



PERÚ

Ministerio  
de la Producción



**IMARPE**  
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

Programa Presupuestal por Resultados N°068

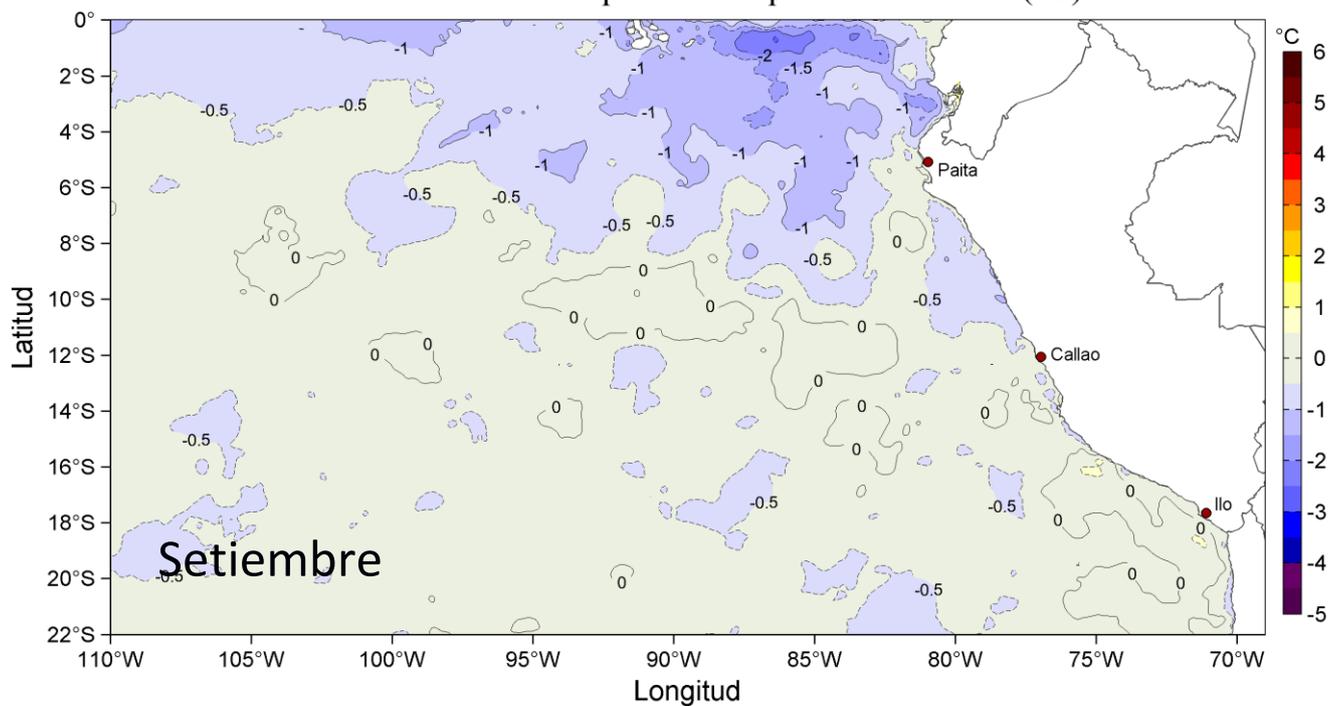
“Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de emergencias por Desastres”

Producto: Estudios para la estimación del riesgo de Desastres

Actividad 4: Generación de Información y Monitoreo del Fenómeno El Niño

## INFORME DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y BIOLÓGICO-PESQUERAS SETIEMBRE 2019

Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (°C)



Setiembre, 2019

# **INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ**

## **GRUPO DE TRABAJO INSTITUCIONAL EL NIÑO**

**Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico Pesqueras  
Setiembre 2019**

### **TABLA DE CONTENIDO**

- 1. CONDICIONES FÍSICAS DE MACRO-ESCALA EN EL PACÍFICO ECUATORIAL Y SUDORIENTAL.**
  - 1.1. Aspectos Meteorológicos**
    - 1.1.1 Distribución regional del campo de presión a nivel del mar**
    - 1.1.2. Condiciones atmosféricas en el Pacífico ecuatorial**
  - 1.2. Aspectos oceanográficos**
    - 1.2.1. Condiciones superficiales.**
    - 1.2.2. Condiciones sub-superficiales**
- 2. CONDICIONES FRENTE A LA COSTA PERUANA**
  - 2.1 Aspectos meteorológicos**
    - 2.1.1 Velocidad y dirección del viento a lo largo de la costa peruana**
  - 2.2 Aspectos oceanográficos**
    - 2.2.1 Anomalía del nivel del mar (ANM)**
    - 2.2.2 Temperatura superficial del mar frente al litoral**
    - 2.2.3 Distribución espacial de la salinidad superficial del mar**
    - 2.2.4 Secciones oceanográficas**
    - 2.2.5 Estaciones fijas costeras**
    - 2.2.6 Fertilidad y productividad**
    - 2.2.7 Indicadores biológicos del plancton**
- 3. MONITOREO DIARIO DE INDICADORES BIOLÓGICOS MARINOS PROVENIENTES DEL SEGUIMIENTO DE LA PESQUERÍA Y PROGRAMA BITÁCORAS DE PESCA.**
  - 3.1 Condiciones Biológico – Pesqueras de la anchoveta.**
  - 3.2. Especies Indicadoras**
- 4. PRONÓSTICO DE LAS CONDICIONES DEL PACIFICO ECUATORIAL Y FRENTE A LA COSTA PERUANA.**
  - 4.1 Pronósticos a gran escala de las agencias internacionales**
  - 4.2 Propagación de ondas Kelvin**
  - 4.3 Pronósticos de la TSM frente a la costa del Perú**
- 5. CONCLUSIONES**
- 6. REFERENCIAS**
- 7. TABLAS**
- 8. FIGURAS**

**Instituto del Mar del Perú**  
**Grupo de Trabajo Institucional El Niño**

**Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico Pesqueras**  
**Setiembre 2019**

## **1. CONDICIONES FÍSICAS DE MACRO-ESCALA EN EL PACÍFICO ECUATORIAL Y SUDORIENTAL.**

### **1.1. Aspectos Meteorológicos**

#### **1.1.1 Distribución regional del campo de presión a nivel del mar**

Se analizó el campo promedio de presión a nivel del mar del 1 al 30 de septiembre usando datos de re-análisis NCEP/NOAA (Kalnay et al. 1996). Se observó que el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó un núcleo centrado en los 95 °W, 35 °S con una intensidad máxima de ~1029 hPa, encontrándose desplazado al sur de su posición normal y con una intensidad mayor que su valor climatológico en 4,6 hPa (Figuras 1 y 2). Asimismo, se detectaron anomalías positivas de presión en el Pacífico oriental extra tropical con un núcleo de +10 hPa en 105 °W, 45 °S. Frente a la costa norte peruana se presentaron anomalías ligeramente positivas (+1 hPa), mientras que, en la costa centro y sur predominaron las condiciones climatológicas de presión (Figura 2b).

Con el fin de caracterizar la variación temporal de la intensidad del APS se empleó el Índice del Anticiclón del Pacífico Sur (IAPS) (media móvil trimestral de la anomalía de la presión atmosférica máxima en el núcleo del APS), y de las anomalías de su posición longitudinal y latitudinal respectivamente, con datos de NCEP/NOAA (Kalnay et al. 1996). El IAPS fue clasificado en 3 condiciones: débil, neutro e intenso. Valores positivos (negativos) de los índices ILON e ILAT representan un desplazamiento al este y al norte (al oeste y al sur) del núcleo del APS. Para el trimestre JAS 2019 el IAPS presentó un valor de +2,5 hPa, mayor que su valor anterior (+1,6 hPa), indicando que la intensidad del APS estuvo por encima del rango normal neutro del APS. El valor mensual de la anomalía de la presión máxima en septiembre fue de +4,6 hPa (Figura 3a). Los índices ILON e ILAT presentaron valores de +4,2° y -0,9° para el trimestre JAS, respectivamente, indicando que el núcleo del APS se encontró ubicado al sur de su posición promedio en el último trimestre. Los valores mensuales de las anomalías de posición longitudinal y latitudinal fueron de -2,3° y -4,8° respectivamente (Figuras 3b y c).

#### **1.1.2. Condiciones atmosféricas en el Pacífico Ecuatorial**

La radiación de onda larga (OLR, por sus siglas en inglés) presentó valores dentro del rango normal sobre el Pacífico Sureste, así como a lo largo del Pacífico ecuatorial hasta alcanzar la línea de cambio de fecha, indicando condiciones normales. En el Pacífico noreste entre 90 °W y 80 °W se presentaron valores positivos (Figura 4), indicando condiciones anómalas de subsidencia. La componente zonal del viento en la franja ecuatorial de 5 °S a 5 °N, mantuvo dirección predominante de los vientos alisios con un rango entre 2,0 m s<sup>-1</sup> a 8,0 m s<sup>-1</sup> en el área comprendida entre 170 °W y 100 °W. En la región entre 140 °W hasta los 80 °W la velocidad zonal presentó condiciones normales o ligeras anomalías del oeste no mayores a 1 m s<sup>-1</sup>, mientras que, al oeste de los 180 °W, se presentaron anomalías del oeste con valores alrededor de 4,0 m s<sup>-1</sup> (Figura 5).

## **1.2. Aspectos oceanográficos**

### **1.2.1. Condiciones superficiales.**

En el Pacífico ecuatorial oriental, en superficie predominaron condiciones térmicas frías, mientras que en el Pacífico central se presentaron condiciones neutras, aunque con núcleos de anomalía positiva débil (Figura 6). En cuanto a la variación temporal en la región Niño 4 se intensificaron las anomalías térmicas positivas, en las regiones Niño 3.4 y Niño 3 se pasó de anomalías negativas a positivas, mientras que en la región Niño 1+2 persistieron las anomalías negativas. El último valor semanal de setiembre en las regiones Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2 fue de +1 °C, +0,5 °C, +0,3 °C y -0,6 °C respectivamente (Figura 7).

### **1.2.2. Condiciones sub-superficiales**

El contenido de calor en la capa superior del Pacífico ecuatorial (300 m, entre 180 °W y 100 °W) mostró una tendencia ascendente, pasando de una anomalía menor a -0,2 °C a una anomalía mayor a +0,3 °C, presentando una condición promedio mensual climatológica (Figura 8). Esta condición obedeció al balance entre las anomalías positivas ubicadas al oeste de 130 °W y las anomalías negativas al este de 120 °W encima de los 150 m (Figura 9).

## **2. CONDICIONES FRENTE A LA COSTA PERUANA**

### **2.1 Aspectos meteorológicos**

#### **2.1.1 Velocidad y dirección del viento a lo largo de la costa peruana**

De acuerdo a información procedente del satélite ASCAT (nueva información disponible desde el 24 de agosto), el viento frente a la costa peruana mantuvo velocidades de 4,0 m s<sup>-1</sup> a 8,0 m s<sup>-1</sup> durante casi todo el mes. En la zona oceánica, el viento varió entre 5,0 m s<sup>-1</sup> y 10,0 m s<sup>-1</sup>, con máximos valores entre los días 6 y 20 de septiembre (Figura 10). A lo largo de la costa las anomalías se presentaron fluctuantes; la primera semana predominaron anomalías negativas, cambiando a anomalías positivas entre el 6 y el 20 de septiembre, para posteriormente presentarse nuevamente anomalías negativas en toda el área, con máximos al sur de San Juan (Figura 11).

Para el análisis de series de tiempo de los vientos costeros, debido a que ASCAT no estuvo disponible del 03 de marzo al 24 de agosto 2019, la información fue completada durante ese periodo con el producto del proyecto COPERNICUS, previa validación de acuerdo a Correa et al. (2016). A lo largo de la franja costera de 40 km se presentaron vientos con velocidades entre 3,0 m s<sup>-1</sup> y 8,0 m s<sup>-1</sup> (Figura 12). Las anomalías a lo largo de la costa fluctuaron durante casi todo el mes, presentando valores negativos en la primera semana, seguidos de anomalías positivas hasta la tercera semana, y luego volviendo a presentar anomalías negativas durante la última semana del mes, de hasta -3 m s<sup>-1</sup> (Figura 13). El viento costero mostró anomalías del noroeste al sur de Paita para la primera y última semana, mientras que para la segunda y tercera mostró anomalías del sureste; al norte de Paita predominaron anomalías del norte.

El afloramiento costero, estimado a partir del esfuerzo de viento, exhibió variaciones a lo largo del mes en la mayor parte de la costa. Frente a Talara y Paita el índice de afloramiento costero (IAC) alcanzó valores entre 450 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 100m<sup>-1</sup> y 500 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 100m<sup>-1</sup> durante la segunda y tercera semana. Sin embargo, durante la primera y cuarta semana el IAC presentó valores inferiores a 300 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 100m<sup>-1</sup>. Entre los 5°S y los 13°S, el IAC presentó valores por debajo de 200 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 100m<sup>-1</sup>.

Frente a Pisco y San Juan el IAC mostró valores inferiores a  $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100\text{m}^{-1}$  para casi todo el mes con excepción de la segunda semana, donde mostró valores alrededor de  $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100\text{m}^{-1}$  (Figura 14).

## 2.2 Aspectos oceanográficos

### 2.2.1 Anomalía del nivel del mar (ANM)

Frente a la zona de Paita el nivel del mar mostró flujos convergentes (ANM positivas) a inicios del mes, que dieron paso a flujos divergentes asociados a un amplio vórtice de flujos en sentido horario y ANM negativas. El brazo convergente de dicho vórtice al norte de Talara favoreció la aparición de anomalías positivas del nivel del mar. Entre tanto, frente al resto de la costa se observó una tendencia a un mayor número de vórtices antihorarios aunque de poca extensión y más alejados de la costa (Figura 15).

En la franja de 60 mn adyacente a la costa, las anomalías positivas mayores a +5 cm encontradas a inicios de mes se atenuaron hasta valores cercanos a cero en la segunda quincena, volviendo a incrementarse en la última semana al norte de Paita (Figura 16). Frente a la costa peruana, se observó un pulso de anomalías positivas desde mediados de agosto hasta mediados de setiembre, superando +7 cm en la zona norte y +5 cm en el sur, mientras que, en la zona de Galápagos la ANM se mantuvo oscilando alrededor de +4 cm (Figura 17).

Por otro lado, en base a la información de altimetría satelital, se ha evaluado remolinos mediante un algoritmo híbrido de identificación (Halo *et al.*, 2014). Los remolinos de mesoescala transportan calor, energía y masas de agua, así como plancton, material biogénico y nutrientes que provienen del afloramiento. También influyen en la distribución de biomasa de fitoplancton, y en el sostenimiento de la producción biológica en zonas oligotróficas. Como se ha indicado, en el hemisferio sur de acuerdo al giro pueden ser ciclónicos generando divergencia, y anticiclónicos provocando convergencia del fluido.

Durante setiembre en la zona entre los  $70^\circ\text{W} - 84^\circ\text{W}$  y  $3^\circ\text{S} - 18^\circ\text{S}$  se detectaron entre 5 y 10 remolinos por día, valores que representan un aumento del 15% de remolinos detectados con respecto al mes anterior. En el presente mes en la zona oceánica al sur de Callao se distingue la formación de remolinos del tipo anticiclónico con una mayor preponderancia que los del tipo ciclónico, mientras que, hacia el norte con una menor cantidad de remolinos detectados, resaltan remolinos anticiclónicos frente a Huacho, Punta Falsa y en la zona oceánica frente a Huanchaco; por el contrario, frente a Paita resalta un remolino ciclónico. Por consiguiente, en promedio se detectó un 65 % de remolinos anticiclónicos (Figura 18 a). La distribución del radio y la energía cinética (EKE) diarias para este mes, muestran que los valores han oscilado en promedio entre 55 - 70 km y 70 - 165  $\text{cm}^2\text{s}^{-2}$ , respectivamente. Mientras que, el tamaño de los remolinos en función de la latitud indica que el radio continúa siendo mayor entre  $13-14^\circ\text{S}$  y entre  $6-9^\circ\text{S}$ , con valores máximos de 123 km ( $13,1^\circ\text{S}$ ) y 122 km ( $8^\circ\text{S}$ ), respectivamente. En comparación al mes anterior, el radio promedio ( $\sim 63$  km) mantuvo un valor similar debido a que durante el mes no se detectaron remolinos de gran tamaño. Comportamiento similar se observó en la energía, que en promedio presentó valores dentro del rango normal (10 - 100  $\text{cm}^2\text{s}^{-2}$ ) (Chaigneau *et al.*, 2008) con algunos valores elevados ( $> 100 \text{ cm}^2\text{s}^{-2}$ ) que están por debajo de lo observado durante los meses anteriores. (Figura 18 b y c).

## **2.2.2. Temperatura superficial del mar frente al litoral**

### **2.2.2.1 Laboratorios Costeros del IMARPE**

La TSM registrada en los laboratorios costeros del IMARPE aumentó en su promedio mensual en la mayor parte de la costa, salvo Huacho, Callao e Ilo. Entre Tumbes y Huanchaco se presentaron anomalías positivas, a excepción de San José; mientras que, entre Chimbote e Ilo continuaron las anomalías negativas a excepción de Pisco. La TSM mensual varió entre 14,34 °C (Ilo) y 25,28 °C (Tumbes), mientras que las anomalías variaron entre -0,91 °C (San José) y +0,81 °C (Paita) (Tabla 1).

A nivel diario, durante el mes setiembre predominaron anomalías negativas de TSM en San José, de Huanchaco a Callao, e Ilo; mientras que Tumbes, Paita, Chicama y Pisco presentaron predominancia de anomalías positivas. Las anomalías de mayor intensidad se presentaron en San José (segunda quincena) con valores negativos que alcanzaron hasta -1,5 °C y en Paita (última semana) con valores positivos alrededor de +4,5 °C (Figura 19).

El índice LABCOS (Quispe & Vásquez, 2016) presentó un valor de -0,15 °C para el trimestre JAS del 2019 y un valor mensual de setiembre de 0,03 °C, siendo mayor al valor observado durante agosto 2019 (-0,24 °C) (Figura 20).

### **2.2.2.2 Información satelital de TSM y sus anomalías**

En la zona oceánica frente al norte peruano y a Ecuador, la lengua de aguas <20°C se expandió hasta Galápagos hacia la quincena del mes, para luego replegarse ligeramente hacia Sudamérica. Frente a Paita, aguas ≤17 °C se proyectaron desde la costa hacia mar afuera hasta la tercera semana, para luego replegarse al sur de Paita en la última semana. En el sur, frente a Ilo reaparecieron las aguas de 17°C, cubriendo todo el codo Perú-Chile. Frente a Pisco aguas <16 °C se proyectaron hacia zonas oceánicas, mientras que a lo largo de la costa dentro de las 20 mn predominaron aguas < 17 °C (Figura 21).

Las anomalías de TSM mostraron condiciones frías en la zona norte, que alcanzaron su máxima expansión hacia mediados de mes con anomalías de -3,0 °C alcanzando la zona ecuatorial por el norte y hasta afuera de Chicama por el sur; este núcleo de anomalías negativas tendió a debilitarse y a alejarse de la costa en la segunda quincena, mientras se desarrollaban anomalías positivas de +2,0 °C cerca de la costa al norte de Paita. Frente al resto de la costa se detectaron ligeras anomalías positivas de hasta +1,0 °C en la zona oceánica central y frente al sur, que fluctuaron en intensidad y extensión durante todo el mes (Figura 22).

Dentro de las 60 mn, las condiciones frías se presentaron al norte de Paita alcanzando -2,0 °C de anomalía. En la última semana, en la zona de Paita aparecieron anomalías positivas que alcanzaron +2,0 °C. En la costa central predominaron condiciones neutras con débiles anomalías negativas, llegando a intensificarse hasta -1,0 °C entre 8°S a 10°S a mediados de mes, mientras que en la costa sur predominaron ligeras anomalías positivas (<+1 °C) (Figura 23).

El Índice Térmico Costero Peruano ITCP (Quispe-Ccalluari et al., 2016), presentó un valor de -0,7 para el trimestre julio a setiembre 2019, indicando una condición fría en la franja costera. El valor de la primera componente principal para el mes de setiembre fue -0,7 °C, más negativo que en el mes anterior (Figura 24).

## **2.2.3 Distribución espacial de la salinidad superficial del mar**

### **2.2.3.1 Información del modelo HYCOM**

Según el modelo HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model; [www.hycom.org](http://www.hycom.org); Bleck, 2002), en la zona norte las aguas con salinidad menor a 34,8 ups, asociadas a aguas ecuatoriales superficiales (AES), permanecieron frente a Tumbes. Frente a la costa norte las aguas de mezcla con salinidad de 34,9 ups a 35,1 ups habrían permanecido frente a Paita (5 °S). La influencia de las aguas subtropicales superficiales (ASS) en la costa central habría sido menor, notándose el alejamiento de la costa de las isohalinas de 35,4 ups, asociado a la expansión de aguas de mezcla con salinidad menor a 35,1 ups hasta fuera de las 40 mn de la costa centro-norte. Por otro lado, desde Callao hacia el sur, en toda la extensión oceánica se habrían expandido aguas con salinidad < 35 ups, asociadas a la influencia del afloramiento costero y también a la proyección al norte de las aguas intermedias del Pacífico Sur Este (ESPIW, por sus siglas en inglés, Grados et al 2018).

## **2.2.4 Secciones oceanográficas**

### **2.2.4.1 Paita (27-28 de septiembre)**

La TSM presentó valores entre 21 °C y 22 °C en toda la sección, con anomalías de TSM positivas en toda la sección con valores de hasta +4,0 °C a 20 - 65 mn (Figura 26 a, b, Figura 27 a, b). Estas anomalías térmicas positivas estuvieron asociadas al debilitamiento de los vientos alisios en la zona norte, así como a la advección de aguas del noroeste generada por el brazo convergente del vórtice horario descrito anteriormente (Figura 15). Sobre los 100 m de profundidad, las temperaturas variaron de 15 °C a 22 °C con una marcada termoclina a 10 – 40 m. La isoterma de 15 °C se presentó entre los 70 m y 90 m de profundidad, 20 m más somera respecto a fines de agosto (Figura 27 d). Sobre los 50 m y dentro de las 80 mn se registraron anomalías térmicas positivas de +3,0 °C, en promedio, y en el resto de la sección hasta los 500 m las condiciones térmicas fueron normales (Figura 26 b).

La salinidad en los primeros 30 m de profundidad sugirió la presencia de aguas de AES en toda la sección ( $S < 34,8$  ups) y sobre los 20 m a 30 - 75 mn un núcleo de aguas tropicales superficiales (ATS,  $S < 34,0$  ups), asociadas a anomalías halinas de hasta -1,0 ups (Figura 27 c, Figura 26 c, d). Por otra parte, entre los 50 m y 100 m los datos sugieren presencia de mezcla entre aguas costeras frías (ACF) y aguas ecuatoriales sub-superficiales (AESS) dentro de las 60 mn y aguas de mezcla entre ASS y AESS, por fuera de las 60 mn, y a más de 100 m, dominancia de AESS, conforme al patrón estacional.

