



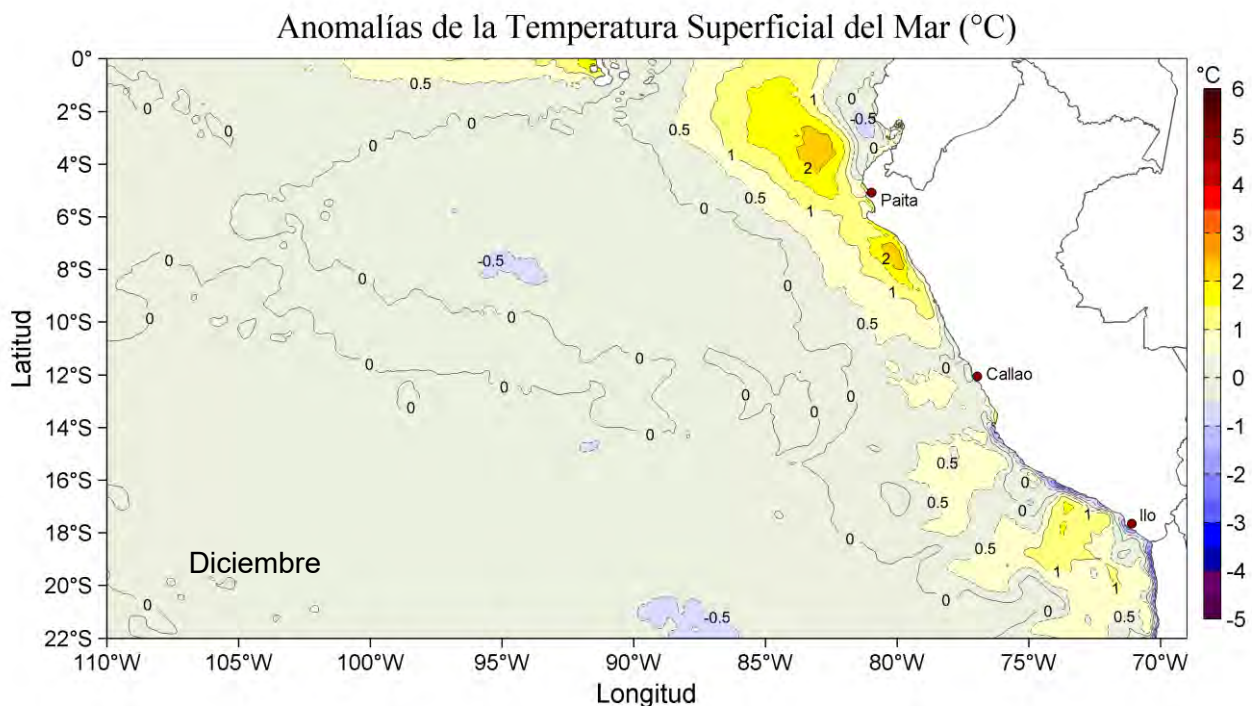
Programa Presupuestal por Resultados N°068

“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 DICIEMBRE 2019



Diciembre. 2019

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

GRUPO DE TRABAJO INSTITUCIONAL EL NIÑO

Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico Pesqueras diciembre 2019

1. CONDICIONES FÍSICAS EN EL PACÍFICO ECUATORIAL Y SUDORIENTAL

1.1. Aspectos Meteorológicos

1.1.1. Distribución del campo de presión a nivel del mar

Se analizó el campo promedio de la presión atmosférica a nivel del mar usando datos del reanálisis NCEP/NOAA. En el Pacífico Sudoriental, se observó que el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó en promedio para diciembre 2019 un núcleo centrado en los 90°W, 32,5°S con una intensidad de ~1023 hPa, encontrándose desplazado al este de su posición normal, con una intensidad mayor que su valor climatológico en +0.9 hPa. Asimismo, se observó la presencia de un núcleo de alta presión alrededor de los 150°W, 40°S (Figura 1 y 2a). El campo de anomalías de presión mensual muestra núcleos de anomalías positivas de presión de +1 hPa en el Pacífico ecuatorial occidental y central, mientras que a latitudes extra-tropicales se observan anomalías positivas entre +1 hPa y +9 hPa y anomalías negativas entre -1 hPa y -6 hPa. Frente a la costa peruana se presentaron condiciones climatológicas de la presión a nivel del mar (Figura 2b).

Los índices de intensidad (IAPS) y posición (ILAT, ILON) del APS, basados en la media móvil trimestral de las anomalías de la presión atmosférica máxima a nivel del mar y su correspondiente posición longitudinal y latitudinal, presentaron valores de -0,1 hPa, +7,7° y +1,9° respectivamente, para el trimestre OND 2019, indicando una intensidad normal del APS (Figura 3a) y un núcleo desplazado al noreste de su posición climatológica. El valor mensual de la anomalía de la presión máxima en diciembre 2019 fue de +0,9 hPa, mientras que los valores mensuales de los desplazamientos longitudinal y latitudinal del APS fueron de +10,0° y +1,3° respectivamente (Figuras 3b y c).

1.1.2. Radiación de onda larga y Vientos 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 los 140°W. Al sur de la línea Ecuatorial aproximadamente entre 170°W y 120°W se observaron anomalías positivas que indican una zona de subsidencia, mientras que al oeste de la línea de cambio de fecha se observó anomalías negativas relacionadas a la convección (Figura 4). 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⁻¹ a 7,0 m s⁻¹ en el área comprendida entre 170° W y 100° W. En la región entre 160° W hasta los 90° W la velocidad zonal presentó ligeras anomalías del oeste entre 1 m s⁻¹ y 2 m s⁻¹, mientras que, al oeste de los 170° W, se presentaron anomalías del oeste con valores superiores a 4,0 m s⁻¹ (Figura 5).

1.2. Aspectos oceanográficos

1.2.1. Condiciones Térmicas superficiales

En el Pacífico Ecuatorial Oriental, se observaron condiciones cálidas desde la segunda quincena de noviembre. Frente a Ecuador y norte de Perú las anomalías térmicas

positivas alcanzaron su mayor magnitud entre la última semana de noviembre y primera semana de diciembre. Durante la primera quincena de diciembre se notó una mayor expansión del área con anomalías térmicas positivas (+2,0 °C), llegando a cubrir una gran parte de la región Niño 1+2, mientras que, en la segunda quincena de diciembre las anomalías térmicas positivas empezaron a disiparse y disminuir en cobertura. En promedio, para diciembre, en el Pacífico Ecuatorial Oriental predominaron condiciones neutras con anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) de +1 °C ocupando una gran parte de la región Niño 1+2, mientras que frente al Golfo de Guayaquil se presentaron anomalías negativas débiles (Figura 6). La variación semanal de las anomalías de TSM en las regiones Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2, presentó una ligera tendencia decreciente, mientras que en la región Niño 4, se observó una tendencia creciente. El último valor semanal de diciembre en las regiones Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2 fue de: +1 °C, +0,4 °C, +0,2 °C y +0,3 °C respectivamente (Figura 7).

1.2.2. Temperatura en la columna de Agua

El contenido de calor en la capa superior sobre 300 m de profundidad en el Pacífico Ecuatorial entre 180°W y 100°W mantuvo una tendencia creciente durante diciembre y llegó a presentar una anomalía mensual de +0,35 °C (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>) (Figura 8). Esto estuvo asociado a anomalías térmicas positivas encima de los 200 m en el Pacífico Central, las que alcanzaron la mayor intensidad (+3,0 °C) alrededor de los 170°W, así como a anomalías positivas de +1,0 °C encima de los 70 m cerca del continente en el Pacífico Oriental (Figura 9).

2. CONDICIONES FRENTE A LA COSTA PERUANA

2.1. Aspectos meteorológicos

2.1.1. Velocidad del viento en la costa peruana

De acuerdo a información procedente del satélite ASCAT, el viento frente a la costa peruana desde la primera a la tercera semana fue predominantemente moderado. Del 01 al 20 de diciembre, prevalecieron vientos entre 4,1 m s⁻¹ a 6,8 m s⁻¹ entre Tumbes y San Juan de Marcona, mientras que, al sur de Juan de Marcona se presentaron vientos débiles (menores a 4,1 m s⁻¹). Las anomalías de la velocidad del viento (VV) fueron positivas (> +1,0 m s⁻¹) de Paita a Chimbote, mientras que entre Chimbote y Tacna la VV presentó una intensidad normal. Entre el 21 y 31 de diciembre del 2019, se presentaron vientos moderados a débiles (menores a 4,1 m s⁻¹, principalmente entre Paita y Lambayeque y al sur de San Juan de Marcona) (Figura 10). En este período la VV varió entre un rango normal y anomalías negativas a lo largo de toda la costa. En la zona oceánica se presentaron anomalías positivas (mayores a +1,0 m s⁻¹), principalmente entre el 16 y 25 de diciembre, entre los 15°S y 22°S (Figura 11). A lo largo de la franja costera dentro de los 100 km se presentaron vientos con velocidades entre 1,8 m s⁻¹ y 6,5 m s⁻¹, con vientos débiles principalmente entre Paita y Lambayeque y al sur de San Juan de Marcona (Figura 12). La VV presentó anomalías positivas (+ 1,0 m s⁻¹) entre los 7°S a 10°S, mientras que al norte de los 6°S y al sur de los 12°S presentó anomalías negativas a condiciones neutras (Figura 13).

El índice de afloramiento costero (IAC), estimado a partir del esfuerzo de viento, presentó valores menores a 100 m³ s⁻¹ 100m⁻¹ desde frente a Chicama hasta San Juan de Marcona, mientras que, al norte de los 6°S presentó valores mayores a 100 m³ s⁻¹ 100m⁻¹, principalmente entre el 9 y 16 de diciembre. En general se detectó una disminución en la intensidad del afloramiento costero durante el mes. Para la segunda quincena, al norte de Huacho el afloramiento fue intermitente, mientras que al sur de esta localidad habría cesado por completo (Figura 14).

2.2. Aspectos oceanográficos físicos

2.2.1. Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico tropical oriental presentó valores de temperatura entre 27 °C en el extremo norte de la Cuenca Pacífica Colombiana (CPC) y 17 °C (en la celda de afloramiento de Pisco-San Juan). El sector costero peruano se caracterizó por temperaturas menores de 20 °C alcanzando un mayor contraste al sur de Pisco debido al mayor enfriamiento frente a 15 °S y al acercamiento de aguas cálidas de 23 °C al sur de Atico (Figura 15 a). Frente a la costa norte y mar adentro en el sur fue notorio el incremento de la TSM. En términos de anomalías (Figura 15 b), la zona costera al sur de Pisco presentó enfriamiento mientras que en el sector de Huarmey a Paita ocurrió el mayor calentamiento del área evaluada que se extendió hacia el Noroeste. Mar adentro, frente a la costa sur peruana, el calentamiento fue de intensidad débil (+1 °C).

Las variaciones de la TSM a frecuencia pentadal (Figura 16) indicaron una configuración zonal de las isotermas superiores a 25 °C las cuales se desplazaron lentamente hacia el sur con un límite en la línea ecuatorial. Al sur, fue notoria la reconfiguración del campo térmico debido a dos factores: el desplazamiento hacia la costa de aguas de 21 y 22 °C entre Paita y Chimbote como de 22 y 23 °C frente a Ilo, más intenso que lo habitual, y el cambio estacional. Este último fue más notorio en la segunda quincena del mes cuando se desplazaron hacia el sur las isotermas de 21 °C a 24 °C. El sector costero, delimitado por la isoterma de 20 °C, fue disminuyendo en amplitud con el transcurrir del mes. La Figura 17 indica la presencia de condiciones levemente cálidas en la zona sur frente a Ilo que persistió durante el mes, así como de calentamiento moderado (2 °C) e intenso (3 °C) entre los 10 °S y el ecuador geográfico. El mayor calentamiento (+3 °C) del mar peruano ocurrió en las primeras dos pentadas (Figura 17 a, b), disminuyendo en cobertura en la segunda quincena, donde las amplias zonas cálidas se mantuvieron cuasi-estacionarias. En el resto del litoral las anomalías térmicas oscilaron, predominantemente, entre $\pm 0,5$ °C.

Las variaciones latitudinales de la TSM (Figura 18 a) en la franja de 60 mn adyacente a la costa indicaron que los cambios sustantivos en el sector norte-centro del mar peruano ocurrieron por el desplazamiento de las aguas con temperaturas de 20 °C y 21 °C. Este desplazamiento se inició desde mediados de noviembre y continuó, principalmente, hasta los primeros 10 días de diciembre ocasionando el incremento de la TSM en 1 °C y 2 °C, declinando en intensidad y cobertura el resto del mes. Los cambios en el sector sur de Perú y norte de Chile fueron propios del cambio estacional (Figura 18 b).

En el litoral, los valores promedio mensuales de la TSM y las anomalías térmicas para diciembre de 2019 en los muelles costeros de IMARPE (Tabla 1) variaron entre 26,8 °C (Tumbes) y 16,0 °C (Callao). Las estaciones de Paita a Chimbote presentaron calentamiento superior a 1,0 °C, siendo la estación Chicama la que presentó el mayor calentamiento (+2,5 °C), seguida de la estación Huanchaco (+2,4 °C). En las estaciones Tumbes y de Huacho al sur las anomalías de la TSM fluctuaron dentro del rango neutro. A escala diaria, el calentamiento del mar disminuyó paulatinamente durante diciembre, aunque con oscilaciones. Las anomalías extremas se localizaron en Chicama (+4,1 °C) y Pisco (-3,2 °C) (Figura 19).

Los índices climáticos basados en la TSM como el LABCOS (Quispe & Vásquez, 2015) y el Índice Térmico Costero Peruano (ITCP; Quispe-Ccalluari et al., 2016) continuaron presentando una tendencia positiva. En el primer caso (Figura 20), el valor preliminar de diciembre (+0,48 °C) estuvo precedido por los valores +0,32 °C (noviembre), +0,13 °C (octubre) y -0,05 °C (setiembre); mientras que el valor promedio mensual de las anomalías de TSM de los muelles del litoral se incrementaron a +0,32 °C en noviembre

y a +0,64 °C en diciembre. Los valores del índice LABCOS para noviembre y el valor preliminar de diciembre indican el desarrollo de condiciones térmicas cálidas de categoría débil en el litoral peruano. En el segundo caso, el ITCP (Figura 21) también presentó una tendencia a incremento en los últimos meses; los últimos valores estimados fueron -0,6 °C para setiembre, -0,5 °C para octubre, -0,2 °C para noviembre y 0,0 (valor preliminar de la primera componente principal) para diciembre 2019.

2.2.2. Salinidad superficial del mar

La salinidad superficial del mar (SSM) para el mes de diciembre según el producto Mercator Océan (<https://www.mercator-ocean.fr/>) se caracterizó por la intrusión de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) de baja salinidad (SSM < 34,8 ups) hacia la costa central, mientras que, las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) presentaron un mayor acercamiento entre San Juan de Marcona y Atico. Aguas propias del sector costero ocurrieron entre Huarmey y Pisco, así como al sur de 16 °S (Figura 22). Las ASS con valores halinos superiores a 35,1 ups se desplazaron hacia la costa, restringiendo la presencia de aguas de mezcla en el sector costero peruano como al sur de 20 °S.

Cabe mencionar que, si bien la información obtenida por el producto significa un aporte importante para analizar la distribución espacial de la SSM, debe ser tomada de forma referencial. Por ejemplo, si bien las variaciones cada 5 días del campo halino (Figura 23) indicaron que el desplazamiento de las AES continuó hasta Pisco al término del 21 de diciembre (Figura 24), las observaciones directas en cruceros, estaciones fijas, laboratorios costeros y en embarcaciones pesqueras indican que la presencia de las AES habría alcanzado como máximo hasta Casma (11 ° S) y no más al sur como refiere el producto Mercator Ocean (ver sección 2.2.4, Figura 40).

