a la CSPCH. La zona costera presentó mínimos valores con dirección hacia el norte (por fricción con el talud) dentro de 3 mn, asimismo, corrientes con dirección hacia el norte se presentaron por fuera de las 20 mn sobre 50 metros, probablemente como consecuencia de movimientos oscilatorios encontrados en la zona (Fig. 10).

Sección Vertical frente a Huacho: presentó la distribución de temperatura muy similar a la sección de Végueta, con valores de 15 a 19 °C sobre 60 metros. La salinidad también presentó condiciones similares al perfil anterior con aguas costeras frías en toda la columna y hasta 29 mn. Los máximos valores se hallaron por fuera de las 30 mn, asociados a las ASS sobre 40 metros de profundidad. La componente meridional de la circulación marina indicó que los flujos dominantes fueron hacia el sur con valores entre 15 y 30 cm/s hasta 100 metros, por fuera de las 7 mn, dejando la zona costera dentro de las 5 mn para los flujos hacia el norte (o vórtices) con velocidades mínimas de hasta 10 cm/s. Los flujos más intensos se ubicaron a 10 mn hasta los 100 metros, alcanzando velocidades mayores a 20 cm/s (Fig. 11).

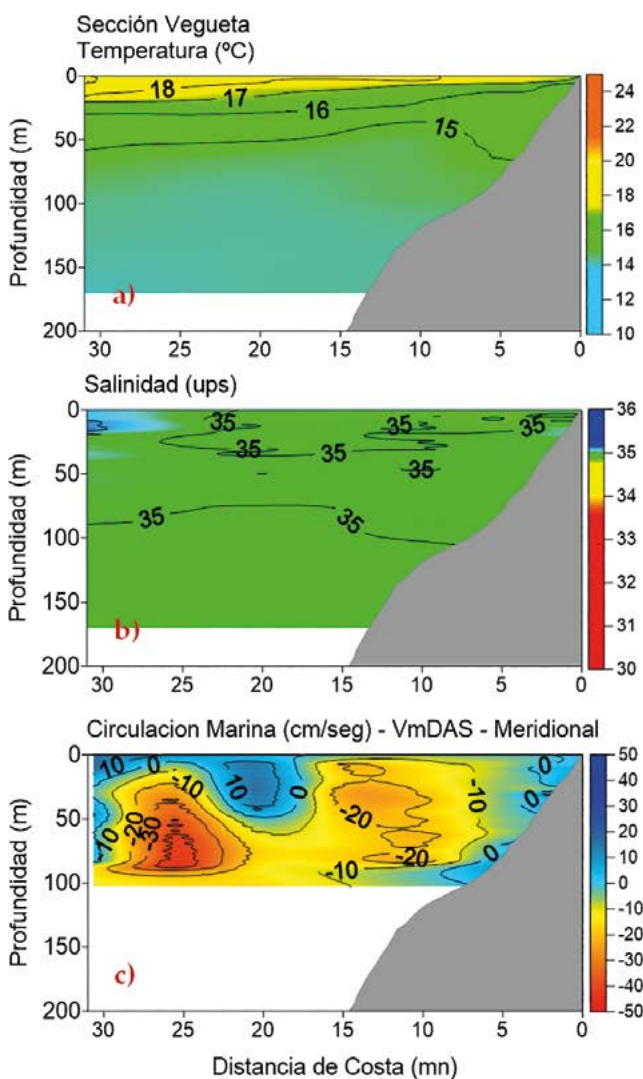


Figura 10.- (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad, (c) Corrientes (cm/s) frente a Végueta. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