La distribución del oxígeno disuelto (OD) mostró que la iso-oxígena de 1,0 mL L<sup>-1</sup>, asociada a la oxiclina, se mantuvo a una profundidad 150 m en la zona costera, 10 m más profunda respecto a agosto (Figuras 26 e y 27 e). El límite superior de la zona de mínima de oxígeno (ZMO; OD < 0,5 mL L<sup>-1</sup>), se detectó a 150 - 190 m de profundidad en toda la sección. Dentro de las 15 mn en los primeros 80 m y a 80 – 100 mn sobre los 40 m se estimaron flujos geostróficos hacia el norte con una velocidad de hasta 20 cm s<sup>-1</sup>. Asimismo, se estimaron flujos geostróficos hacia el sur a 20 – 100 mn sobre los 350 m, con velocidades de hasta 30 cm s<sup>-1</sup> (Figura 26 e, f).

#### **2.2.4.2 Chicama (24-25 de septiembre)**

La TSM presentó valores entre 15 °C y 17 °C en toda la sección. La isoterma de 16 °C, que se encontraba a 15 mn a fines de agosto, mostró un ligero alejamiento respecto a la costa hasta las 20 mn. Las condiciones térmicas superficiales mostraron anomalías de hasta -0,5 °C dentro de las 80 mn hasta los 10 m de profundidad. En sub-superficie se observó un núcleo de -1,0 °C entre los 5 y 60 m a 80 – 100 mn, mientras que en el resto de la columna de agua las condiciones térmicas fueron normales (Figura 28 a, b; Figura 29 a, b). Asimismo, la isoterma de 15 °C se ubicó a 50 - 60 m de profundidad por fuera de las 20 mn, y en la zona costera presentó un ascenso hasta la superficie, aflorando a 5 mn frente a la cota (Figura 28 d).

En la capa superficial hasta los 50 m de profundidad, la salinidad y las temperaturas indicaron la presencia de ACF dentro de las 20 mn y aguas de mezcla entre ACF y ASS por fuera de las 20 mn, asociadas a anomalías halinas de hasta -0,05 ups. Por otra parte, entre los 50 y 100 m de profundidad, se detectaron aguas de mezcla ASS – AESS y AESS a mayor profundidad, ambas conformes al patrón estacional (Figura 29 c, Figura 28 c, d).

La distribución del OD exhibió un ascenso de las iso-oxígenas cerca de la costa debido al afloramiento. La iso-oxígena de 1,0 mL L<sup>-1</sup> se presentó a 60 m de profundidad fuera de la costa y a 5 m en la zona costera, en general en promedio 10 m más somera que en agosto (Figura 29 e). El borde superior de la ZMO se presentó a 30 - 100 m, más somero en la costa (Figura 28 e). Por otra parte, se estimaron flujos geostroficados con dirección hacia el norte dentro de las 70 mn sobre los 100 m de hasta 10 cm s<sup>-1</sup>. Asimismo, se estimaron flujos geostroficados hacia el sur sobre los 160 m a 80 – 100 mn, con velocidades también de hasta 10 cm s<sup>-1</sup> (Figura 28 f).

#### **2.2.5 Estaciones fijas costeras**

El monitoreo de alta frecuencia de la columna de agua (<100 m) que se realiza en las estaciones fijas mostró que en el último mes para Paita la temperatura varió entre 15 °C y 19 °C, en Chicama entre 14 °C y 16 °C, en Callao entre 14 °C y 15 °C, en Atico sobre los 14 °C y en Ilo entre 13 °C y 16 °C. En general en todas las estaciones fijas se evidenció un ascenso de las isotermas, a excepción de Paita, la cual mostró una profundización de las isotermas a fines de septiembre (Figura 30). En Paita se detectó anomalías térmicas negativas en la primera quincena, en promedio de -0,5 °C, para luego mostrar una transición a anomalías positivas sobre los 30 m, con valores de hasta +3,0 °C, a fines de septiembre. Por otro lado, en Chicama y Callao las condiciones térmicas fueron en promedio neutras a ligeramente frías (-0,5 °C) (Figura 31).

En Paita, los registros de salinidad y temperatura evidenciaron una transición aguas de mezcla ASS – ACF a ACF, aunque a fines de mes se observó la presencia de AES sobre los 20 m, debido a la advección de aguas de baja salinidad desde norte. En Chicama se observó aguas de mezcla entre ASS – ACF, mientras que, en Callao, Atico e Ilo se observó el predominio de ACF (Figura 32).

En cuanto al OD, se detectó una profundización de las iso-oxígenas en Paita a finales del mes, asociado a la profundización de las isotermas y la presencia de AES, mientras que en Atico las iso-oxígenas mostraron un comportamiento similar a agosto. Por otro lado, en Chicama, Callao, Ilo, las iso-oxígenas de menor concentración mostraron un leve ascenso respecto a agosto. La iso-oxígena de 0,5 mL L<sup>-1</sup> no se registró en Paita ni en Atico, y se determinó a 50 - 60 m en Chicama, a 15 - 25 m en Callao y a 10 - 50 en Ilo durante el mes, en promedio (Figura 33).

## 2.2.6 Fertilidad y productividad

### 2.2.6.1. Variabilidad espacio-temporal de los nutrientes

Los nutrientes en la mayoría de las estaciones fijas costeras presentaron un incremento de sus concentraciones respecto al mes anterior.

Los nitratos tendieron a mostrar un incremento de sus concentraciones respecto al mes anterior a lo largo de la costa, a excepción de Callao. En Paita se observó la superficialización de la isolínea de  $15 \mu\text{mol L}^{-1}$  de 100 m a 40 m durante la última quincena. En Chicama, las concentraciones en la capa subsuperficial ( $> 30$  m) aumentaron de  $15 \mu\text{mol L}^{-1}$  a  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  en promedio durante el mes. En Callao, la isolínea de  $15 \mu\text{mol L}^{-1}$  se profundizó de 25 m a 60 m durante la primera quincena; mientras que, durante la segunda quincena se superficializó de 60 m a 20 m. En Ilo, las concentraciones se mantuvieron alrededor de  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$  durante el mes en toda la columna de agua (Figura 34).

Asimismo, los silicatos tendieron a exhibir mayores concentraciones respecto al mes anterior en todas las estaciones, a excepción de Callao, donde se mantuvieron. En Paita y Chicama, se observó la superficialización de la isolínea de  $15 \mu\text{mol L}^{-1}$  (60 m a 40 m) y  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  (40 m a 0 m) respectivamente durante el mes. En Callao, las concentraciones fluctuaron entre  $15 \mu\text{mol L}^{-1}$  y  $25 \mu\text{mol L}^{-1}$  en la columna de agua, al igual que el mes anterior. En Ilo, se observaron concentraciones entre  $25 \mu\text{mol L}^{-1}$  y  $30 \mu\text{mol L}^{-1}$  debajo de los 30 m, y entre la superficie y 30 m, las concentraciones se mantuvieron alrededor de los  $15 \mu\text{mol L}^{-1}$  durante el mes (Figura 35).

Los fosfatos en Paita y Callao mostraron una disminución de sus concentraciones respecto al mes anterior; mientras que en Chicama e Ilo, aumentaron. En Paita, las concentraciones en la columna de agua fueron en promedio de  $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ ; mientras que, en Chicama e Ilo se presentaron concentraciones de  $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$  en la columna de agua, observándose además en Ilo un pulso de  $3 \mu\text{mol L}^{-1}$  entre los 40 m a 80 m durante la segunda y tercera semana del mes. En Callao, las concentraciones oscilaron entre  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$  a  $2,5 \mu\text{mol L}^{-1}$  (Figura 36).

### 2.2.6.2 Clorofila-a satelital

La concentración de clorofila-a satelital mensual proveniente de la unión de todos los satélites que registran clorofila-a superficial ([www.oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/](http://www.oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/)), mostró que a lo largo de la costa dentro de las 40 mn, predominaron valores de  $\sim 1 \mu\text{g L}^{-1}$ . Sin embargo, frente a Pisco (dentro de las 30 mn) y al sur de los  $16^\circ\text{S}$  (a las 40 mn) se observaron valores mayores a  $3 \mu\text{g L}^{-1}$  (Figura 37 a). En términos de anomalía, el promedio mensual mostró que en el sistema costero predominaron condiciones normales, con presencia de pequeñas zonas con anomalías positivas frente a Pisco dentro de las 20 mn y frente a Ilo a las 40 mn (entre  $+2 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $+3 \mu\text{g L}^{-1}$ ), así como anomalías negativas ( $-1 \mu\text{g L}^{-1}$ ) dentro de las 10 mn frente a Paita, entre Chicama y Chimbote y frente a Ilo (Figura 37 b).

A escala diaria se ha utilizado la información de MODIS (Ocean Biology Processing Group, 2003) pero corregida respecto a SeaWiFS (O'Reilly et al. 1998). A partir de este producto, el promedio pentadal dentro de las 60 mn y entre  $6^\circ\text{S}$  a  $16^\circ\text{S}$ , presentó alternancia de anomalías positivas y negativas ( $-1 \mu\text{g L}^{-1}$  y  $+1,5 \mu\text{g L}^{-1}$ , Figura 37 d). Latitudinalmente, en la franja costera predominaron condiciones normales con ausencia de información en diferentes latitudes al largo de la costa debido a la alta presencia de nubes; sin embargo, se observaron anomalías positivas ( $>+2 \mu\text{g L}^{-1}$ ) entre los  $8^\circ\text{S}$  a  $9^\circ\text{S}$  durante la primera semana del mes (Figura 37 e).

La cantidad de luz incidente que varía por la presencia de nubes influye en el crecimiento de fitoplancton y la producción de clorofila-a. La media mensual del porcentaje de nubosidad para este mes estuvo alrededor de 80 %, en gran parte de la costa. Frente a Paita (dentro de las 60 mn), entre San José y Chimbote (dentro de las 20 mn) y entre Pisco y San Juan (dentro de las 50 mn) la cobertura nubosa fue menor de 80 % (Figura 37 c).

## 2.2.7 Indicadores biológicos del plancton

### 2.2.7.1 Indicadores biológicos del fitoplancton.

#### Paita

Frente a Paita se registró a *Ceratium breve* var. *parallelum*, especie indicadora de AES, distribuida en toda la sección. *Tripos praelongus*, especie indicadora de ASS, fue encontrada entre las 80 mn y 100 mn de la costa, la cual estuvo relacionada a una TSM entre 19,9 °C y 22,9 °C (Figura 38).

Los volúmenes de plancton fluctuaron entre 0,05 mL.m<sup>-3</sup> (Est. 5) y 1,20 mL m<sup>-3</sup> (Est. 1). La comunidad de zooplancton predominó durante este mes; sin embargo, el fitoplancton estuvo representado por una alta riqueza de especies de dinoflagelados, principalmente por aquellos de aguas cálidas como *Tripos massiliensis*, *T. trichoceros*, *T. falcatiformis*, *T. kofoidii*, *Protoperidinium grande*, *Podolampas bipes*, *Ceratocorys horrida* y *Goniodoma polyedricum*, entre otros. Estas especies fueron las más frecuentes y obtuvieron abundancias relativas de categoría "Presente". Entre los dinoflagelados de distribución cosmopolita se determinaron a *Tripos dens*, *T. fusus*, *T. furca*, *Protoperidinium depressum*, *P. conicum* y *Dinophysis caudata*, entre otros, con abundancias relativas de categoría "Presente".

#### Chicama

En la sección Chicama, se determinó a *Protoperidinium obtusum*, especie indicadora de ACF, que se distribuyó hasta las 45 mn, relacionada a un rango de TSM de 14,9 °C y 16,7 °C (Figura 39).

Los volúmenes de plancton fluctuaron entre 0,27 mL m<sup>-3</sup> (Est. 1) y 0,47 mL m<sup>-3</sup> (Est. 7) relacionados a TSM de 14,9 °C y 17,6 °C, respectivamente. La comunidad de fitoplancton estuvo conformada por diatomeas neríticas y de afloramiento entre las que destacaron *Thalassiosira anguste-lineata*, *Lithodesmium undulatum*, *Coscinodiscus perforatus*, *C. centralis*, *C. granii*, *Lauderia annulata*, *Chaetoceros compressus* y *Skeletonema costatum*, que obtuvieron abundancias relativas de categoría "Muy Abundante" y "Abundante". Al igual que en Paita se presentaron los dinoflagelados de distribución cosmopolita con similar composición y abundancia relativa.

### 2.2.7.2 Indicadores biológicos del zooplancton e ictioplancton

#### Paita

Frente a Paita el copépodo *C. brachiatus*, indicador de ACF, se determinó a 15 mn y a 80 mn con un valor de 2 Ind 100m<sup>3</sup>, mientras que los copépodos *Acartia danae*, *Calocalanus pavo*, *Inschnocalanus plumulosus* y *O. conífera*, especies indicadoras de ASS, se determinaron en toda el área evaluada con densidades entre 2 Ind 100m<sup>3</sup> y 753 Ind 100m<sup>3</sup>. El copépodo *C. furcatus*, especie indicadora de AES, se observó en casi toda el área evaluada, con abundancias entre 36 Ind 100m<sup>3</sup> y 15 114 Ind 100m<sup>3</sup> (Figura 40).

Con relación al ictioplancton frente a Paita, los huevos de anchoveta se localizaron a 5 mn con un valor de 34 huevos 100m<sup>3</sup>, mientras que, las larvas de anchoveta se ubicaron dentro de las 15 mn con abundancias entre 4 larvas 100m<sup>3</sup> y 14 larvas 100m<sup>3</sup>.

## **Chicama**

Frente a Chicama se determinó la presencia del copépodo *Centropages brachiatus*, especie indicadora de ACF, distribuida en toda el área evaluada, con abundancias entre 1 Ind 100m<sup>3</sup> y 33536 Ind 100m<sup>3</sup>. Así mismo, se determinó a los copépodos *Mecynocera clausi* y *Oncaea conífera*, especies asociadas a ASS, registrados a 30 mn, 45 mn y 80 mn de la costa con abundancia de 9 Ind 100m<sup>3</sup>, 1 Ind 100m<sup>3</sup> y 2 Ind 100m<sup>3</sup>, respectivamente (Figura 41).

Con relación al ictioplancton, frente a Chicama se determinó la abundancia de huevos y larvas de anchoveta. Los huevos se distribuyeron en todo el perfil evaluado con concentraciones entre 4 huevos 100m<sup>3</sup> y 178 784 huevos 100m<sup>3</sup>, mientras que, las larvas solo se determinaron dentro de las 45 mn y a 100 mn de la costa con abundancias entre 3 larvas 100m<sup>3</sup> y 360 larvas 100m<sup>3</sup>.

## **3. MONITOREO DIARIO DE INDICADORES BIOLÓGICOS MARINOS PROVENIENTES DEL SEGUIMIENTO DE LA PESQUERÍA Y PROGRAMA BITÁCORAS DE PESCA.**

### **3.1 Condiciones Biológico – Pesqueras de la anchoveta.**

#### **Distribución, capturas y tallas de la anchoveta**

La primera temporada de pesca de la anchoveta en la región norte centro terminó el 31 de julio. En la región sur, durante setiembre no se registró actividad pesquera debido a que el recurso se encontró bastante disperso, por lo que fue poco accesible para la pesquería.

Desde el 01 de enero al 10 de octubre la flota artesanal de menor escala desembarcó aproximadamente 92 mil toneladas (t) de anchoveta, correspondiente al 61 % de la cuota otorgada (150 000 t) según RM N° 313-2019 PRODUCE. El desembarque durante setiembre fue de 4 814 t, siendo los principales puertos de descarga Paita y Parachique (5 ° S), Chimbote (9 ° S) y Pisco (13 ° S).

Durante el periodo 25 de agosto – 25 de setiembre se desarrolló el Crucero de estimación de la biomasa desovante de la anchoveta mediante el Método de Producción de Huevos (Cr. 1908-09) en el cual se observó que la anchoveta presentó una amplia distribución debido a que se presentaron condiciones favorables como anomalías térmicas entre neutras y ligeramente frías. Las mayores concentraciones de la anchoveta se registraron a lo largo de la zona costera. Sin embargo, núcleos de altas concentraciones de cardúmenes fueron registrados entre Chicama-Malabrigo (7 °S) y Chimbote (9 °S) y entre Tambo de Mora (13 °S) a Bahía Independencia (14°S), las cuales se presentaron en ACF y en aguas de mezcla (ACF y ASS) (Figura 42).

#### **Indicadores reproductivos y somáticos de la anchoveta**

Los indicadores reproductivos de la especie *Engraulis ringens* “anchoveta” del stock norte-centro del Perú al mes de setiembre mostraron que el recurso se encuentra en su periodo principal de desove, conforme a sus patrones históricos, proceso que se encuentra favorecido por las condiciones oceanográficas neutras (Figura 43).

### 3.2. Especies Indicadoras

En setiembre, los recursos transzonales y oceánicas *Scomber japonicus* “caballa”, *Trachurus murphyi* “jurel”, *Sarda chiliensis chiliensis* “bonito”, *Coryphaena hippurus* “perico” fueron registradas dentro de las 80 mn de Supe (11 °S) a Bahía Independencia (14°S). Mientras que, frente a Chimbote, como especie incidental se observó a la especie *Scomberesox saurus scombroides* “agujilla”. La presencia de estos recursos se encuentra relacionada a la amplia cobertura de aguas de mezcla (AM) que se extiende desde el extremo sur hasta Salaverry (8 °S) (Figura 44).

### 3.3. Avistamiento de aves marinas

En setiembre se realizó el monitoreo bio-oceanográfico con la componente biológica de avistamientos de aves marinas a bordo de embarcación IMARPE V. La mayor abundancia se registró dentro de las 10 mn de la costa en el área evaluada Paita (5 °S) – Chimbote (9 °S), con mayores observaciones al sur del área de evaluación (Figura 45).

Las aves guaneras *Sula variegata* “piquero”, *Phalacrocorax bougainvilli* “guanay” y *Pelecanus thagus* “pelicano”) y aves residentes mostraron una mayor asociación con las ACF con TSM promedio de 16,2 °C (Figura 46). También se evidenció la presencia de la especie *Procellaria aequinoctialis* “petrel de barba blanca” como indicador de aguas frías hasta el Salaverry (6 °S) y la aparición del ave *Fregata magnificens* “fragata”, proveniente de la región norte de 40 mn a 30 mn frente a Paita debido al acercamiento de masas de agua AES.

## 4. PRONÓSTICO DE LAS CONDICIONES DEL PACIFICO ECUATORIAL Y FRENTE A LA COSTA PERUANA.

### 4.1 Pronósticos a gran escala de las agencias internacionales

La mayoría de los modelos dinámicos y estadísticos de predicción de ENOS (Niño 3.4) de las agencias internacionales (IRI, setiembre 2019), indican en promedio una condición neutra del ENSO entre fines del año 2019 e inicios del año 2020 (Figura 47 y 48).

Espacialmente, para el trimestre DEF 2019-2020, en el Pacífico Ecuatorial Central los modelos ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts model), CFSv2 (Coupled Forecast System model de la NOAA) y NMME (North American Multi-Model Ensemble model de la NOAA) indican una mayor cobertura de condiciones neutras para esa región. Para la región 1+2, todos los modelos también indican condiciones neutras, aunque con presencia de TSM entre +0,25 °C y +0,5 °C en los modelos ECMWF y CFSv2. Además, para el mismo periodo, en la región costera frente a Perú, los tres modelos mencionados también pronostican condiciones neutras, aunque con valores negativos entre -0,5 °C y -0,25 °C frente a Pisco para el modelo ECMWF (Figura 48).

### 4.2 Propagación de ondas Kelvin

Según la simulación del modelo de propagación de ondas aplicado en el IMARPE (Illig et al., 2004; Dewitte et al., 2002), inicializada el 7 de octubre, durante la segunda y tercera semana del mes de setiembre, se observó la generación de dos ondas Kelvin cálidas (modo 1 y modo 2) debido a las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico ecuatorial oriental que llegarían a las costas de Sudamérica entre octubre y noviembre.

Además, otra onda Kelvin cálida de modo 2, generada entre agosto y setiembre 2019, se propaga hacia el oriente y llegaría en noviembre 2019 (Figura 49). Estas Ondas Kelvin cálidas podrían influir en el incremento del nivel del mar, de la TSM y la profundización de la termoclina.

#### 4.3 Pronósticos de la TSM frente a la costa del Perú

Para el ITCP, el modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia del Pacífico tropical ecuatorial (Dewitte *et al.*, 2002; Gushchina *et al.*, 2000), y el modelo estadístico basado en el volumen de agua cálida ecuatorial (Matellini *et al.*, 2007) y APS, pronosticaron valores negativos dentro del rango de condiciones neutras desde octubre hasta diciembre del 2019 (Figuras 50 y 51).

### 5. CONCLUSIONES

- En el Pacífico ecuatorial oriental, en superficie predominaron condiciones térmicas frías, mientras que en el Pacífico central se presentaron condiciones térmicas superficiales neutras, aunque con núcleos de anomalía positiva débil. En la capa sub-superficial del Pacífico ecuatorial (300 m), el contenido de calor pasó de una anomalía de  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  a una de  $+0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , debido a la expansión de condiciones cálidas al oeste de los  $130^{\circ}\text{W}$ .
- El núcleo del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se presentó ubicado al sur de su posición normal con una intensidad mayor a su valor climatológico en  $4,6\text{ hPa}$ . El campo de presión a nivel del mar frente a la costa norte peruana presentó anomalías alrededor de  $+1\text{ hPa}$ , mientras que en la costa centro-sur predominaron condiciones normales.
- El viento costero mostró anomalías del noroeste al sur de Paita para la primera y última semana, mientras que para la segunda y tercera mostró anomalías del sureste; al norte de Paita predominaron anomalías del norte. Del mismo modo, las anomalías de la velocidad del viento a lo largo de la costa fluctuaron entre negativas (primera y última semana del mes) y positivas (segunda y tercera semana del mes).
- El afloramiento costero, estimado a partir del esfuerzo de viento, exhibió variaciones temporales a lo largo de la mayor parte de la costa, siendo más intenso en la segunda y tercera semanas, en promedio. Espacialmente, frente a Talara y Paita el índice de afloramiento costero (IAC) presentó los mayores valores, alcanzando  $500\text{ m}^3\text{ s}^{-1}\text{ }100\text{m}^{-1}$  en la segunda semana del mes.
- La actividad de mesoescala se caracterizó por el aumento de la cantidad de remolinos detectados con respecto al mes anterior y una preponderancia de los remolinos anticiclónicos (65 %) sobre los ciclónicos. En cuanto al tamaño y energía promedio de los remolinos detectados, el radio promedio ( $\sim 63\text{ km}$ ) se mantuvo respecto al mes anterior; mientras que, la energía cinética presentó valores dentro del rango normal ( $10 - 100\text{ cm}^2\text{s}^{-2}$ ) con algunos valores elevados ( $> 100\text{ cm}^2\text{s}^{-2}$ ) que están por debajo de lo observado durante los meses anteriores.

