

# CARACTERÍSTICAS TERMOHALINAS Y CORRIENTES MARINAS ENCONTRADAS DURANTE EL MONITOREO “LÍNEA DE BASE” EN EL ÁREA PILOTO DE MÁNCORA, DICIEMBRE 2018

## THERMOHALINE CHARACTERISTICS AND OCEAN CURRENTS FOUND DURING THE “BASELINE” MONITORING IN THE MÁNCORA PILOT AREA, DECEMBER, 2018

Noel Domínguez

### RESUMEN

DOMÍNGUEZ, N. (2023). *Características termohalinas y corrientes marinas encontradas durante el monitoreo de “Línea de Base” en el Área Piloto de Máncora, diciembre 2018. Inf Inst Mar Perú, 50(2), 161-174.*- Se reportan las condiciones oceanográficas físicas encontradas entre Negritos y Playa El Bravo (4°1,279' - 4°36,242'S), entre el 5 y 13 de diciembre 2018. Hasta los 40 m de profundidad predominaron las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y debajo de ellas se encontraron las aguas costeras frías asociadas a valores térmicos mayores de 20 °C y menores de 18 °C, respectivamente. El arribo de la onda Kelvin en la última semana de noviembre influyó en las anomalías térmicas y halinas, mostrando valores positivos mayores de +1,0 °C y menores de -1 °C en la capa superficial y valores positivos mayores de +2,0 y +3,0 °C en las capas inferiores de 30 a 50 m. La distribución termohalina en las diferentes capas evidenciaron presencia de mayores anomalías positivas en el lado norte y por fuera de las 13 mn, en tanto que, las menores anomalías se hallaron muy cerca del borde costero. Las corrientes marinas evidenciaron flujos hacia el suroeste, relacionados con la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC) y con algunos movimientos hacia el norte cerca del borde costero principalmente por la fricción del talud costero. Esta corriente presentó su núcleo principal por debajo de los 20 m y velocidades próximas a 20-30 cm/s.

PALABRAS CLAVE: aguas costeras frías, Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), Máncora

### ABSTRACT

DOMÍNGUEZ, N. (2023). *Thermohaline characteristics and ocean currents found during the “Baseline” monitoring in the Máncora Pilot Area (December 2018). Inf Inst Mar Perú, 50(2), 161-174.*- This report describes the physical oceanographic conditions observed between Negritos and Playa El Bravo (4°1,279' - 4°36,242'S) from December 5 to 13, 2018. The environmental conditions showed a predominance of Equatorial Surface Waters (ESW) up to 40 meters. Below that, there was a predominance of cold coast waters associated with thermal values higher than 20 °C and lower than 18 °C, respectively. The arrival of the Kelvin wave in the last week of November influenced the thermal and haline anomalies, reaching positive values higher than +1.0 °C and lower than -1 °C in the surface layer and positive values higher than +2.0 ° and +3.0 °C in the lower layers from 30 to 50 m. The thermal-haline distribution in the different layers evidenced the presence of higher positive anomalies on the north side outside 13 nm. Likewise, the lowest anomalies were found very close to the coastal edge. The sea currents evidenced south-westward flows with some northward movements near the coastal edge, evidently related to the Southern Extension of the Cromwell Current (SECC) and mainly caused by the friction of the coastal slope. This current showed its main core below 20 m and reached velocities close to 20-30 cm/s.

KEYWORDS: cold coastal waters; Equatorial Surface Waters (ESW), Máncora

## 1. INTRODUCCIÓN

La evaluación marina se realizó en condiciones ambientales cálidas con anomalías térmicas positivas (ENFEN Nos. 13, 14, 15-2018). Durante noviembre 2018 (secciones oceanográficas de Paita y Chicama), se registraron anomalías positivas (> 1 °C) en la capa superior de 300 m y con valores > +2,0 °C entre 0 y 50 m de profundidad. Frente a Paita se detectó ingreso de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) de alta temperatura y baja salinidad. Asimismo, dentro de las 10 millas

desde la costa (estaciones fijas de Paita y Chicama) se registró el paso de la onda Kelvin que generó anomalías de hasta +3 °C y +2 °C, respectivamente, persistiendo valores alrededor de +1 °C hasta los 100 m durante la última semana de noviembre. Para los primeros días de diciembre, la temperatura superficial del mar manifestó condiciones cálidas con anomalías positivas, principalmente en la zona norte; mientras que, entre Punta Falsa y Chimbote se evidenció el ingreso de aguas oceánicas hacia la zona costera, incrementándose las anomalías positivas de temperatura.

1 IMARPE, DGIOCC, ndominguez@imarpe.gob.pe

Asimismo, durante los cruceros de evaluación de recursos pelágicos 1809-11 y del calamar gigante 1812 (informes ejecutivos) se registraron concentraciones halinas correspondientes a presencia de AES dentro de las 20 mn frente a Punta Sal y aguas costeras frías dentro de las 60-70 mn entre Paita-Punta La Negra. Las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) se ubicaron por fuera de las 90 mn entre Paita-Punta La Negra. Las aguas de mezcla (aguas costeras frías y ASS) se localizaron entre 40 y 70 mn, con núcleos entre Talara-Punta La Negra.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó configuración zonal para noviembre con proyección al noroeste de su posición habitual, predominando anomalías positivas de presión frente a la costa norte. Asimismo, la prolongación meridional del APS contribuyó en el ligero incremento de los vientos costeros en la región norte, mostrando correspondencia con el afloramiento presentado en la zona norte. Para los primeros diez días de diciembre, a diferencia del mes anterior, el APS se ubicó al sur de su posición habitual contribuyendo en el debilitamiento del viento costero a lo largo del litoral.

En estas circunstancias, se desarrollaron los estudios del comportamiento termal, halino y circulación marina. En el presente informe se dan a conocer los resultados de las condiciones oceanográficas obtenidas durante el monitoreo en Máncora 1812.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios realizados del 5 al 13 de diciembre 2018, estuvieron comprendidos entre Negritos y Playa El Bravo, y los grados 4°1,279' - 4°36,242'S. Los trabajos comprendieron la realización de 44 estaciones oceanográficas (Fig. 1), donde se establecieron 3 secciones perpendiculares a la costa: Talara, El Alto, y Máncora.

En todas las estaciones se realizaron 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 sub-superficiales se obtuvo la información con un CTD-O. Así mismo, se obtuvieron datos de salinidad analizando las muestras colectadas por el método de inducción con el Portasal 8410A Guildline.

Se efectuaron 19 lanzamientos de CTD-O – SBE19 (*Conductivity, temperature, depth and oxygen*) serie 7838 obteniéndose información continua (cada metro) de presión, temperatura, salinidad y oxígeno hasta 221 m de profundidad máxima. Se realizaron mediciones de corrientes marinas para lo cual se usó un correntómetro VM-ADCP de *RD Instruments* (RDI), modelo WH-300, equipo portátil instalado en el borde de estribor de la EC IMARPE IV,

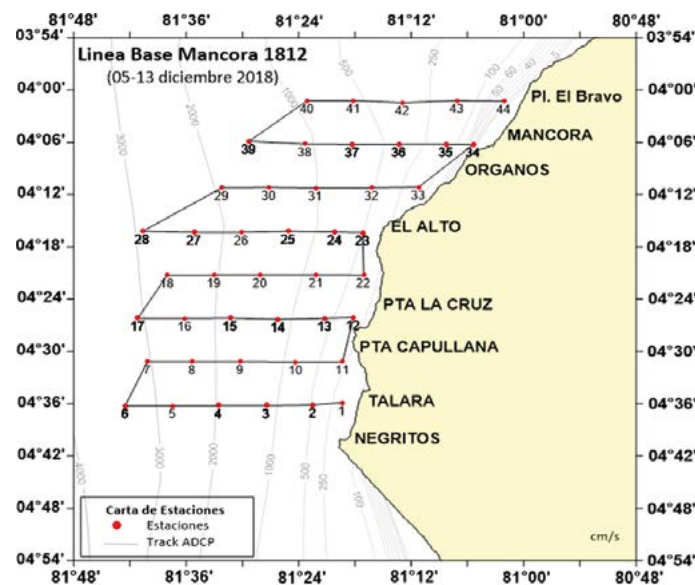


Figura 1.- Carta de Estaciones Oceanográficas y track de recorrido ADCP. Línea de Base Máncora 1812 (5-13/12/2018). EC IMARPE IV

con rango de profundidad de 80 - 100 m, y resolución vertical de 2 m. La adquisición de los datos fue hecha con el programa RDI VMDAS, v. 1.42, instalado en una PC con el sistema Windows 8. Las posiciones (latitud y longitud) se obtuvieron de un GPS Garmin 178C. La frecuencia (disparo) de señal del ADCP fue cada 3 segundos. Los datos se han promediado cada 5 minutos para mejorar la resolución. El procesamiento se ha realizado aplicando el sistema CODAS3 (*Common Oceanographic Data Access System*, v. 3) (FIRING *et al.*, 1989).

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

### 3. RESULTADOS

#### Distribución de variables físicas y químicas en superficie

En concordancia con las condiciones ambientales descritas en la Introducción, las características físicas superficiales encontradas en la zona de Máncora no están exentas de los impactos ante el arribo de una onda Kelvin, aunque su presencia no fue muy clara en ese nivel. La zona de estudio registró núcleos cálidos por fuera de las 15 mn y condiciones frías dentro de las 7 mn de la línea de costa, con anomalías térmicas entre +1,41 °C y -1,26 °C, respectivamente. La zona central paralela a la línea de costa entre las 7 y 15 mn mostró valores dentro del rango neutro ( $\pm 0,5$  °C) (Fig. 2b).