A nivel de microescala, la red de laboratorios costeros registró valores de salinidad promedio de 33,67 a 35,06 ups en Tumbes y Chicama, respectivamente (Tabla 2). Las AES continuaron observándose, aunque con menor intensidad en las estaciones en Paita y San José. El desplazamiento de AES hacia el sur fue observado en los muelles de los laboratorios costeros desde mediados de noviembre (Figura 25). Las demás estaciones costeras registraron valores propios de Aguas Costeras Frías (ACF), a excepción de Chimbote (34,56 ups) y Pisco (34,77 ups).

En el litoral, la Figura 26 indicó del avance de aguas cálidas de Paita a Chicama al término de la primera quincena de noviembre manteniéndose con un límite en 7 S durante diciembre. De esta latitud hacia el sur prevaleció la presencia de ACF con excepción de las localidades de Huanchaco, Huacho y Pisco que presentaron núcleos focalizados de aguas menos salinas de origen continental. El avance de las AES determinó la disminución del contenido de sales de hasta -0,5 ups (Figura 27).

2.2.3. Nivel del mar

En comparación a noviembre, este mes se observa una disminución de las anomalías del nivel del mar (ANM) al norte de Paita presentando ahora anomalías de hasta +12 cm, mientras que, hacia el sur predominaron anomalías entre +5 cm y +9 cm, presentando los menores valores entre San Juan de Marcona y en el límite sur del litoral (Figura 28).

A escala pentadal se observan tres escenarios característicos; el primero al norte de Paita que presenta las mayores ANM con valores que van disminuyendo progresivamente desde +15 cm durante la primera pentada (Figura 29 a) hasta valores de +10 cm en la última pentada del mes (Figura 29 f); el segundo escenario es el comprendido entre 5 °S y 15 °S donde predominaron valores casi normales en todo el periodo resaltando un núcleo de ANM de +10 cm frente a Chicama asociado a un vórtice

anticiclónico presente entre la quinta y sexta pentada (Figura 29 e, f). El tercer escenario se encuentra al sur de Punta San Juan donde predominan ANM de ± 5 cm asociadas a la presencia de vórtices con anomalías negativas (positivas) con una polaridad horaria (antihoraria), respectivamente (Figura 29).

En la franja de 60 mn (111 km) adyacente a la costa entre el ecuador geográfico y 22°S continuó el incremento de las ANM, donde el NM presentó incremento ($> +5$ cm) especialmente en el sector norte hasta Chicama siendo esta señal más significativa en los primeros diez días de diciembre con un valor máximo de +17 cm (extremo norte del litoral) disminuyendo progresivamente hasta +4 cm, valor registrado en $10,5^{\circ}\text{S}$ durante la última semana del mes. Resalta además la propagación de la onda Kelvin hacia la costa central hasta la tercera semana de diciembre, proceso que se distingue por la formación de núcleos con anomalías de +10 cm (Figura 30).

La redistribución de las ANM asociadas a la propagación de la onda Kelvin cálida favoreció la generación de flujos superficiales hacia el sur paralelos a la costa entre los 06°S y 10°S , hasta la tercera semana de diciembre (Figura 29), los cuales habrían causado la advección de las AES descrita en la sección anterior.

La variación temporal de las ANM para tres áreas promedio localizadas en $0,125^{\circ}\text{S}$ y $90,125^{\circ}\text{W}$ (próxima a las islas Galápagos), entre 5°S y 14°S y entre 14°S y 18°S para una banda promedio de 60 mn adyacente al litoral peruano de acuerdo al producto CMEMS v3.0 indicaron una tendencia a la disminución de las ANM al este de las islas Galápagos en los primeros 10 días de diciembre, asociada al paso de la onda Kelvin cálida. A lo largo de la costa peruana la misma tendencia fue detectada hasta la quincena de diciembre, para luego mantener valores dentro del rango de +5 cm a +10 cm, mientras que al este de las islas Galápagos las ANM se incrementaron ligeramente presentando picos de +10 y +12 cm durante la tercera y cuarta semana, respectivamente (Figura 31).

Por otro lado, las estructuras de mesoescala se evaluaron con información de altimetría satelital para una región comprendida entre 70 y 84°W y 3 y 18°S aplicando un algoritmo híbrido de identificación (Halo et al., 2014). La Figura 32 a indica que, en promedio, se continuaron detectando entre 4 y 8 remolinos por día, manteniéndose la formación de remolinos del tipo anticiclónico sobre los ciclónicos con un 62 %, es decir, prevaleciendo estructuras convergentes sobre las estructuras divergentes. El radio de estas estructuras fue de 60 km, en promedio, valor por debajo de lo observado en los meses anteriores (Figura 32 b). La energía cinética promedio de los remolinos detectados (Figura 32 c) osciló entre 40 y $75\text{ cm}^2.\text{s}^{-2}$, valores comparativamente atenuados con respecto a los meses anteriores. Los remolinos más próximos a la zona costera se localizaron entre Huanchaco (8°S) y Chimbote (radio de 80 km) y fueron del tipo anticiclónico principalmente, mientras que, al sur de Callao se registraron remolinos del tipo ciclónico, pero de menor tamaño (50 km) y dentro de las 60 mn (Figuras 32 b, c).

2.2.4. Secciones oceanográficas

En el mes de diciembre se dio cumplimiento a la ejecución de las secciones Paita (Figura 33) y Chicama (Figura 35) los días 19-20 y 17-18 de diciembre, respectivamente.

La **sección Paita** (Figura 34) evidenció el calentamiento e intromisión de AES anómalas en diciembre 2019. Las AES se presentaron desde setiembre del 2019 con valores que variaron de 33,719 ups (a 60 mn, en setiembre) a 34,753 ups (a 11 mn en diciembre), evidenciando acercamiento del oeste al este.

Asimismo, presentó una termoclina moderada (8 isotermas de 15°C a 22°C) presentando un mayor gradiente entre las 60 y 100 mn sobre los 100 m de profundidad.

Dentro de las 40 mn las isotermas de 18°C a 20° C se aproximaron a la superficie. La isoterma de 15° C se ubicó en promedio a los 100 m de profundidad. Las anomalías térmicas (Figura 33 d) en la capa de 0 m a 100 m mostró condiciones normales dentro de las 40-50 mn; en cambio, de las 50 mn a las 100 mn, predominaron condiciones oceanográficas cálidas con anomalías de hasta +2 °C. La columna halina (Figura 33 b) presentó AES con salinidades de 34,5 ups a 34,7 ups en los 50 m superiores en el sector costero y por debajo de esta capa se ubicaron las ACF. La presencia de las AES fue inusual para el mes, reflejándose en anomalías halinas negativas (-0,1 a -0,3 ups). Debajo de los 50 m el escenario halino fue propio del período estacional. Las corrientes marinas próximas a la costa mostraron flujos al norte con velocidades de 10 a 20 cm s⁻¹ y estuvieron asociados a la Corriente Costera Peruana (CCP). De las 70 a las 100 mn también se presentaron flujos al norte relacionados a la Corriente Oceánica Peruana (COP) con velocidades de 10 a 20 cm s⁻¹. En sub-superficie, entre las 40 mn y 70 mn, se detectaron flujos al sur con velocidades de 10 cm s⁻¹, asociados posiblemente a la extensión sur de la Corriente de Cromwell, ESCC (Figura 33 f).

La TSM en la **sección Chicama** (Figura 35) varió entre 20 y 21 °C con anomalías de +1 a +2 °C. Estas condiciones cálidas se asociaron a la presencia de aguas de mezcla entre las AES y ACF, disminuyendo la concentración de sales de -0,1 a -0,4 ups en las primeras 60 mn, mientras que de las 60 a 100 mn no se presentaron variaciones por la ocurrencia de procesos de mezcla (Figura 36). El escenario cálido presente en diciembre y también en noviembre estuvo precedido por condiciones frías de agosto a octubre.

En subsuperficie, la capa de 0 a 100 m exhibió valores de temperatura de 15 °C a 22 °C. La isoterma de 15 °C presentó su tope superior a 60 mn (150 m) y a 150 m cerca de la plataforma costera. Debido al avance de temperaturas de 21 a 22 °C se profundizó la termoclina compuesta por 7 isotermas (15 °C - 21 °C) entre 20 m y 70 m de profundidad. Las anomalías térmicas indicaron condiciones cálidas en la capa de 0 a 150 m con anomalías de +1 a +3 °C. Entre 20 y 50 mn, las anomalías alcanzaron valores de hasta +3°C. Los valores de salinidad fueron propios de las ACF entre 0 y 7 mn, seguidos de las AES que se ubicaron entre 20 y 60 m y de las ASS que ocurrieron de 70 a 100 mn. También se apreciaron Aguas de Mezcla por la interacción de las AES, ASS y ACF. Los flujos geostróficos mostraron entre 0 y 10 mn flujos al norte asociados a la CCP, mientras que de las 40 a 70 mn se presentaron flujos de dirección norte a sur hasta los 200 m de profundidad, con velocidades de hasta 30 cm s⁻¹ en la capa superficial.

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 en el marco del PPR-068 mostró que en el último mes para Paita la temperatura (Figura 37) varió entre 16 °C y 20 °C, en Chicama entre 15 °C y 21 °C, en Callao entre 14 °C y 18 °C, en Atico sobre los 14 °C y 16 °C y en Ilo entre 14 °C y 19 °C. La estación fija Paita evidenció un ascenso de las isotermas a fines del mes; mientras que Chicama mostró una profundización de las isotermas durante la primera semana de diciembre, siendo este proceso más notorio frente a Callao durante todo el mes. En Atico e Ilo también se observó una ligera profundización de las isotermas a finales del mes. En Paita y Chicama se detectaron anomalías térmicas positivas, con valores de hasta +2,0 °C (Paita) y +3,0 °C (Chicama), localizados sobre 55 y 18 m de profundidad, respectivamente, alcanzando sus máximos en la primera quincena de diciembre, asociados al arribo de la onda Kelvin cálida a fines de noviembre y cuyos efectos sobre la temperatura continuaron durante la primera quincena de diciembre. Sin embargo, hacia finales del mes en Paita se observó condiciones térmicas normales. Por otro lado, en Callao las condiciones térmicas en la columna de agua mostraron una transición de condiciones ligeramente frías (-0,5 °C) a condiciones normales (Figura 38).

En Paita, los registros de salinidad y temperatura evidenciaron la presencia de AES sobre los 95 m durante la primera quincena del mes. Posteriormente, hacia finales del mes, se observó un mayor predominio de ACF. En Chicama se observó un predominio de aguas mezcla, posiblemente entre AES y ASS. En Callao se observó una transición de ACF a aguas de mezcla (ACF-ASS), mientras que en Atico e Ilo el predominio de ACF (Figura 39).

2.2.6. Otras observaciones

El IMARPE ejecutó el Crucero de Investigación del Calamar Gigante (*Dosidicus Gigas*) – Cr. 1911-12 del 18 de noviembre al 22 de diciembre 2019 (IMARPE, 2019). En diciembre fue evaluado el sector al sur de Punta La Negra por los buques científicos BIC Humboldt y BIC Olaya. Los resultados del crucero confirmaron las observaciones instrumentales de monitoreos de menor escala espacial, específicamente, la presencia de calentamiento débil en gran parte del mar peruano por la presencia de ASS en el sector oceánico. Además, en este crucero pudo detectarse la proyección de las AES desde el norte, acuñándose a la costa hacia el sur, generando anomalías negativas de SSM hasta frente a Chimbote (9° S), inclusive, debido a la mezcla con las ASS (Figura 40 a, b).

Finalmente, resultados preliminares de secciones oceanográficas realizadas a partir de 20 y 15 mn frente a Chicama (30.11.2019) y Casma (02.12.2019) por la empresa Copeinca indicarían que a inicios de diciembre ocurrió el máximo desplazamiento hacia el sur de las AES cuando se localizaron frente a Casma ($9^{\circ} 30' S$).

2.3. Aspectos biogeoquímicos y de productividad

2.3.1. Oxígeno

En la sección Paita las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de alrededor de $1,0 \text{ mL L}^{-1}$ fluctuaron entre los 60 m a 100 m de profundidad y el límite superior de la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO, definida por la isolínea de $0,5 \text{ mL L}^{-1}$), entre los 175 m a 210 m (Figura 33 c). La distribución del OD en la transecta Chicama exhibió una profundización de la iso-oxígena de $0,5 \text{ mL L}^{-1}$ cerca de la costa, llegando hasta los 150 m dentro de las 40 mn; mientras que, fuera de las 60 mn se ubicó a los 60 m (Figura 35 c). En los últimos meses, la iso-oxígena de $1,0 \text{ mL L}^{-1}$ mostró una profundización, ubicándose en Paita alrededor de los 90 – 110 m dentro de las 100 mn durante fines de noviembre y todo diciembre (Figura 34 e); mientras que, dentro de las 40 mn, en Chicama se profundizó recién a mediados del mes ($\sim 70 \text{ m}$), respecto a fines de noviembre e inicios de diciembre ($\sim 40 \text{ m}$) (Figura 36 e).

En la estación Fija Paita también se evidenció la profundización de la iso-oxígena de $2,0 \text{ mL L}^{-1}$ desde los 10 m a mediados de noviembre, hasta los 90 m de profundidad a finales de diciembre 2019, observándose esta señal más intensa que en la transecta. Situación similar ocurrió para el Punto Fijo Chicama, donde el límite superior de la ZMO en noviembre 2019 se registró a los 20 m y a fines de diciembre 2019 se ubicó alrededor de los 100 m de profundidad (Figuras 41 a y b). La mayor oxigenación en la columna de agua y profundización de la ZMO en Paita y Chicama, estaría asociada al arribo de una onda Kelvin cálida en diciembre.

En Callao, Atico e Ilo las iso-oxígenas mostraron un comportamiento similar a noviembre. El límite superior de la ZMO se registró a 20 - 70 m en Callao, a 95-100 m en Atico y a 30 - 40 m en Ilo durante el mes, en promedio (Figuras 41 c-e).

2.3.2. Fertilidad

En diciembre 2019 la fertilidad del mar en la sección Paita, mostró concentraciones propias de aguas de surgencia dentro de las 40 mn, que alcanzaron la superficie del mar con valores entre 1,0 μM a 1,5 μM de fosfatos y de 10,0 μM a 15,0 μM tanto para silicatos como para nitratos. Las aguas pobres en nutrientes se registraron desde las 80 mn frente a costa, con fosfatos de 0,5 μM y 5,0 μM para silicatos y nitratos (Figura 42 a). Los nutrientes en la sección Chicama, sobre la capa de mezcla, presentaron concentraciones bajas, registrándose concentraciones de fosfatos entre 0,5 μM a 1,0 μM y concentraciones de silicatos y nitratos alrededor de 5,0 μM en ambos casos (Figura 42 b). Estas concentraciones estuvieron asociadas a la presencia de AES y ASS.

En las estaciones fijas, los nitratos frente a Paita y a Chicama presentaron una disminución de sus concentraciones encima de los 40 m de profundidad, mientras que debajo de los 40 m en Chicama se observó la superficialización de la isóclina de 15 μM de 100 m a 40 m entre inicios y fin de mes. En Callao e Ilo, las concentraciones presentaron un aumento respecto al mes anterior, observándose un núcleo de 15 μM entre los 20 m a 50 m en Callao durante el mes, y concentraciones entre 10 μM a 15 μM en Ilo, de los 20 m a 100 m durante todo el mes (Figura 43). En cuanto a los silicatos, en Paita, Chicama, Callao e Ilo se apreció la tendencia al descenso de sus concentraciones; sin embargo, estas menores concentraciones de silicatos se incrementaron en Chicama y Callao, destacando los núcleos de 5,0 μM (Figura 44). Los fosfatos también presentaron una disminución de sus concentraciones en Paita y Chicama durante diciembre, respecto a noviembre, llegándose a observar concentraciones menores a 1 μM en toda la columna de agua hacia fines de diciembre, frente a Chicama. En Callao se mantuvieron las concentraciones, respecto al mes anterior (entre 2 μM a 3 μM). En Ilo las concentraciones fluctuaron entre 1,5 μM a 2 μM durante el mes en toda la columna de agua (Figura 45).