- En la zona costera dentro de las 60 mn, las condiciones frías se presentaron desde Paita hacia el Norte, con anomalías de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que cambiaron en la última semana a  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el resto de la costa predominó la condición neutra en la zona centro a ligeramente cálida ( $< +1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en la zona sur.
- Frente a Paita se registraron en promedio anomalías térmicas positivas de  $+3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sobre los 50 m y dentro de las 80 mn, asociado a la presencia de ATS y AES, mayor concentración de oxígeno y un predominio de flujos geostroficados hacia el sur. Frente a Chicama, sobre los 50 m se registraron anomalías térmicas negativas con valores de hasta  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 80 – 100 mn, asociado a la presencia de ACF dentro de las 20 mn y aguas de mezcla entre ACF y ASS en la zona más oceánica, siendo normal para la época. Además, se evidenció una superficialización de la isoterma de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la iso-oxígena de  $1,0\text{ mL L}^{-1}$ , respecto a agosto, asociado a un predominio de flujos geostroficados hacia el norte, dentro de las 80 mn.
- Las estaciones fijas costeras tendieron a mostrar un ascenso de las isotermas. Frente a Paita se observó una profundización a fines de septiembre. En dicho punto se observó el desarrollo de anomalías térmicas positivas sobre los 30 m a fines de septiembre, mientras que en Chicama y Callao se observó la persistencia de condiciones neutras y/o de anomalías térmicas negativas ( $\sim 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en la columna de agua ( $<100\text{ m}$ ) durante el mes. En las estaciones fijas de Paita se registró la presencia de AES sobre los 20 m a fines de septiembre; en Chicama se registró el predominio de aguas de mezcla ASS-ACF, mientras que, en Callao, Atico e Ilo se observó la presencia de ACF durante todo el período.
- La concentración de clorofila-a satelital a lo largo de la costa fue de  $\sim 1\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$  en promedio; sin embargo, frente a Pisco y al sur de los  $16^{\circ}\text{S}$  se observaron valores  $> 3\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ . Las concentraciones fluctuaron dentro del rango normal, con núcleos de anomalías positivas frente a Pisco dentro de las 20 mn y frente a Ilo a las 40 mn (entre  $+2\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$  y  $+3\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ ), así como anomalías negativas ( $-1\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ ) dentro de las 10 mn frente a Paita, entre Chicama y Chimbote y frente a Ilo.
- Los indicadores reproductivos de anchoveta del stock norte-centro del Perú evidenciaron que el recurso se encuentra en su periodo principal de desove de acuerdo a su patrón histórico.
- Según el modelo de propagación de ondas aplicado en el IMARPE, dos ondas Kelvin cálidas de modo 1 y 2, generadas en setiembre, alcanzarían el extremo del Pacífico ecuatorial oriental entre octubre y noviembre 2019. Además, otra onda Kelvin cálida de modo 2, generada en agosto – setiembre, alcanzaría la costa peruana en noviembre.
- Para el trimestre DEF 2019-2020, los modelos climáticos internacionales pronostican el predominio de condiciones neutras en la región Niño 3.4 y Niño 1+2, aunque para la región Niño 1+2 se observan anomalías de TSM entre  $+0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A su vez, Los pronósticos para el ITCP en base al modelo estadístico y al modelo acoplado, indicaron condiciones neutras de octubre a diciembre del 2019.

## 6. REFERENCIAS

- Anculle, T., D. Gutiérrez, A. Chaigneau, F. Chávez, 2015: Anomalías del perfil vertical de temperatura del punto fijo Paita como indicador de la propagación de Ondas Kelvin, Boletín Trimestral Oceanográfico “Estudio y Monitoreo de los Efectos del Fenómeno El Niño en el Ecosistema Marino Frente al Perú”, Instituto del Mar del Perú, 1 (1-4), 6-8.
- Bleck, R., 2002: An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. *Ocean Modeling*, 4, 55-88.
- Chaigneau, A., G. Arnaud Gizolme and C. Grados (2008), Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns, *Prog. Oceanogr.*, 79, 106-119, doi:10.1016/j.pocean.2008.10.013.
- Correa D., G. Luque, C. Grados, D. Quispe, C. Paulino (2016). Vigilancia y Pronóstico a Corto Plazo del Viento Frente al Litoral Peruano en Base a Información Satelital y el Modelo GFS. Poster CONCIMAR 2016.
- Dewitte B., D. Gushchina, Y. duPenhoat and S. Lakeev, 2002: On the importance of subsurface variability for ENSO simulation and prediction with intermediate coupled models of the Tropical Pacific: A case study for the 1997-1998 El Niño. *Geoph. Res. Lett.*, vol. 29, no. 14, 1666, 10.1029/2001GL014452.
- Grados, C., Chaigneau, A., Echevin, V., Dominguez, N. 2018. Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in Oceanography* 165 (2018) 123–144.
- Halo, I., P. Penven, B. Backeberg, I. Ansorge, F. Shillington and R. Roman, 2014, Mesoscale eddy variability in the southern extension of the East Madagascar Current: Seasonal cycle, energy conversion terms, and eddy mean properties, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 7324 – 7356, doi:10.1002/2014JC009820.
- Illig S., B. Dewitte, N. Ayoub, Y. du Penhoat, G. Reverdin, P. De Mey, F. Bonjean and G.S. E. Lagerloef, 2004: Interannual Long Equatorial Waves in the Tropical Atlantic from a High Resolution OGCM Experiment in 1981-2000. *J. Geophys. Research*, 109, C02022, doi:10.1029/2003jc001771.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.
- Ocean Biology Processing Group, 2003: MODIS Aqua Level 3 Global Daily mapped 4 km Chlorophyll a. Ver. 6. PO.DaaC, Ca, USA. Dataset accessed [2019-01-03]
- O'Reilly J E, Maritorena S, Mitchell B G, Siegel D A, Carder K L, Garver S A, Kharu M, McClain C. 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *J. Geophys. Res.*, 103, C11, 24,937-24,953, doi: 10.1029/98JC02160.
- Quispe-CCalluari, C., J. Tam, H. Demarcq, C. Romero, D. Espinoza-Morriberón, A. Chamorro, J. Ramos y R. Oliveros-Ramos. 2016. El Índice Térmico Costero Peruano (ITCP). *Bol. Trim. Oceanog. IMARPE*. 2:7-11.

Quispe, J. y L. Vásquez, 2016. Índice “LABCOS” para la caracterización de evento El Niño y La Niña frente a la costa del Perú, 1976-2015. En: Boletín Trimestral Oceanográfico, Volumen 1, Números 1-4, pp.: 14-18

## 7. TABLAS

Tabla 1: Valores mensuales de TSM y ATSM (°C) registrados en los Laboratorios Costeros del IMARPE - setiembre 2019.

<b>Estación</b>	<b>TSM Ago. (°C)</b>	<b>TSM Set. (°C)</b>	<b>ATSM Set. (°C)</b>
Tumbes	24,78	25,28	0,18
Paita	16,90	17,41	0,81
San José	17,14	17,99	-0,91
Chicama	16,00	16,19	0,29
Huanchaco	15,95	16,19	0,29
Chimbote	17,32	17,74	-0,66
Huacho	14,83	14,68	-0,72
Callao	14,97	14,89	-0,21
Pisco	18,34	19,26	0,46
Ilo	14,83	14,34	-0,56

## 8. FIGURAS

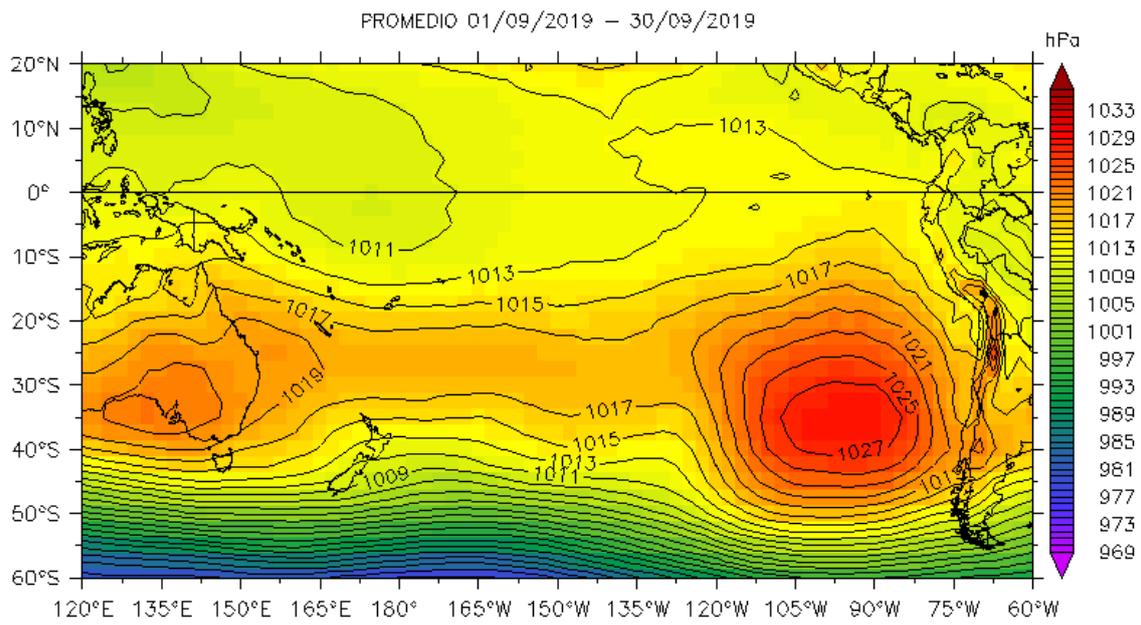


Figura 1. Presión atmosférica a nivel del mar (PNM) en hPa, promedio 1-30 septiembre, Fuente: NCEP-NOAA/LMOECC-IMARPE.

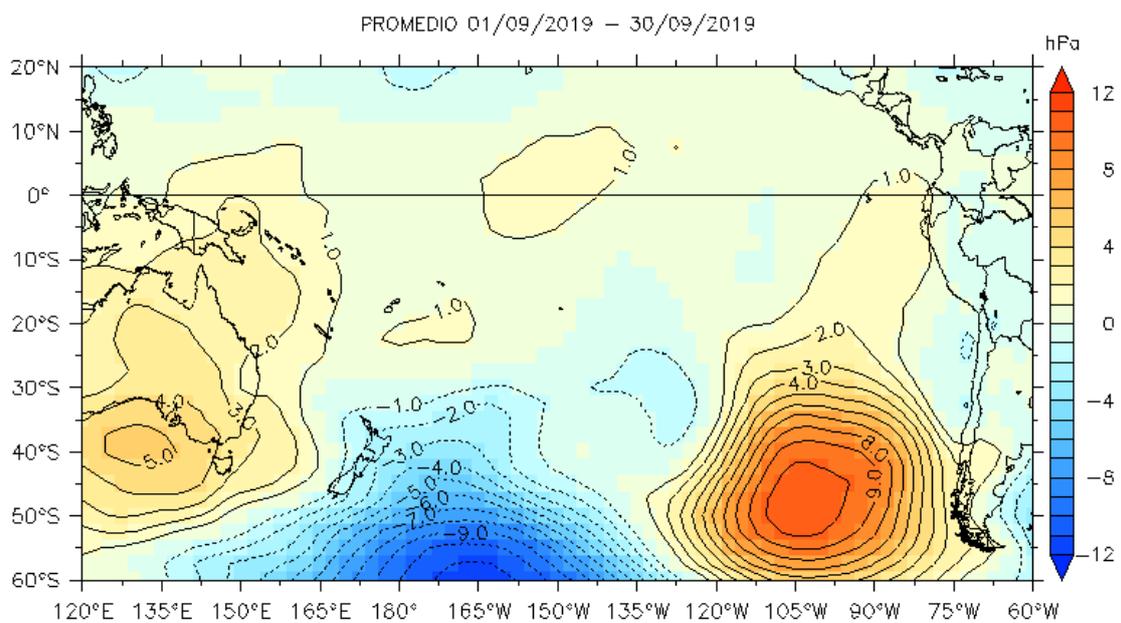
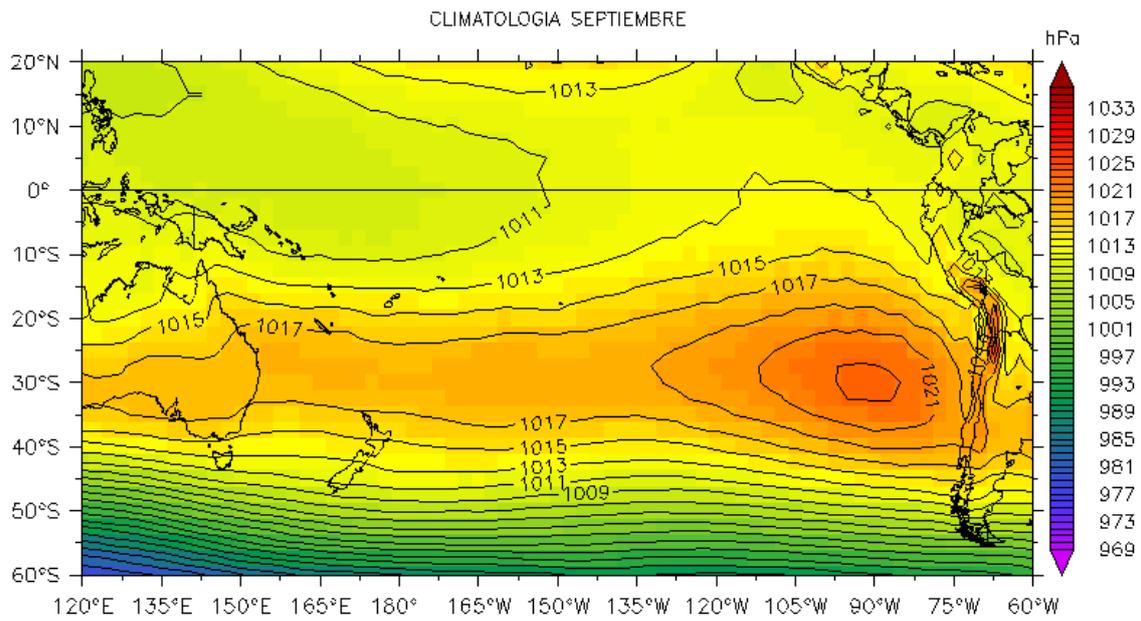


Figura 2. Presión atmosférica a nivel del mar (PNM) en hPa, climatología (a) y anomalías promedio (b) de septiembre 2019. Fuente: NCEP-NOAA/LMOECC-IMARPE.

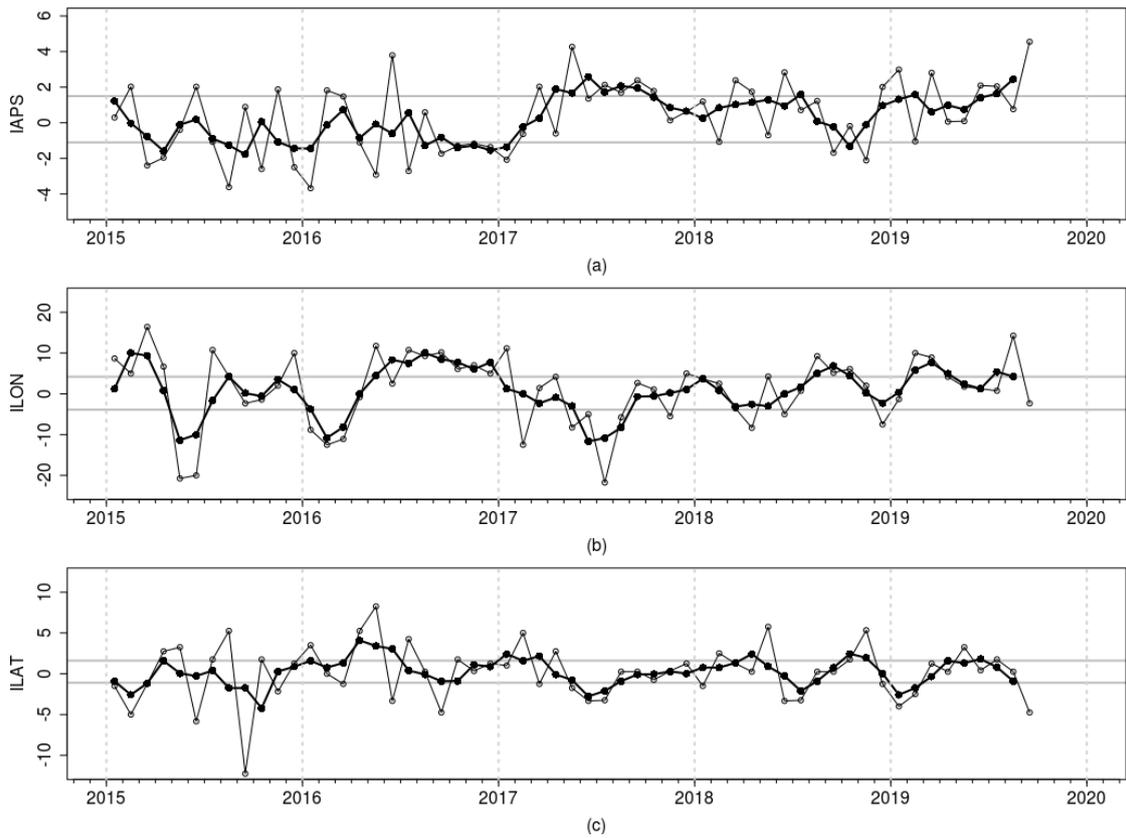


Figura 3. Variación temporal de los índices del APS: a) índice de intensidad (IAPS) e índices de posición b) longitudinal (ILON) y c) latitudinal (ILAT) hasta el trimestre AMJ 2019 (círculos negros). Los círculos blancos indican las anomalías mensuales en el periodo enero 2015 – septiembre 2019.

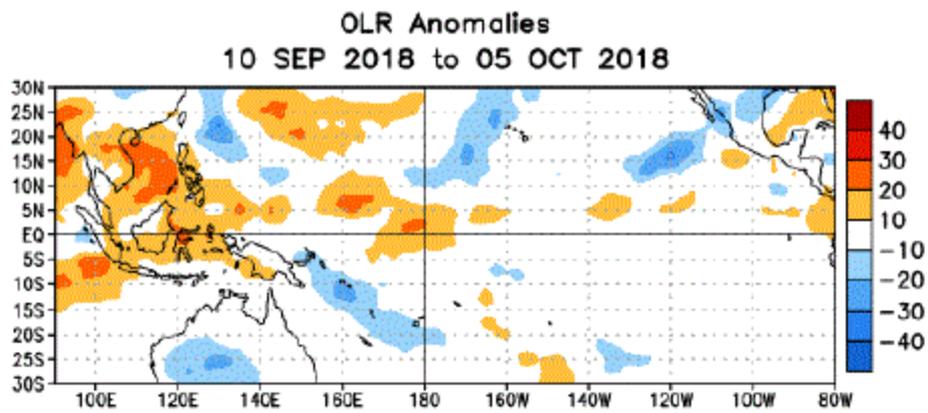


Figura 4. Anomalías del promedio de la radiación de onda larga emitida (OLR, por sus siglas en inglés) ( $W/m^2$ ) durante el mes de septiembre de 2019. Las anomalías de OLR se calculan como desviaciones de los penta-promedios del período base de 1981-2010.

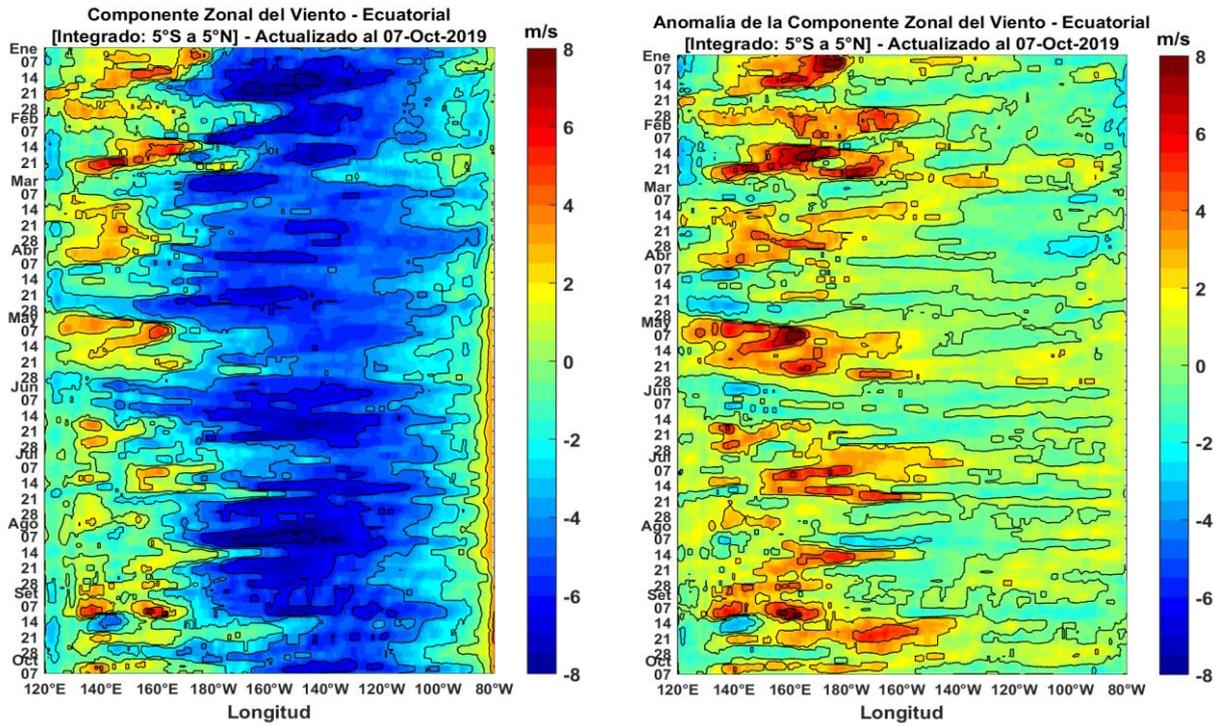


Figura 5. Viento satelital (integrado en el Ecuador): a) Componente zonal del viento (m/s), b) Anomalia de la componente zonal del viento (m/s), durante el último año (Fuente: Satélite ASCAT y modelo GSF, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 07/10/2019.

ATSM 01/09/2019 - 30/09/2019

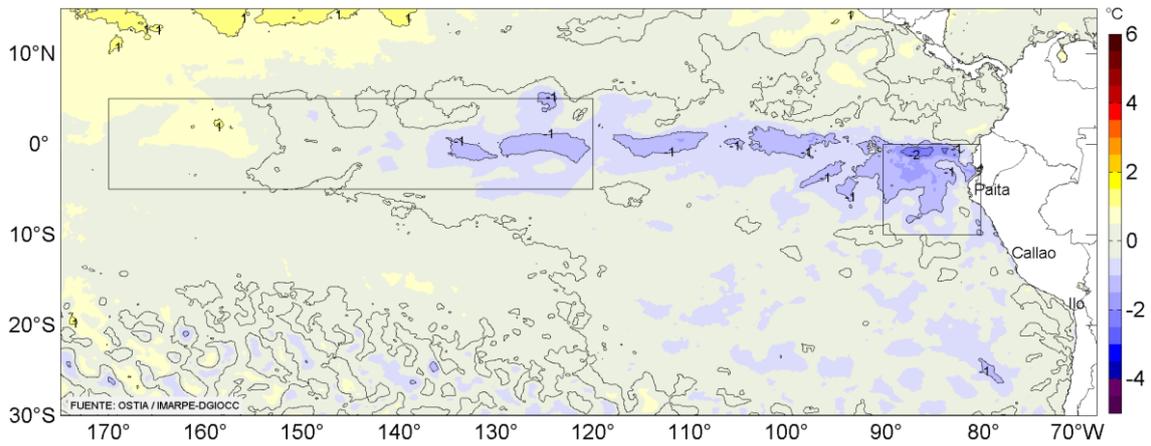


Figura 6. Anomalías promedio de la temperatura superficial del mar (°C) para el mes de setiembre 2019. Fuente: PODAAC/OSTIA, Procesamiento: IMARPE.