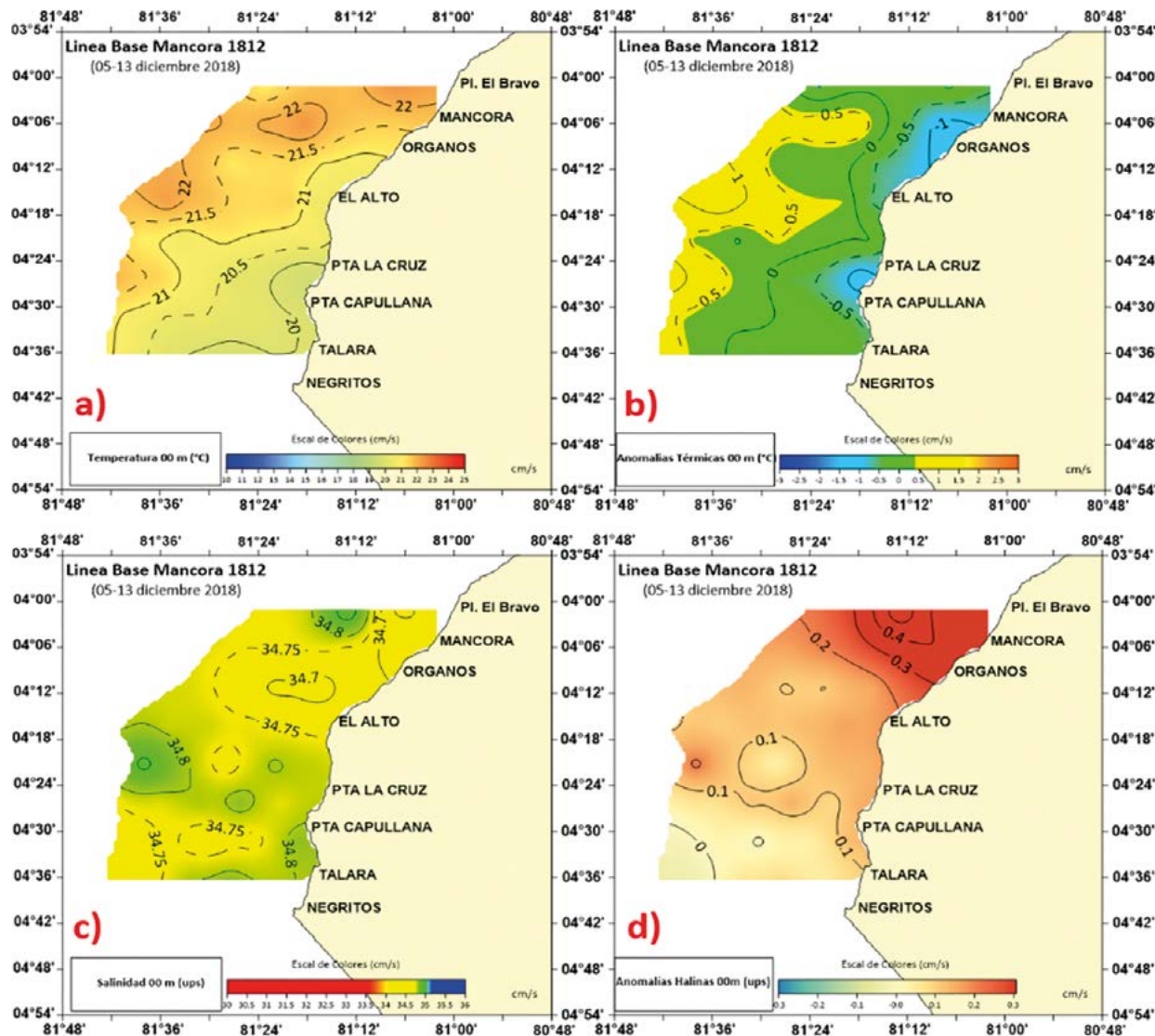


Figura 2.- a) Temperatura (°C), b) Anomalia Térmicas (°C), c) Salinidad, d) Anomalia Halina en superficie. Línea de Base Máncora 1812 (5-13/12/2018). EC IMARPE IV

La distribución de la temperatura mostró isotermas sinuosas  $<21\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre Punta Los Órganos y Talara, que podría deberse al ligero fortalecimiento de los vientos descritos en la Introducción. Esas isotermas ( $<21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se localizaron dentro de las 10 mn entre Punta Los Órganos y Playa Santa Jovina y se extendieron hasta las 25 mn frente a Talara (Fig. 2a). Asimismo, la zona evaluada entre Punta Capullana - Punta La Cruz y Playa Santa Jovina - Máncora permite apreciar núcleos fríos próximos a la línea de costa hasta las 5 millas (usualmente se presentan afloramientos costeros) asociados a valores menores de 20, 21 y  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los valores  $>22\text{ }^{\circ}\text{C}$  se encontraron formando núcleos entre Los Órganos y Playa el Bravo desde la costa hasta las 25 mn, asimismo, núcleos similares se localizaron por fuera de las 10 -15 mn frente a Los Órganos. La distribución de isotermas está acorde con imágenes satelitales en la fecha de muestreo: ([http://www.imarpe.gob.pe/argen/uprsig/tsm2018\\_archivo/tsmdiaria2018.html](http://www.imarpe.gob.pe/argen/uprsig/tsm2018_archivo/tsmdiaria2018.html)).

En cuanto a la salinidad, se registraron concentraciones de sales que oscilaron entre 34,587 - 34,955, con promedio de 34,761. El área mostró predominio de concentraciones entre 34,7 y 34,8 propias de AES. Valores mayores de 34,8 se hallaron formando núcleos por fuera de las 20 mn frente a Máncora y Punta La Cruz, asociadas a valores de temperatura  $>21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en tanto que, valores menores de 34,7 se encontraron asociados a temperaturas  $<21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en ambos casos vinculados a las AES. Cerca del borde costero entre Punta Capullana y Talara, se localizaron núcleos de 34,8. No se apreció descargas de ríos aledaños a la zona (Fig. 2c).

Las anomalías halinas presentaron valores próximos a cero al sur de Punta Lobos, principalmente frente a Talara. Los valores mayores de 0,2 se ubicaron al norte de Playa Las Animas asociados a la presencia de AES. Los valores de anomalías halinas oscilaron entre -0,04 y 0,57 (Fig. 2d).

### Distribución de variables físicas – químicas a 5 m de profundidad

La temperatura a 5 metros de profundidad presentó mucha similitud con la capa superficial, mostrando isotermas menos sinuosas que en superficie. La distribución de isotermas se mostró paralela a la costa con temperaturas  $<21\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre

Punta Los Órganos y Talara; y temperaturas  $<20\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre Punta La Cruz y Talara, en ambos casos se extendieron hasta las 25 y 18 mn de la costa, respectivamente. Los valores  $>22\text{ }^{\circ}\text{C}$  se ubicaron fuera de las 20 mn entre Playa El Bravo y Playa Santa Jovina. Los valores térmicos oscilaron entre 19,7 y  $22,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con promedio de  $20,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3a).

Las anomalías térmicas presentaron área paralela a la costa entre las 5 y 8 mn con valores próximos a condiciones normales (próximas a cero). La zona costera dentro de las 5 mn entre Punta Capullana y Máncora mostraron condiciones frías con valores  $<-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Paralela a la costa, por fuera de las 8-10 mn, se hallaron valores  $>+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  con algunos núcleos  $>+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  por fuera de las 17 mn frente a Punta La Cruz, incidencia de la onda Kelvin presentado en la zona. Las anomalías térmicas oscilaron de -0,830 a  $+1,215\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3b).

La salinidad presentó valores que oscilaron de 34,651 a 34,783 con promedio de 34,723. El área se mostró homogénea con isohalinas predominantes próximos a 34,7 entre Punta La Cruz y Punta El Bravo, hasta las 25 mn de costa asociados a valores térmicos entre 21 y  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  y vinculadas a las AES. Valores mayores de 34,75 se hallaron dentro de las 10-15 mn de la línea de costa entre Punta La Cruz y Talara, asociado a aguas de mezcla con ligera influencia de la capa superficial (Fig. 3c).

Las anomalías halinas indicaron valores mayores a +0,1 al norte de Playa Santa Jovina y de +0,3 al norte de Los Órganos, asociadas a temperaturas  $>21\text{ }^{\circ}\text{C}$  y valores menores de 34,7. Asimismo, anomalías próximas a cero se hallaron al sur de Punta La Cruz, asociadas a valores  $<21\text{ }^{\circ}\text{C}$  y salinidades cercanas a 34,7. Los valores hallados de anomalías halinas oscilaron entre -0,062 y 0,330 (Fig. 3d).