En conjunto, la disminución de los nutrientes en la columna de agua, particularmente en Paita y Chicama, estuvo asociada al arribo de la onda Kelvin cálida entre noviembre y diciembre, que habría ocasionado la profundización de la nutriclina.

2.3.3. Productividad

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/), mostró que entre los 4 °S a 6 °S (dentro de las 60 mn) predominaron valores de 1 $\mu\text{g L}^{-1}$ a 3 $\mu\text{g L}^{-1}$; mientras que, al sur de Chimbote hasta Pisco predominaron valores mayores a 10 $\mu\text{g L}^{-1}$, en una franja costera que fue ampliándose de norte a sur (de ~20 mn a 60 mn) (Figura 46 a). En términos de anomalía, entre San José y Chimbote, entre las 10 mn a 80 mn, se presentaron anomalías negativas entre -1 $\mu\text{g L}^{-1}$ y -3,5 $\mu\text{g L}^{-1}$; sin embargo, entre San José y los 10 °S predominaron anomalías positivas (de +1 $\mu\text{g L}^{-1}$ a +10 $\mu\text{g L}^{-1}$) dentro de las 10 mn, las cuales se extendieron hasta las 60 mn al sur de los 10 °S (Figura 46 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°S a 16°S, se presentaron anomalías negativas en la primera y en la última semana del mes (~-1,5 $\mu\text{g L}^{-1}$); sin embargo, entre la segunda y tercera semana predominaron anomalías positivas (+2,5 $\mu\text{g L}^{-1}$) (Figura 46 d). Latitudinalmente, en la franja costera predominaron anomalías positivas al sur de los 8°S durante el mes (+2,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ a +6,0 $\mu\text{g L}^{-1}$); mientras que, entre los 6°S y 8°S se presentaron anomalías negativas entre -1,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ y -2 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Figura 46 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 50 %, de Paita a Chimbote y de Pisco a Ilo, dentro de las 40 mn, siendo esto menor a lo observado durante noviembre. Frente a Huacho y Callao el porcentaje de nubosidad fue de 80 %, dentro de las 40 mn (Figura 46 c).

Las anomalías negativas al norte de los 8°S, que se acentuaron durante la segunda quincena del mes, estarían relacionadas al paso de la onda Kelvin cálida que habría profundizado la nutricina. Además, la limitación por luz, evidenciada por una nubosidad mayor al 50% en esa región, podría también haber influenciado en la presencia de una baja productividad.

3. INDICADORES ECOLÓGICOS Y BIOLÓGICO-PESQUEROS

3.1. Condiciones biológico – pesqueras de los recursos pelágicos

3.1.1. Anchoqueta

3.1.1.1. Distribución, capturas, tallas

La segunda temporada de pesca 2019 de anchoqueta en la región Norte-Centro del litoral peruano, alcanzó un desembarque aproximado de 825 mil toneladas (t) durante el mes de diciembre, registrándose dos áreas importantes de pesca, la principal entre Huarney (10 °S) a Pucusana (12 °S) y una segunda entre Mórrope (6°S) a Pacasmayo (07°S), dentro de las 40 mn de la costa (Figura 47). A nivel vertical, se evidenció una ligera profundización de los cardúmenes de anchoqueta frente a Chicama (07 °S) (Figura 48), posiblemente debido al calentamiento y profundización de la estructura térmica, producto del vórtice observado en esta zona. Debido a la alta presencia de juveniles, desde el 21 de diciembre se suspendieron las actividades extractivas de anchoqueta dentro de las 30 mn de costa entre los 8,0 °S y 15,0 °S.

La estructura de tallas del recurso, a lo largo del litoral fue principalmente juvenil, con modas en la región norte entre 9,0 cm y 10,0 cm de longitud total (LT) y en la región centro con modas entre 11,5 cm a 12,0 cm de LT. Solo en el área frente a Paita (5 °S) se presentó un núcleo de solo adultos con moda en 14,5 cm LT.

3.1.1.2. Indicadores reproductivos y somáticos

Los índices reproductivos de la anchoqueta del stock norte-centro, en el mes de diciembre, mostraron la disminución en la actividad desovante de acuerdo al patrón histórico (Figura 49).

3.1.2. Jurel y Caballa

La pesca dirigida a los recursos jurel y caballa culminó en octubre 2019. La captura de los recursos en diciembre corresponde a la pesca dirigida a anchoqueta, en la cual el jurel y caballa formaron parte de la pesca incidental.

El jurel presentó una amplia distribución latitudinal, desde Salaverry (8°S) hasta Morro Sama (18°S) y de la costa hasta las 30 mn al sur del Callao (12°S). La caballa fue capturada en tres (3) áreas, entre Pimentel (6°S) y Chicama (7°S), entre Chimbote (9°S) y Chancay (11°S) y en el sur, entre Ilo (17°S) y Morro Sama (18°S), zonas de condiciones de anomalías térmicas entre 0,0 °C a +1,0 °C (Figura 50).

3.2. Condiciones biológico – pesqueras de los recursos demersales y litorales

3.2.1. Merluza

En cuanto a la distribución espacial de la flota pesquera de la merluza, se observó que durante diciembre 2019 hubo un repliegue en la zona sur de las capturas reportadas, respecto a los dos meses anteriores, llegando a registrarse en su mayoría solo hasta el grado 6°S.

En cuanto a las tallas, se observó un mayor número de individuos mayores a 28 cm, lo que representó un aumento respecto a los meses anteriores.

3.2.2. Invertebrados

Respecto al calamar gigante, durante diciembre 2019 mostró una disminución en sus volúmenes desembarcados en relación a lo registrado en el mes anterior y al mismo periodo del año 2018. Por otro lado, la concha de abanico experimentó un ligero incremento en sus desembarques en comparación al mes anterior. El pulpo mostró un incremento de sus desembarques en relación al mes anterior y una disminución respecto a lo registrado en diciembre 2018. Finalmente, el calamar común presentó una disminución de sus desembarques, en relación al mes anterior y un incremento con lo registrado en el mismo periodo de 2018.

3.2.3. Otros recursos

En la zona norte, en Tumbes, se observó que el principal recurso desembarcado fue falso volador (38%) el cual presentó una tendencia creciente, respecto al mes anterior. En Piura, la concha de abanico registro volúmenes altos también (41%), seguido de pota (18%), los cuales descendieron considerablemente en relación al mes de noviembre. En Lambayeque, la cachema (38%) y la lisa (29%) presentaron las mayores descargas, en las que se observó una tendencia creciente durante diciembre. En La Libertad, la lisa (53%) y el bonito (19%) presentaron los mayores volúmenes de desembarque, los cuales mostraron una tendencia positiva respecto al mes anterior.

Por otro lado, en la zona región centro, Áncash registró mayoritariamente perico (42%), pota (17%) y lisa (6%) las cuales presentaron una tendencia creciente, respecto al mes anterior. En Lima, fueron la pota (28%), anchoveta (23%), perico (17%) y bonito (16%) los recursos que registraron los mayores volúmenes, evidenciando un incremento considerable en relación al mes de noviembre.

Finalmente, en la zona sur, Arequipa tuvo como principales especies desembarcadas perico (43%), pota (28%), ovas de volador (15%) y bonito (12%), de los cuales el perico y ovas de volador presentaron una tendencia creciente en relación al mes anterior, mientras que, la pota y bonito presentaron una tendencia decreciente. En Moquegua, el bonito fue el que registro los mayores volúmenes de descargas (69%), seguido de perico (24%), los cuales presentaron un importante incremento en este periodo respecto al mes de noviembre. En Tacna, fueron el bonito (90%) y el perico (9%) los recursos que presentaron los mayores desembarques, en los que se observa una tendencia negativa para bonito, y positiva para el perico.

3.3. Indicadores ecológicos

3.3.1. Indicadores de masas de agua en el plancton

3.3.1.1. Fitoplancton

Paita

Frente a Paita se determinó a *Ceratium breve var. parallelum*, especie indicadora de AE, entre las 16 mn y 100 mn de la costa, relacionada a una TSM con un rango de variación entre 19,4 °C y 22,9 °C (Figura 51).

El volumen de plancton fluctuó entre 0,2 mL m⁻³ (Est. 3) y 2,26 mL m⁻³ (Est. 1) asociados a TSM de 19,4 °C y 19,9 °C, respectivamente (Figura 52). El promedio mensual del volumen fue de 1,15 mL m⁻³. La comunidad de fitoplancton estuvo conformada por especies termófilas. Entre las diatomeas destacaron *Thalassiosira partheneia*, *Rhizosolenia castracanei*, *R. bergonii*, *Chaetoceros coarctatus*, *Planktoniella sol* y *Guinardia flaccida*. De los dinoflagelados termófilos se registró a *Tripos furca*, *T. massiensis*, *T. carriense var. volans*, *T. azoricus*, *Protoperidinium quarnerense*, *T. macroceros*, *T. seta* y *T. trichoceros*, entre otros. Todas estas especies obtuvieron abundancias relativas de categoría "Presente". En toda la sección la predominancia fue del zooplancton. De los dinoflagelados de distribución cosmopolita se determinaron a *Tripos dens*, *T. fusus*, *T. furca*, *Protoperidinium depressum* y *P. conicum*, con abundancias relativas de categoría "Presente".

Chicama

En la sección Chicama, se registró a *Protoperidinium obtusum*, especie indicadora de ACF, a 5 mn de la costa, relacionada a una TSM de 19,2 °C. Asimismo, *Tripos incisus*, especie indicadora de ASS, se distribuyó entre las 80 mn y 100 mn asociadas a TSM de 22,6 °C y 22,7 °C, respectivamente (Figura 53).

El volumen de plancton obtuvo un rango de variación entre 0,1 mL m⁻³ (Est. 7) y 7,42 mL m⁻³ (Est. 1), valores relacionados a una TSM de 19,6 °C y 22,7°C, respectivamente (Figura 54). El volumen promedio del mes fue de 1,16 mL m⁻³. El fitoplancton fue predominante a 5 mn sobresaliendo por su abundancia diatomeas (de afloramiento y neríticas) como *Chaetoceros compressus*, *Ch didymus*, *Ch. lorenzianus*, *Ch. curvisetus*, *Eucampia zodiacus* y *Guinardia delicatula* que obtuvieron abundancias relativas de categoría "Abundante".

3.3.1.2. Zooplancton

Paita

En esta sección se observó la prevalencia de indicadores de condiciones cálidas, mostrando un repliegue ligero de los indicadores de AES hacia fuera de la costa.

No se determinó ningún copépodo indicador de ACF, pero si se determinó la presencia de los copépodos *Centropages furcatus*, indicador de AES, a partir de las 40 mn mar afuera, así como a los copépodos *Ischnocalanus plumulosus* y *Acartia danae*, ambos asociados con ASS, pero con abundancias muy bajas; mientras que, las abundancias de *C. furcatus* estuvieron entre 2 ind 100m³ y 20 ind 100m³, incrementando su abundancia conforme se alejaban de la costa (Figura 55).

En esta sección, la presencia de estadios tempranos de desarrollo de anchoveta se evidenció solamente en la estación ubicada a las 5 mn de la costa. Los huevos tuvieron una abundancia de 331 huevos 100m³ y las larvas de 3 larvas 100m³.

Chicama

Comparando el comportamiento de los copépodos y los estadios tempranos de anchoveta, con los muestreos anteriores, se observó en la zona muy costera, la ausencia de indicadores de aguas cálidas; mientras que, a partir de las 30 millas, se observó aún la presencia de indicadores de ASS.

En la sección Chicama se determinó la presencia superficial del copépodo *Centropages brachiatus*, especie indicadora de ACF, distribuido tanto en la parte costera como oceánica, pero de manera discontinua y niveles con abundancias entre 2 Ind 100m³ y 57 Ind 100m³. El copépodo *Acartia danae*, indicador de ASS, se observó a las 30 millas y por fuera de las 80 mn de la costa, con abundancias entre 7 Ind 100m³ y 144 Ind 100m³, respectivamente. Asimismo, se determinó la presencia del copépodo *Centropages furcatus*, indicador de AES, a 60 mn y 100 mn de la costa con valores de 3 Ind 100m³ y 2 Ind 100m³, respectivamente (Figura 56).

Con relación al ictioplancton, se determinó huevos y larvas de anchoveta. Los huevos se localizaron a 5 mn con una abundancia de 44559 huevos 100m³; mientras que, las larvas tuvieron una mayor distribución observadas a 5 mn, 60 mn y 100 mn, pero con abundancias bajas de 38 larvas 100m³, 9 larvas 100m³ y 4 larvas 100m³, respectivamente.

3.3.2. Especies indicadoras en la actividad pesquera

Entre Huacho y Lima se presentaron algunas especies de aguas cálidas. Frente a Vegueta, Supe y Carquín, se registraron 12 ejemplares de la especie *Peprilus snyderi* “chiri lomo negro” con tallas que oscilaron entre los 13 cm y 19 cm LT y pesos entre los 19 g y 74 g, los cuales fueron capturados con red de cortina superficial y de fondo durante la pesca de lorna y lisa. Cabe resaltar que el límite sur de su distribución normalmente es el norte del Perú.

En Supe se registró un ejemplar de *Hemirhamphus saltator* “saltador” de 45 cm LT y 315,4 g, el cual fue capturado mediante el arte de cerco, durante la pesca de lorna, a 40 mn de la costa. El límite sur de la distribución normal de esta especie es la Isla Lobos de Afuera.

3.3.3. Depredadores superiores

3.3.3.1. Aves

La evaluación de dieta del ave guanera *Phalacrocorax bougainvillii* “guanay”, como indicador indirecto de la distribución de anchoveta, realizada desde la Isla Macabí (08°S) a Punta Coles (18°S), mostró un cambio en el comportamiento alimentario, de una mayor proporción de anchovetas adultas en octubre a una composición principalmente de anchoveta juvenil en diciembre, situación similar a la encontrada en la pesquería (Figura 57).

Por otro lado, como parte del monitoreo bio-oceanográfico, se realizaron avistamientos de aves marinas en las operaciones de monitoreo frente a la costa norte. La mayor abundancia de aves guaneras se registró dentro de las 15 mn de la costa entre Paita y Chimbote, zona con presencia de ACF y aguas de mezcla.

3.3.3.2. Tortugas y otros

Con respecto a la evaluación de la tortuga verde del Pacífico Este (*Chelonia mydas agassizii*) en el Estuario de Virrilá (05°50'S; 80°50'W), ubicado en Sechura (Piura), se registró una mayor captura por unidad de esfuerzo total (CPUE) (6,38 N° tortugas/hora red), respecto a agosto 2019 (5,84 N° tortugas/hora red). Adicionalmente, en diciembre 2019, las salinidades del estuario en la zona de captura fueron menores (37,3 ups) con respecto a agosto 2019 (22,5 ups), lo que nos indica el mayor ingreso de aguas de mar dentro del estuario y una poca conectividad con el río Piura. Esto indica el retraso de la temporada de lluvias en el estuario en diciembre 2019. Hay que recalcar que el Estuario de Virrilá se conecta a través de la laguna La Niña y la laguna de Ramón y Ñapique con la cuenca del bajo Piura.