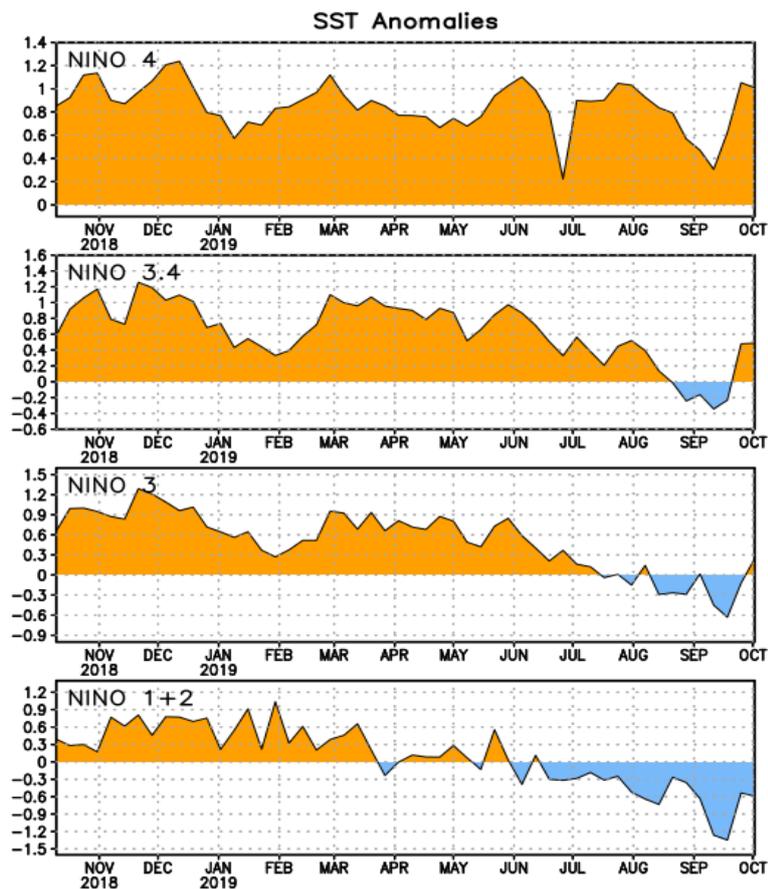


Figura 7. Anomalías semanales promedio de la temperatura superficial del mar (°C) durante un año, hasta fines de setiembre del 2019. Fuente CPC/NOAA.

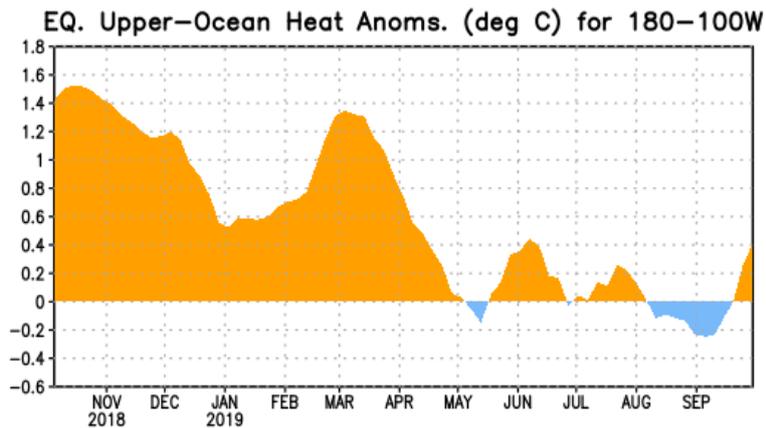


Figura 8. Anomalías del contenido de calor (en °C) en el área promediada del Pacífico ecuatorial (5°N-5°S, 180°-100°W). Las anomalías en el contenido calórico son calculadas como las desviaciones de los promedios por pentadas del período base de 1981-2010. Fuente CPC/NOAA.

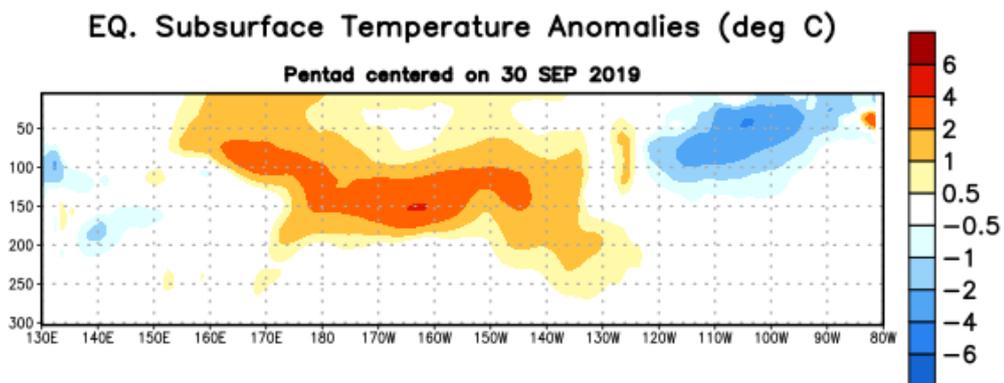


Figura 9: Anomalías de temperatura (en °C) en un transecto de profundidad-longitudinal (0-300 m) en la parte superior del Océano Pacífico ecuatorial, centradas en la semana del 30 de setiembre del 2019. Las anomalías son promediadas entre 5°N-5°S. Las anomalías son variaciones a partir de los promedios por pentadas durante el periodo base de 1981-2010. Fuente CPC/NOAA.

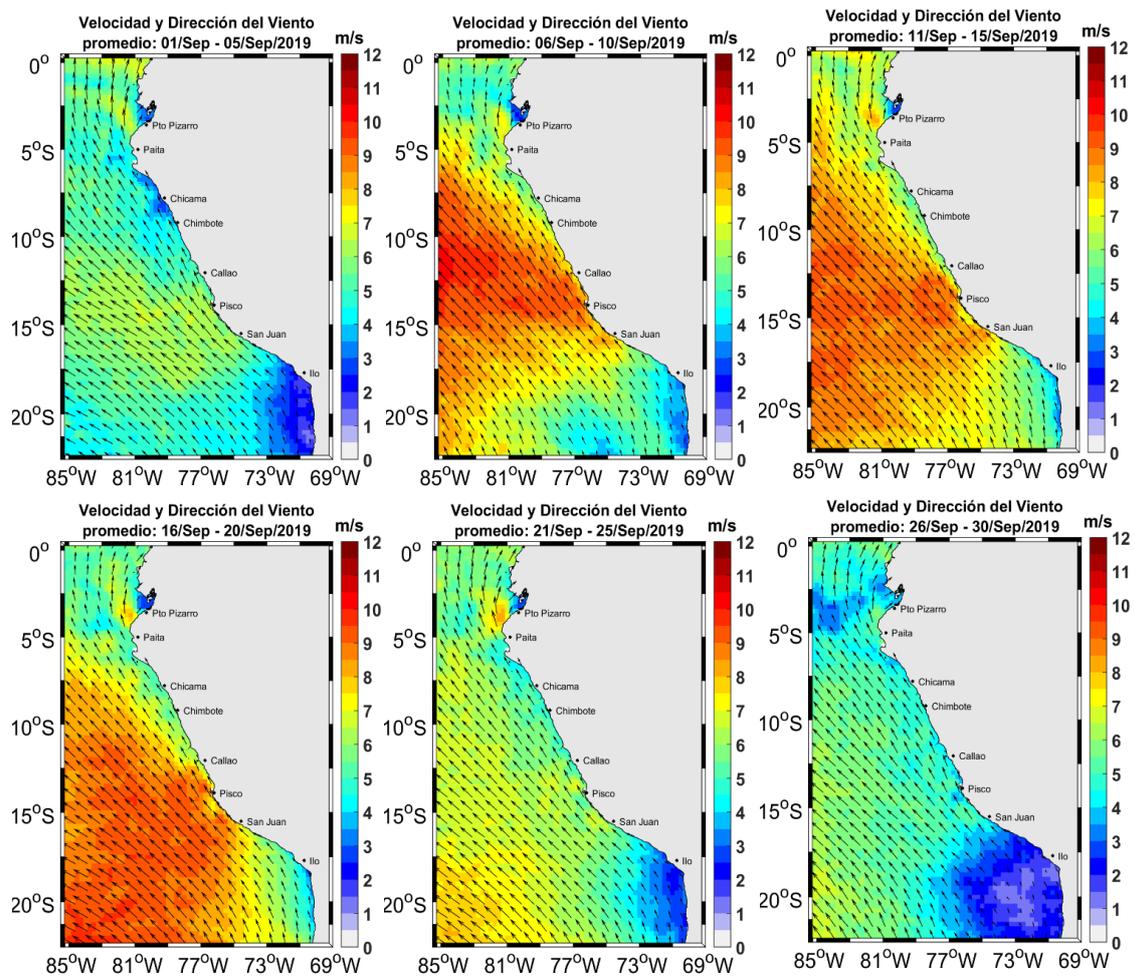


Figura 10. Mapas de la velocidad del viento frente a la costa peruana, durante el mes de setiembre del 2019. Fuente: Satélite ASCAT. Procesamiento: Laboratorio de Hidrofísica Marina, IMARPE. Actualizada hasta el 30/09/2019.

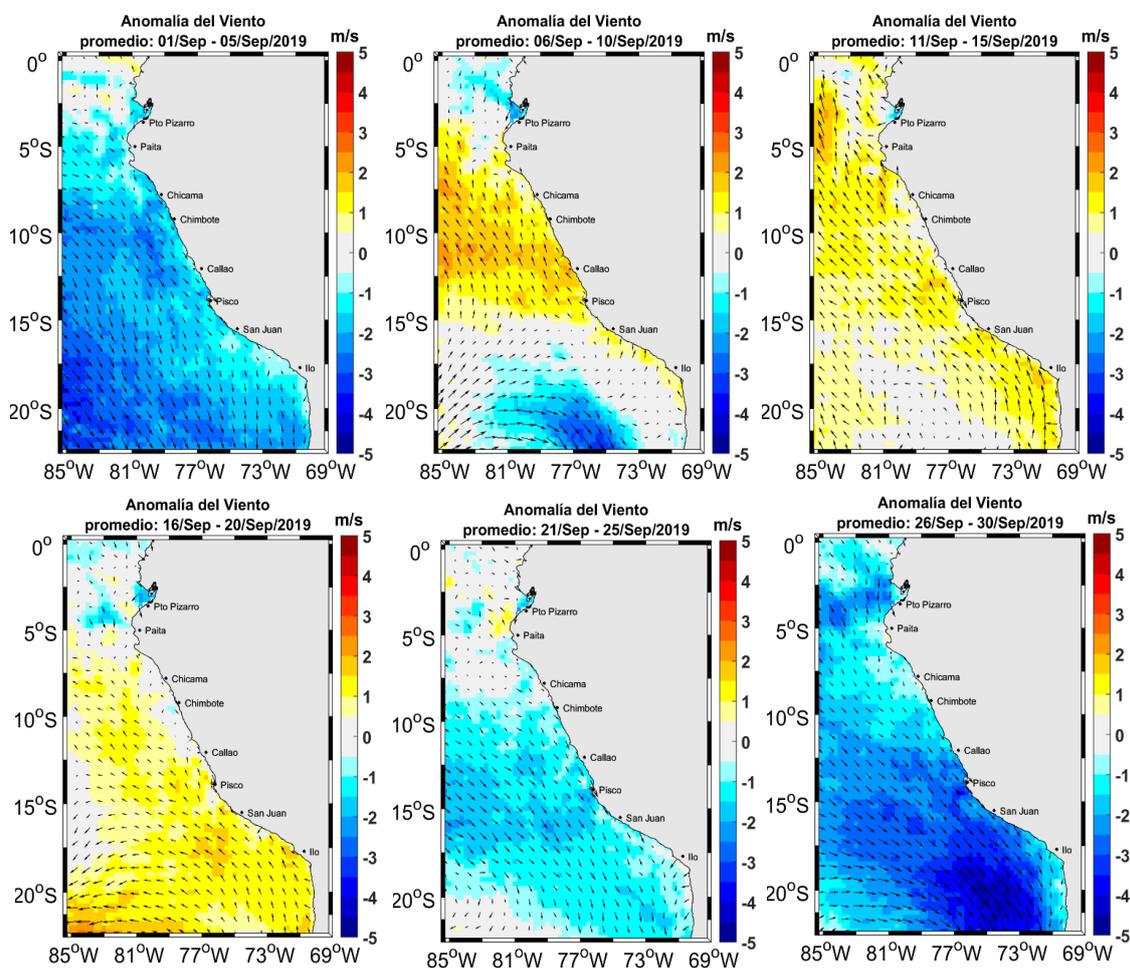


Figura 11. Mapas de anomalía de la velocidad del viento frente a la costa peruana, durante el mes de setiembre del 2019. Fuente: Satélite ASCAT. Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE. Actualizada hasta el 30/09/2019.

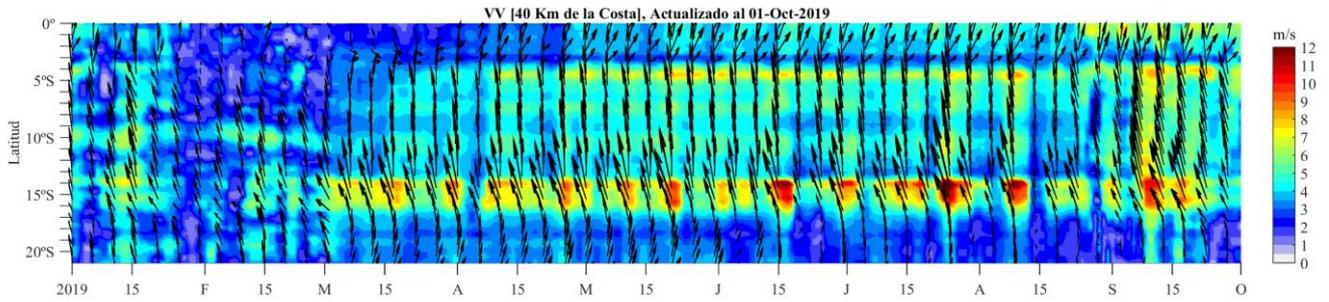


Figura 12. Diagrama Hovmöller de la velocidad del viento a lo largo de la costa peruana (Fuente: Satélite ASCAT y productos del proyecto COPERNICUS, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 01/10/2019.

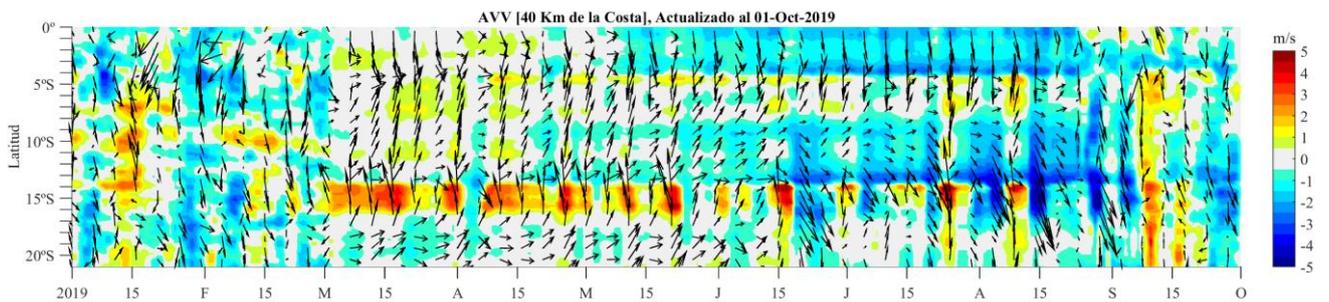


Figura 13. Diagrama Hovmöller de la anomalía del viento a lo largo de la costa peruana (Fuente: Satélite ASCAT y productos del proyecto COPERNICUS, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 01/10/2019.

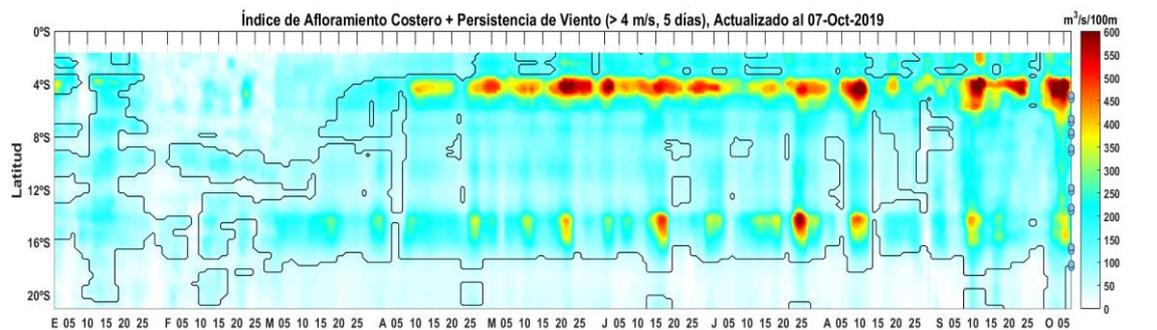


Figura 14. Diagrama de Hovmöller del Índice de Afloramiento Costero ( $m^3/s \times 100m$ ), calculado a partir del viento satelital ASCAT y productos del proyecto COPERNICUS a 40 Km frente a la costa del Perú. Los contornos señalan la persistencia del afloramiento bajo condiciones de velocidad diciembre a 4 m/s durante 5 días o más. Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE. Actualizada hasta el 07/10/2019.

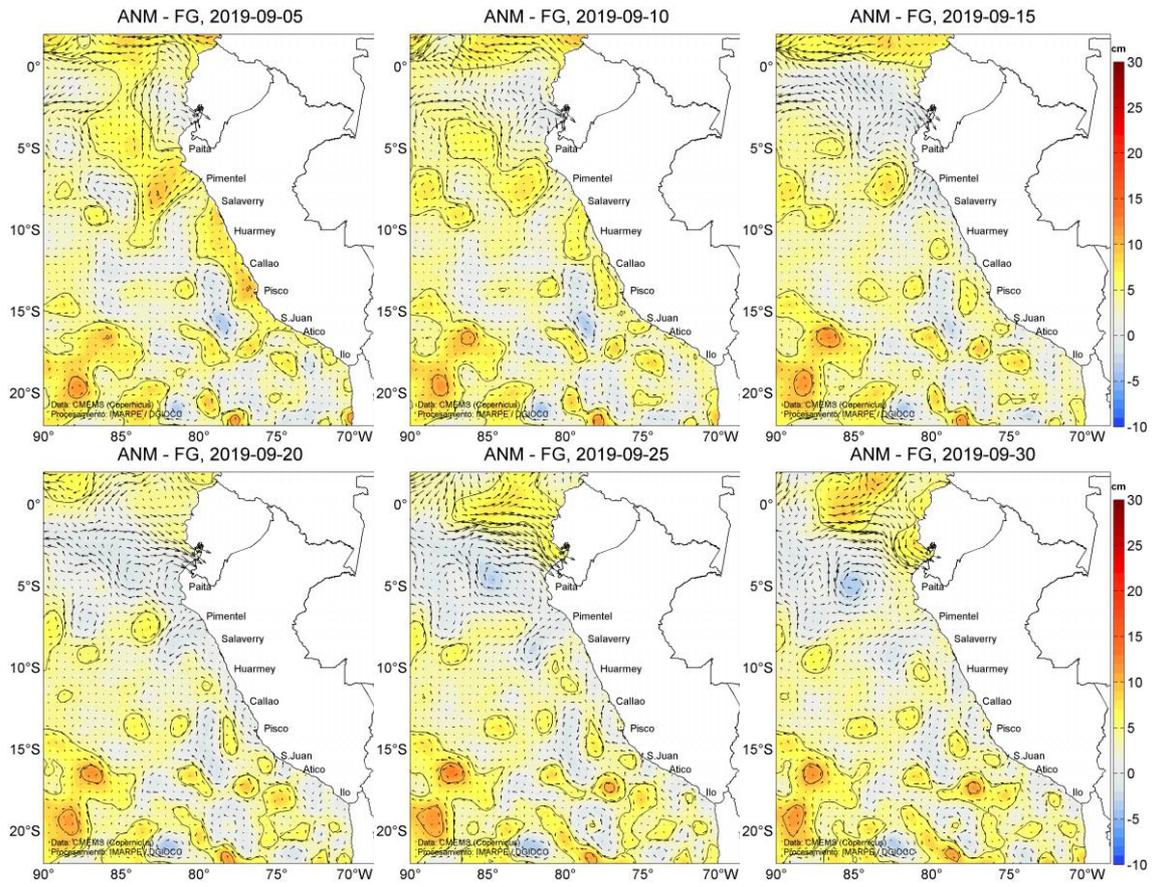


Figura 15. Anomalías del nivel del mar (cm) y flujos geostróficos, cada cinco días para el mes de setiembre de 2019. Fuente: CMEMS, Procesamiento: IMARPE.

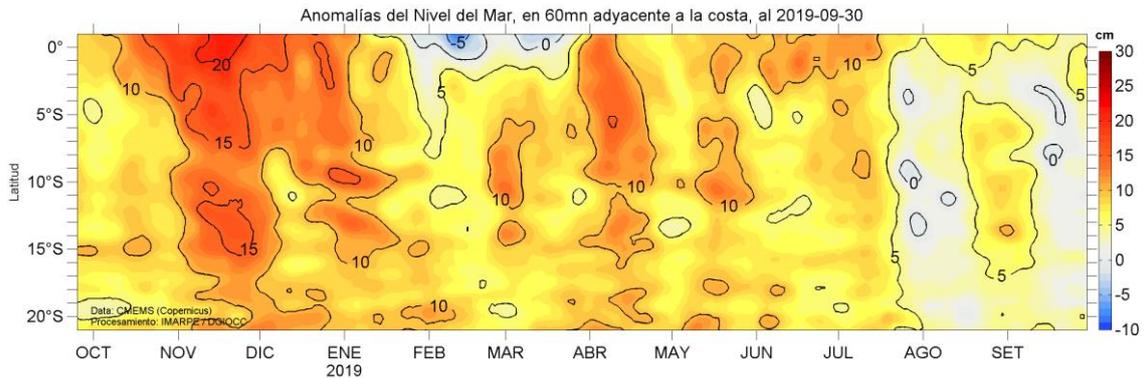


Figura 16. Diagrama Hovmöller de las anomalías del nivel del mar (cm), durante un año hasta el 30 de setiembre del 2019, para la franja de 60mn adyacente a la costa. Fuente: CMEMS, Procesamiento IMARPE.