La circulación marina en la capa de 5 a 9 m presentó flujos predominantes con dirección hacia el sur-oeste; entre Máncora y Talara se desplazaron en forma paralela a la costa, acorde con las corrientes marinas registradas durante el Cr. Pelágico 1809-11 y las imágenes satelitales de corrientes geostroficas para los días de muestreo ([http://www.imarpe.gob.pe/argen/uprsig/cgeostrof2018\\_archivo/diciembre18/peru\\_geostr05dic2018.png](http://www.imarpe.gob.pe/argen/uprsig/cgeostrof2018_archivo/diciembre18/peru_geostr05dic2018.png)). La distribución de vectores indicó flujos débiles menores de 15 cm/s dentro

de las 5 mn en la zona costera frente a Máncora y dentro de las 15 mn entre Punta Capullana y Talara, en tanto que, velocidades moderadas de 15 a 30 cm/s se ubicaron principalmente al sur de Lobitos y por fuera de las 15 mn y entre El Alto y Talara. Las velocidades mayores de 30 cm/s se localizaron formando núcleos extensos a 10, 15 y 20 mn frente a los Órganos, Playa las Animas y Lobitos, respectivamente. De acuerdo al gráfico, el área recibe flujos asociados a la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC). Los valores de oxígeno encontrados entre 2 y 4 mL/L (ver informe de oxígeno) son característicos de la ESCC la cual recorre el área de norte a sur presentando ciertos remolinos principalmente por fuera de las 15 mn entre Máncora y playa las Animas (Fig. 3e).

#### **Distribución de variables físicas y químicas a 10 m de profundidad**

A 10 metros de profundidad se encontró la isoterma de 20 °C entre El Alto y Talara, localizándose hasta las 5 mn frente a Playa Santa Jovina y hasta las 18 mn frente a Talara, algo más extensa que en la capa de 5 metros. La isoterma de 21 °C se ubicó entre Playa El Bravo (5 mn de costa) y el sur de Playa Santa Jovina (25 mn de costa), mostrando un área paralela a la costa de 20 a 21 °C. Los valores >21 °C se extendieron por fuera de las 5 mn y de las 20 mn entre Máncora y Playa Santa Jovina, respectivamente. Los valores térmicos oscilaron entre 19,7 y 21,9 °C, con promedio de 20,7 °C (Fig. 4a).

Las anomalías térmicas evidenciaron reducción de zonas frías, la isolínea -0,5 °C respecto a la capa superior, se encontró limitada a un pequeño núcleo frente a Punta Máncora. La zona paralela se aproximó de la línea costera a las 4-6 mn entre Punta La Cruz y Máncora, extendiéndose hasta las 23 mn frente a Punta Capullana con temperaturas <21 °C. Por otro lado, se amplió el área cálida (>1,0 °C) por fuera de las 8 mn, evidentemente relacionado con la proyección de aguas cálidas del norte-oeste y con la presencia de una onda Kelvin presentada en ese período. Las anomalías térmicas oscilaron entre -0,540 y +1,248 °C (Fig. 4b).

La salinidad presentó valores cercanos a 34,7 al norte de Playa Jovina y a 34,75 al sur de Punta

La Cruz. Estos valores se hallaron vinculados a condiciones térmicas próximos a 21 y 20 °C, respectivamente y en ambos casos afines a las AES. Dentro de las 5-10 mn y entre Punta Capullana y Talara es notoria la presencia de valores mayores de 34,75, asociados a valores térmicos <20 °C. Al igual que en superficie, no se aprecia descargas de ríos aledaños en la zona en la capa de 5 y de 10 metros. Los valores halinos presentaron variaron entre 34,661 y 34,793 (Fig. 4c).

Las anomalías halinas presentaron valores mayores a +0,1 al norte de Playa Santa Jovina, en tanto que al sur se hallaron valores próximos a cero (promedio patrón). Esta configuración mostrada obedece a la aproximación de aguas cálidas del norte. Los valores de anomalías halinas oscilaron entre -0,066 y 0,300 (Fig. 4d).

La capa promedio de 9 a 13 metros muestra flujos similares a los de la capa de 5 a 9 m, pero con mucha mayor intensidad (valor promedio 31,71 cm/s) principalmente al norte de Punta La Cruz. En general, las corrientes marinas se desplazaron del norte hacia el suroeste con valores > 30 cm/s localizados entre la costa y las 23 mn longitudinalmente y entre Máncora y Punta La Cruz latitudinalmente. Los valores entre 15 y 30 cm/s se ubicaron al sur de Punta La Cruz entre 8 y 25 mn, en tanto que, valores < 15 cm/s se hallaron dentro de las 5 y 7 mn al sur de Lobitos. Al igual que en la capa anterior los flujos se encontraron asociado a la ESCC (Fig. 4e).

#### **Distribución de variables físicas – químicas a 20 m de profundidad**

La capa de 20 metros mostró condiciones similares a la de 10 metros. El área presentó valores de temperaturas < 20 °C entre Playa Las Animas y Talara, evidenciando una zona más amplia respecto a la capa de 10 metros debido al incremento de aguas relativamente más frías cerca de la costa. Las aguas con valores > 21 °C se localizaron por fuera de las 10 mn entre Máncora y Playa el Bravo, y por fuera de las 22-25 mn frente a Playa Santa Jovina (más lejos de la capa de 10 metros). Las isotermas de 20 y 21 °C se mostraron algo sinuosas al norte de Playa Santa Jovina debido al intercambio de aguas en la zona (Fig. 5a).



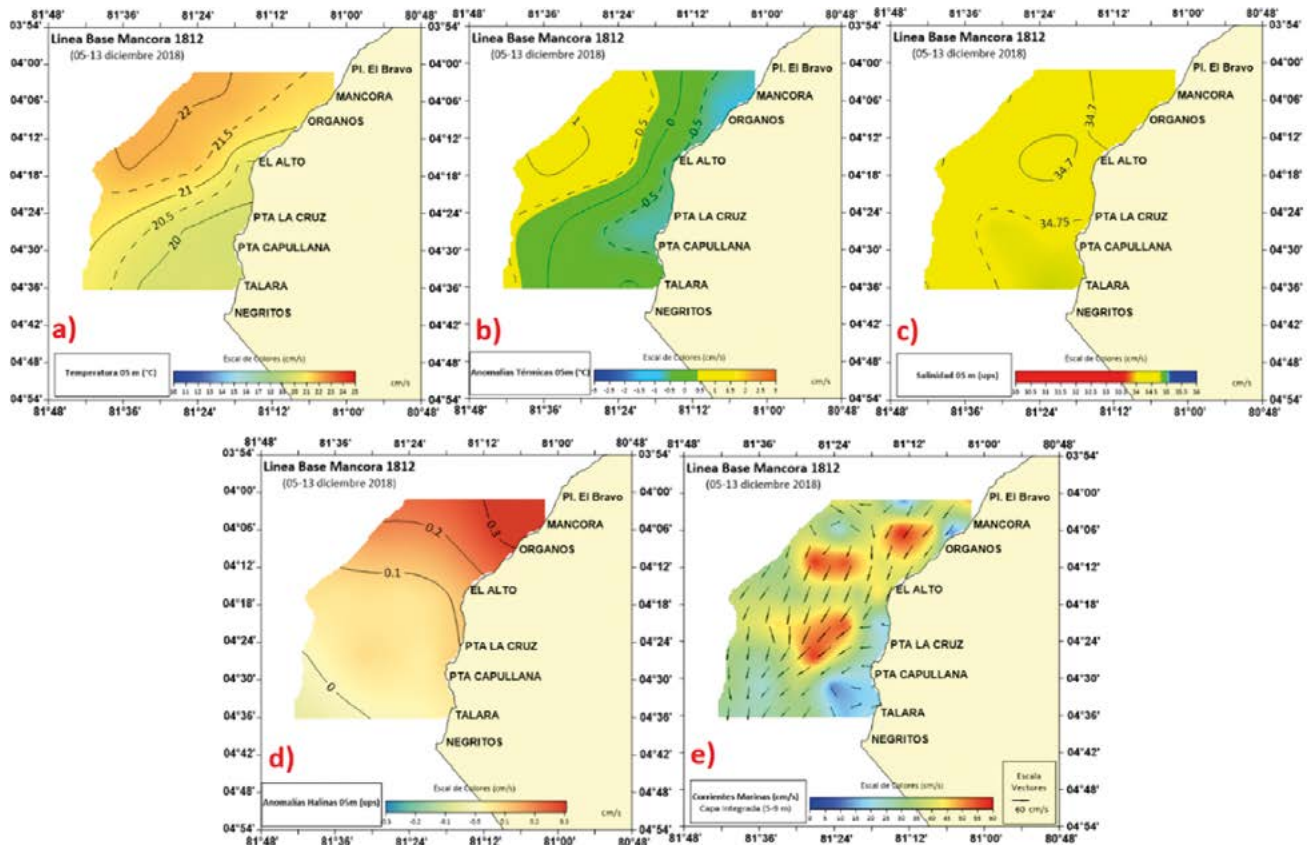


Figura 3.- a) Temperatura (°C), b) Anomalia Térmica (°C), c) Salinidad, d) Anomalia Halina, e) Corrientes marinas (cm/s) a 5 metros de profundidad. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