3.3.4. Otros indicadores

3.3.4.2. Bentos

Durante diciembre 2019, las comunidades macrobentónicas exhibieron algunos cambios en los parámetros comunitarios respecto a meses anteriores. Frente a Callao, se observaron abundancias menores a 400 ind m⁻², biomásas menores a 0,1 g m⁻², ligeramente disminuidas respecto a noviembre, con las mismas especies características (*Paraprionospio pinnata* y *Magelona phyllisae*). Frente a Chicama, los incrementos fueron significativos, con valores entre 6260 Ind m⁻² y 14960 Ind m⁻² y entre 9 g m⁻² y 12 g m⁻², de las especies *Ampelisca araucana*, *M. phyllisae*, *P. pinnata* y *Cossura chilensis*. En Paita, la abundancia presentó valores entre 180 Ind m⁻² y 700 Ind m⁻² y biomásas entre 0,4 g m⁻² y 2,7 g m⁻², lo cual significó un descenso importante respecto a noviembre, reflejado también en el número de especies reportadas (Tabla 3)

El índice de diversidad de Shannon aumentó en Callao y Chicama pero no en Paita, donde disminuyó, mientras que el número de especies solo varió en Paita, disminuyendo respecto a noviembre (Tabla 3). La biomasa húmeda del bacteriobentos filamentosos observado en Callao y Chicama cayó significativamente con respecto a noviembre (nov. 30,9 g m⁻² y 4,6 g m⁻² respectivamente) (Figura 58).

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

4.1 Pronósticos a gran escala de las agencias internacionales

Entre noviembre e inicios de diciembre 2019, las anomalías de TSM en el Pacífico Ecuatorial Central mostraron valores positivos y persistieron alrededor del umbral de una condición El Niño débil. Sin embargo, los patrones de las variables atmosféricas permanecieron en condiciones neutras. La mayoría de los modelos dinámicos y estadísticos de predicción de ENOS (Niño 3.4) de las agencias internacionales (IRI, diciembre 2019) (Figura 59), pronostican que las anomalías de TSM en el Pacífico Ecuatorial Central estarán alrededor del umbral cálido durante enero y febrero 2020, pero posteriormente regresarán hacia las condiciones neutras durante el otoño austral 2020.

Espacialmente, para el trimestre FMA 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 menor cobertura de anomalías de TSM de +0,5°C para la región 3.4. Por otro lado, para la región 1+2 durante el trimestre FMA 2020, el modelo ECMWF pronostica anomalías de TSM serían alrededor de +0,5°C,

mientras que los modelos CFSv2 y NMME pronosticaron anomalías de TSM con valores entre 0°C y +0.3°C, lo que indicaría condiciones neutras frente a la costa peruana (Figura 60).

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, la onda Kelvin cálida (modo 1) generada como contribución conjunta de la reflexión de una onda Rossby y pulsos de vientos del oeste en el Pacífico Ecuatorial Occidental durante noviembre 2019, fue reforzada e incrementó su intensidad debido al debilitamiento de los alisios en el Pacífico Ecuatorial Central durante diciembre y llegará al extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en enero 2020.

Las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico Ecuatorial observadas entre noviembre y diciembre generó otra onda Kelvin cálida (modo 2) que llegaría al extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en febrero 2020 (Figura 61).

Por otro lado, a fines de diciembre 2019, debido a pulsos de vientos del oeste en el Pacífico Ecuatorial Occidental, dos nuevas ondas Kelvin cálidas (modo 1 y modo 2) fueron generadas y llegarían al extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en febrero 2020 (onda Kelvin cálida modo 1) y en marzo 2020 (onda Kelvin cálida modo 2).

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 una condición neutra entre enero y abril 2020 (Figuras 62 y 63).

5. CONCLUSIONES

- El núcleo del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se presentó ubicado al noreste de su posición normal con una intensidad mayor que su valor climatológico en 0,9 hPa. El campo de presión a nivel del mar frente a la costa peruana presentó condiciones climatológicas, mientras que en el Pacífico oriental subtropical presentó anomalías positivas entre +1 y +2 hPa. En cuanto a las condiciones térmicas, en el Pacífico Ecuatorial Oriental predominaron condiciones neutras, mientras que en la región Niño 1+2, las anomalías de TSM positivas empezaron a disiparse en la segunda quincena de diciembre dando lugar a la aparición de anomalías negativas cerca de la costa, lo cual estaría mostrando una fase enfriamiento hacia finales de mes. En la capa sub-superficial del Pacífico Ecuatorial (300 m), el contenido de calor se elevó ligeramente a un promedio mensual de +0.35 °C.
- El viento costero presentó velocidades variables con anomalías de vientos positivas (mayores a +1,0 m s⁻¹), entre el 01 y 20 de diciembre de Paita a Chimbote y anomalías no significativas entre Chimbote y Tacna. Entre el 21 y 30 de diciembre se presentaron velocidades normales y anomalías negativas a lo largo de toda la costa.
- En general se detectó una disminución en la intensidad del afloramiento costero durante el mes. Para la segunda quincena, al norte de Huacho el afloramiento fue intermitente, mientras que al sur de esta localidad habría cesado por completo.

- Frente a la costa peruana, el ambiente marino en superficie mostró un calentamiento que estuvo asociado a la estacionalidad, y a la fase culminante de la llegada de la Onda Kelvin cálida pronosticada por la comisión ENFEN en el Comunicado N° 13 de octubre 2019 (ENFEN 2019). Por otro lado, el enfriamiento de la columna de agua en la última semana de diciembre frente a Paita indica la finalización del paso de la onda Kelvin cálida y/o el arribo de una onda Kelvin fría frente a la costa norte. Fue notoria la reconfiguración del campo térmico debido al cambio estacional caracterizándose por el desplazamiento hacia el sur de las isotermas de 24-21 °C siendo este proceso más intenso en la segunda quincena del mes.
- A nivel de microescala, los valores promedio mensuales de la TSM (°C) y las anomalías térmicas (°C) para diciembre de 2019 en los laboratorios costeros de IMARPE variaron entre 26,8°C (Tumbes) y 16,0 °C (Callao). Las estaciones de Paita a Chimbote presentaron calentamiento superior a 1 °C, siendo la estación Chicama la que presentó el mayor calentamiento (+2,5 °C) seguido de la estación Huanchaco (+2,4 °C). A escala diaria, el calentamiento del mar disminuyó paulatinamente durante diciembre, aunque con oscilaciones. El máximo y mínimo absoluto se localizaron en Chicama (+4,1 °C) y Pisco (-3,2 °C), respectivamente.
- Los índices climáticos LABCOS y el Índice Térmico Costero Peruano continuaron presentando una tendencia positiva. Los valores preliminares de diciembre para el índice LABCOS (+0,48 °C) como para el ITCP indican el desarrollo de condiciones térmicas cálidas de categoría débil en el litoral peruano en el primer caso y una condición normal (neutral) para la zona de afloramiento del mar peruano en el segundo caso.
- Las aguas superficiales ecuatoriales (AES) se desplazaron hacia la costa central en las tres primeras semanas del mes, para luego replegarse paulatinamente hacia el norte. El desplazamiento de las AES hacia el sur estuvo asociado a flujos superficiales desde Punta Aguja hasta Casma. Las aguas subtropicales superficiales (ASS) presentaron un mayor acercamiento hacia la costa sur entre San Juan de Marcona y Atico.
- Las anomalías positivas del nivel del mar presentaron una disminución, desde la zona ecuatorial hasta Paita, prevaleciendo anomalías de hasta +10 cm hasta Chicama, durante la primera quincena del mes, para disminuir hasta valores cercanos a los +5 cm al término de mes, mientras que, en la zona costera hacia el sur se mantuvo una distribución homogénea de anomalías sobre los 5 cm.
- La actividad de mesoescala continuó presentando remolinos de tipo anticiclónico sobre los ciclónicos con un 62 %, presentando una disminución considerable tanto en tamaño (50 a 75 km) como en energía (40 - 75 cm²s⁻²). Los remolinos de mayor tamaño se localizaron entre Huanchaco y Chimbote y los de menor tamaño al sur de Callao y con una mayor proximidad a la costa.
- Las estaciones fijas costeras frente a Paita y Chicama presentaron calentamiento de hasta +2,0 °C (Paita) y +3,0 °C (Chicama), localizados sobre 55 y 18 m de profundidad, respectivamente, alcanzando sus máximos en la primera quincena de diciembre, asociado al arribo de la onda Kelvin cálida a fines de noviembre y cuyos efectos sobre la temperatura continuaron durante la primera quincena de diciembre.
- La concentración de nutrientes en la columna de agua registró una disminución frente a Paita y Chicama; mientras que en Callao e Ilo se mantuvieron las condiciones respecto al mes de noviembre.
- La concentración de clorofila-a satelital presentó entre los 4 °S a 6 °S (dentro de las 60 mn) valores de 1 µg L⁻¹ a 3 µg L⁻¹; mientras que, al sur de Chimbote hasta Pisco

predominaron valores mayores a $10 \mu\text{g L}^{-1}$, en una franja costera que fue ampliándose de norte a sur (de ~20 mn a 60 mn). En términos de anomalía, al sur de San José predominaron anomalías positivas (de $+1 \mu\text{g L}^{-1}$ a $+10 \mu\text{g L}^{-1}$); sin embargo, estas anomalías se fueron extendiendo de norte a sur progresivamente, de 10 mn a 60 mn. Entre San José y Chimbote entre las 10 mn a 80 mn se presentaron anomalías negativas entre $-1 \mu\text{g L}^{-1}$ y $-3,5 \mu\text{g L}^{-1}$.

- Las zonas de pesca de la anchoveta se localizaron entre Huarney (10°S) a Pucusana (12°S) y entre Mórrope (6°S) a Pacasmayo (07°S), dentro de las 40 millas de la costa. Se evidenció una ligera profundización de los cardúmenes de anchoveta frente a Chicama (07°S).
- Los índices reproductivos de la anchoveta peruana del stock norte-centro mostraron la disminución en la actividad desovante de acuerdo al patrón histórico.
- El seguimiento de la pesquería de anchoveta y la evaluación de la dieta del guanay indicaron la presencia de juveniles a lo largo del litoral.
- En los desembarques de la pesca artesanal frente a la costa central se observaron algunos pocos ejemplares de especies de peces indicadoras de aguas cálidas como el “Chiri lomo negro” y el “saltador”.
- Una onda Kelvin cálida generada durante noviembre 2019 fue reforzada e incrementó su intensidad durante diciembre y llegará al extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en enero 2020. Así mismo, las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico Ecuatorial observadas entre noviembre y diciembre generó otra onda Kelvin cálida que llegará al extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en febrero 2020. A fines de diciembre 2019 debido a pulsos de vientos del oeste en el Pacífico Ecuatorial Occidental dos nuevas ondas Kelvin cálidas (modo 1 y modo 2) fueron generadas y llegarían al extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en febrero 2020 y en marzo 2020.
- La mayoría de los modelos dinámicos y estadísticos de predicción de ENOS, pronostican que las anomalías de TSM en pacifico ecuatorial Central estarán alrededor el umbral cálido durante enero y febrero 2020, pero posteriormente regresará hacia las condiciones neutrales durante el otoño austral 2020. Para el ITCP, el modelo acoplado océano-atmósfera de complejidad intermedia del Pacífico tropical ecuatorial, y el modelo estadístico, pronosticaron una condición neutra entre enero y abril 2020.

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. En: Boletín Trimestral Oceanográfico, Volumen 1, Números 1- 4, pp.: 8-10.

Domínguez Obregon et al. Climatología termohalina frente a las costas del Perú. Periodo: 1981-2010. Informe IMARPE 44(1), 2017 p.5-13.

Donlon, C. J, M. Martin, J. Stark, J. Roberts-Jones, E. Fiedler, W. Wimmer, 2012. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system. Remote Sen. Env., 116, 140-158.

ENFEN, 2019. Comunicado Oficial ENFEN, N°.13 -2019, octubre de 2019.

García Díaz, Walter. Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Chicama-Paita 1912, PpR 068 – El Niño. BIC Luis Flores Portugal, 16-24 de diciembre, 2019. Informe interno.

Quispe Ccallauri, C, J. Tam, H. Demarcq, C. Romero, D. Espinoza, A. Chamorro, J. Ramos, R. Oliveros, 2016. El Índice Térmico Costero Peruano. En: Boletín Trimestral Oceanográfico, Volumen 2, Número 1, pp: 7-11.

Quispe, J. y L. Vásquez, 2015. 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.

Takahashi, K, K. Mosquera y J.Reupo, 2014. El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. Boletín Técnico - Vol. 1 Nro. 2, Febrero del 2014.

UK Met Office, 2012. GHRSSST Level 4 OSTIA Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (GDS version 2). Ver. 2.0. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [YYYY-MM-DD] at <http://dx.doi.org/10.5067/GHOST-4FK02>.

Lellouche, J.-M., Le Galloudec, O., Drévilion, M., Régnier, C., Greiner, E., Garric, G., Ferry, N., Desportes, C., Testut, C.-E., Bricaud, C., Bourdallé-Badie, R., Tranchant, B., Benkiran, M., Drillet, Y., Daudin, A., and De Nicola, C.: Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan, Ocean Sci., 9, 57-81, 2013.

Halo, I., B. Backeberg, P. Penven, I. Ansorge, C. Reason, and J. E. Ullgren (2014), Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models, Deep Sea Res., Part II, 100, 38– 53, doi:10.1016/j.dsr2.2013.10.015.

7. RECONOCIMIENTOS

The Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST) Multi-scale Ultra-high Resolution (MUR) Level 4 OSTIA Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (GDS version 2). Ver. 2.0 data were obtained from the NASA EOSDIS Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC) at the Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA (<http://dx.doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ01>).

IFREMER/CERSAT. 2005. ERS-1 Level 3 Gridded Mean Wind Fields (IFREMER). Ver.1.PO.DAAC, CA, USA
(<ftp://anonymous@ftp.ifremer.fr/ifremer/cersat/products/gridded/mwf-ers1>).

The Ssalto/Duacs altimeter products were produced and distributed by the Copernicus Marine and Environment Monitoring Service (CMEMS)
(<http://www.marine.copernicus.eu>).

The products from the MERCATOR OCEAN system are distributed through the Marine Copernicus Service (<http://www.marine.copernicus.eu>).