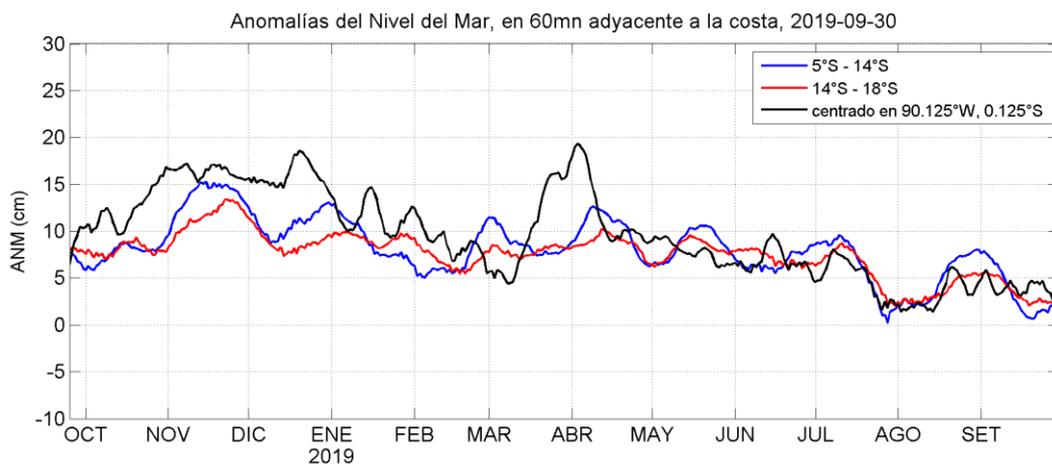


Figura 17. Variación temporal de las anomalías del nivel del mar, dentro de las 60 mn de la costa y en la zona de Galápagos, durante un año hasta el 30 de setiembre del 2019. Fuente: CMEMS, Procesamiento: IMARPE.

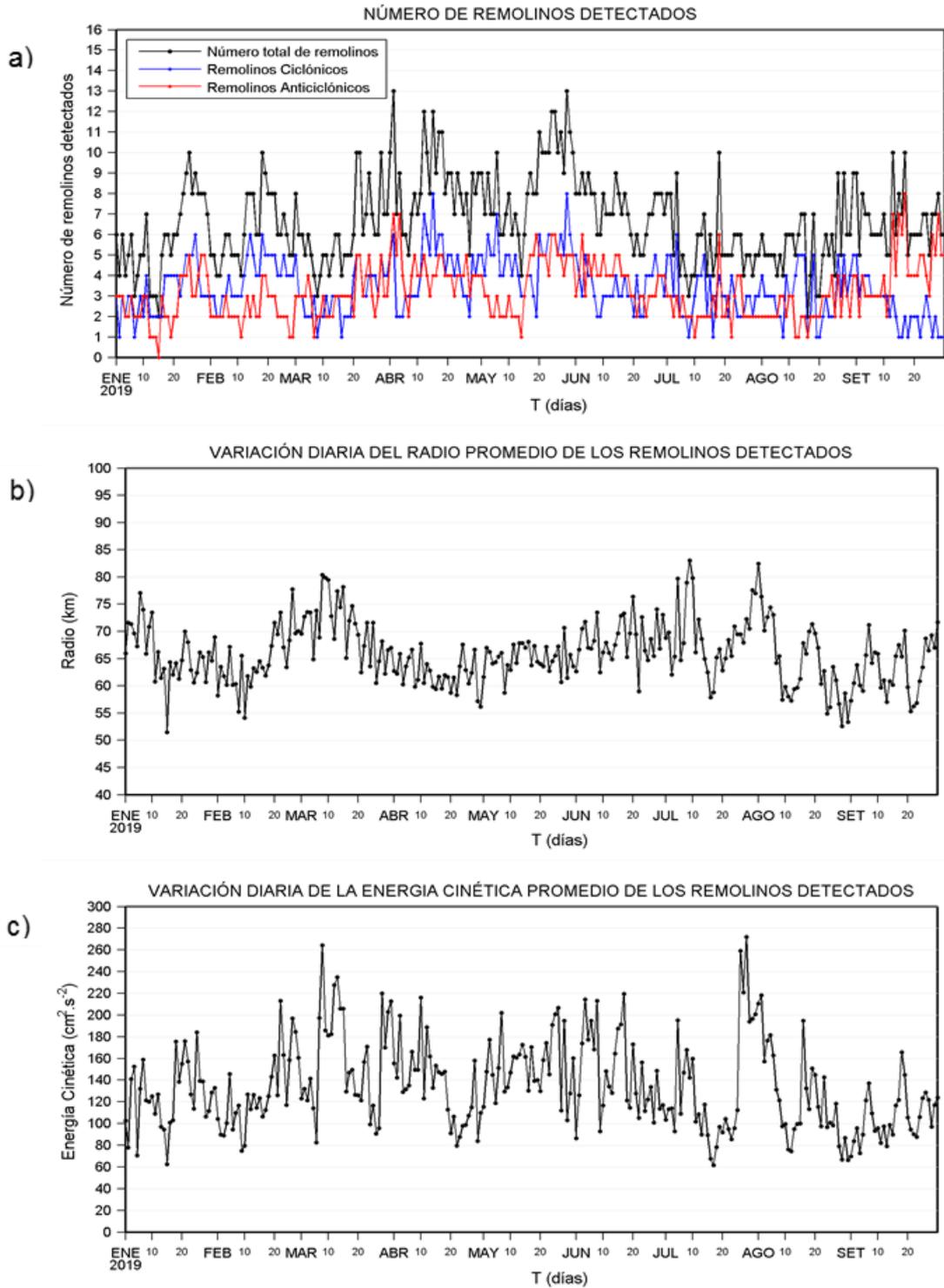


Figura 18. Variación diaria del a) número de remolinos detectados, b) radio promedio y c) la energía cinética promedio, en la zona costera del Perú [70°-84°W, 3°-18°S], desde enero hasta setiembre del 2019. Procesamiento: LHF/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

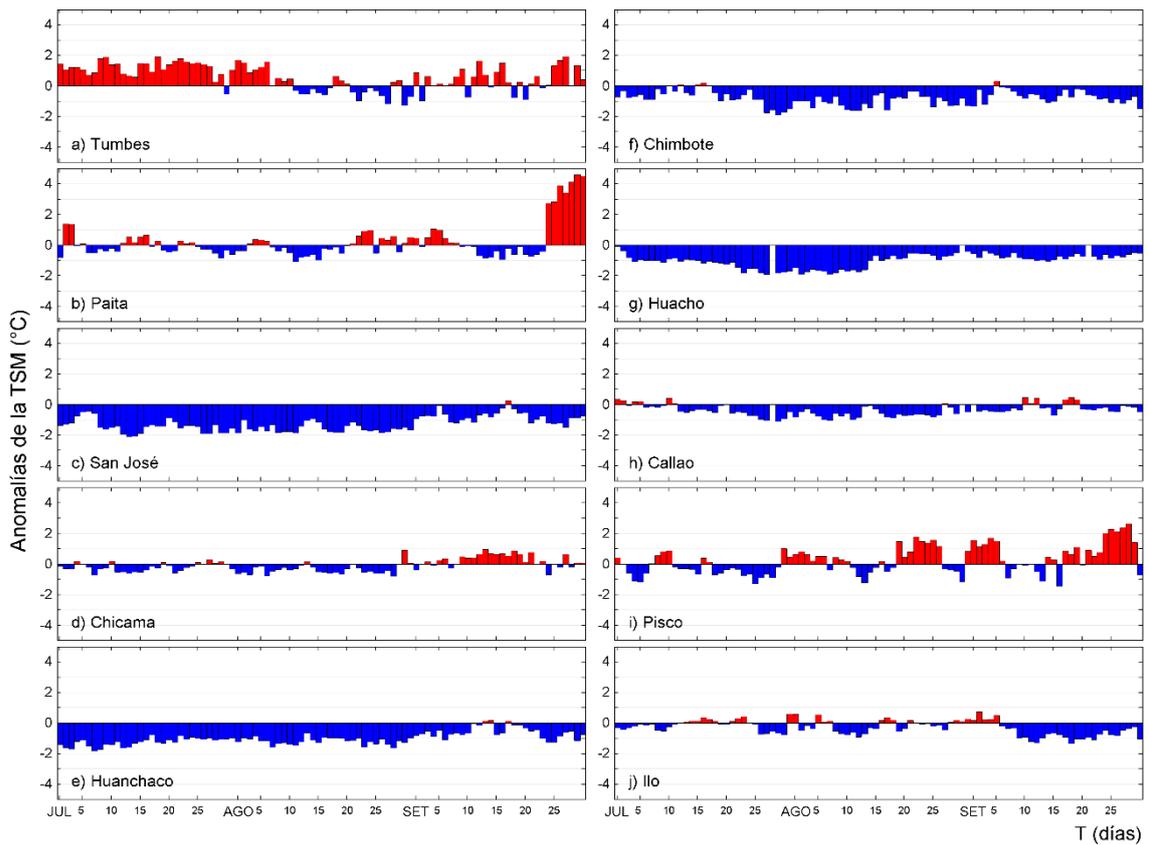


Figura 19. Series temporales del promedio diario de las anomalías de la temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) en la red de estaciones costeras de IMARPE durante el último trimestre. Datos y procesamiento: IMARPE.

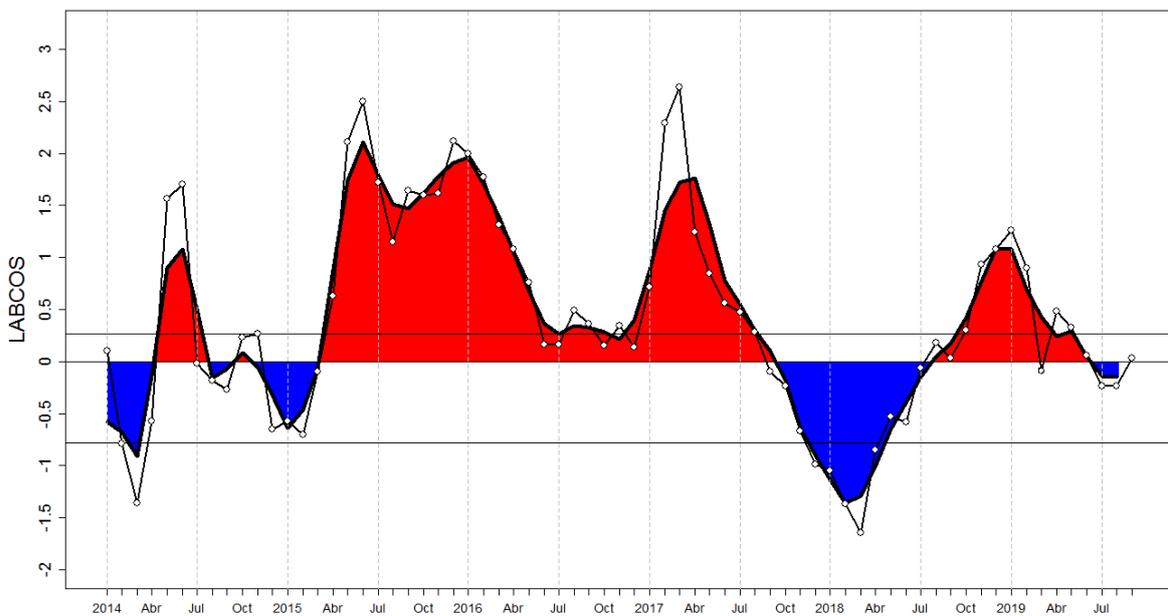


Figura 20. Índice LABCOS (área sombreada) y valor mensual (círculos); periodo enero 2014 - setiembre 2019. Datos: IMARPE, DHN; procesamiento: IMARPE

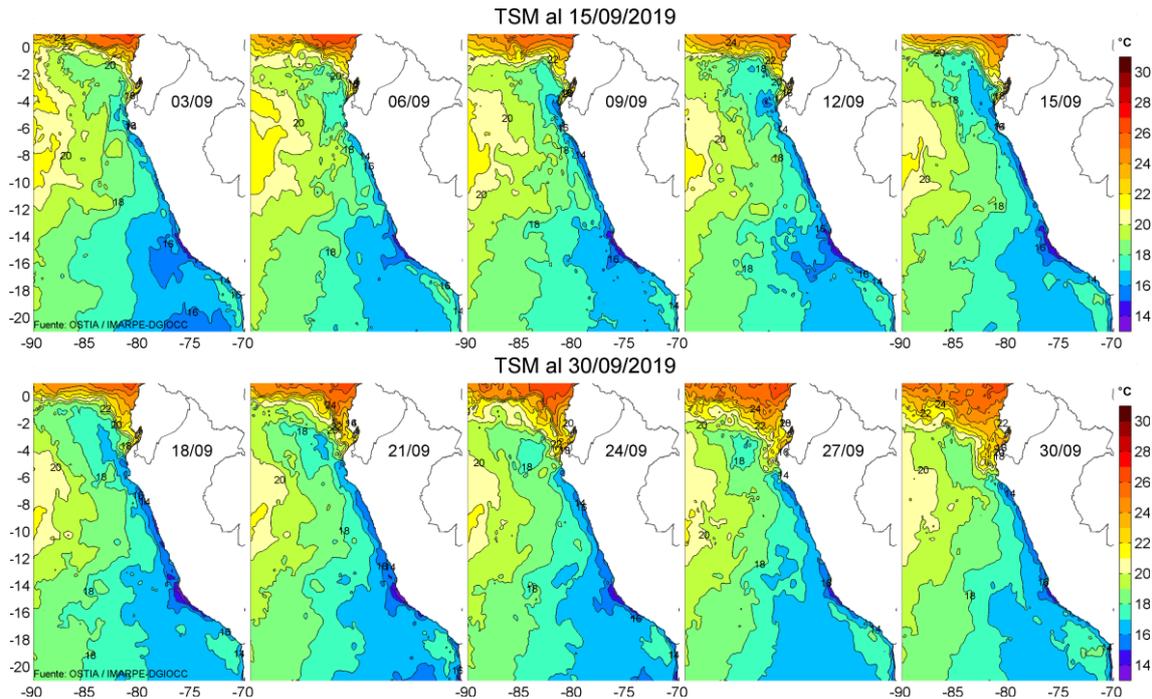


Figura 21. Temperatura superficial del agua (°C) en el mar peruano, cada tres días durante setiembre del 2019. Fuente PODAAC/OSTIA, Procesamiento: IMARPE.

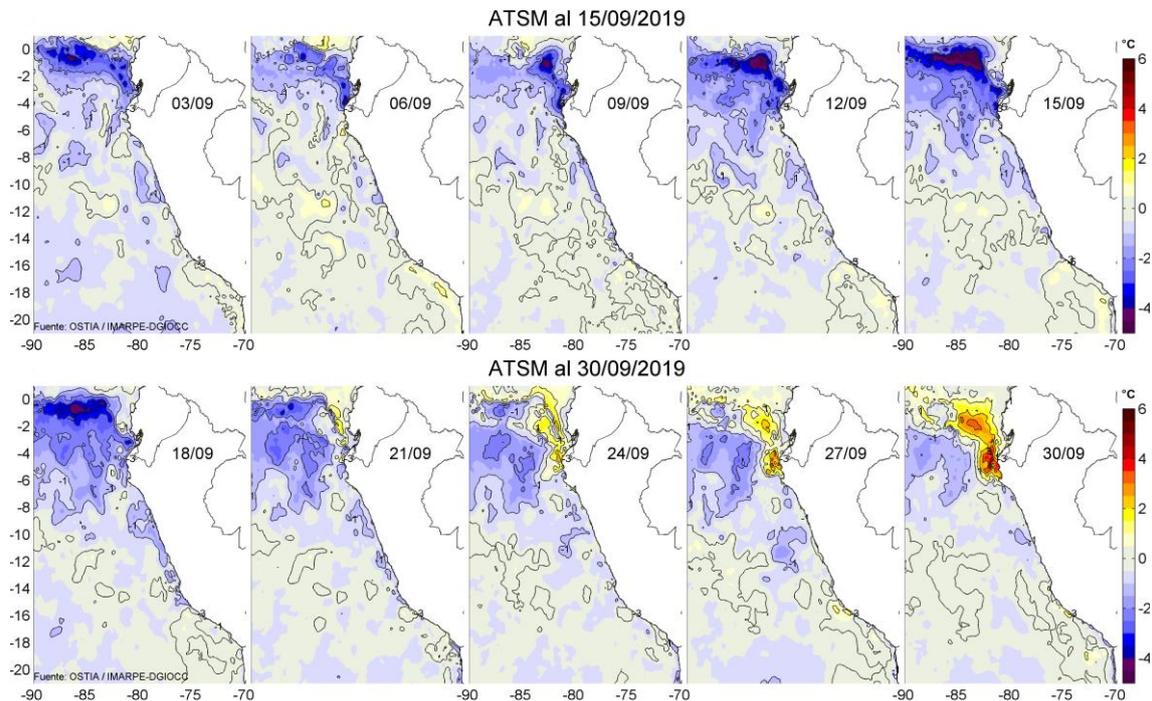


Figura 22. Anomalías de temperatura superficial del mar (ATSM) frente a Perú, cada tres días durante setiembre del 2019, (periodo climatológico 2007-2016). Fuente: PODAAC/OSTIA, Procesamiento: IMARPE.

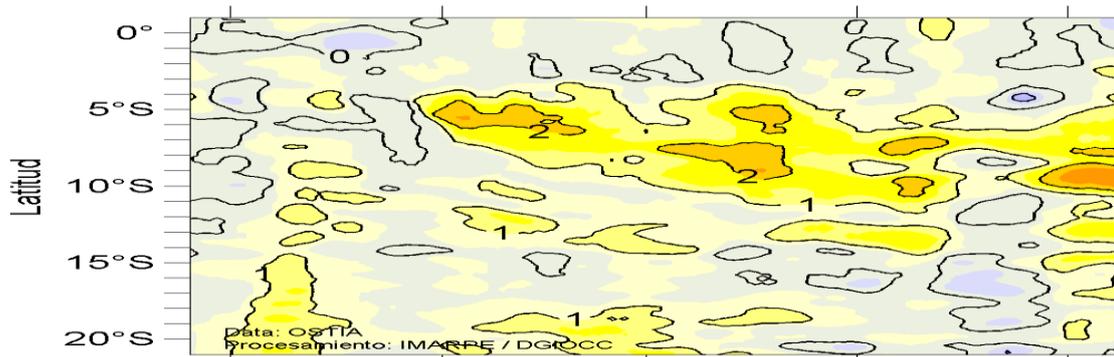


Figura 23. Evolución de las anomalías de temperatura superficial del mar (ATSM), dentro de las 60 mn de la costa, durante un año hasta el 30 de setiembre del 2019, (periodo climatológico 2007-2016). Fuente: PODAAC/OSTIA, Procesamiento: IMARPE.

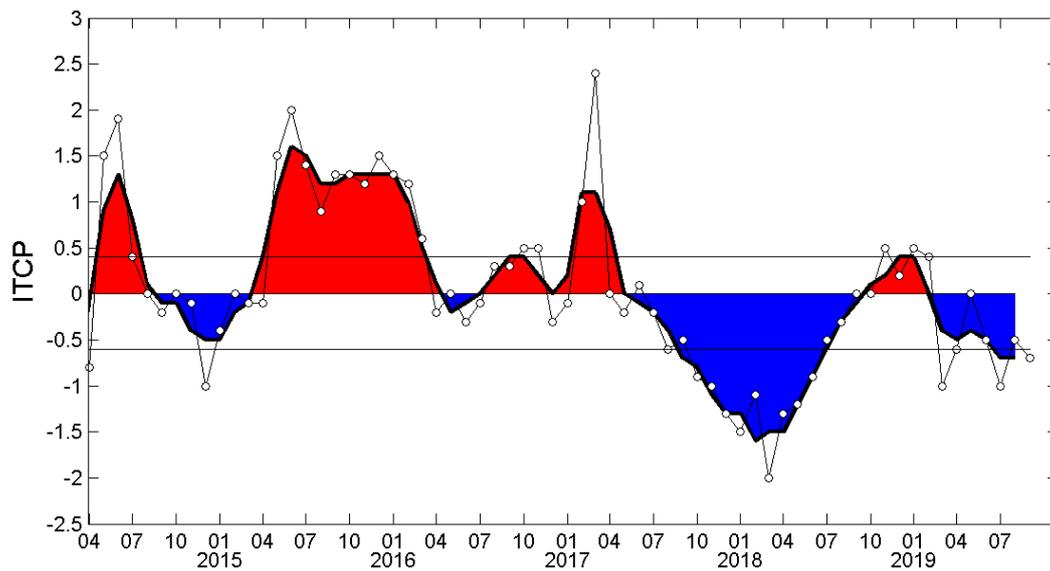


Figura 24. Variación temporal del ITCP hasta el trimestre JAS 2019. La variación temporal del ITCP trimestral (área sombreada) y la serie de tiempo mensual del primer componente principal de la ATSM (círculo blanco). Fuente: IMARPE.

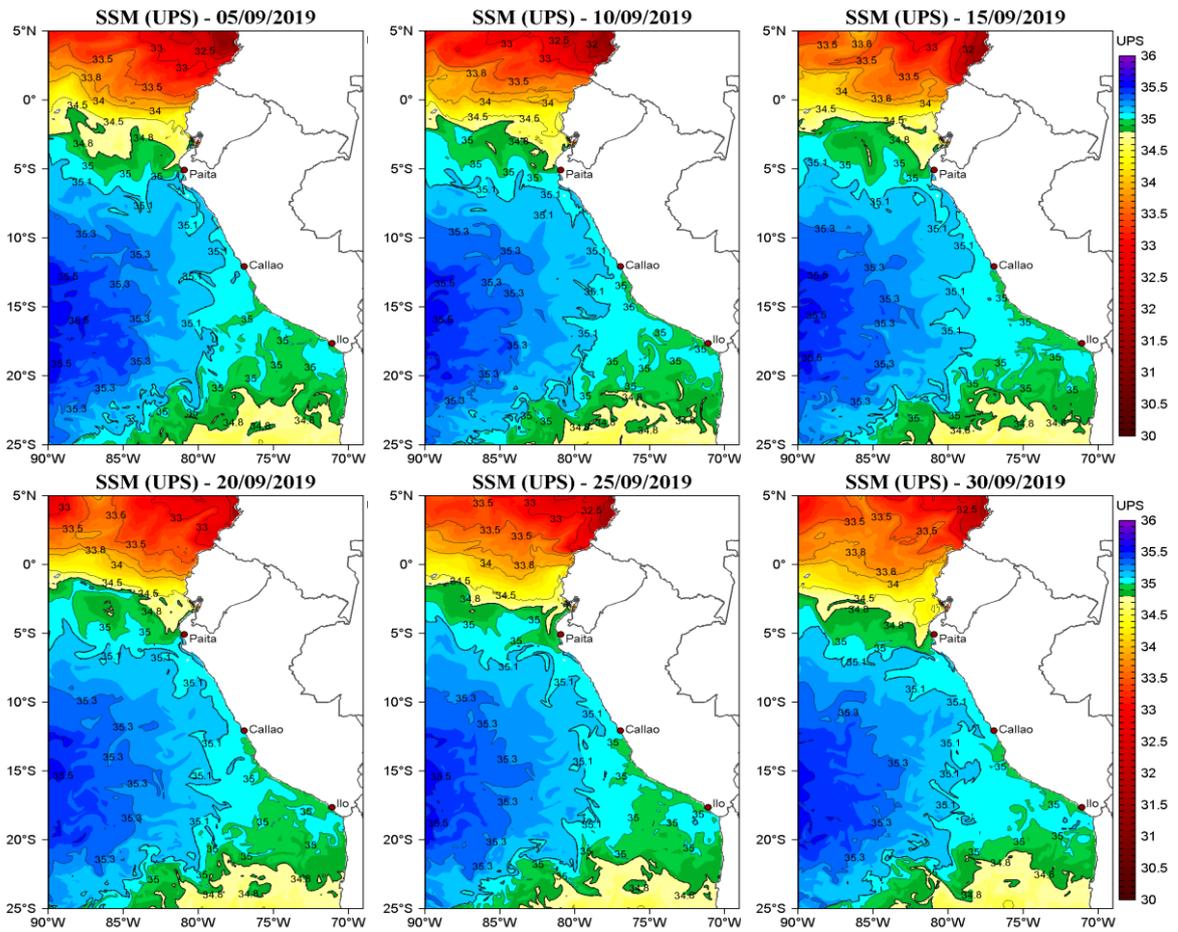


Figura 25. Distribución espacial de salinidad superficial del mar (SSM), durante los días 05, 10, 15, 20, 25 y 30 de setiembre del 2019. Fuente: HYCOM, Procesamiento: DGIOCC-IMARPE.