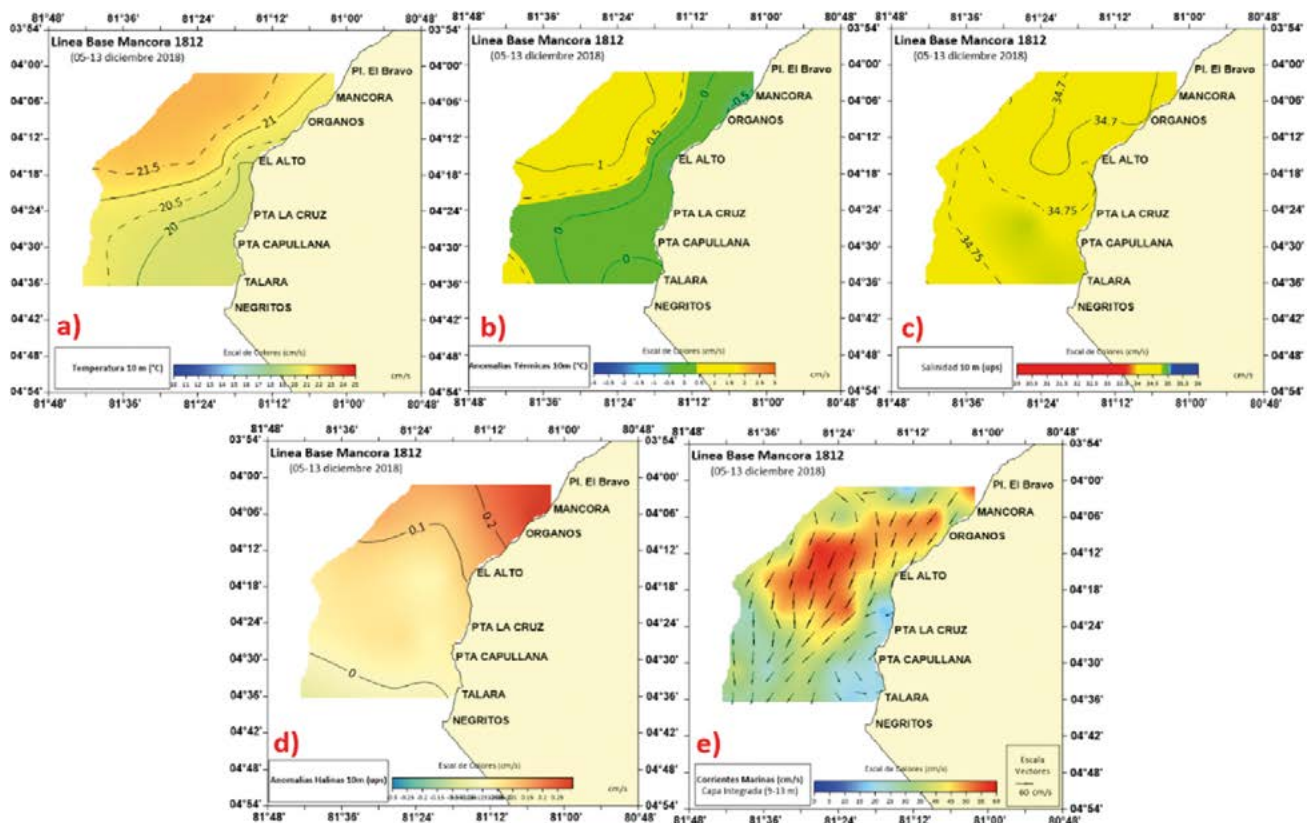


Figura 4.- a) Temperatura (°C), b) Anomalia Térmica (°C), c) Salinidad, d) Anomalia Halina, e) Corrientes marinas (cm/s) a 10 metros de profundidad. Línea de Base Máncora 1812 (5-13/12/2018). EC IMARPE IV

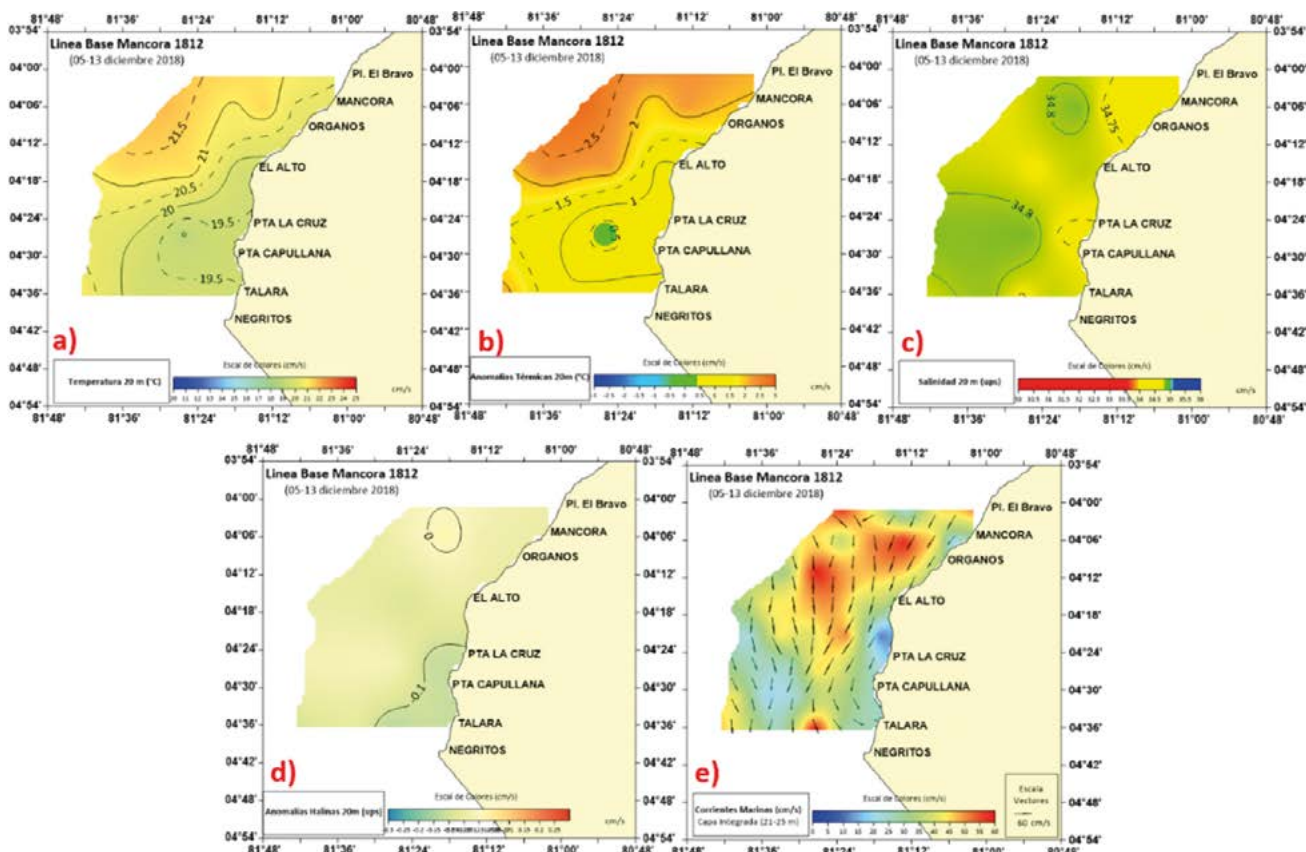


Figura 5.- a) Temperatura (°C), b) Anomalia Térmica (°C), c) Salinidad, d) Anomalia Halina, e) Corrientes marinas (cm/s) a 20 metros de profundidad. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

En las anomalías térmicas se hallaron valores positivos  $> +1,0$  °C en toda el área de estudio excepto por un núcleo pequeño  $< 0,5$  °C frente a Punta Capullana, estos valores estuvieron asociados a isothermas  $> 20$  °C. Este incremento en las anomalías en la zona, se relacionó con el ingreso de aguas cálidas del norte, con aguas de mezcla (fondo) y el ingreso de la onda Kelvin. Las anomalías térmicas mostraron predominio de valores entre  $+0,142$  ° y  $+2,902$  °C (Fig. 5b).

La salinidad registrada con el equipo CTD, mostró para el nivel de 20 m, cambios con respecto a condiciones propias de AES, evidenciando valores  $> 34,8$  formando núcleos extensos frente a Máncora y los Órganos. Valores próximos a 34,75 se ubicaron dentro de las 10 mn entre Playa El Bravo y Talara. La salinidad encontrada en este nivel, reflejaron un área homogénea con valores próximos a 34,8 asociados a valores térmicos menores de 21 °C. La salinidad varió de 34,951 a 35,066, con promedio 35,012 (Fig. 5c).

Las anomalías halinas, se caracterizaron por mostrar valores próximos al promedio patrón (próximas a cero) en toda el área evaluada,

excepto en la zona costera al sur de Punta La Cruz con valores de  $+0,1$  que se extendió hasta 12 mn frente a Talara. En este nivel se muestran zonas muy homogéneas. Las anomalías halinas oscilaron entre  $-0,138$  y  $+0,025$  (Fig. 5d).

Se identificaron flujos hacia el sur-oeste dentro de 25 mn de costa, con promedios de 21 a 25 m, asociados a la ESCC. Velocidades  $> 30$  cm/s se ubicaron por fuera de las 5-8 mn entre Máncora y Punta La Cruz, con algunas vorticidades a 20 mn de los Órganos. Al sur de Punta La Cruz se localizaron valores moderados entre 15-30 cm/s con presencia de vorticidades entre Punta Lobos y Talara (Fig. 5e).