8. TABLAS

Tabla 1. Valores promedio mensuales de la TSM (°C) y las ATSM (°C) para los meses de agosto a diciembre 2019 en los laboratorios costeros de IMARPE.

| Muelle costero | Lat, °S | TSM, °C | | | | | ATSM, °C | | | | |
|----------------|---------|---------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|
| | | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| Tumbes | 3.66 | 24.8 | 25.3 | 26.1 | 26.4 | 26.8 | 0.0 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.0 |
| Paíta | 5.01 | 16.9 | 17.4 | 17.6 | 19.6 | 20.3 | -0.1 | 0.8 | 0.2 | 1.6 | 1.5 |
| San José | 6.77 | 17.1 | 18.0 | 17.9 | 18.9 | 21.3 | -1.7 | -0.9 | -1.1 | -0.6 | 1.1 |
| Chicama | 7.84 | 16.0 | 16.2 | 16.2 | 17.1 | 19.3 | -0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.9 | 2.5 |
| Huanchaco | 8.08 | 16.0 | 16.2 | 16.1 | 17.1 | 19.2 | -0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 2.4 |
| Chimbote | 9.09 | 17.3 | 17.7 | 18.0 | 19.5 | 21.7 | -1.2 | -0.7 | -0.8 | 0.0 | 1.2 |
| Huacho | 11.11 | 14.8 | 14.7 | 14.9 | 15.6 | 16.9 | -1.2 | -0.7 | -0.3 | -0.2 | 0.4 |
| Callao | 12.06 | 15.0 | 14.9 | 14.9 | 15.0 | 16.0 | -0.7 | -0.2 | 0.0 | -0.1 | 0.2 |
| Pisco | 13.71 | 18.3 | 19.3 | 19.1 | 19.9 | 21.2 | 0.2 | 0.5 | -0.7 | -0.2 | -0.4 |
| Atico | 16.21 | 14.8 | 14.6 | 15.1 | 16.0 | 17.0 | | | | | |
| Matarani | 17.02 | 14.8 | 14.3 | 14.3 | 15.1 | 16.3 | | | | | |
| Ilo | 17.63 | 14.8 | 14.3 | 15.2 | 16.0 | 16.4 | -0.2 | -0.6 | 0.1 | 0.1 | -0.3 |

Tabla 2. Valores promedio mensuales de la SSM (ups) y las anomalías de SSM (ups) para los meses de agosto a diciembre 2019 en los laboratorios costeros de IMARPE.

| Muelle costero | Lat, °S | SSM, UPS | | | | | ASSM SSM, | | | | |
|----------------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| Tumbes | 3.66 | 33.905 | 33.909 | 33.781 | 33.563 | 33.671 | 0.13 | 0.08 | -0.01 | 0.08 | 0.21 |
| Paita | 5.01 | 35.034 | 34.877 | 34.905 | 34.568 | 34.653 | -0.03 | -0.16 | -0.06 | -0.37 | -0.25 |
| San José | 6.77 | 34.948 | 34.985 | 34.998 | 34.731 | 34.584 | -0.07 | -0.06 | -0.03 | -0.28 | -0.40 |
| Chicama | 7.84 | 35.192 | 35.125 | 35.296 | 35.153 | 35.058 | 0.13 | 0.09 | 0.26 | 0.10 | 0.02 |
| Huanchaco | 8.08 | 35.015 | 34.908 | 35.123 | 35.058 | 34.994 | 0.14 | 0.03 | 0.24 | 0.20 | 0.14 |
| Chimbote | 9.09 | 34.363 | 34.353 | 34.525 | 34.710 | 34.561 | -0.13 | -0.11 | 0.01 | 0.19 | 0.06 |
| Huacho | 11.11 | 34.888 | 34.921 | 34.876 | 34.870 | 34.880 | 0.02 | 0.06 | -0.02 | -0.04 | 0.03 |
| Callao | 12.06 | 35.016 | 35.034 | 35.004 | 34.981 | 34.990 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | -0.01 |
| Pisco | 13.71 | 34.938 | 34.897 | 34.957 | 34.908 | 34.765 | -0.04 | -0.06 | 0.01 | -0.03 | 0.03 |
| Atico | 16.21 | 34.946 | 34.942 | 34.923 | 34.949 | 34.999 | | | | | |
| Matarani | 17.02 | 34.961 | 34.847 | 34.862 | 34.782 | 34.874 | | | | | |
| Ilo | 17.63 | 34.912 | 34.891 | 34.882 | 34.853 | 34.867 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 0.06 |

Tabla 3. Condiciones de las comunidades macrobentónicas; por réplica y promedio, diciembre de 2019. Como referencia se indica el número de especies y el promedio del índice de Shannon (H') obtenidos en el mes de noviembre.

| Localidad | estación | réplica | especies | | abundancia biomasa | | Bacteriobentos | | diversidad | |
|--------------------|-----------------|---------|-----------------------|-------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------|-------------|
| | | | N°/0,05m ² | | ind./m ² | g/m ² | g/m ² | H'(log ₂) | | |
| por réplica | | | | | | | | | | |
| CaE2R1 | Callao - 94 m | E2 | R1 | 0 | 0 | 0,0000 | 18,8877 | 0,000 | | |
| CaE2R2 | (12°S) | | R2 | 3 | 390 | 0,1092 | 0,2743 | 1,177 | | |
| ChiE2R1 | Chicama - 102 m | E2 | R1 | 9 | 14960 | 12,1100 | 2,2260 | 2,046 | | |
| ChiE2R2 | (07°49'S) | | R2 | 8 | 6260 | 9,5940 | 1,0400 | 1,437 | | |
| PaE3R1 | Paita - 120 m | E3 | R1 | 9 | 700 | 0,4900 | - | 2,026 | | |
| PaE3R2 | (05°S) | | R2 | 4 | 180 | 2,7360 | - | 1,658 | | |
| promedio | | | | | | | | | | |
| | | | | nov. | | | | | | nov. |
| | Callao | E2 | | 3 | 2 | 195 | 0,0546 | 9,5810 | 1,177 | 0,634 |
| | Chicama | E2 | | 10 | 10 | 10610 | 10,8520 | 1,6330 | 2,075 | 1,718 |
| | Paita | E3 | | 11 | 29 | 440 | 1,6130 | - | 2,409 | 3,538 |

9. FIGURAS

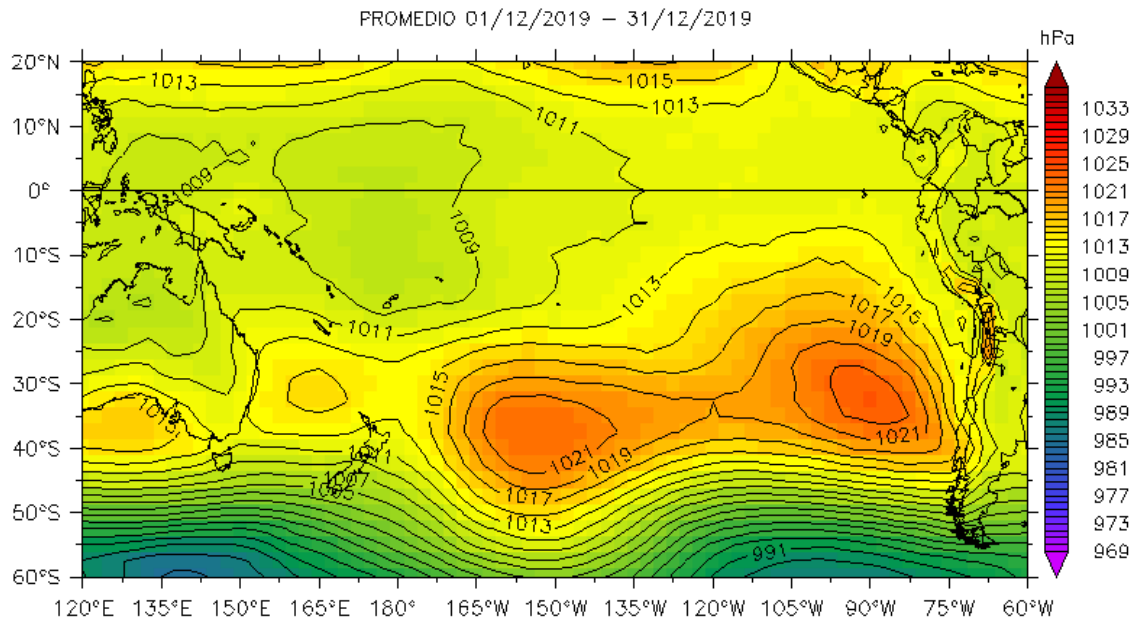


Figura 1. Presión atmosférica a nivel del mar (PNM) en hPa, promedio 1-31 diciembre, Fuente: NCEP-NOAA/LMOECC-IMARPE.

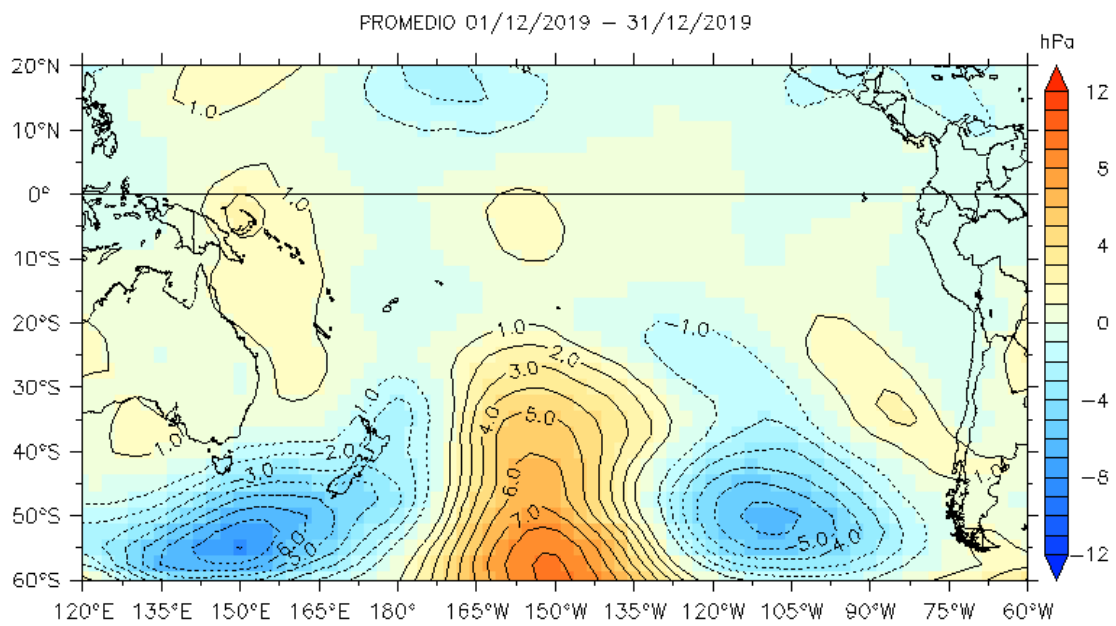
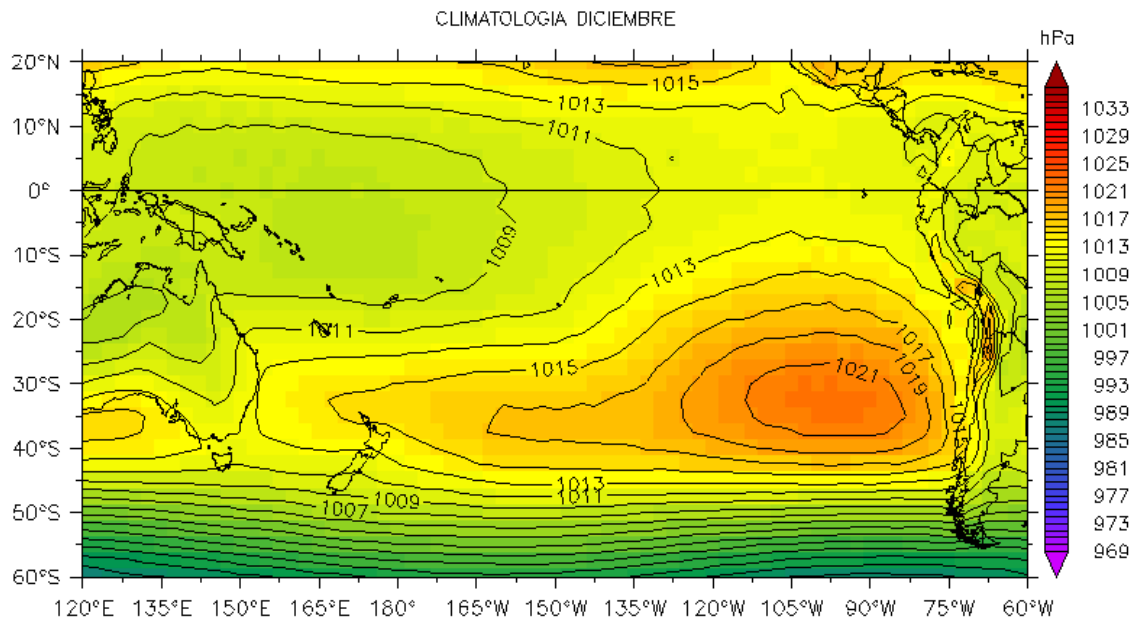


Figura 2. Presión atmosférica a nivel del mar (PNM) en hPa, climatología (a) y anomalías promedio (b) de diciembre 2019. Fuente: NCEP-NOAA/LMOECC-IMARPE.

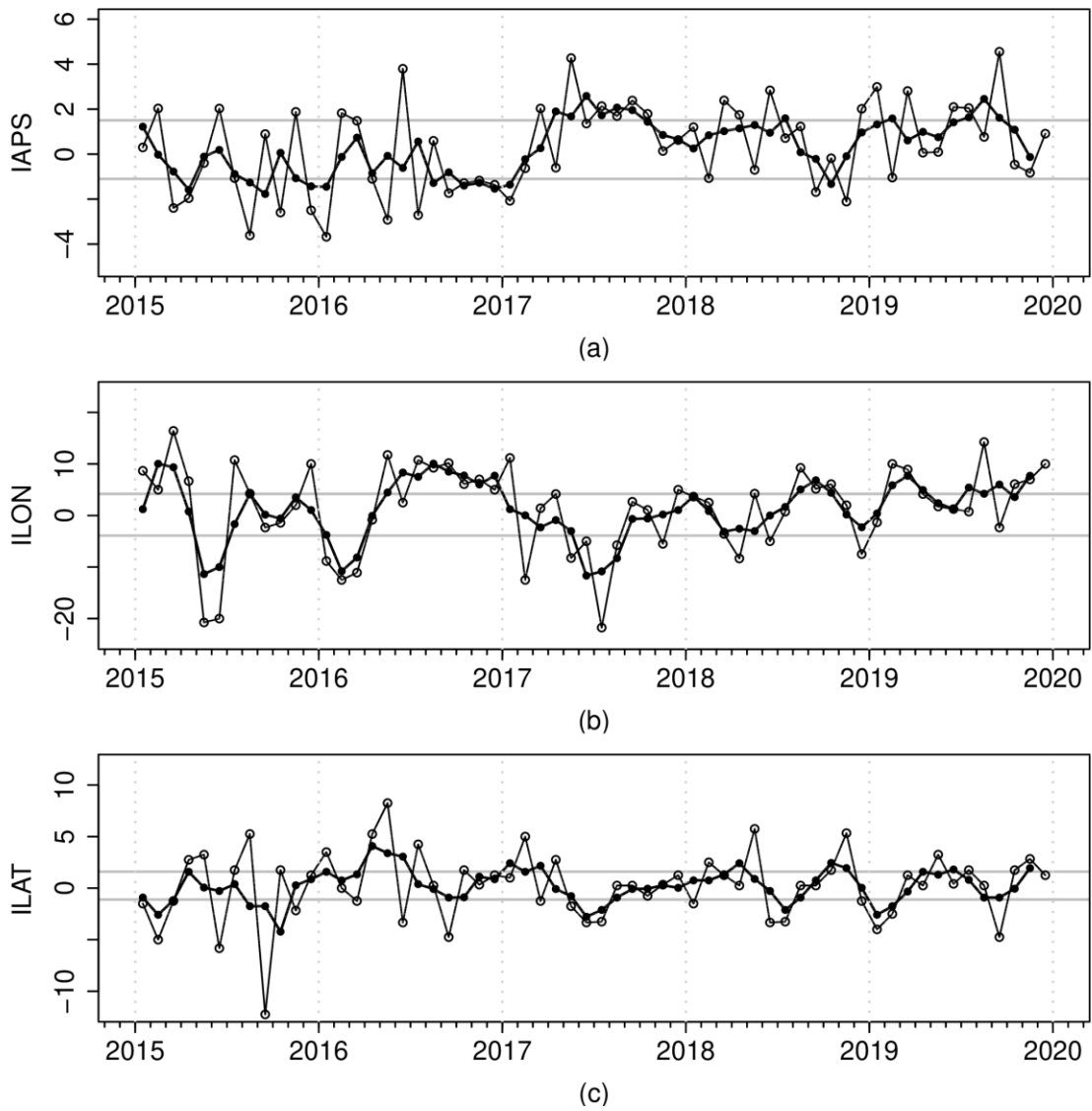


Figura 3. Variación temporal de los índices del APS: a) índice de intensidad (IAPS) e índices de posición b) longitudinal (ILON) y c) latitudinal (ILAT) hasta el trimestre ASO 2019 (círculos negros). Los círculos blancos indican las anomalías mensuales en el periodo enero 2015 – diciembre 2019.