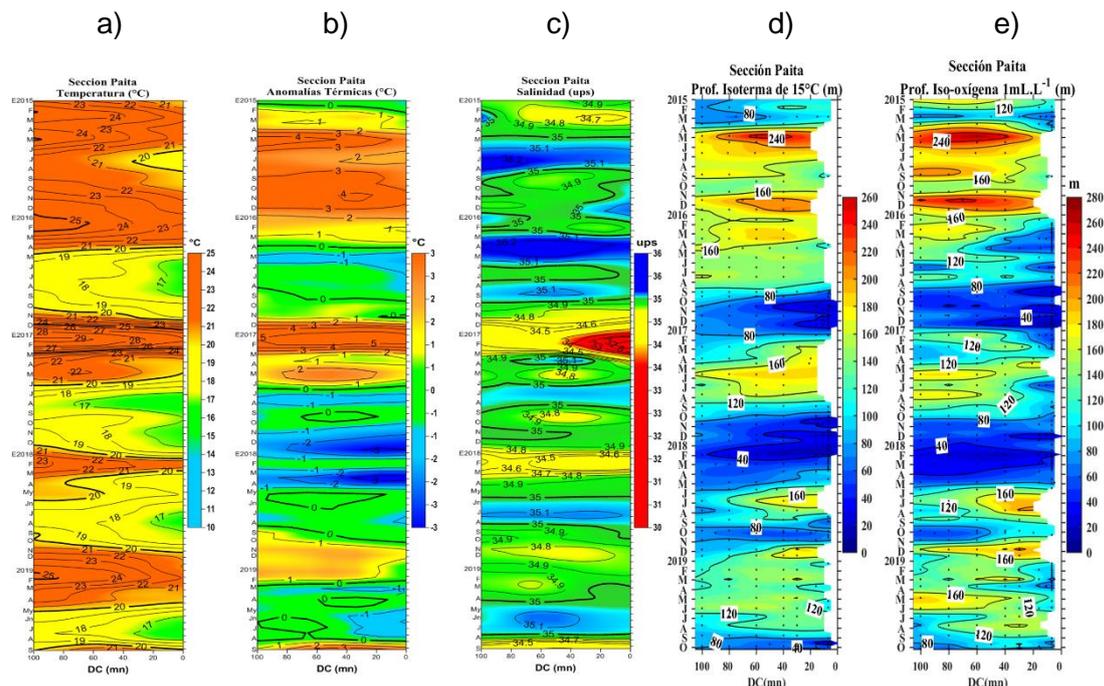


Figura 26. Diagrama Hovmöller de a) TSM, b) ATSM, c) SSM, d) Profundidad de la isoterma de 15°C (m) y e) Profundidad de la iso-oxigena de 1 mL.L<sup>-1</sup> (m) de las secciones verticales frente a Paita, registrado desde enero del 2015 hasta septiembre del 2019.

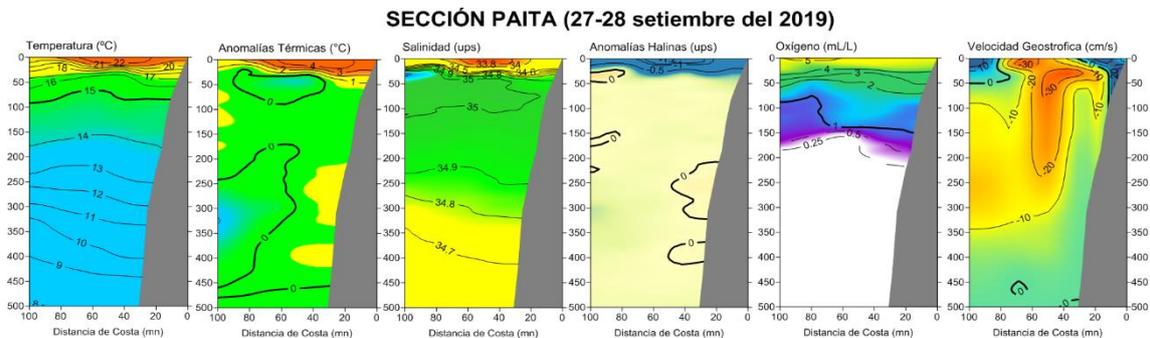


Figura 27. Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups), d) anomalía de salinidad (ups), e) oxígeno (mL.L<sup>-1</sup>) y f) velocidad geostrofica (cm/s) frente a Paita, realizada durante el 27 - 28 de septiembre de 2019. Fuente: IMARPE.

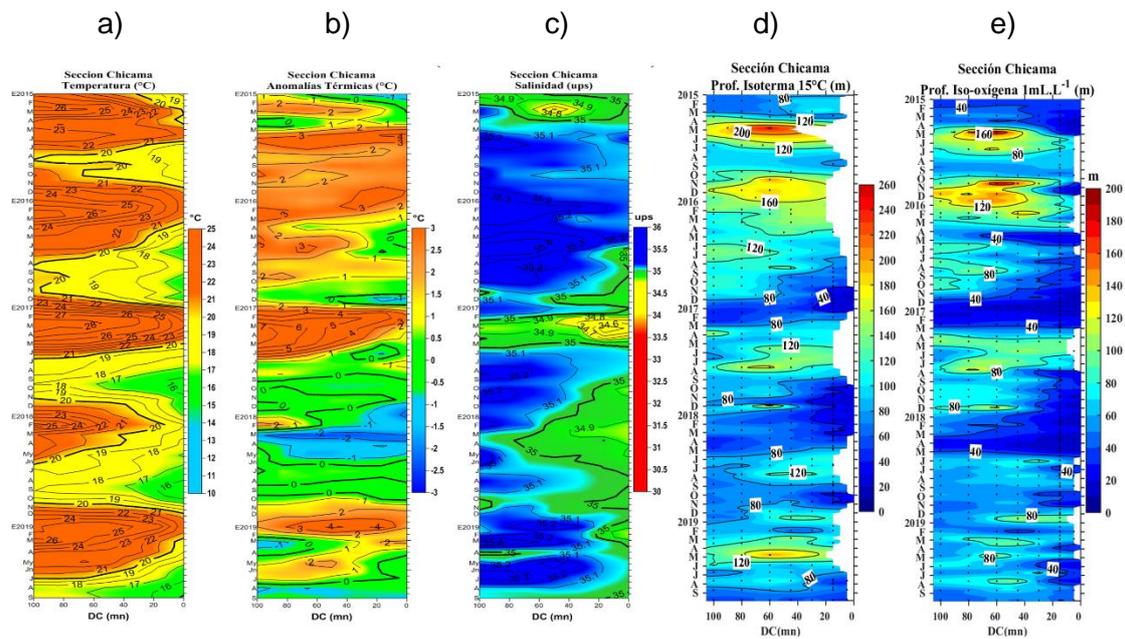


Figura 28. Diagrama Hovmöller de a) TSM, b) ATSM, c) SSM, d) Profundidad de la isoterma de 15°C (m) y e) Profundidad de la iso-oxigena de 1 mL.L<sup>-1</sup> (m) de las secciones verticales frente a Chicama, registrado desde enero del 2015 hasta septiembre de 2019.

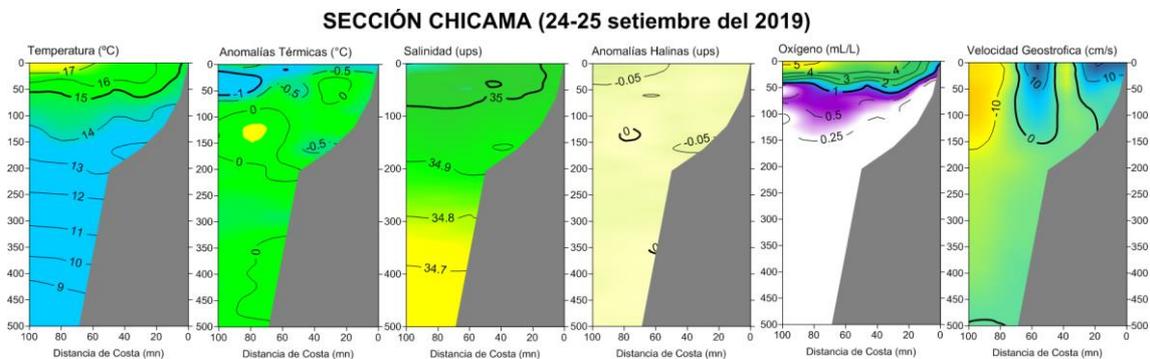


Figura 29. Distribución vertical de: a) Temperatura superficial del mar (°C), b) Anomalia de temperatura superficial del mar (°C), c) Salinidad superficial del mar (ups), d) Anomalia de salinidad superficial del mar (ups), e) Oxígeno (mL.L<sup>-1</sup>) y f) Velocidad geostrofica (cm/s) frente a Chicama, realizada durante el 24 - 25 de septiembre de 2019. Fuente: IMARPE.

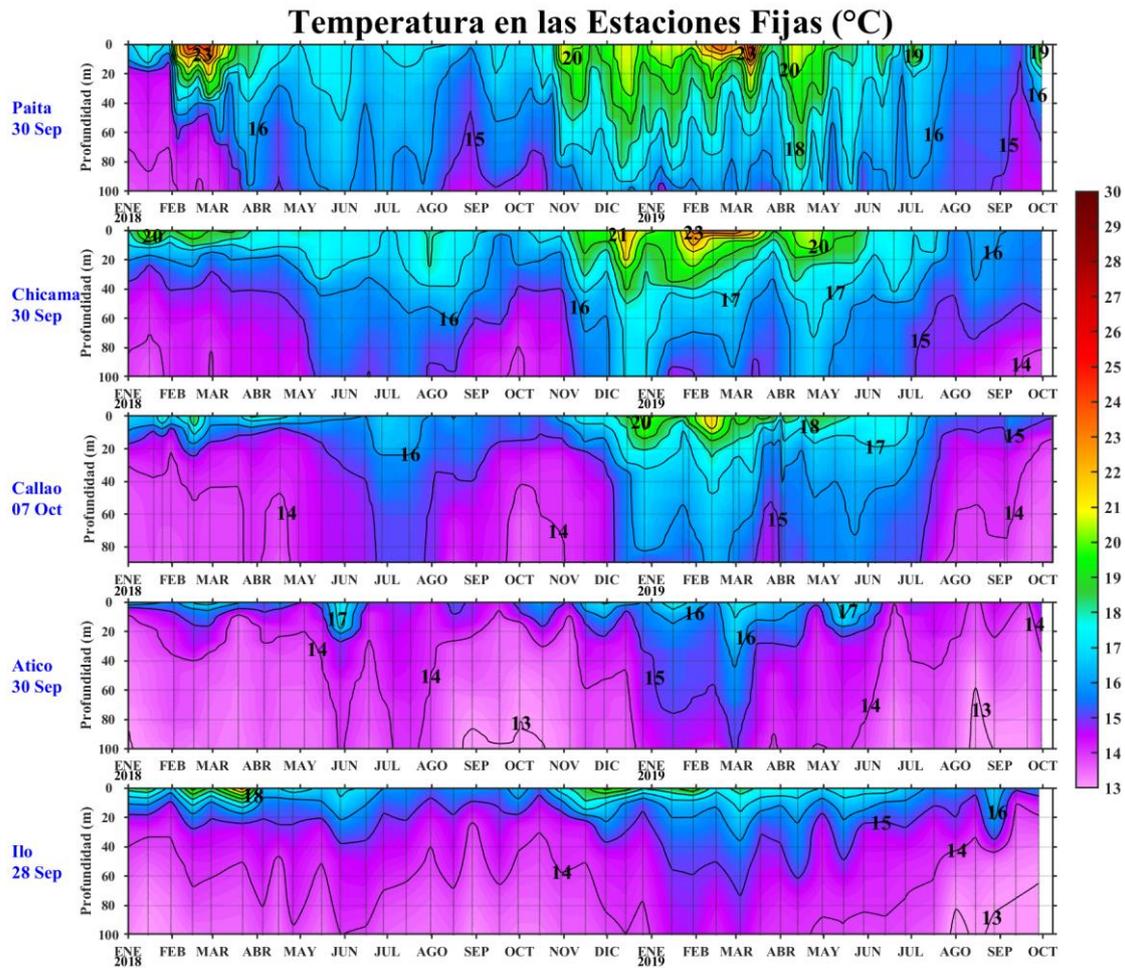


Figura 30. Series de tiempo de la estructura térmica (°C) en las Estaciones Fijas de: a) Paita, b) Chicama, c) Callao, d) Atico, e) Ilo de enero de 2018 a septiembre - octubre de 2019.

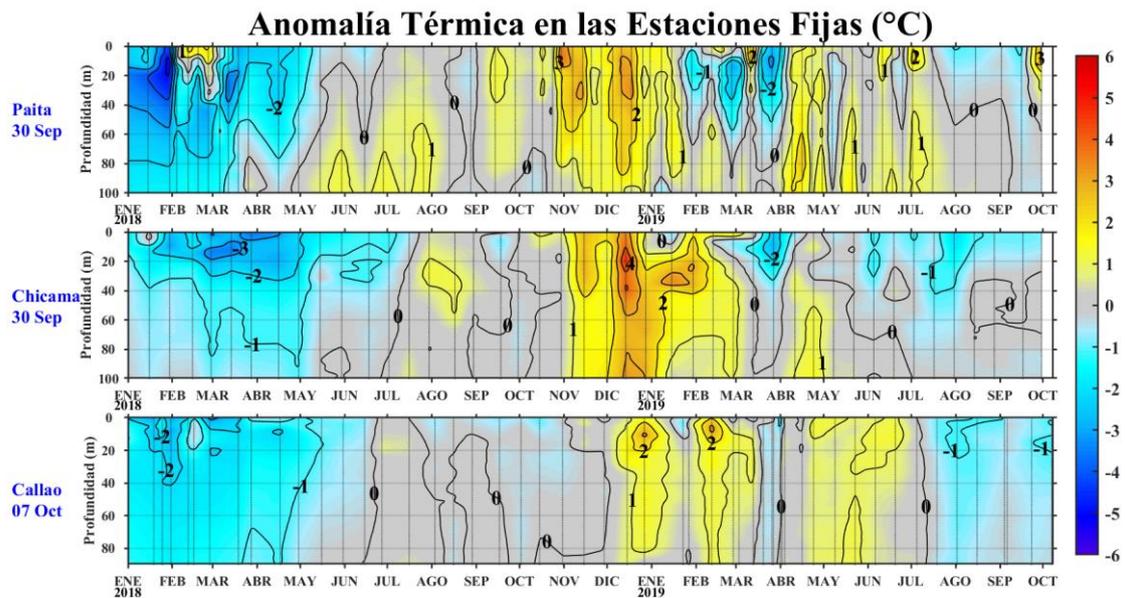


Figura 31. Series de tiempo de la anomalía térmica (°C) en las Estaciones Fijas de: a) Paita, b) Chicama, c) Callao de enero de 2018 a septiembre - octubre de 2019.

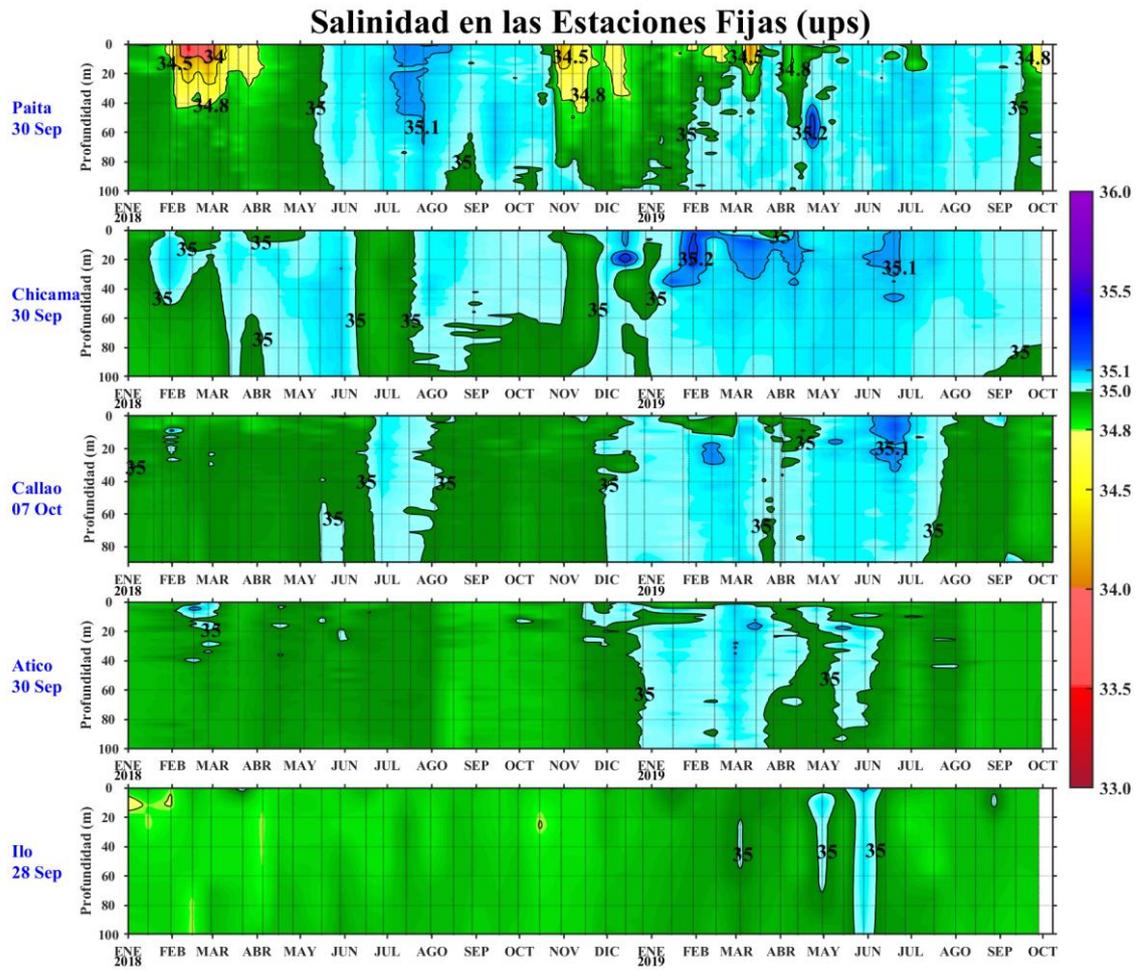


Figura 32. Series de tiempo de la salinidad del agua de mar (ups) en las Estaciones Fijas de Paita, Chicama, Callao, Atico e Ilo de enero de 2018 a septiembre - octubre de 2019.

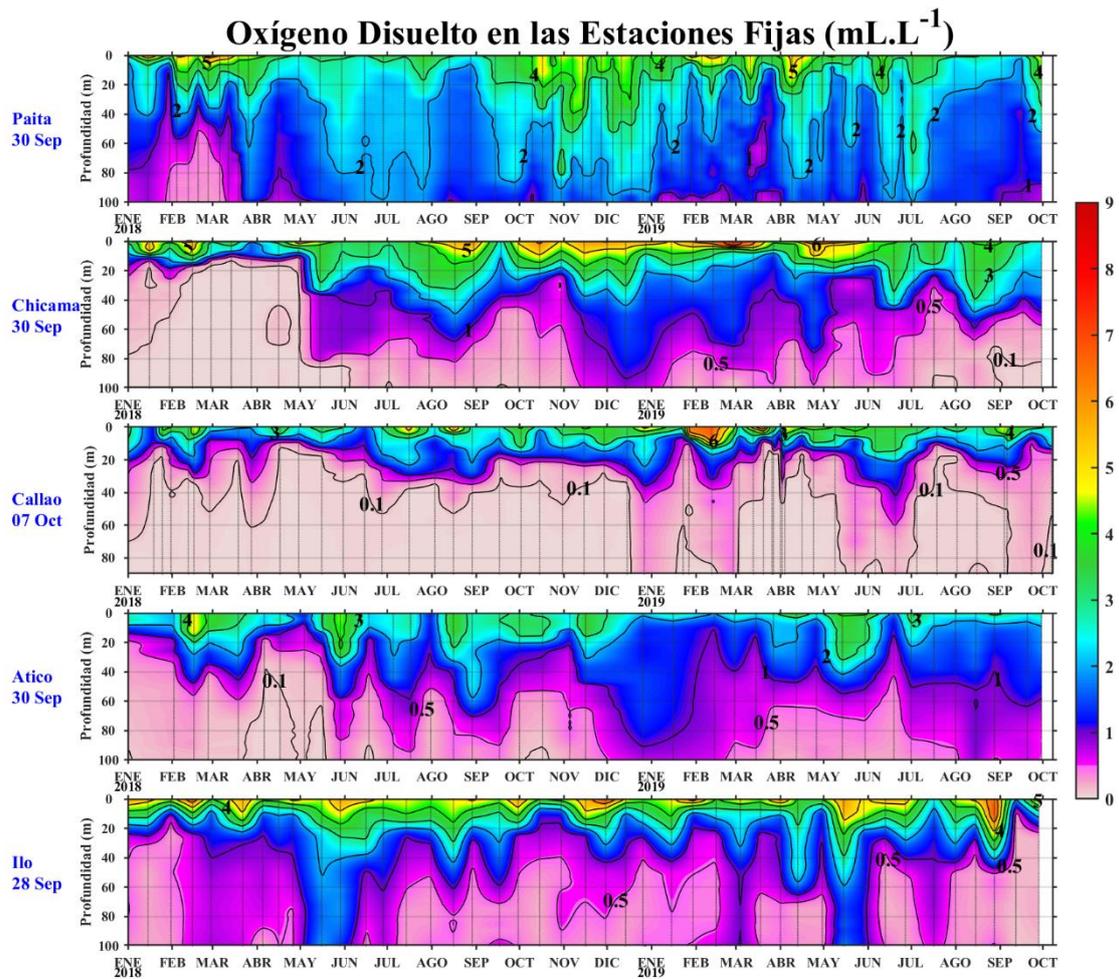


Figura 33. Series de tiempo de la concentración de oxígeno disuelto (mL.L<sup>-1</sup>) en las Estaciones Fijas de Paíta, Chicama, Callao, Atico e Ilo de enero de 2018 a septiembre - octubre de 2019.