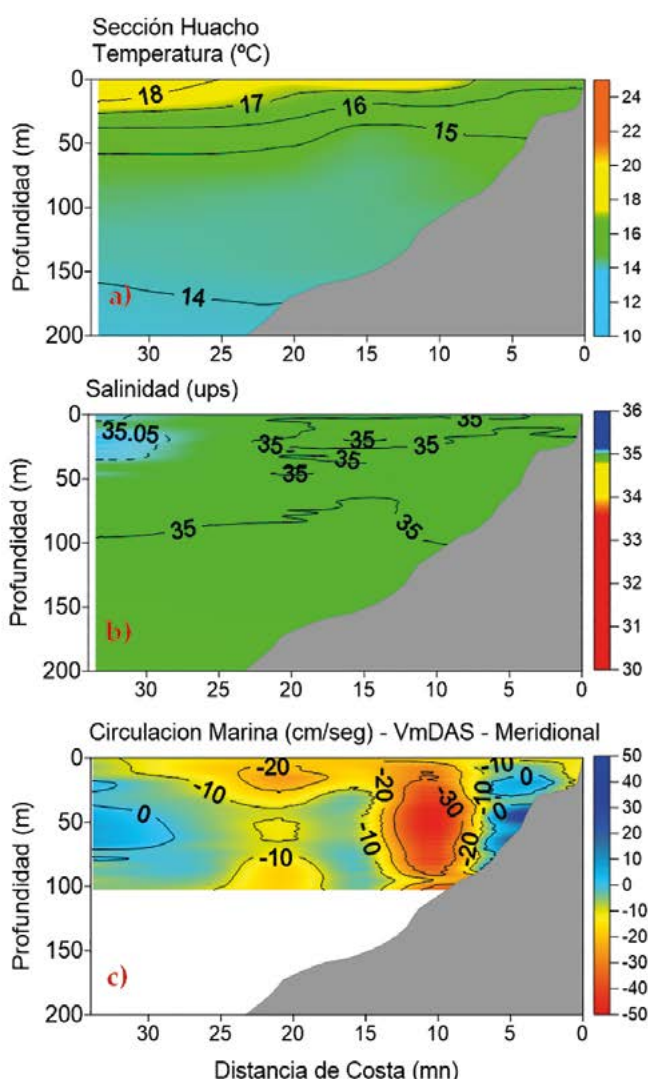


Figura 11.- (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad, (c) Corrientes (cm/s) frente a Huacho. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

Sección Vertical frente al Humedal Paraíso: esta sección mantuvo las características de las secciones anteriores, principalmente en la temperatura con isotermas paralelas de 15 a 19 °C sobre los 70 metros. Juzgando por la distribución de isotermas no se percibe surgencias. Las concentraciones de sal mostraron predominio de la isohalina de 35,0 asociadas a las aguas costeras frías en toda la columna y hasta las 30 mn con valores próximos a 35. Los máximos valores se hallaron por fuera de las 30 mn asociados a aguas de mezcla sobre 40 metros de profundidad.

La circulación marina frente a Humedal Paraíso, presentó flujos moderados mayores de 15 cm/s por fuera de las 5 mn, principalmente entre 10 y 100 metros de profundidad, con tendencia dominante hacia el sur (S); dentro de las 2 mn se mostraron flujos hacia el norte, con intensidades menores de 10 cm/s (Fig. 12).

Sección Vertical frente a Playa La Arenilla: esta sección presentó distribución de temperaturas con valores de 15 a 19 °C sobre los 60 metros (muy similar a las verticales anteriores), debajo de 70 metros hasta 140 m, la temperatura se mostró más estable con valores entre 15 y 14 °C. La salinidad evidenció aguas costeras frías en toda la columna y hasta las 30 mn con valores próximos a 35. Los máximos valores se hallaron por fuera de las 30 mn asociados a aguas de mezcla sobre 40 metros de profundidad.

La componente meridional de la circulación marina indicó flujos dominantes hacia el sur con valores entre 15 y 30 cm/s en toda la columna, ubicados entre las 5 y 30 mn, dentro de la zona costera (5 mn) los flujos predominantes fueron hacia el norte con velocidades mínimas de hasta 10 cm/s (Fig. 13).