**Distribución de variables físicas – químicas a 30 m de profundidad**

En este nivel se presentaron cambios al compararlo con la capa de 20 metros, mostrando una zona con valores  $< 20$  °C más amplia respecto a las capas superiores y un área con valores  $> 21$  °C más pequeña. La distribución de isothermas, se presentó paralela a la línea de costa, y se hallaron valores  $< 19$  °C hasta las 20 mn (Fig. 6a).



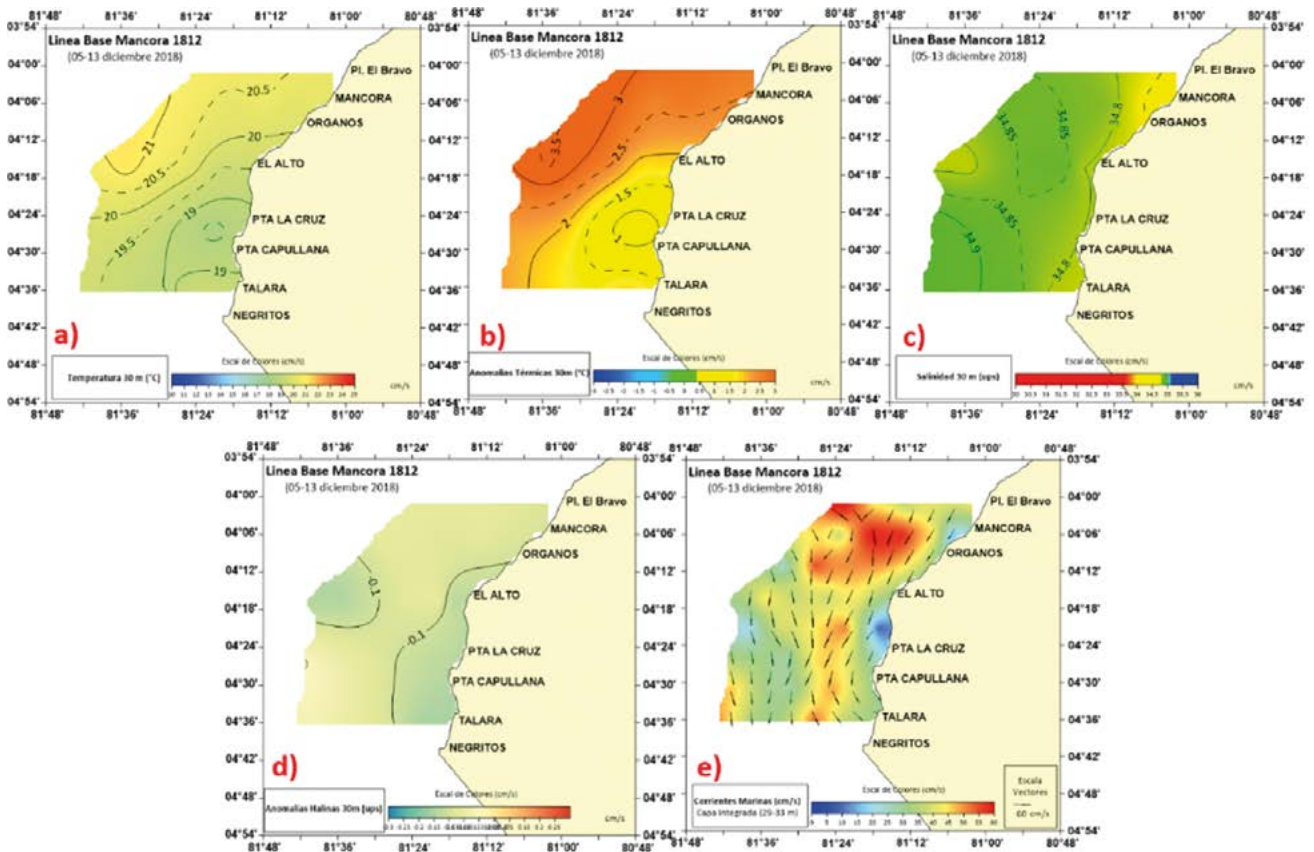


Figura 6.- a) Temperatura (°C), b) Anomalía Térmica (°C), c) Salinidad, d) Anomalía Halina, e) Corrientes marinas (cm/s) a 30 metros de profundidad. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

En cuanto a las anomalías térmicas, el área se caracterizó por valores positivos  $< +2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la zona costera al sur de Playa Las Animas, que se extendió hasta las 21 mn frente a Talara. Por fuera de la zona anterior, se encontraron valores positivos  $> +2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  que se proyectó hasta la zona costera al norte de Punta los Órganos. Este nivel presentó influencia de la anunciada onda Kelvin cálida (ENFEN) y de aguas de mezcla (fondo). La anomalía térmica osciló de  $+0,667$  a  $+3,579\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 6b).

Las condiciones halinas a 30 m mostraron predominio de valores  $> 34,8$  al sur de los Órganos, asociadas a valores térmicos  $> 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En los extremos norte y sur se hallaron valores halinos  $< 34,75$  y  $> 34,90$ , respectivamente, localizándose en el primer caso dentro de las 8 mn y en el segundo por fuera de las 15 mn de costa. En general, esta capa evidenció zonas de mezcla por intercambio con aguas de fondo (Fig. 6c). Los valores oscilaron de 34,735 a 34,950 con promedio de 34,840.

Las anomalías halinas mostraron una franja paralela a la línea de costa próximas a cero la cual divide valores negativos cercanos a la costa y a la zona por fuera de las 16mn. Los valores menores de  $-0,1$  de la zona costera se ubicaron entre el sur de los Órganos y las 10 mn frente a Talara. Las anomalías halinas oscilaron entre  $-0,157$  y  $0,003$  (Fig. 6d).

La capa promedio de 29 a 33 m mostró también flujos hacia el sur-oeste, evidentemente relacionado con la ESCC. Estos flujos hacia el sur, se incrementaron por fuera de las 10 a 15 mn frente a Máncora y Los Órganos, ocasionando fuera de las 10 mn cierto movimiento ciclónico principalmente frente a Los Órganos, situación que reduciría el área de flujos intensos entre Máncora y Playa Las Animas. Dentro de las 3 y 5 mn, los flujos mantuvieron tendencia hacia el sur siguiendo la configuración de la costa con valores  $< 15\text{ cm/s}$  (Fig. 6e).



**Distribución de variables físicas – químicas a 40 m de profundidad**

La temperatura en el nivel de 40 metros evidenció características homogéneas en toda el área de evaluación, predominando valores de 19 a 20 °C entre los Órganos y Talara y hasta las 25 mn. Evidentemente, este nivel recibe menos influencia de las capas superficiales mostrando temperaturas homogéneas ( $\pm 0,5$  °C). Los máximos valores se ubicaron en el lado norte de los Órganos. La temperatura osciló de 18,2 a 20,3 °C con promedio de 19,3 °C (Fig. 7a).

Las anomalías térmicas evidenciaron valores positivos  $> +2,0$  °C en toda el área de evaluación, excepto por un pequeño núcleo con valores  $< +2,0$  °C ubicado frente a Punta Lobos dentro de las 5 mn. El área se encontró influenciado por el arribo de la onda Kelvin. Las anomalías térmicas presentaron valores de  $+1,480^{\circ}$  a  $+3,344$  °C (Fig. 7b).

La salinidad en el nivel de 40 metros varió de 34,741 a 34,966 con promedio de 34,859. Este nivel se caracterizó por mayor presencia de aguas de mezcla (AES y aguas costeras frías), con valores próximos a 34,9 vinculados a valores térmicos próximos a 19 °C por fuera de las 10 mn. El área dentro de las 10 mn contiene valores superiores a 34,8 asociados a valores de temperatura próximos a 18 °C. En general, el área presentó poca o nula influencia de las capas superiores, por el contrario, todo el proceso de mezcla se realizó con aguas provenientes del fondo evidenciándose este proceso con valores  $> 34,8$  (concentraciones más salinas que en superficie, Fig. 7c).

En cuanto a las anomalías halinas presentaron valores entre -0,186 y -0,025. El área evidenció características homogéneas próximas a cero asociados a valores  $> 34,9$  por fuera de las 10 mn, en tanto que, dentro de la zona costera se hallaron valores  $< -0,1$  asociados a salinidades menores de 34,9 (Fig. 7d).