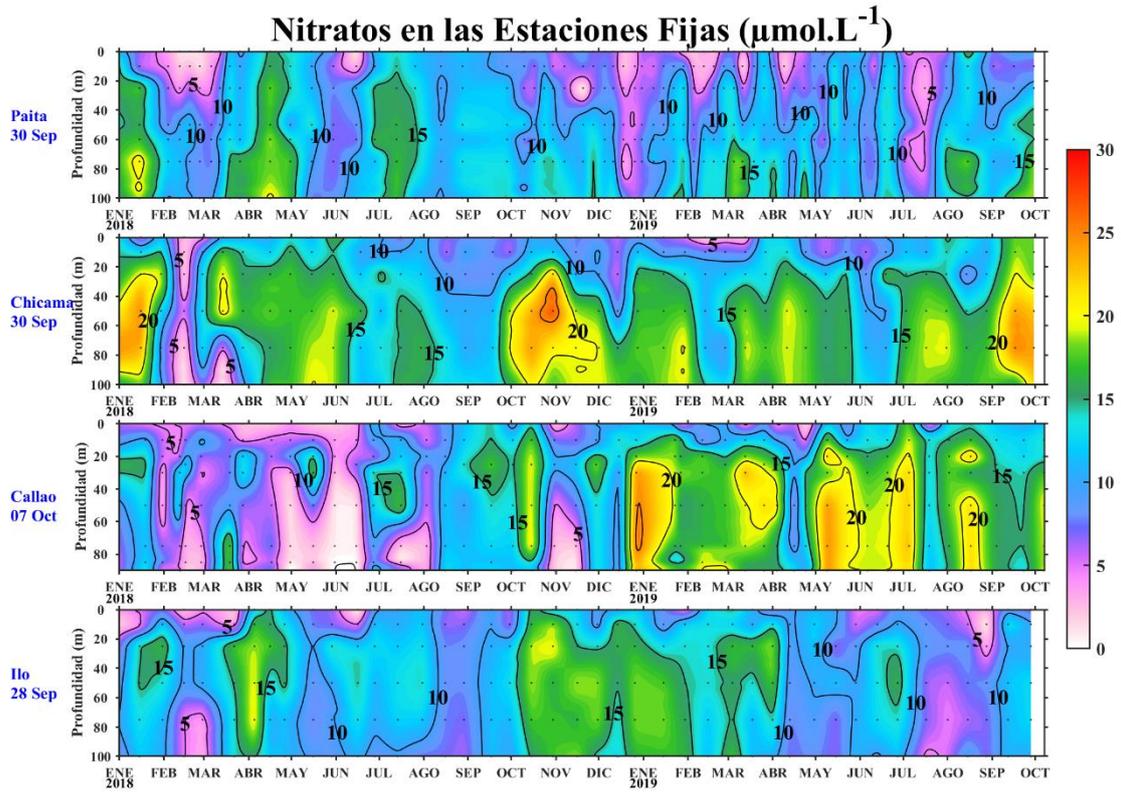


Figura 34. Concentración de nitratos en  $\mu\text{mol L}^{-1}$  en las Estaciones puntos Fijas: a) Paita, b) Chicama, c) Callao y d) Ilo de IMARPE entre enero 2018 a setiembre 2019.

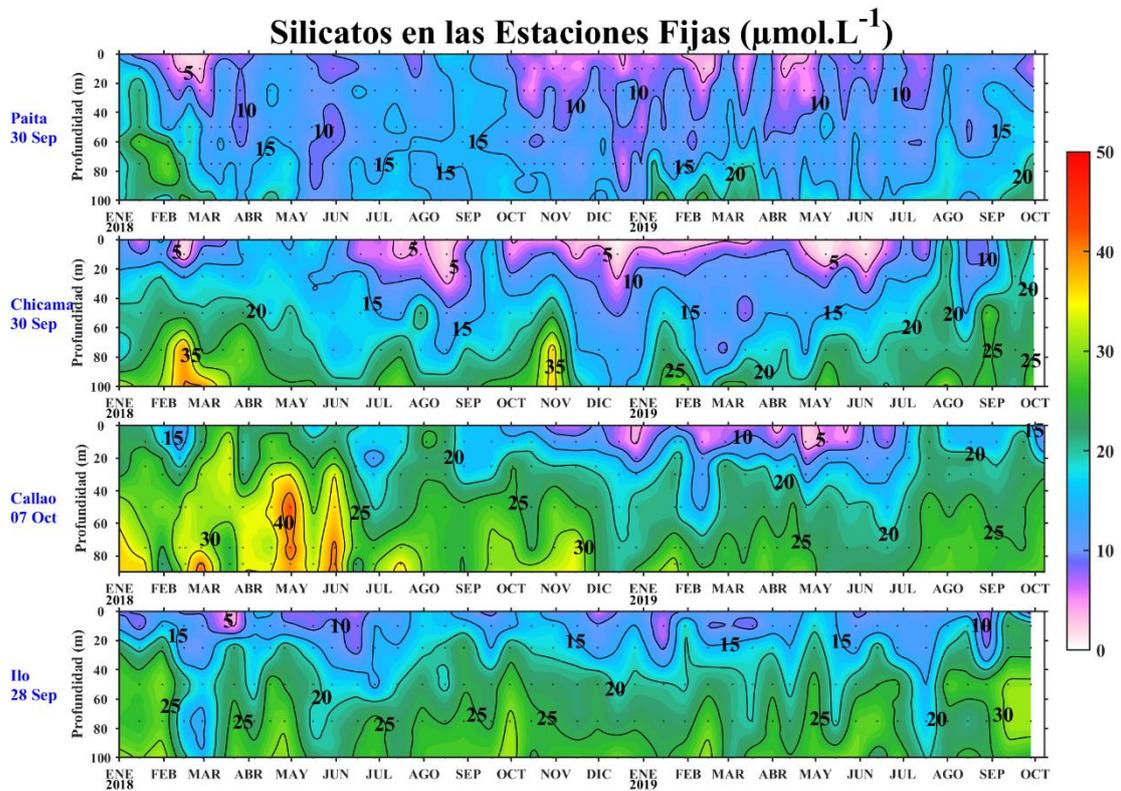


Figura 35. Concentración de silicatos en  $\mu\text{mol L}^{-1}$  en las Estaciones Fijas: a) Paita, b) Chicama, c) Callao y d) Ilo de IMARPE entre enero 2018 a setiembre 2019.

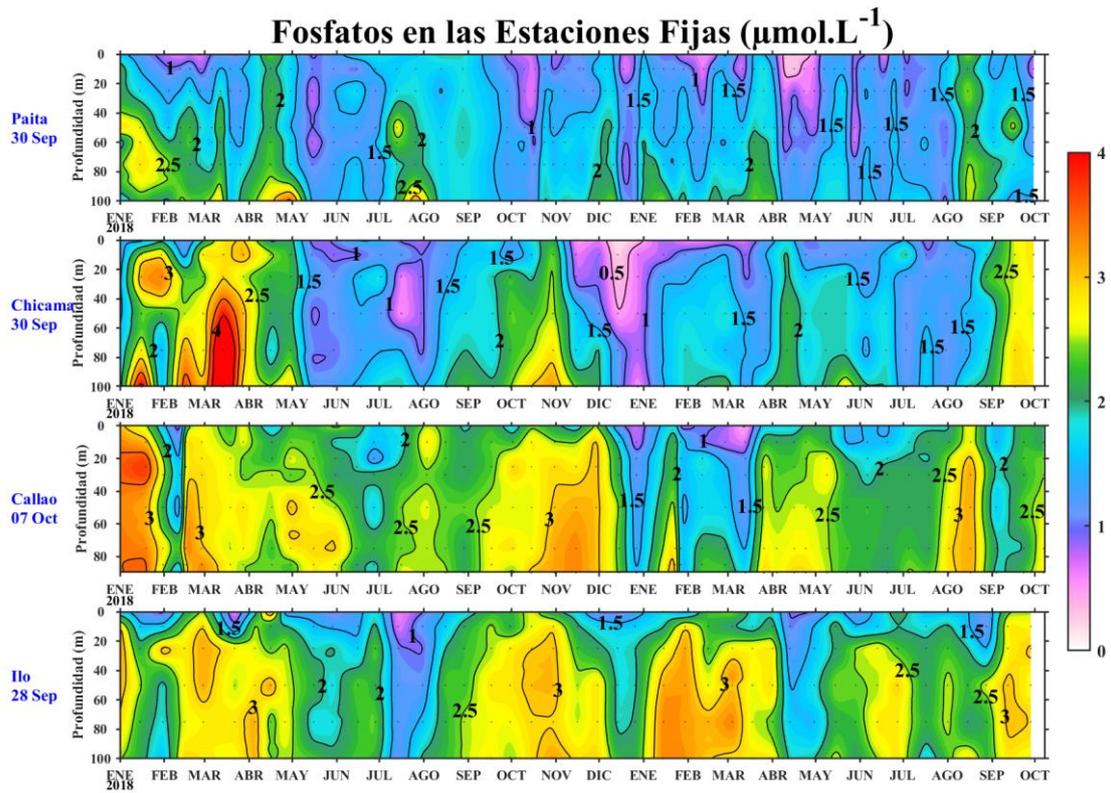


Figura 36. Concentración de fosfatos en  $\mu\text{mol L}^{-1}$  en las Estaciones Fijas: a) Paita, b) Chicama, c) Callao y d) Ilo de IMARPE entre enero 2018 a setiembre 2019.

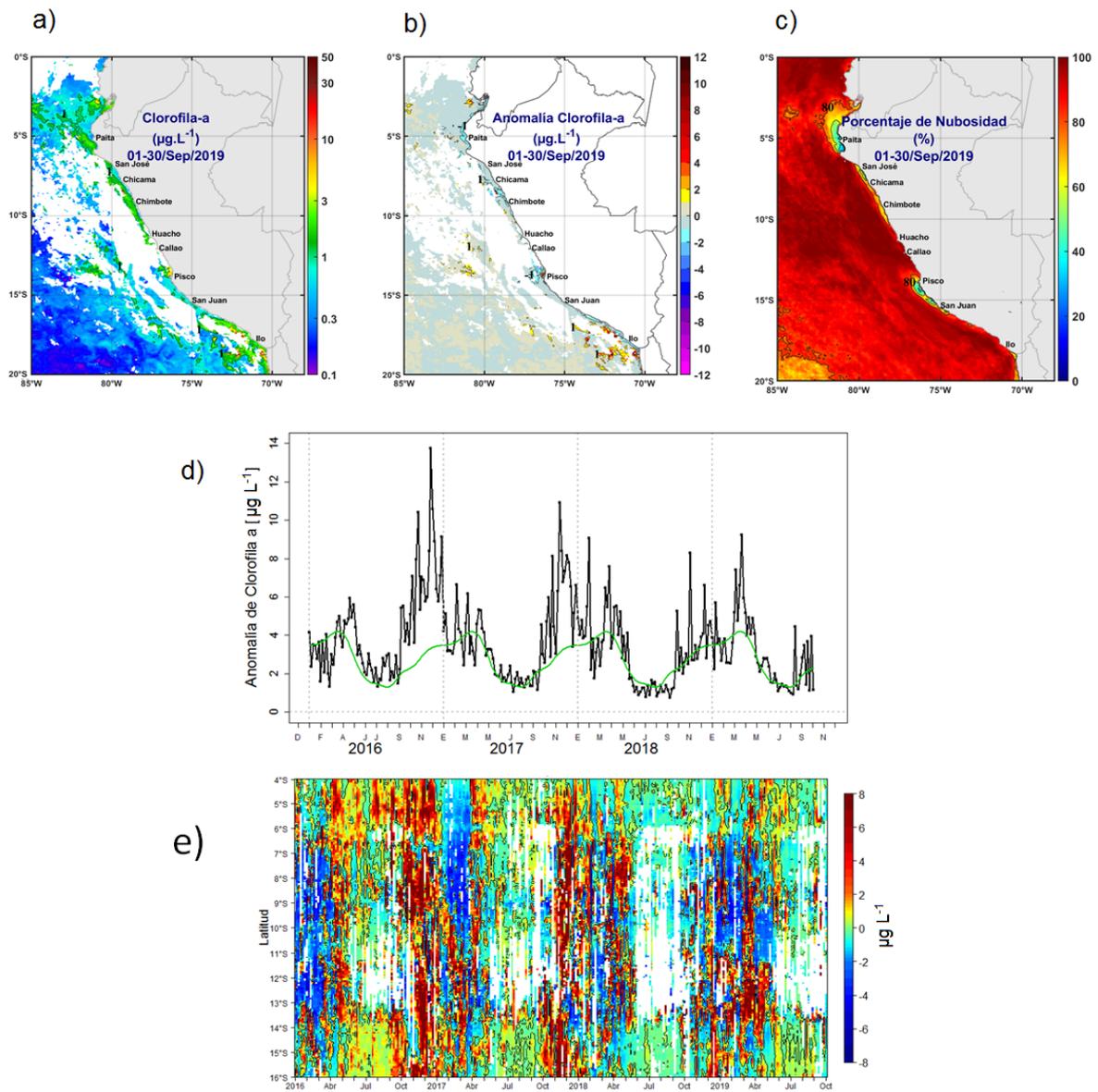


Figura 37. Mapa de la concentración (a) y anomalía (b) de clorofila-a satelital proveniente de MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP durante setiembre 2019 (en  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Número de días con nubes en (c). Serie de tiempo (d) para 4°S-16°S y dentro de los 100 km de la costa, de las concentraciones de clorofila-a satelital (línea negra) y su climatología (línea verde) proveniente de MODIS (en  $\mu\text{g L}^{-1}$ ); y (e) Diagrama Hovmöller de las anomalías de clorofila-a con respecto a la latitud.

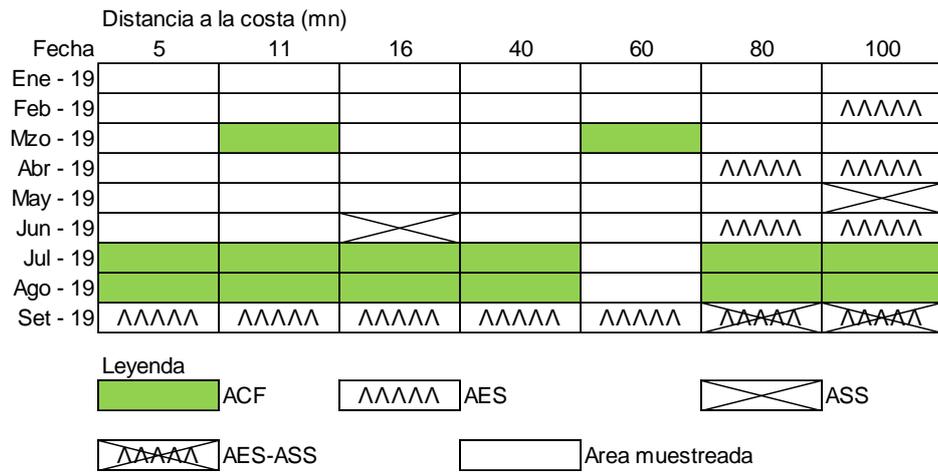


Figura 38. Distribución de indicadores biológicos de fitoplancton en la sección Paita 1909.

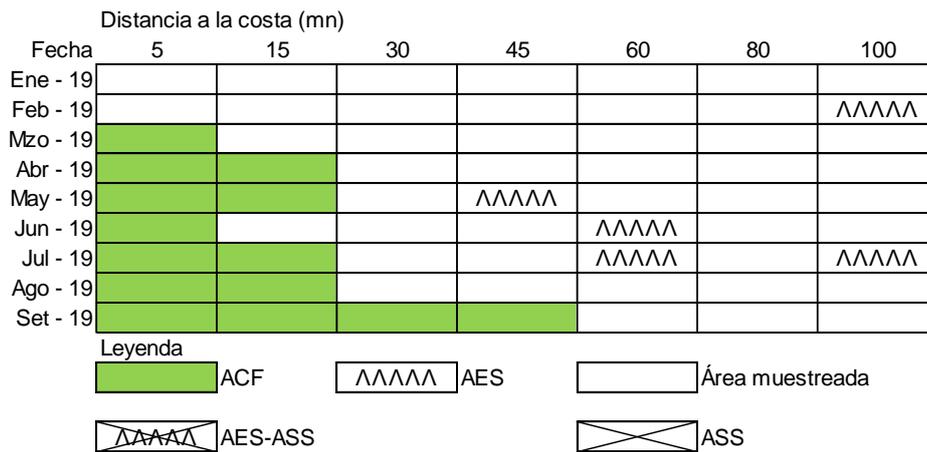


Figura 39. Distribución de indicadores biológicos de fitoplancton en la sección Chicama 1909.

Paíta 2019  
Distancia a la costa (mn)

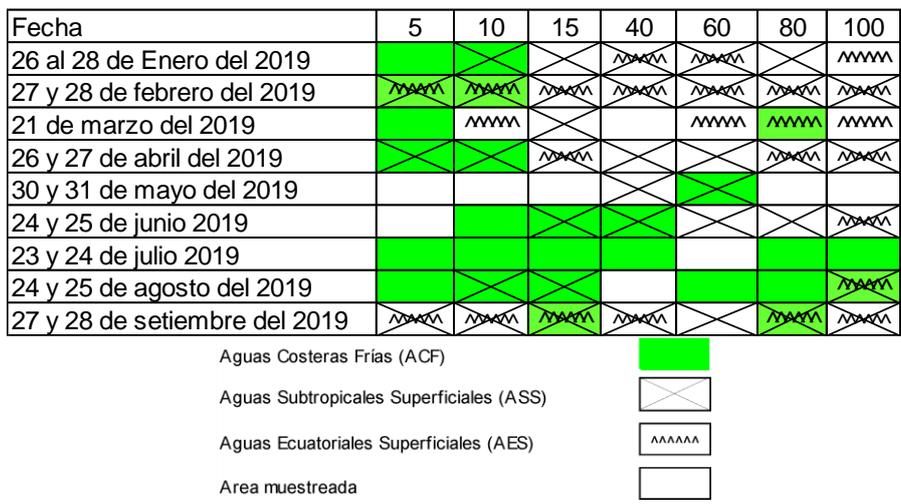


Figura 40. Distribución de Indicadores biológicos de zooplancton en la sección Paíta 1909.

Chicama 2019  
Distancia a la costa (mn)

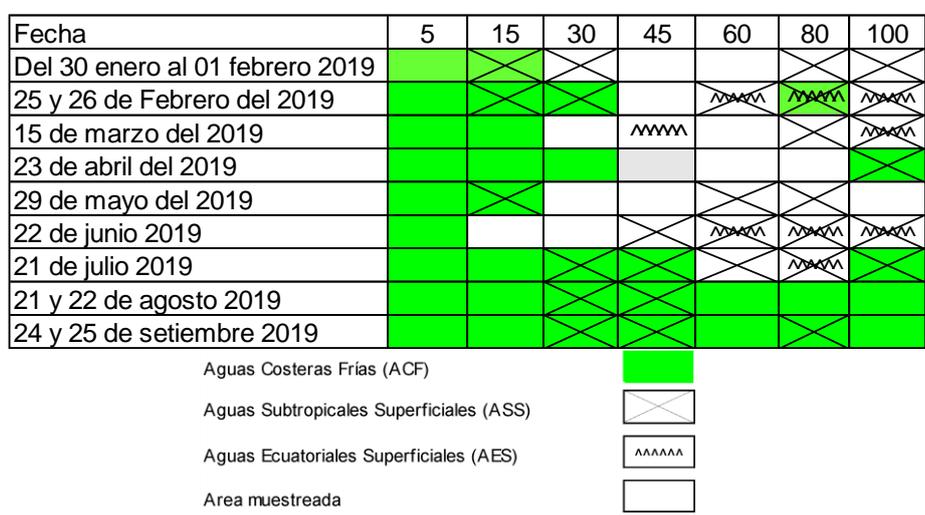


Figura 41. Distribución de Indicadores biológicos de zooplancton en la sección Chicama 1909.

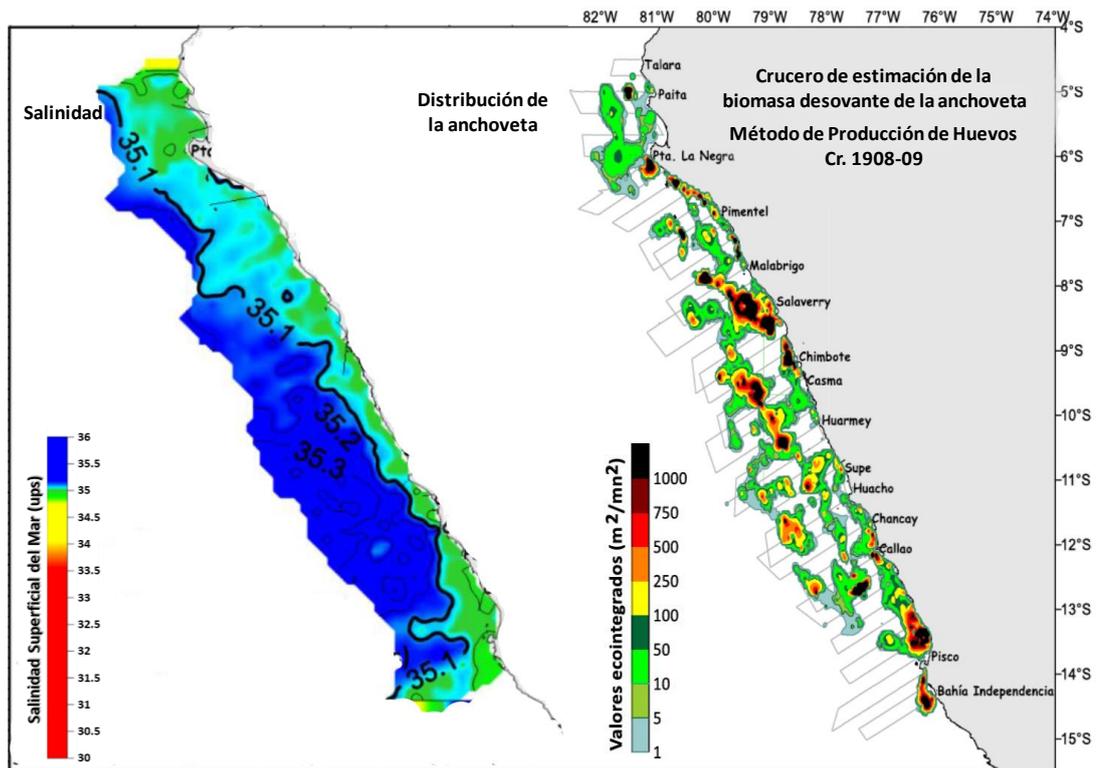


Figura 42. Distribución de la salinidad y anchoveta durante el Crucero de estimación de la biomasa desovante de la anchoveta mediante el Método de Producción de Huevos (Cr. 1908-09) Fuente: LBR/AFIRNP/DGIRP/IMARPE.