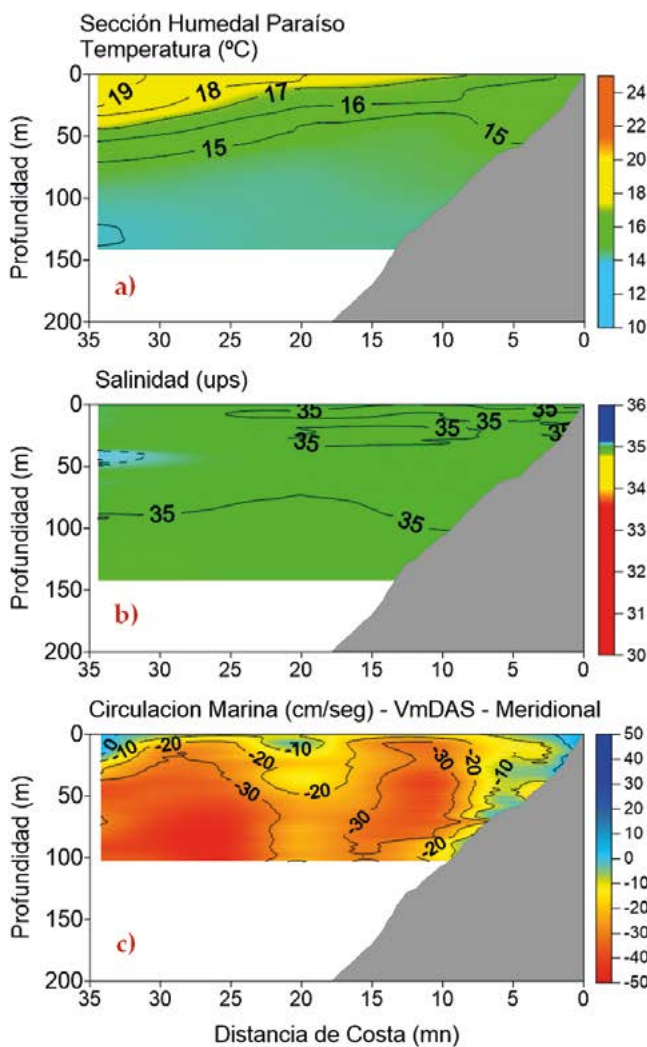


Figura 12.- (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad, (c) Corrientes (cm/s) frente al Humedal Paraíso. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

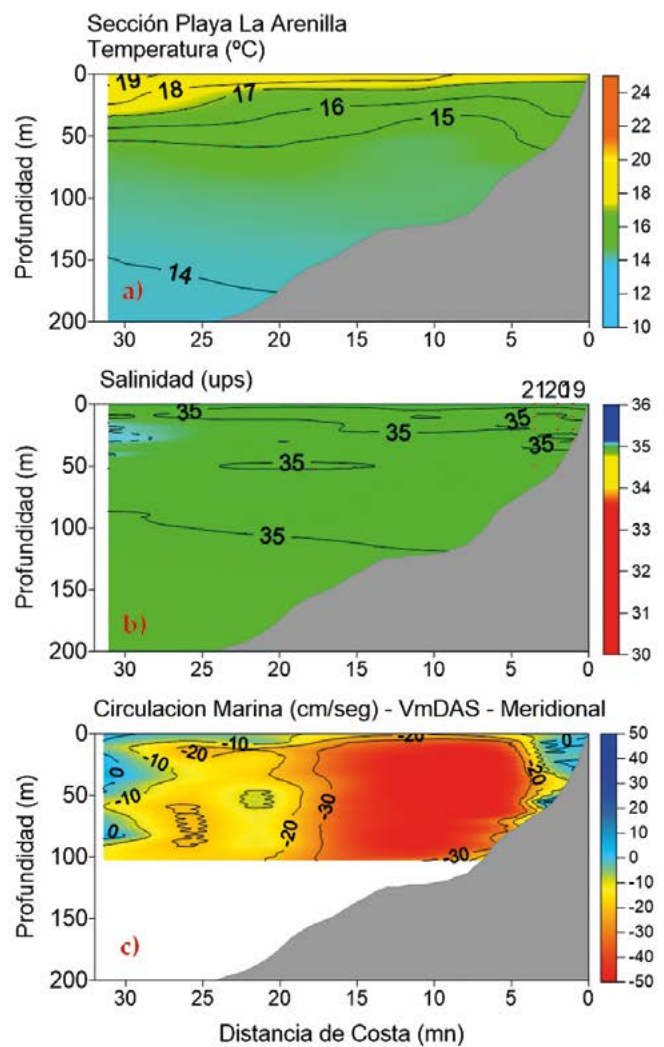


Figura 13.- (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad, (c) Corrientes (cm/s) frente a Playa La Arenilla. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