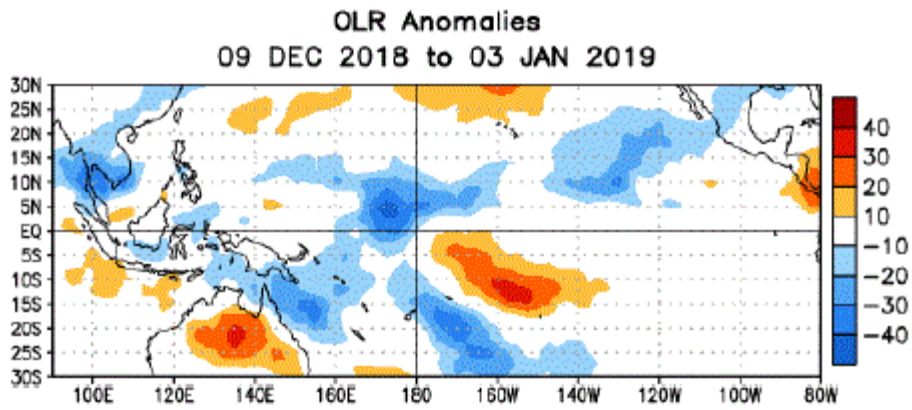


Figura 4. Anomalías del promedio de la radiación de onda larga emitida (OLR, por sus siglas en inglés) (W/m^2) durante el mes de noviembre de 2019. Las anomalías de OLR se calculan como desviaciones de los penta-promedios del período base de 1981-2010.

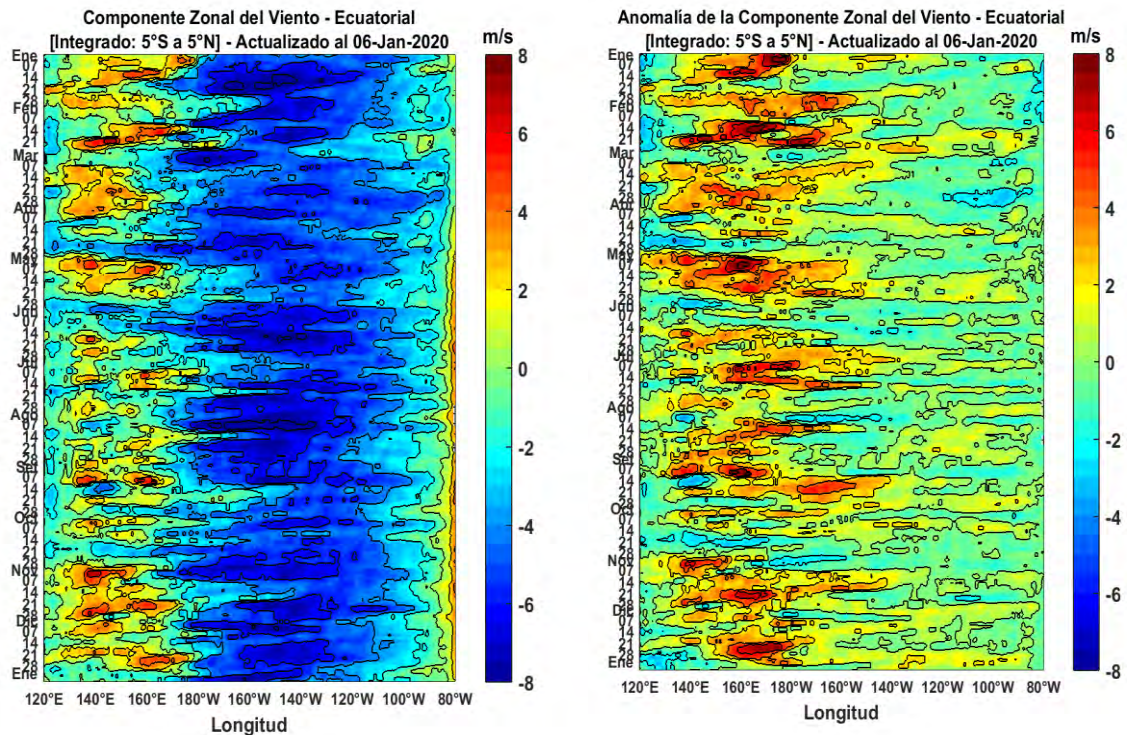


Figura 5. Viento Satelital, integrado en el Ecuador: a) Componente Zonal del viento ($m s^{-1}$), b) Anomalía de la Componente zonal del viento ($m s^{-1}$), durante el último año (Fuente: Satélite ASCAT y modelo GSF, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 31/12/2019.

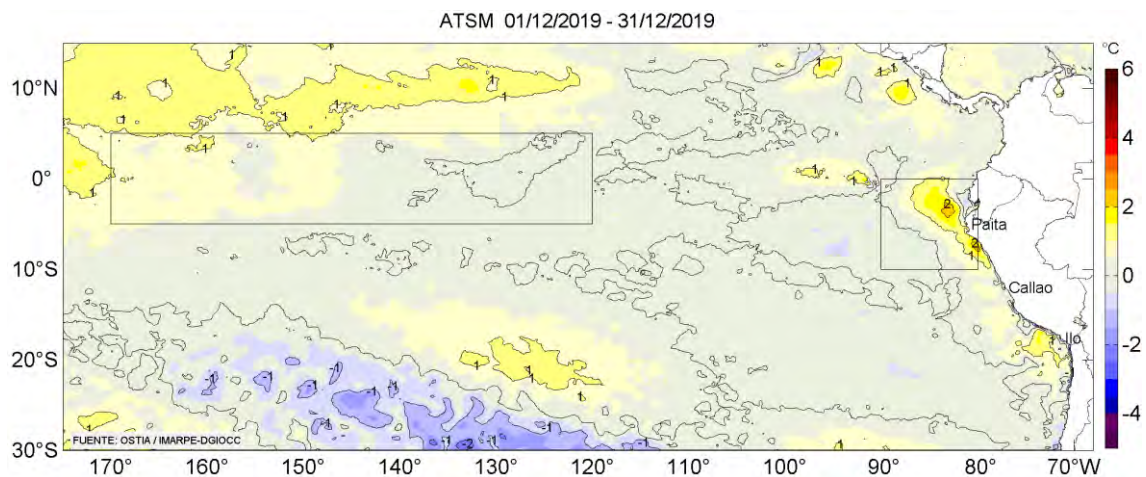


Figura 6. Anomalía promedio de la Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) en el océano Pacífico tropical para el mes de noviembre de 2019. Las regiones Niño 3.4 y Niño 1+2 en los sectores central y oriental del océano, respectivamente están delimitadas con una línea de color gris. Datos: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon et al, 2012) disponible en <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0>. Las anomalías se calcularon con respecto de la climatología para el período 2007-2016. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

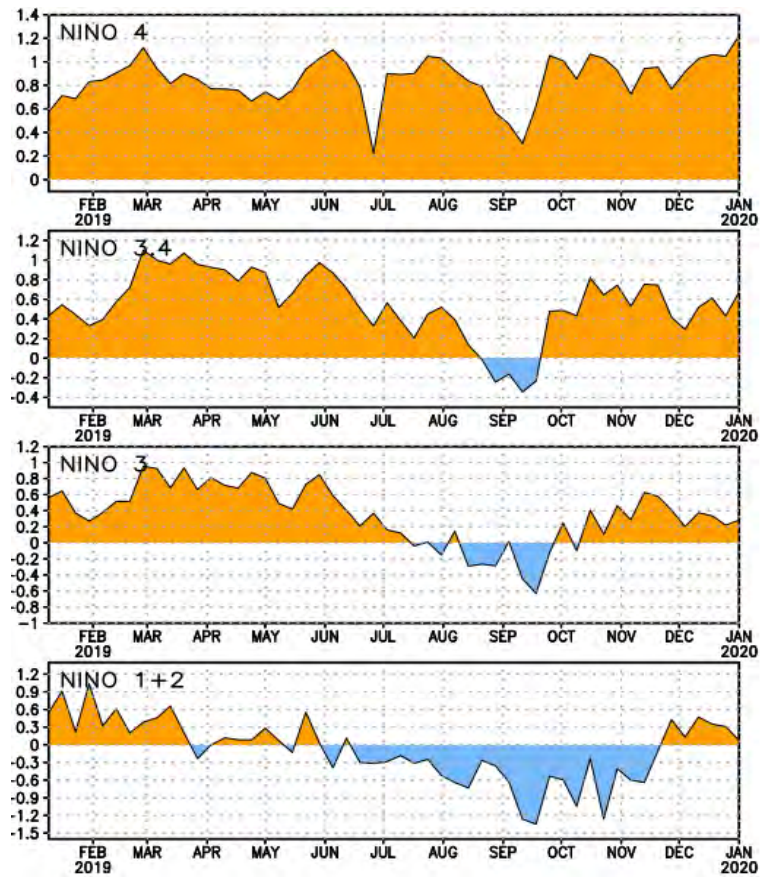


Figura 7. Anomalías semanales promedio de la temperatura superficial del mar (°C) en las regiones Niño de enero a diciembre 2019. Adaptado de CPC/NOAA.

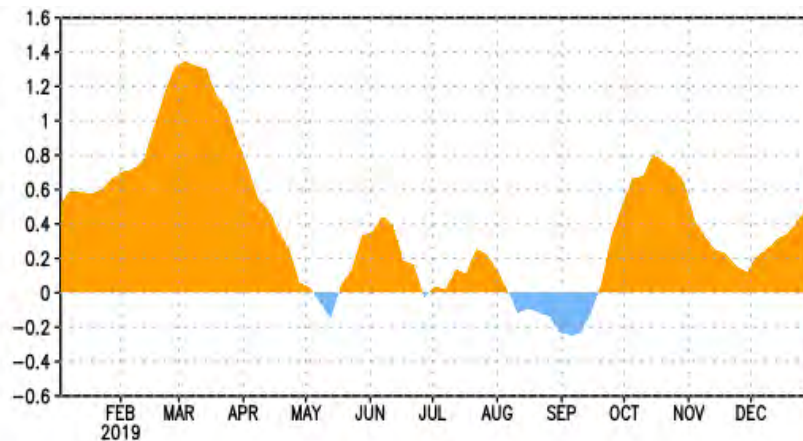


Figura 8. Anomalías del contenido de calor (°C) sobre los 300 m de profundidad para el área entre 5°N y 5°S, 180° y 100°W). Las anomalías en el contenido calórico son calculadas como las desviaciones de los promedios por pentadas del período base 1981-2010. Adaptado de CPC/NOAA.

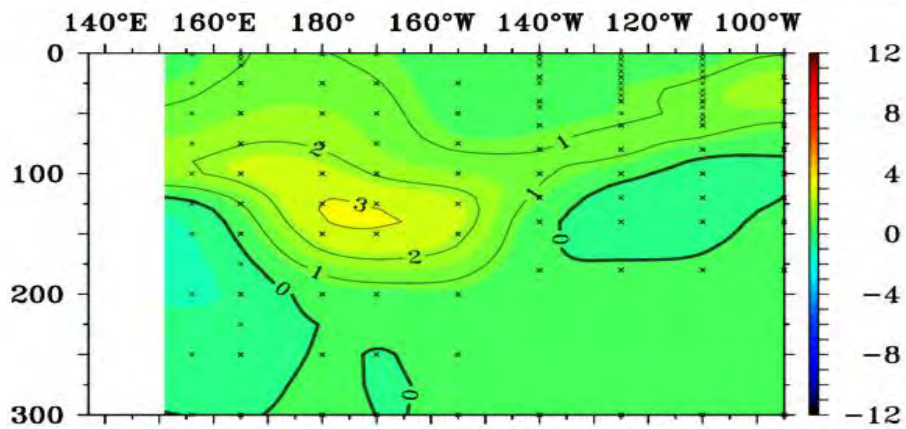


Figura 9: Estructura de las anomalías de la temperatura subsuperficial del mar (°C) en los 300 m superiores del océano Pacífico ecuatorial entre 5°N y 5°S para el mes de diciembre de 2019. Las anomalías están estimadas con respecto del periodo base 1981-2010. Adaptado de CPC/NOAA.

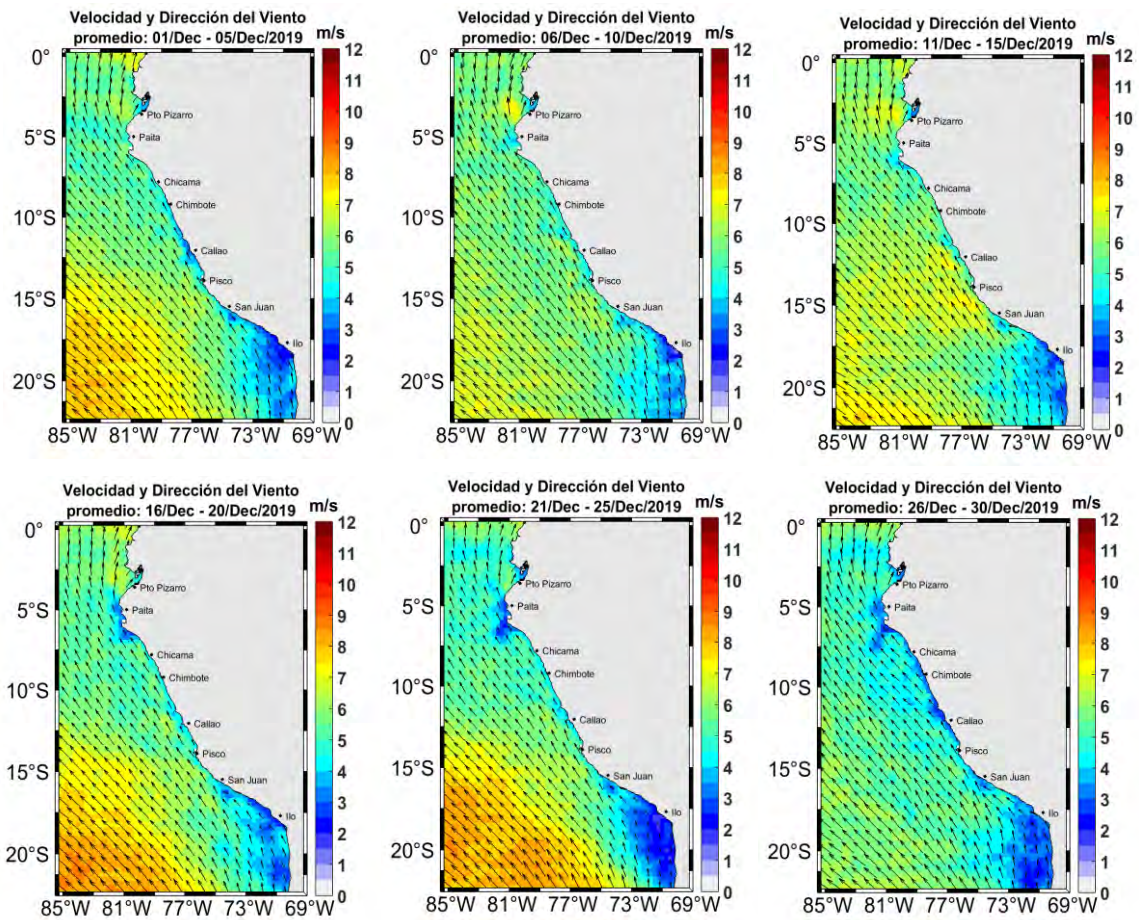


Figura 10. Mapas de la Velocidad del Viento frente a la costa peruana, durante el mes de diciembre del 2019 (Fuente: Satélite ASCAT). Procesamiento: Laboratorio de Hidrofísica Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/12/2019.