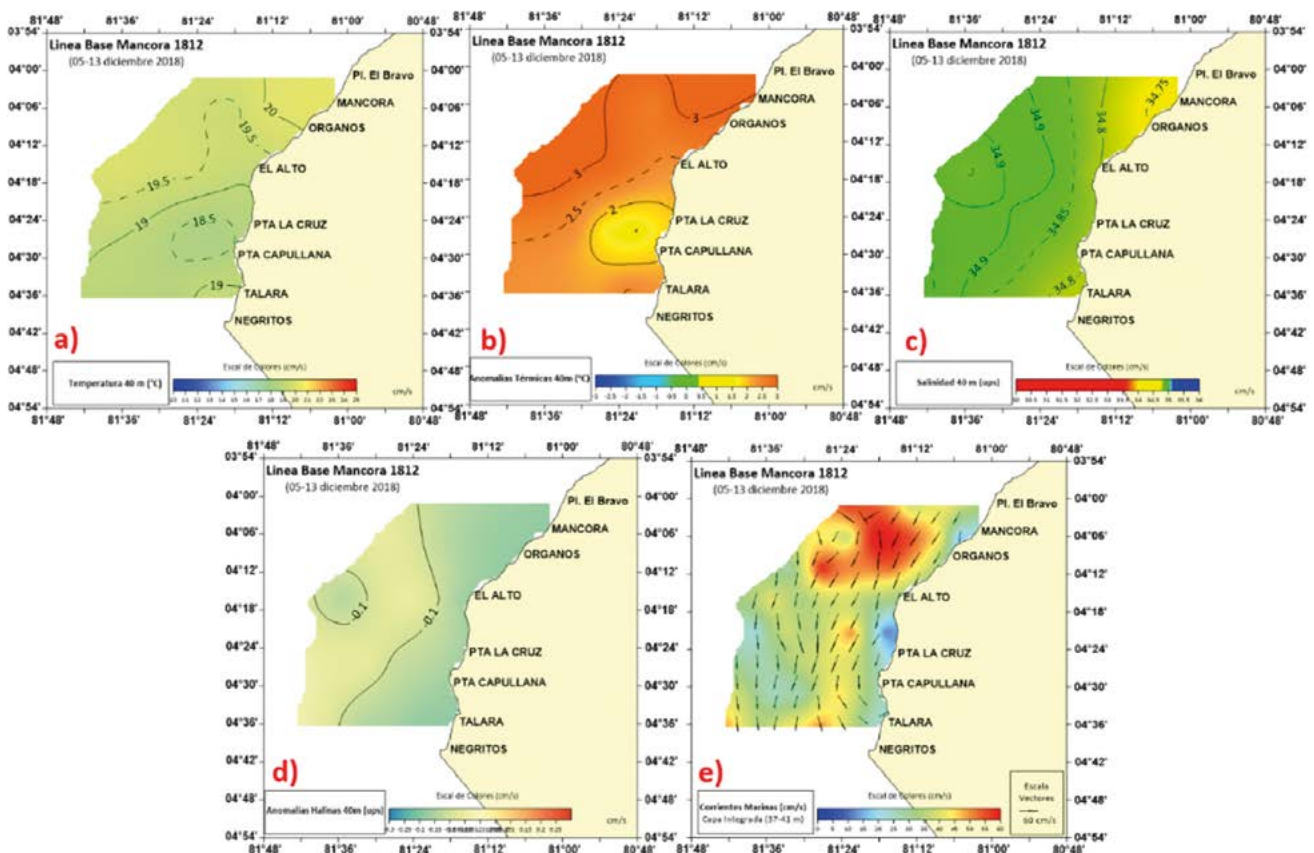


Figura 7.- a) Temperatura (°C), b) Anomalia Térmica (°C), c) Salinidad, d) Anomalia Halina, e) Corrientes marinas (cm/s) a 40 metros de profundidad. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

La circulación en la capa integrada promedio de 37 a 41 m presentó flujos hacia el sur de manera muy definida y con mayor intensidad entre Máncora y Playa Las Animas (>30 cm/s), sin embargo, al sur de El Alto los flujos se tornaron moderados (flujos entre 15 y 30 cm/s), evidentemente, esta condición indicó una ESCC debilitada. Flujos débiles se localizaron próximos a la costa dentro de las 5 mn (Fig. 7e).

**Distribución de variables físicas – químicas a 50 m de profundidad**

El nivel de 50 metros, presentó un comportamiento térmico homogéneo, con solo la isoterma de 19 °C predominando en el área. La isoterma 19 °C se presentó de manera sinuosa algo perpendicular a la línea de costa. Los valores > 19 °C se ubicaron al norte de Playa Las Animas y los < 18,5 °C frente a Talara. En esta capa la temperatura varió de 18,0 a 19,8 °C (Fig. 8a).

Las anomalías térmicas mostraron comportamiento similar a las isotermas agrupando valores > +3,0 °C en toda la zona norte del Alto, asociados a valores térmicos > 19 °C, en tanto que, al sur de Playa Santa Jovina, se hallaron valores < +2,5 °C asociados a valores < 18,5 °C. Este nivel, juzgando por los valores físico-químicos (informe químico del monitoreo) no evidencia movimiento de surgencia, sin embargo, los valores extremos positivos se relacionan con el arribo de la onda Kelvin. Las anomalías térmicas presentaron valores de +1,998° a +3,486°C (Fig. 8b).

Las características halinas en el nivel de 50 metros, se tornaron más uniformes al sur de Playa Las Animas debido a mayor presencia de valores entre 34,80 y 34,95. Por otro lado, aún se presentan valores < 34,8, asociados a valores > 19,5 °C al norte de Playa Las Animas. Los valores presentados variaron de 34,760 a 34,967 con promedio para el área de 34,880 (Fig. 8c).

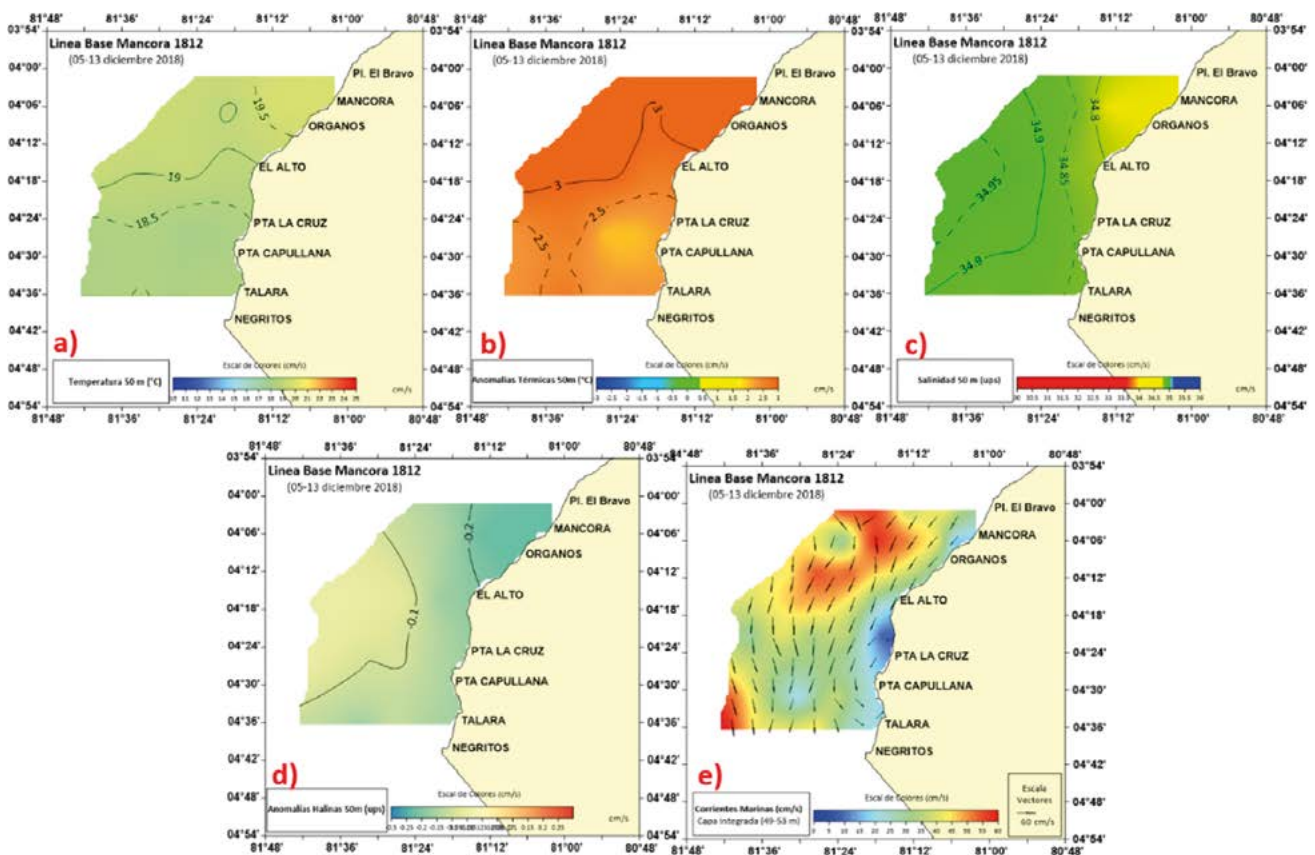


Figura 8.- a) Temperatura (°C), b) Anomalía Térmica (°C), c) Salinidad, d) Anomalía Halina, e) Corrientes marinas (cm/s) a 50 metros de profundidad. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

En cuanto a la anomalía halina, se detectaron cambios en relación a la capa anterior, principalmente en la zona costera al norte del Alto, donde se ubicaron valores  $< -0,2$ . Anexo a estas características se hallaron valores de  $-0,1$  hasta las 10 mn en promedio. El área por fuera de las 12 mn entre Los Órganos y Talara se mostró próxima a lo normal. Los valores de anomalías halinas oscilaron entre  $-0,232$  y  $-0,047$  (Fig. 8d).

Con relación a las corrientes, el nivel de 49 a 53 metros muestra debilitamiento de la ESCC restringiendo valores  $> 30$  cm/s a la zona entre 10 y 25 mn y entre Máncora y Playa Las Animas. Asimismo, este flujo se visualizó frente a Talara por fuera de las 22 mn con más intensidad de los que se encuentran cerca de costa, y que posiblemente ocasionen remolinos en la zona. Los flujos dentro de la zona costera (5 mn) mantienen la dirección hacia el sur, pero con mayor extensión que en las capas superiores principalmente entre Playa Santa Jovina y Punta Lobos (Fig. 8e).