Sección Vertical al sur de Playa La Herradura: esta sección mantuvo las características de las secciones anteriores, con isotermas de 15 a 19 °C sobre 60 metros. Las condiciones halinas mostraron predominio de las isohalinas de 35,0 asociadas a las aguas costeras frías en toda la columna de agua. Debajo de los 70 metros las condiciones se hacen estables para ambas variables.

La circulación marina al sur de Playa La Herradura, mostró flujos moderados hacia el sur con velocidades mayores de 15 cm/s por fuera de las 20 mn, sin embargo, a 30 mn de costa se presentó un núcleo con velocidades mayores de 10 cm/s con dirección hacia el norte. Dentro de las 20 mn se mostraron flujos con dirección norte con intensidades mayores de 10 cm/s (Fig. 14).

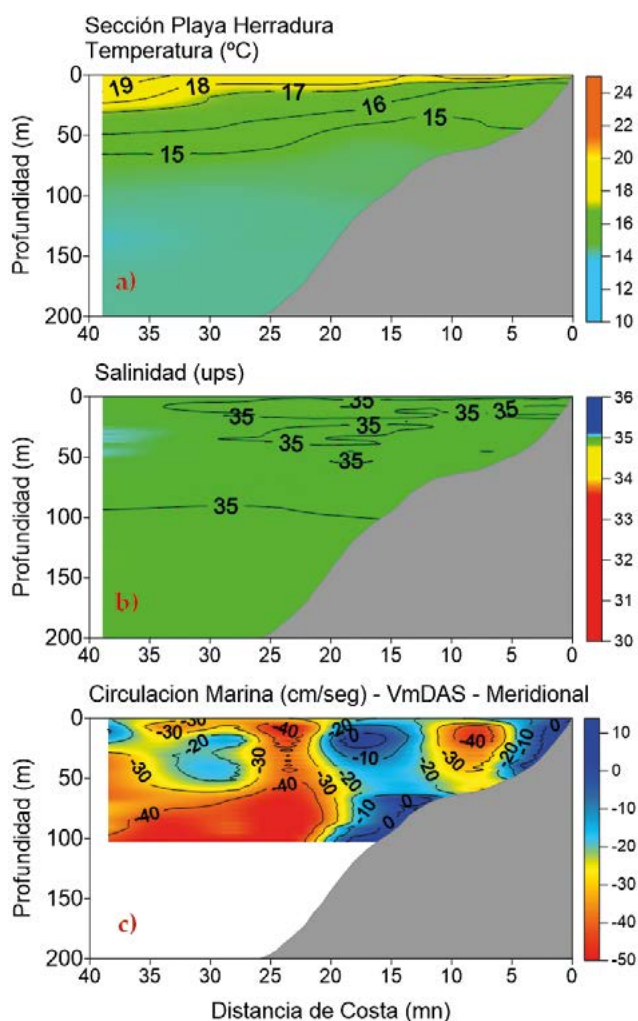


Figura 14.- (a) Temperatura (°C), (b) Salinidad, (c) Corrientes (cm/s) frente a Playa La Herradura. Línea de Base Huacho 1811 (24-29/11/2018). EC IMARPE IV