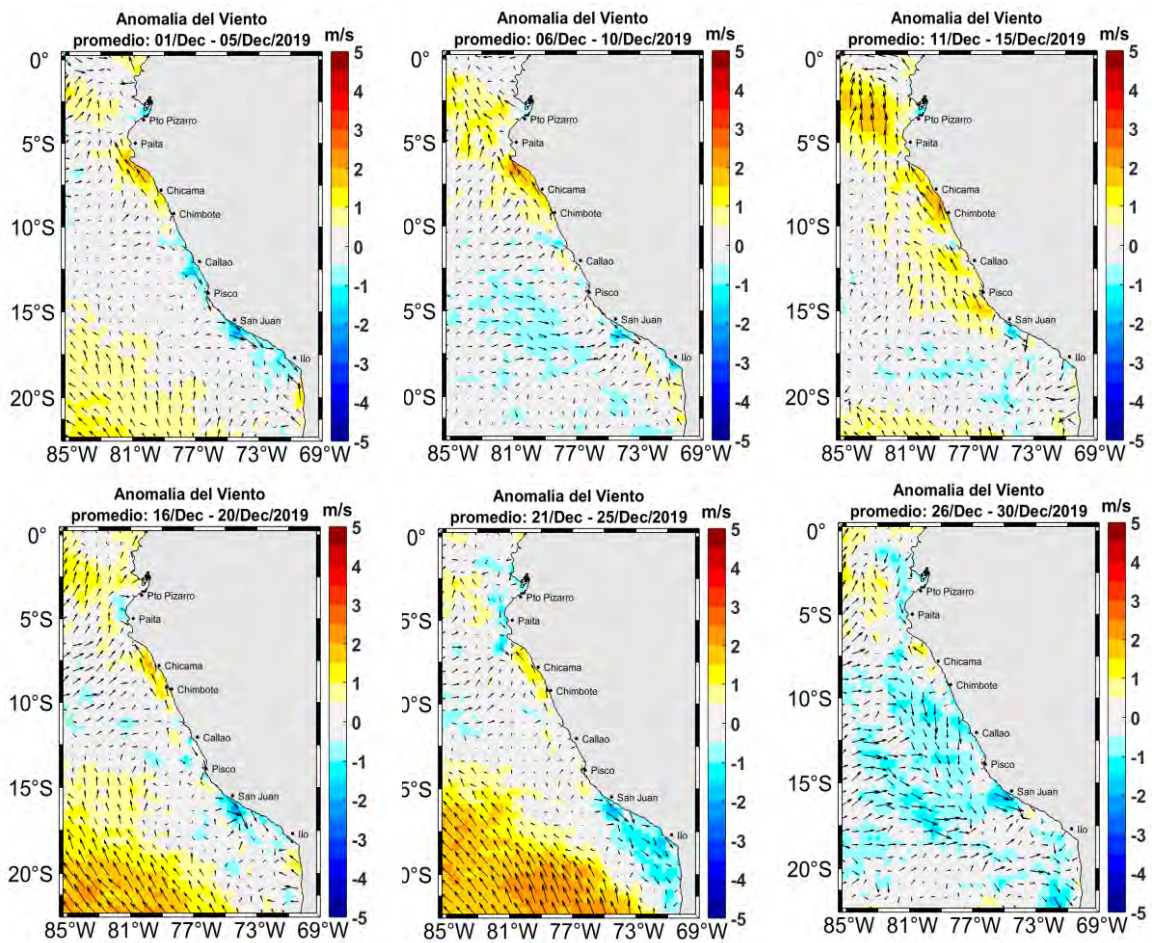


Figura 11. Mapas de anomalía de la Velocidad del Viento frente a la costa peruana, durante el mes de octubre del 2019 (Fuente: Satélite ASCAT), Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/12/2019.

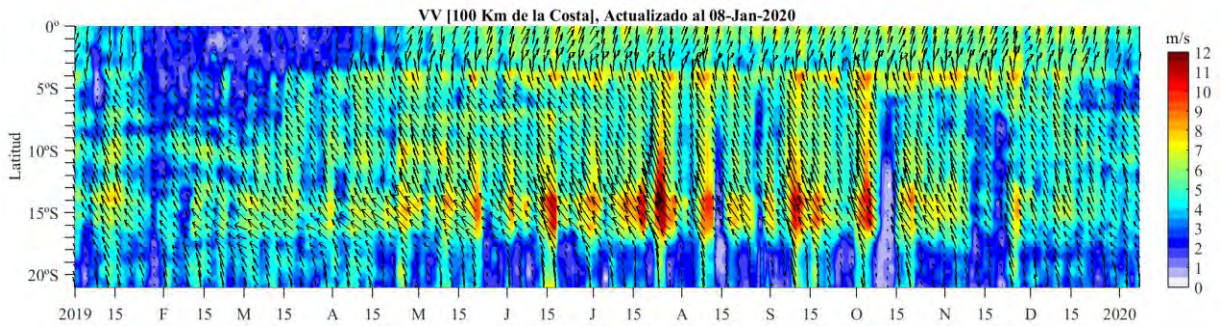


Figura 12. Diagrama Hovmöller de la Velocidad del Viento a lo largo de la costa peruana (Fuente: Satélite ASCAT y productos del proyecto COPERNICUS, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 08/01/2020.

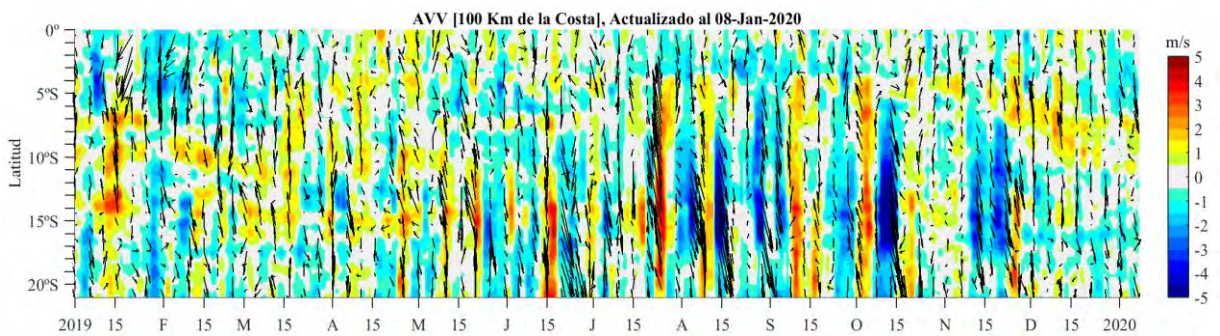


Figura 13. Diagrama Hovmöller de la Anomalia del Viento a lo largo de la costa peruana meses (Fuente: Satélite ASCAT y productos del producto COPERNICUS, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 08/01/2020.

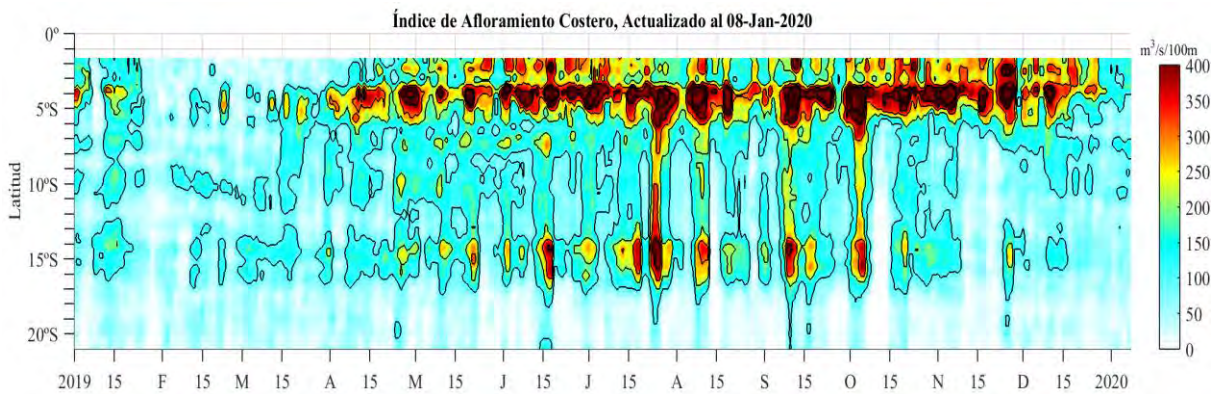


Figura 14. Diagrama de Hovmöller del Índice de Afloramiento Costero ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \times 100\text{m}$), calculado a partir del viento satelital ASCAT y productos del proyecto COPERNICUS a 40 km frente a la costa del Perú. Los contornos señalan la persistencia del afloramiento bajo condiciones de velocidad $> 4 \text{ m s}^{-1}$ durante 5 días o más. Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE. Actualizada hasta el 08/01/2020.

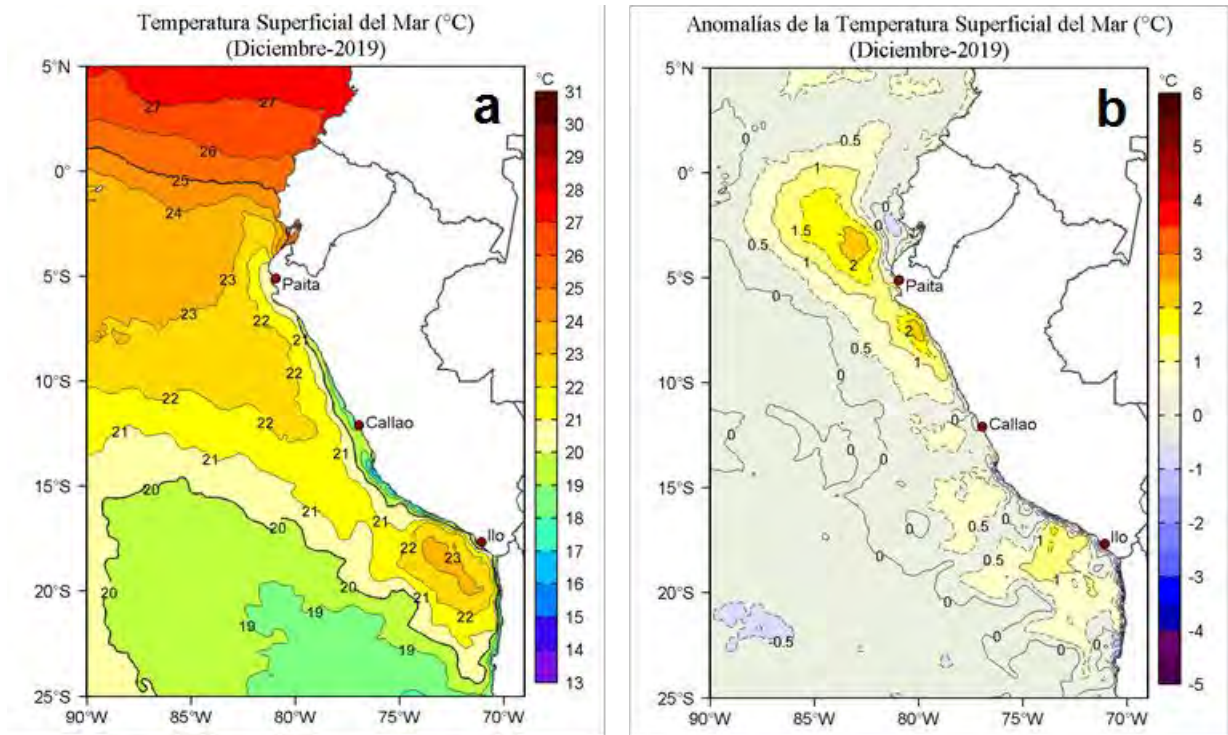


Figura 15. Distribución espacial promedio mensual de: a) Temperatura superficial del mar (TSM, °C) y b) Salinidad superficial del mar (SSM, ups) para el mes de diciembre de 2019 en el océano Pacífico tropical oriental. Datos: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon et al, 2012). Las escalas de colores de la TSM como de la ATSM se presentan a la derecha de cada gráfico. Procesamiento: LHF/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

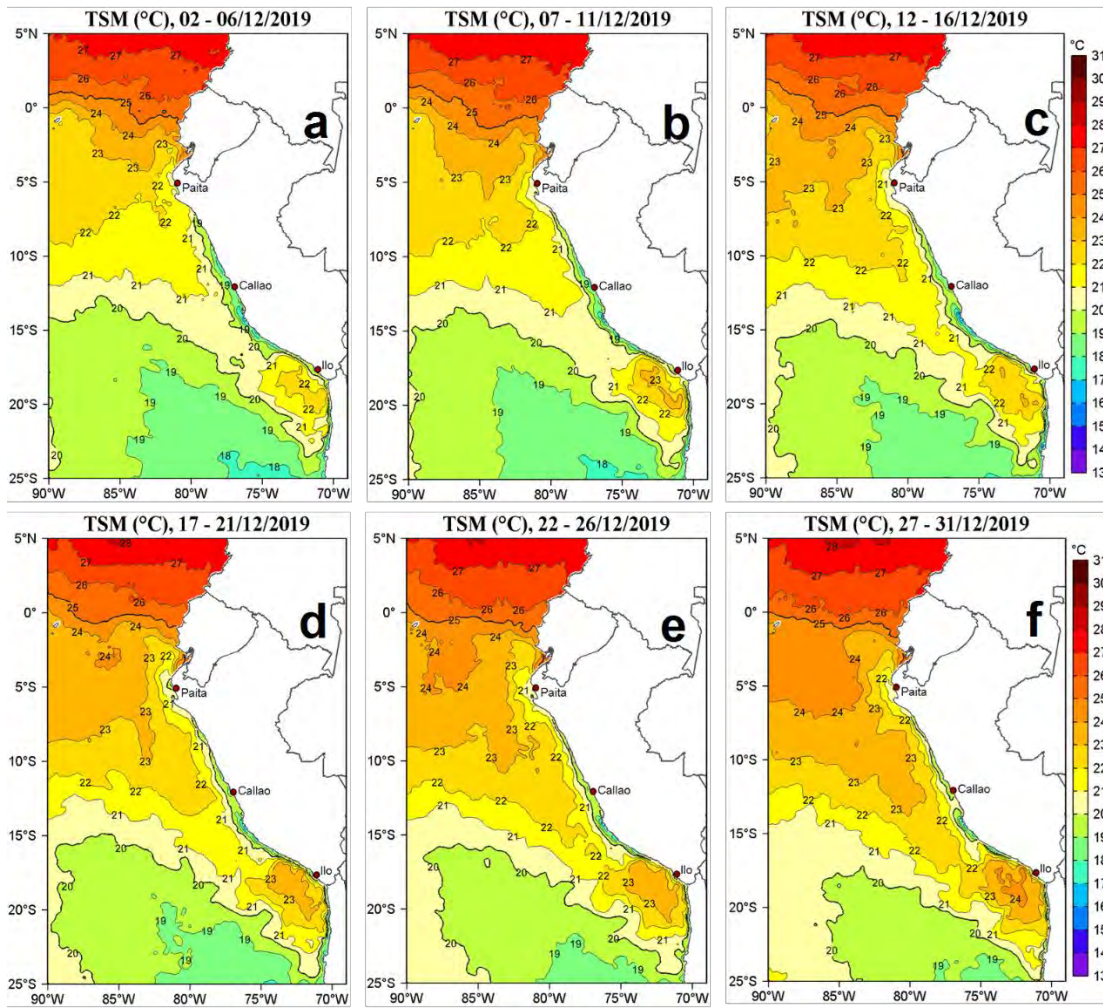


Figura 16. Distribución espacial promedio pentadal de la Temperatura superficial del mar (TSM, °C) para el mes de diciembre de 2019 en el océano Pacífico tropical oriental. Datos: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon et al, 2012). La escala de colores de la TSM se presenta a la derecha. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