### Distribución de variables físicas – químicas a 60 m de profundidad

La distribución térmica en este nivel mostró temperaturas que oscilaron entre  $17,6$  y  $19,5$  °C con promedio de  $18,3$  °C. La capa de 60 metros alcanzó valores próximos a  $18$  °C y se presentó homogéneo. En general, el área presentó valores predominantes entre  $18$  y  $19$  °C, indicándonos uniformidad en la temperatura (Fig. 9a).

Las anomalías térmicas registradas en este nivel, se mostraron similares a la capa de 50 m evidenciando valores positivos cercanos a  $+2,5$  °C en toda el área exceptuando una zona muy pequeña con valores  $< +2,5$  °C frente a Punta La Cruz y Punta Capullana, así como zonas con valores positivos  $> +3,0$  °C al norte de Los Órganos y por fuera de las 20 mn frente a Lobitos. El área mostró valores de  $+1,946$  a  $+3,158$  °C (Fig. 9b).

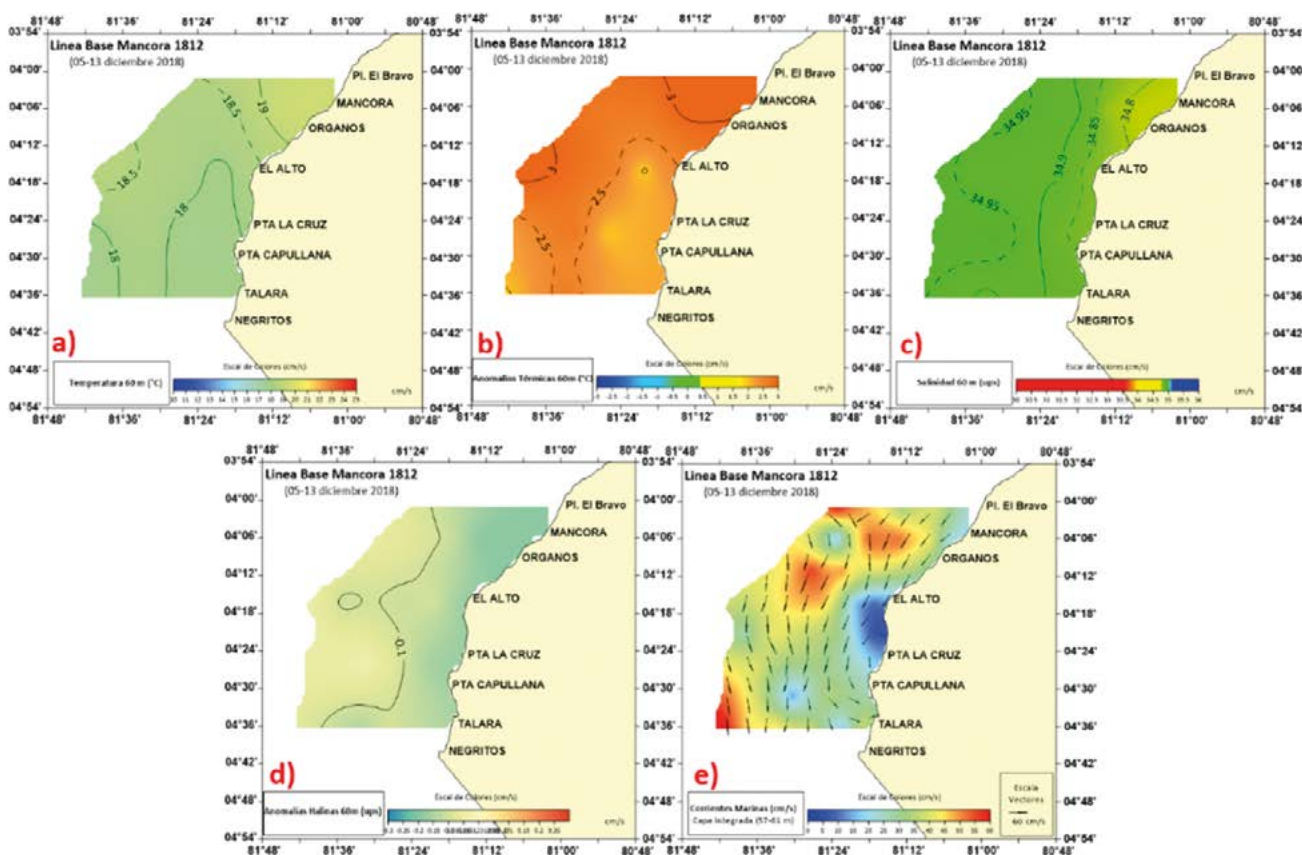


Figura 9.- a) Temperatura (°C), b) Anomalía Térmica (°C), c) Salinidad, d) Anomalía Halina, e) Corrientes marinas (cm/s) a 60 metros de profundidad. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV



La salinidad varió de 34,788 a 34,990, con promedio de 34,910. En general, el comportamiento halino presentó muy pocos cambios, con valores próximos a 34,90 y asociados a temperaturas próximos a 18 °C. Las masas de agua correspondieron a las aguas costeras frías cuyas características no perciben influencia de las capas superficiales, por el contrario, provienen del fondo (Fig. 9c).

Las anomalías halinas presentaron un área homogénea con predominio de la isohalina de -0,1 la cual separa los valores máximos < -0,1 hacia la zona costera y los valores próximos a cero fuera de las 13 mn. Los valores hallados de anomalías halinas oscilaron entre -0,190 y -0,036 (Fig. 9d).

En el nivel de 59 metros promedio y en la mayor parte del área evaluada, se presentaron flujos menos intensos que en las capas superiores asociadas al borde inferior de la ESCC mostrando valores moderados (entre 15 y 30 cm/s), asimismo, se mostraron flujos hacia el sur conjuntamente con núcleo principal frente a Talara por fuera de las 22 mn. Las mayores velocidades (>30 cm/s) se hallaron por fuera de las 15 mn, en tanto que, los más débiles se hallaron en la zona costera dentro de las 5-8 mn entre El Alto y Lobitos. En general, el área mostró flujos predominantes de 15 a 30 cm/s hacia el sur (Fig. 9e).

**Distribución Vertical**

**Sección Vertical frente a Máncora:** la distribución vertical indicó presencia de las AES sobre los 25 m por fuera de las 15 mn y sobre los 75 m dentro de las 13 mn de costa, situación que agrupa a las isotermas mayores de 19 °C asociadas a valores menores de 34,8. Por debajo de las AES se localizaron las aguas costeras frías asociadas a temperaturas menores de 18 °C y salinidades mayores de 34,9, según ZUTA y GUILLÉN (1970) estos valores se presentan al límite norte de 6°S con presencia de temperaturas menores de 15 °C y que están asociados a la ESCC (Figs. 10 a, b).

La componente meridional (norte-sur) de la circulación marina presentó flujos hacia el sur con velocidades intensas > 30 cm/s asociados a la ESCC. Ese flujo se localizó por fuera de las 5 mn y se mostró en toda la columna de agua hasta los 100 m. Asimismo, presentó el núcleo principal entre 5 y 55 metros de

profundidad y entre 12 y 22 mn de costa. Por otro lado, la zona costera presentó a los flujos con velocidades débiles con dirección hacia el norte, posiblemente por fricción con el talud, se generó cierta vorticidad dentro de 3 mn (Fig. 10c).

**Sección Vertical frente a El Alto:** esta sección presentó la distribución de temperatura muy similar a la sección de Máncora. Los valores > 20 °C se ubicaron sobre los 40 metros, asociados a salinidades menores de 34,8 que correspondieron a las AES. Por debajo de las AES se localizaron las aguas costeras frías asociadas a temperaturas < 17 °C y salinidades > 34,9. Una reducida capa de mezcla se ubicó entre los 120 y 150 m por fuera de las 8 mn con valores halinos mayores de 25,05. No se logra notar influencia de los vientos en superficie (Figs. 11 a, b).