4. DISCUSIÓN

El régimen de vientos presentado en el área (de acuerdo al “Pronostico frente y a lo largo de la costa peruana” – Modelo GFS; Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico Pesqueras - octubre 2018) estaba debilitado para la fecha de evaluación, lo que habría influenciado el comportamiento termo-halino y de la circulación levemente en los primeros 5-10 metros, asociado a la presencia de pequeños remolinos por fuera de las 20 mn, lugares donde se encontraron los vientos más intensos, que conjuntamente ayudados por la dinámica de las masas de agua y el relieve del fondo marino (batimetría) entre otros factores (cambios de densidad, mareas, etc.) ayudaron a la formación de estos movimientos ciclónicos. Sin embargo, las condiciones debajo de los 5-10 metros se mostraron estables, sin influencia de los vientos en superficie. Esto motivó la presencia de aguas costeras frías en las capas inferiores de 5 m, la cual coincide con la presencia del dinoflagelado *Protoperidinium obtusum*, (indicador de aguas costeras frías) en 41 % de estaciones. Sin embargo, en la capa superficial se evidenció aguas de mezcla (ASS y aguas costeras frías) lo que también coincide con presencia de especies fitoplanctónicas de ambientes oceánicos, pero en concentraciones bajas, denotando la mezcla de ambas masas de agua.

5. CONCLUSIONES

Durante el periodo de evaluación (24-29 noviembre 2018) la zona evaluada presentó condiciones normales, con anomalías térmicas y halinas cercanas al promedio patrón (próximas a cero). Los valores térmicos oscilaron de 15 a 19 °C y salinidades próximas a 35,0.

Las masas de agua correspondieron principalmente a las aguas de afloramiento con áreas de mezcla (ASS y aguas costeras frías).

Las corrientes marinas mostraron flujos predominantes hacia el sur con velocidades moderadas de 15 a 30 cm/s y presencia de algunos remolinos hacia la zona central del área de estudio. Estas corrientes se hallaron asociadas a la CSPCh que para el período de muestreo se aproximó a la zona costera.

Las secciones verticales mostraron dentro de los 5-10 metros zonas de mezcla, y por debajo de los 15 m las condiciones se encontraron estables sin cambios destacados, producto de alguna influencia externa como el viento o el arribo de una onda Kelvin.

Las corrientes marinas en las secciones verticales mostraron presencia de la CSPCh, principalmente por fuera de la 5 mn, aunque en algunos sectores se hallaron flujos hacia el norte, pero por ciertos movimientos oscilatorios en la zona de evaluación y, los que se encontraron cerca de la costa por fricción con el talud.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Fondo de Adaptación a través del Proyecto "Adaptación a los impactos del cambio climático en el ecosistema marino costero del Perú y sus pesquerías" vía el Fondo de Promoción de las Áreas Naturales Protegidas del Perú (PROFONAMPE), ejecutado por el Ministerio de la Producción en colaboración con el Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

6. REFERENCIAS

- CHAIGNEAU, A., DOMÍNGUEZ, N., ELDIN, G., VÁSQUEZ, L., FLORES, R., GRADOS, C. & ECHEVIN, V. (2013). Near-coastal circulation in the Northern Humboldt Current System from shipboard ADCP data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(10), 5251-5266.
- ENFEN (2018). Comunicado Oficial ENFEN N°12-2018 Callao, 26 de octubre del 2018. 3 pp. (<http://enfen.gob.pe/comunicados/>).
- ENFEN. (2018). Comunicado Oficial ENFEN N°13-2018 Callao, 15 de noviembre del 2018. 4 pp. (<http://enfen.gob.pe/comunicados/>).
- ENFEN. (2018). Comunicado Oficial ENFEN N°14-2018 Callao, 3 de diciembre del 2018, 4 pp. (<http://enfen.gob.pe/comunicados/>).
- FIRING, E., RANADA, J. & CALDWELL, P. (1995). Processing ADCP data with the CODAS software system V 3.1 University of Hawaii. 218 pp.
- MALDONADO, C. (2012). Calidad de agua en la bahía de Huacho, 2002. *Inf Inst Mar Perú*, 39(3-4), 212 - 217.
- ZUTA, S. y GUILLÉN, O. (1970). Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. *Bol Inst Mar Perú*, 2(5), 157 - 324.