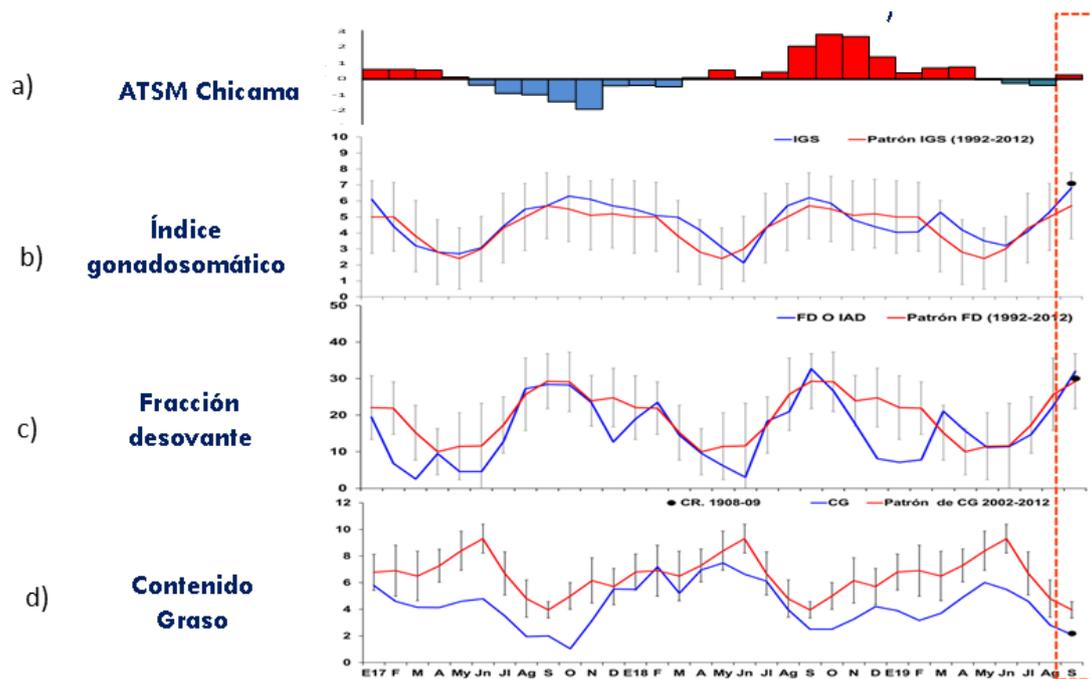


Figura 43. a) Anomalía de la TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) de Chicama. Indicadores reproductivos, b) Índice Gonadosomático (IGS), c) Fracción Desovante (FD) y d) contenido graso del stock norte – centro de anchoveta. Serie mensual: enero 2017 – setiembre 2019. Fuente: LBR/AFIRNP/DGIRP/IMARPE.

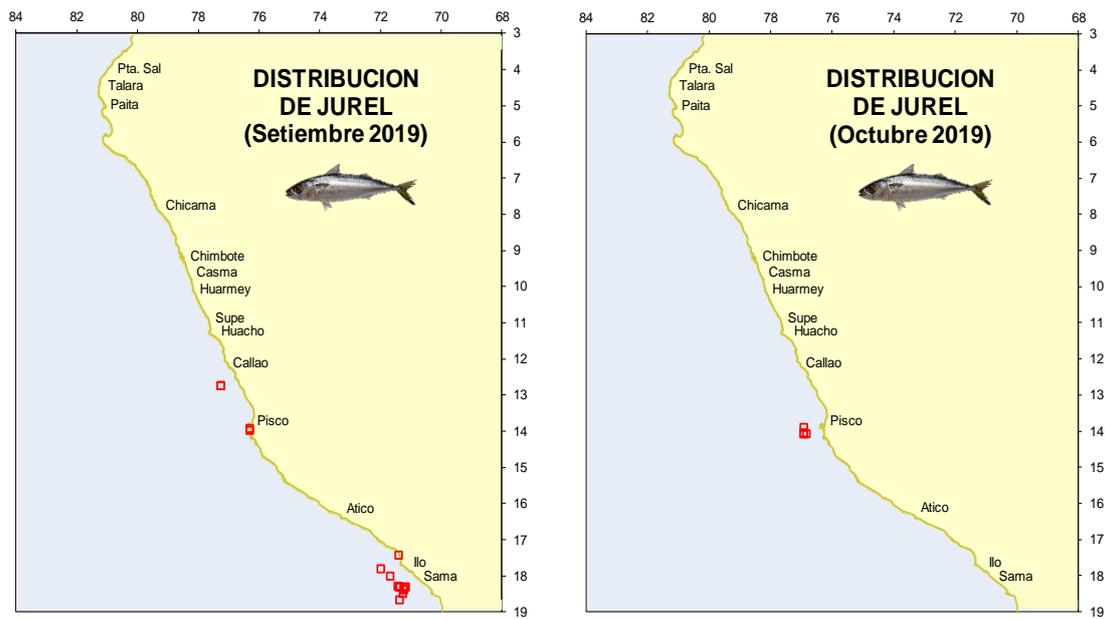


Figura 44. Distribución de pesca de Jurel durante setiembre y octubre 2019. Fuente: PBP/AFRTAM/DGIRP/IMARPE.

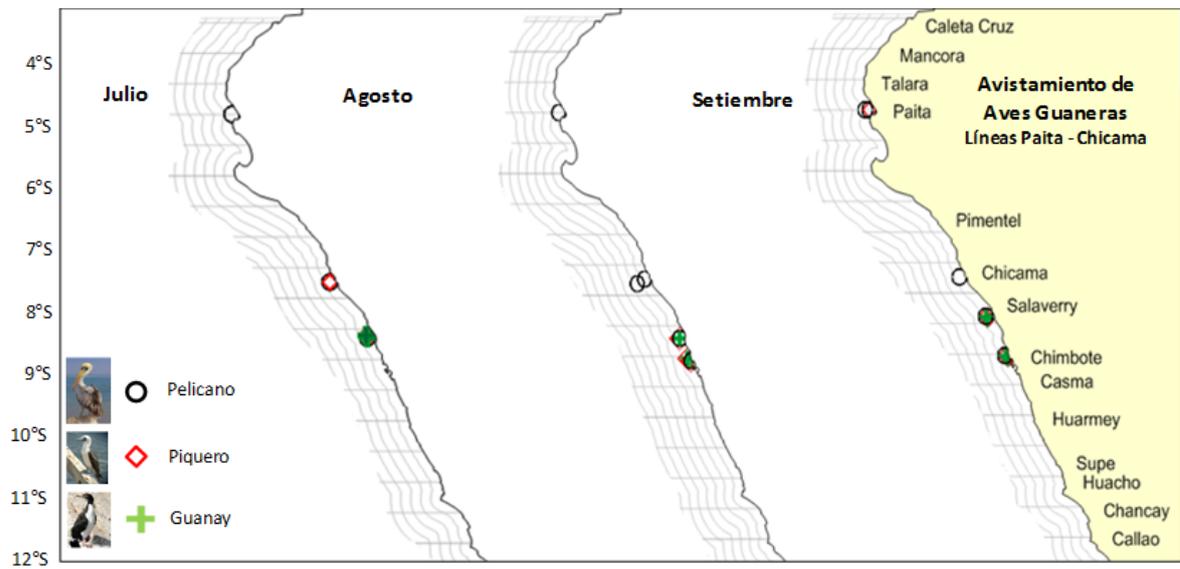


Figura 45. Distribución espacial de aves guaneras según meses durante la Operación Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Paíta – Chicama.

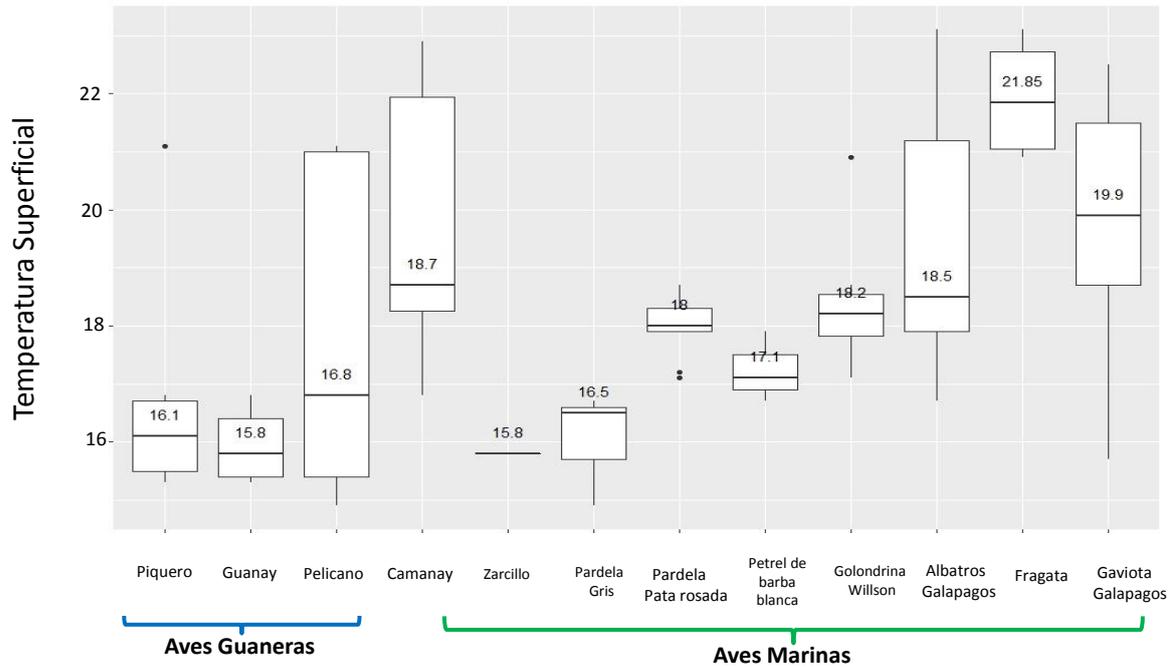


Figura 46. Presencia de las aves marinas en relación con la temperatura superficial del mar (TSM) durante la Operación Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Paíta – Chicama del 24 – 28 Setiembre 2019.

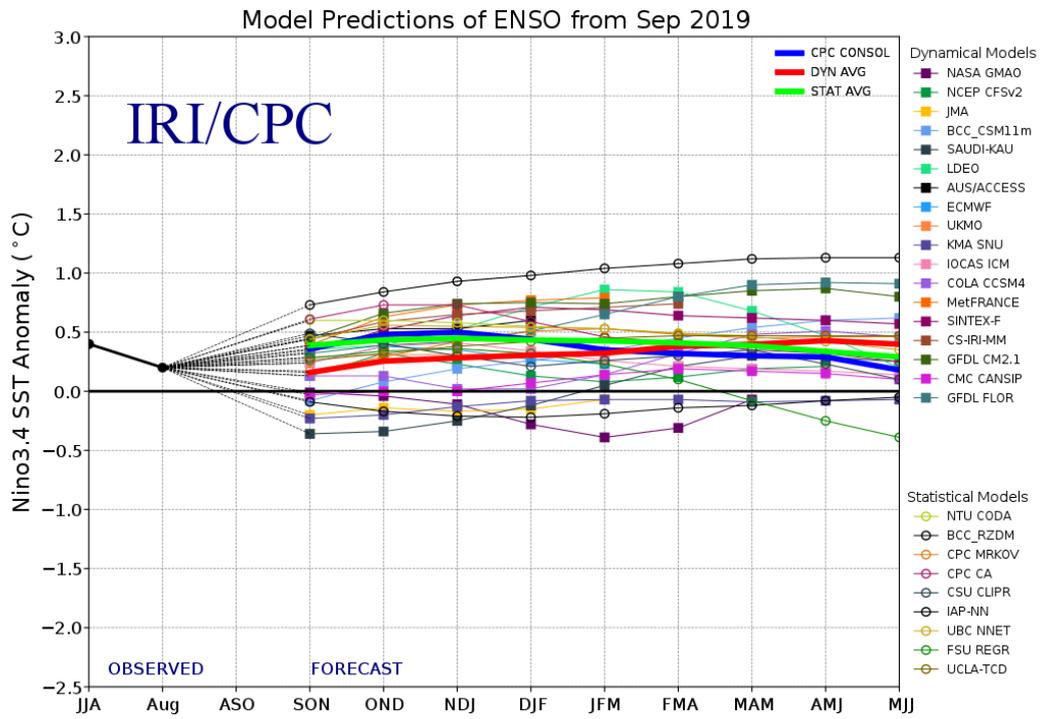


Figura 47. Pronóstico del índice Niño 3.4 mediante modelos climáticos estadístico y dinámico. Fuente: IRI/CPC, setiembre 2019

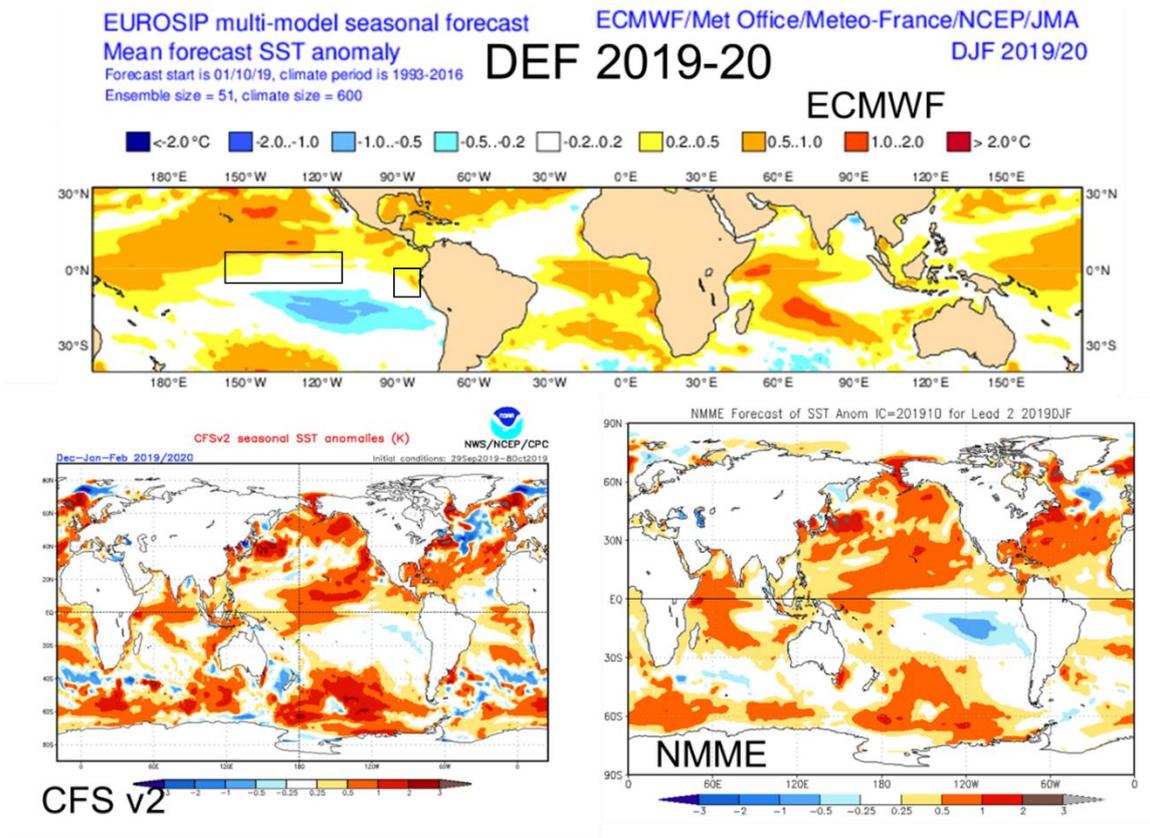


Figura 48. Pronóstico de la TSM para el trimestre DEF 2019 del modelo ECMWF, CFSv2, y NMME (condiciones iniciales: inicios de octubre 2019). Los recuadros indican la región El Niño 3.4 y 1+2. Fuente: IRI/CPC.

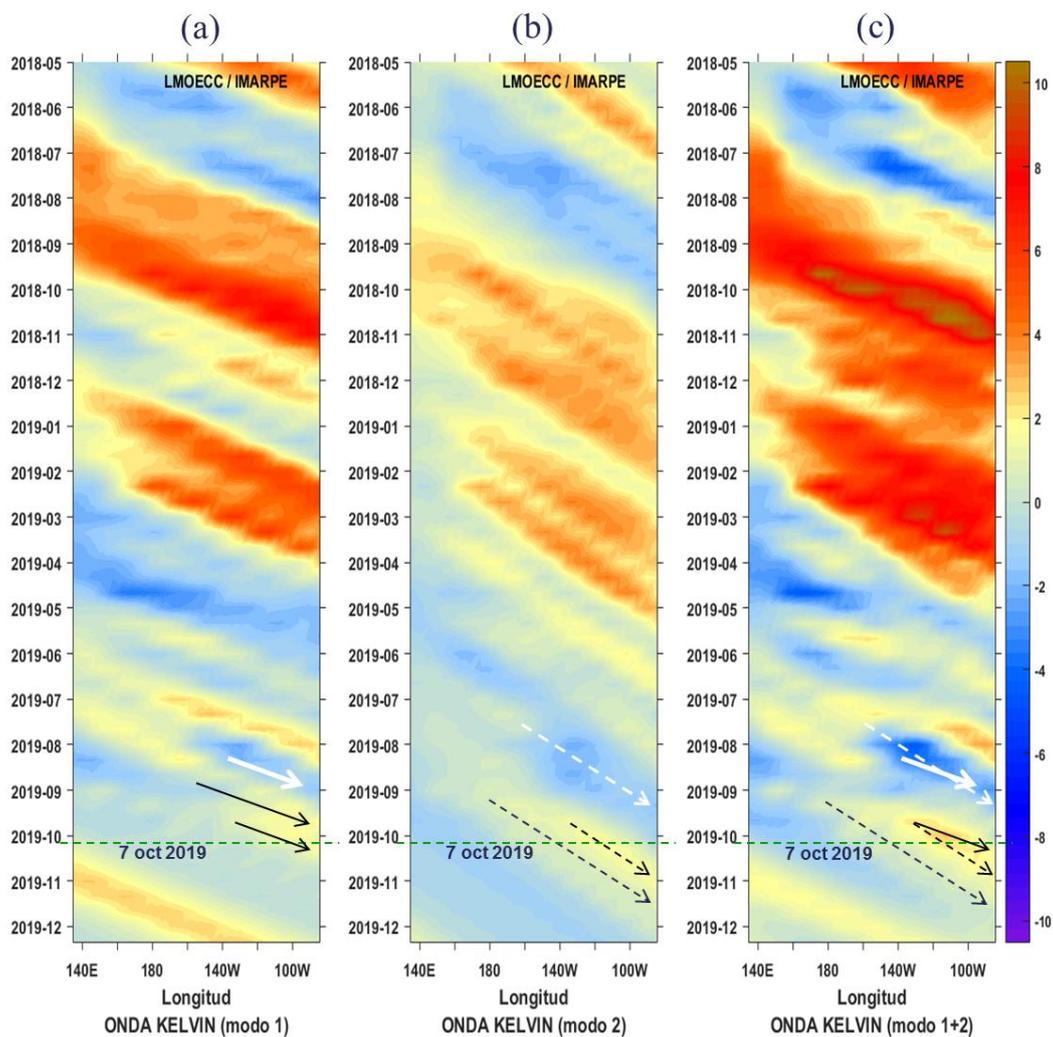


Figura 49. Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las ondas Kelvin en el océano Pacífico ecuatorial (0°N): (a) Modo 1, (b) Modo 2, (c) Modos 1+2. La línea discontinua horizontal, en verde, indica el inicio del pronóstico sin el forzante de vientos. Fuente: IMARPE, forzado con vientos de NCEP (Figuras a-c).

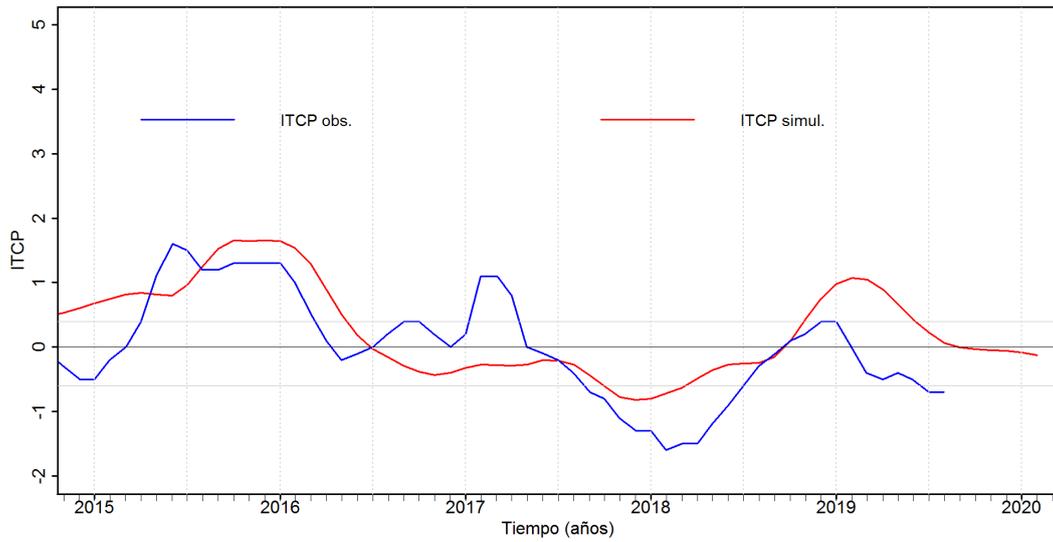


Figura 50. Pronóstico del ITCP mediante un modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia. Fuente: IMARPE.

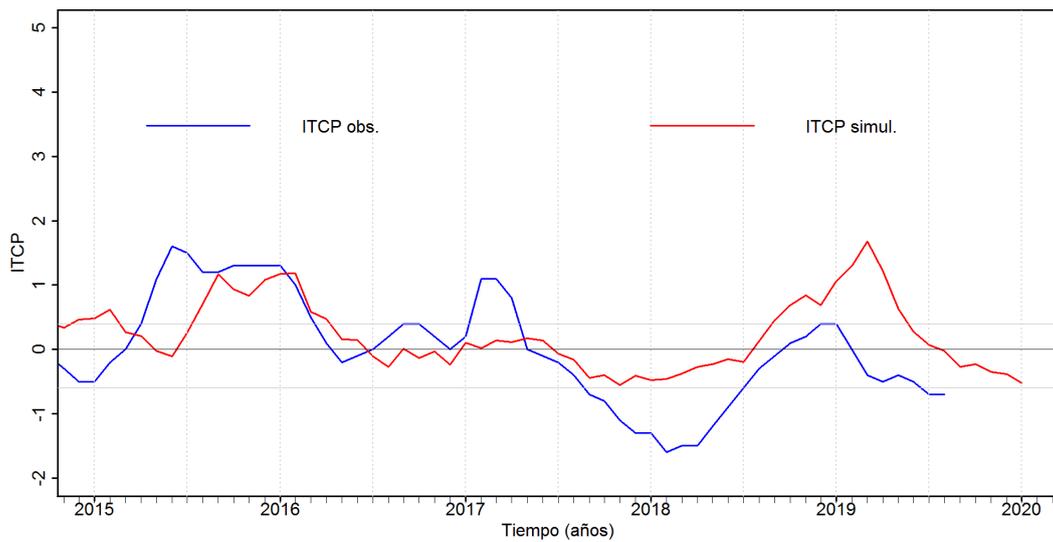


Figura 51. Pronóstico del ITCP mediante un modelo estadístico. Fuente: IMARPE.