La circulación marina en su componente meridional (norte-sur) mostró flujos dominantes hacia el sur con valores > 30 cm/s en toda la columna hasta 100 metros de profundidad, estos flujos se encontraron asociados a la ESCC, corriente

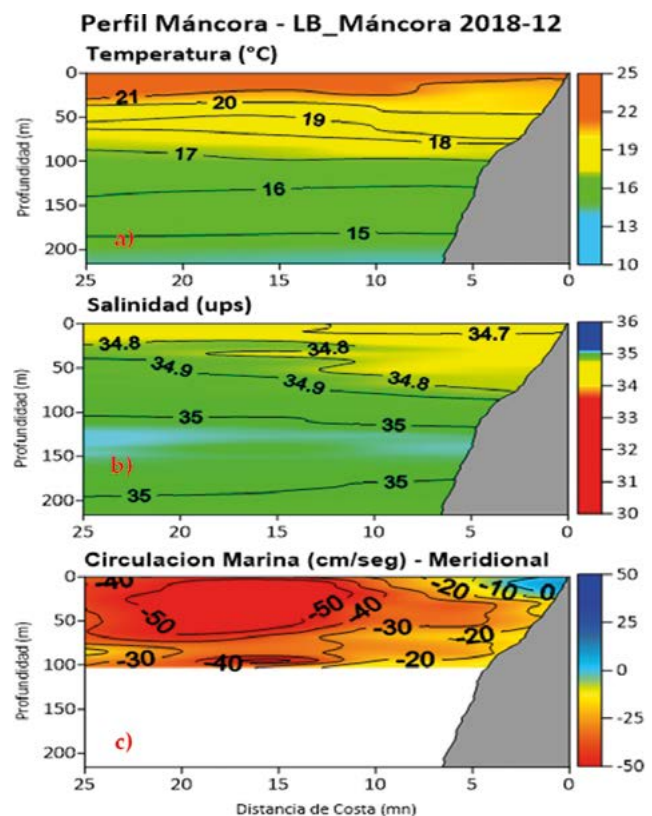


Figura 10.- a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) Corrientes (cm/s) frente a Máncora. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV



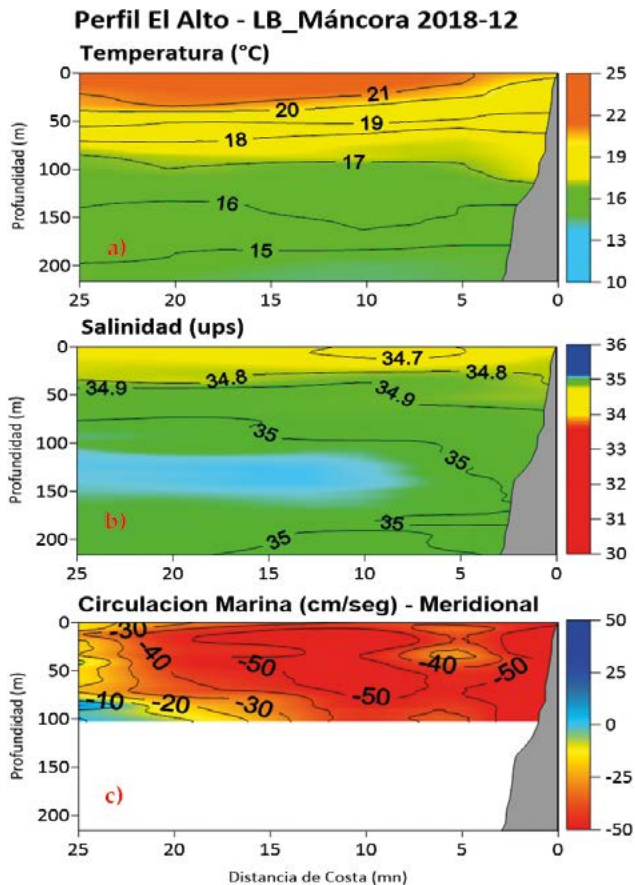


Figura 11.- a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) Corrientes (cm/s) frente a El Alto. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

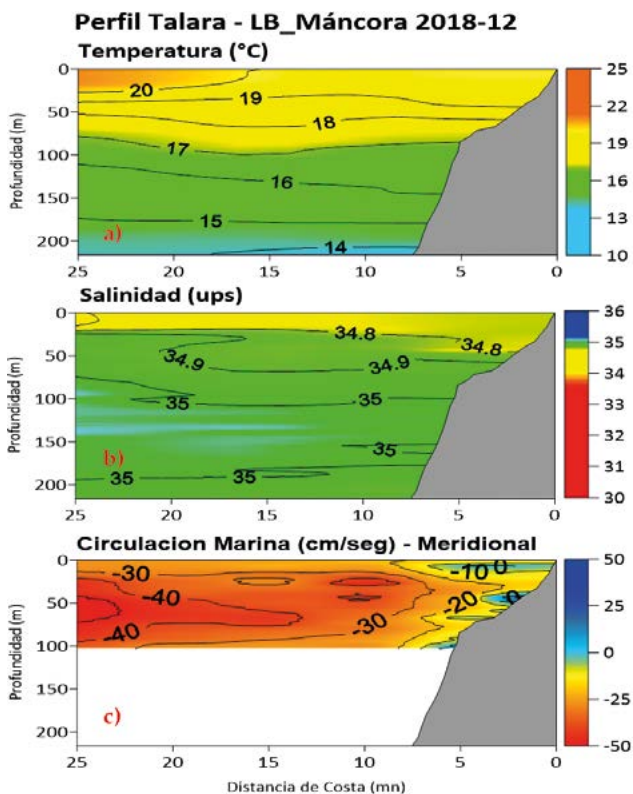


Figura 12.- a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) Corrientes (cm/s) frente a Talara. Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

marina que presento su núcleo principal entre los 10 y 70 metros y entre las 8 y 20 mn de costa. Pequeños remolinos se hallaron por fuera de las 20 mn y cerca de los 100 m (Fig. 11c).

**Sección Vertical frente a Talara:** esta sección evidenció un debilitamiento de la proyección de las AES ubicándose sobre los 20 metros por fuera de las 23 mn y sobre los 50 metros dentro de las 5 mn, asociados a valores > 19 °C y salinidades menores de 34,8. Evidentemente, las AES han disminuido en profundidad y extensión. Las aguas costeras frías se ubicaron por debajo de las AES vinculados a temperaturas < 18 °C y salinidades > 34,9 (Figs. 12 a, b).

La circulación marina frente a Talara, presentó flujos debilitados asociados a la ESCC cuyo núcleo principal se ubicó por debajo de los 25 metros y por fuera de las 15 mn, ubicación más distante de la costa respecto a los anteriores perfiles, pero más debilitados respecto a los idénticos perfiles. Asimismo, se logró apreciar flujos hacia la costa dentro de las 12 mn con valores superiores a 20 cm/s (Fig. 12c).

#### 4. DISCUSIÓN

Los flujos de la ESCC se desplazaron de norte a sur con intensidades superiores a 30 cm/s en su núcleo principal ubicado entre los 5 y 55 m, no se percibió influencia de la presencia de vientos sobre la superficie (vientos debilitados), hecho que sin duda debió favorecer al libre desplazamiento de la corriente marina mencionada y a la proyección de las AES y de las AESS. Esta corriente marina en su desplazamiento hacia el sur disminuyó su intensidad y se manifestó por fuera de las 20 mn frente a Talara. Asimismo, y de acuerdo al “Pronóstico frente a lo largo de la costa peruana” –Modelo GFS y al modelo meteorológico Merra 2 – Re-análisis Meteorológicos (Fig. 13), el régimen de vientos ocurridos en el área se presentó debilitado durante la fecha de evaluación, lo que influenció levemente tanto el comportamiento termo-halino como la circulación en los primeros 5-10 m, asociados a la presencia de pequeños remolinos por fuera de las 20 mn al sur del área evaluada, lugares donde también se encontraron flujos hacia el sur, que conjuntamente ayudados por la dinámica de las masas de agua entre otros factores (cambios de densidad, mareas, etc.) ayudaron a la formación de algunos movimientos ciclónicos.



Figura 13.- Serie de tiempo horaria de vientos (m/s) frente a Talara durante el período de muestreo (Re-análisis meteorológico). Línea de Base Máncora 1812 (05-13/12/2018). EC IMARPE IV

Por otro lado, los pronósticos anunciaron un fenómeno El Niño para el 2019 (Comunicado Oficial ENFEN 13 y 14 – 2018), que incluyeron un desplazamiento de las corrientes marinas con flujos moderados hacia el sur asociados a una onda Kelvin, hecho que se manifestó en los días de la evaluación, sin embargo, estas condiciones fueron disminuidas en los meses siguientes.

## 5. CONCLUSIONES

La zona evaluada presentó en superficie, condiciones con anomalías térmicas positivas por fuera de las 15 mn y con valores negativos dentro de las 10 mn a la costa, estos valores no superan los  $\pm 1,5$  °C en ambos casos. Los valores térmicos oscilaron de 20 a 22 °C y salinidades próximas a 34,7.

Las masas de agua correspondieron a las AES sobre los 40 metros y debajo de ellas las aguas costeras frías con ciertas zonas de mezcla en el límite fronterizo con las AES.

Las corrientes marinas mostraron flujos predominantes hacia el sur con velocidades intensas mayores a 30 cm/s asociados principalmente a la

ESCC con presencia de algunos remolinos hacia la zona central del área de estudio.

Las secciones verticales mostraron dentro de los 30-40 metros a las AES, y por debajo de los 50 m las condiciones se encontraron estables asociados a las aguas costeras frías sin cambios destacados como alguna influencia externa del viento o el arribo de una onda Kelvin.

Las corrientes marinas en las secciones verticales mostraron la presencia de la ESCC principalmente por fuera de la 5 mn, en tanto que, en algunos sectores se hallaron flujos hacia el norte de ciertos movimientos oscilatorios muy 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

- FIRING, E., RANADA, J. & CALDWELL, P. (1995). Processing ADCP data with the CODAS software system V 3.1 University of Hawaii. 218 pp.
- ENFEN. (2018). Comunicado Oficial ENFEN N°13-2018 Callao, 15 de noviembre del 2018. 4 pp.
- ENFEN. (2018). Comunicado Oficial ENFEN N°14-2018 Callao, 3 de diciembre del 2018, 4 pp.
- ENFEN. 2018. Comunicado Oficial ENFEN N°15-2018 Callao, 14 de diciembre del 2018. 5 pp
- ZUTA, S. y GUILLÉN, O. 1(970). Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. Bol Inst Mar Perú, 2, 157-324.