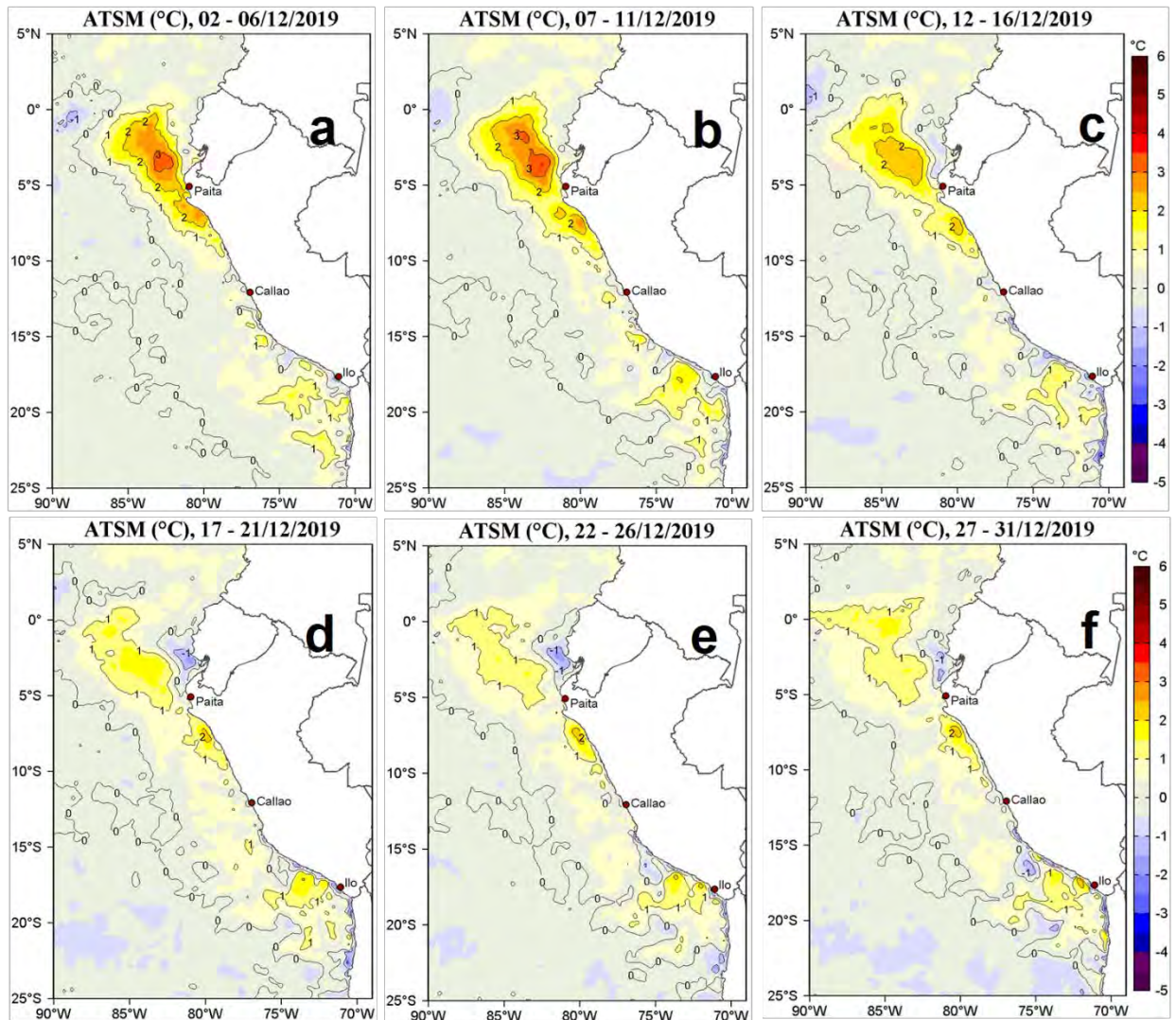


Figura 17. Distribución espacial promedio pentadal de las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM, °C) para el mes de diciembre de 2019 en el océano Pacífico tropical oriental. Datos: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon et al, 2012). La escala de colores de la TSM se presenta a la derecha. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

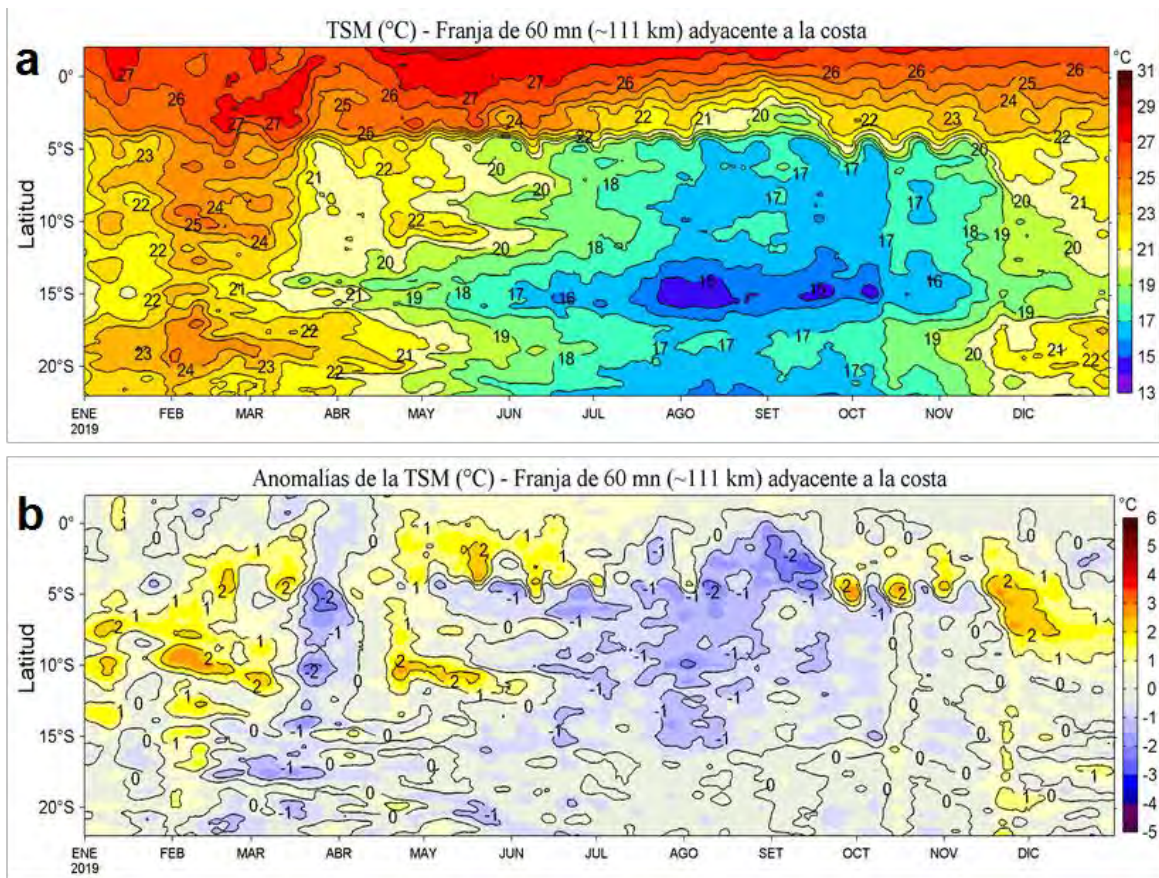


Figura 18. Evolución diaria de: a) Temperatura superficial del mar (°C) y b) Anomalías de la Temperatura superficial del mar (°C) de enero a diciembre de 2019 para una franja de 111 km adyacente a la costa entre el ecuador geográfico y 22 °S. Los promedios climatológicos de referencia consideran los años del 2007 al 2016. La barra de colores a la derecha muestra la escala de la temperatura y las anomalías, respectivamente. Datos: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC /IMARPE.

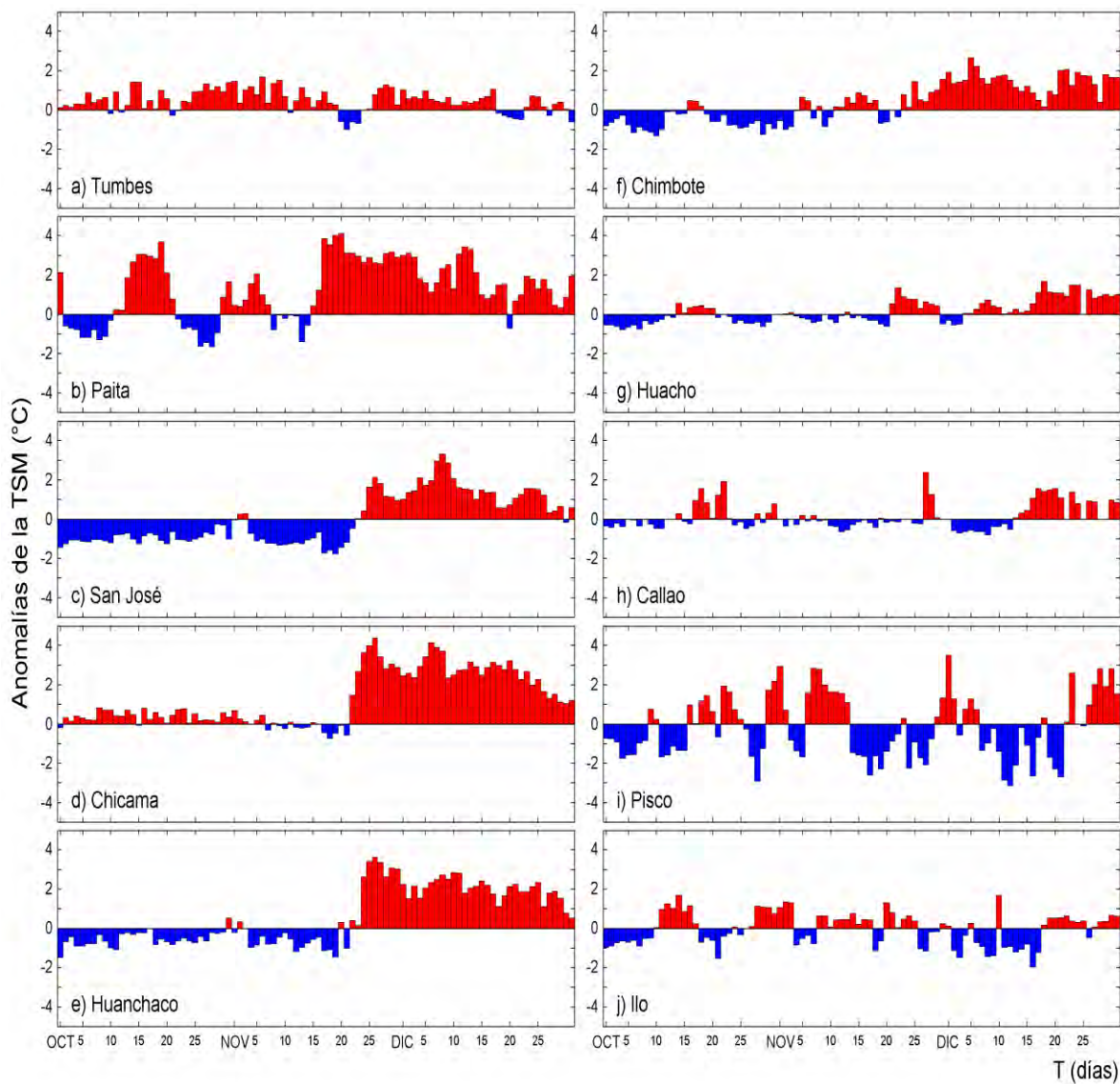


Figura 19. Series de tiempo del promedio diario de las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM, °C) en la red de muelles costeros que administra IMARPE en el litoral peruano de octubre a diciembre de 2019. Las anomalías se calcularon respecto del promedio climatológico pentadal. Datos y procesamiento: LHF/M/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

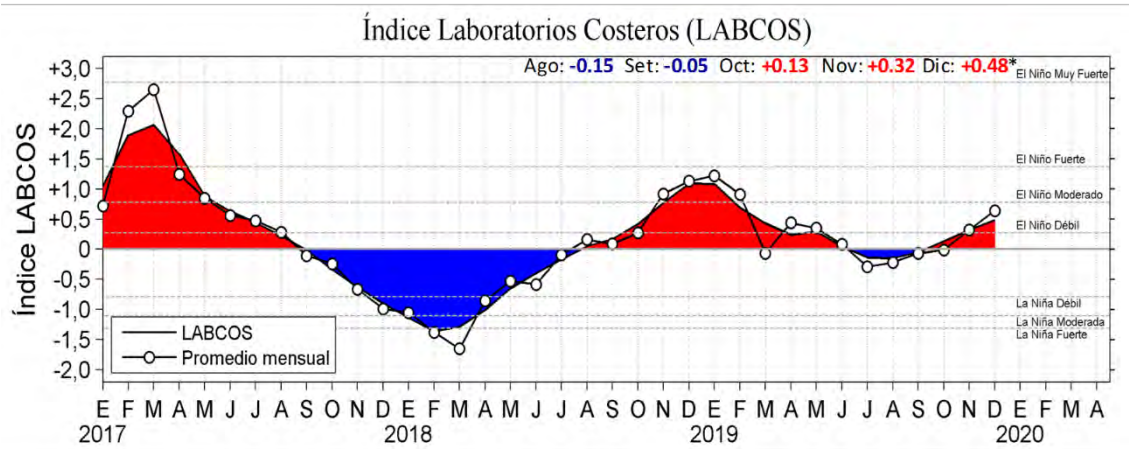


Figura 20. Serie de tiempo mensual del índice LABCOS (área sombreada) y el promedio mensual de las anomalías de TSM (en círculos) para el periodo de enero de 2017 a diciembre de 2019. El índice LABCOS se estimó de acuerdo a Quispe y Vásquez (2015). Datos: TSM diaria de siete laboratorios costeros de IMARPE y de la estación punta San Juan de la DHN. Climatología: 1976-2015. Procesamiento: LHF/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

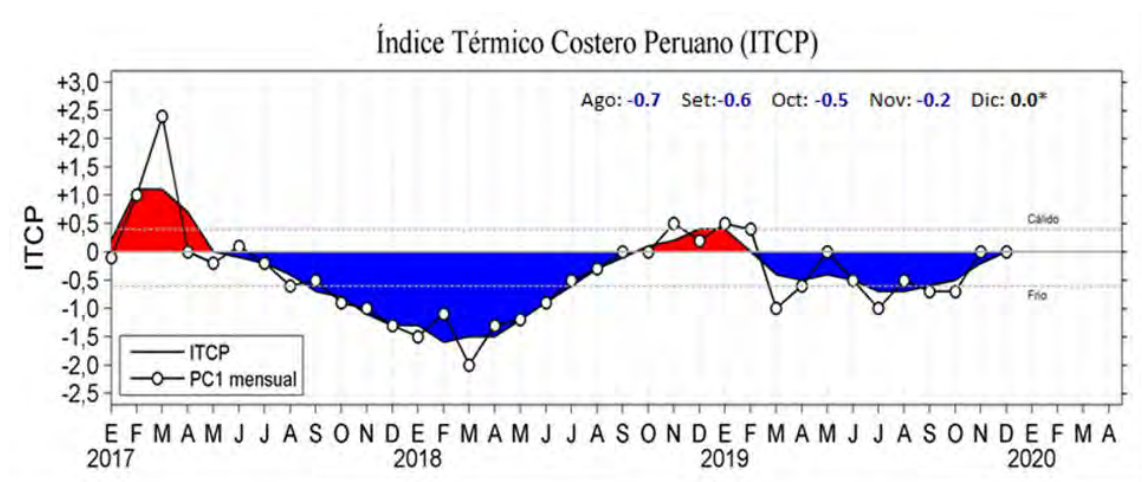


Figura 21. Serie de tiempo mensual del Índice Térmico Costero Peruano (ITCP) y la primera componente principal (PC1) para el periodo de enero 2017 a diciembre 2019. El ITCP (área sombreada en color azul o rojo) se estimó de acuerdo a Quispe et al (2016). Datos: NOAA NCDC OISST v2. Climatología: 1982-2014 (Reynolds et al., 2007). Procesamiento: AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

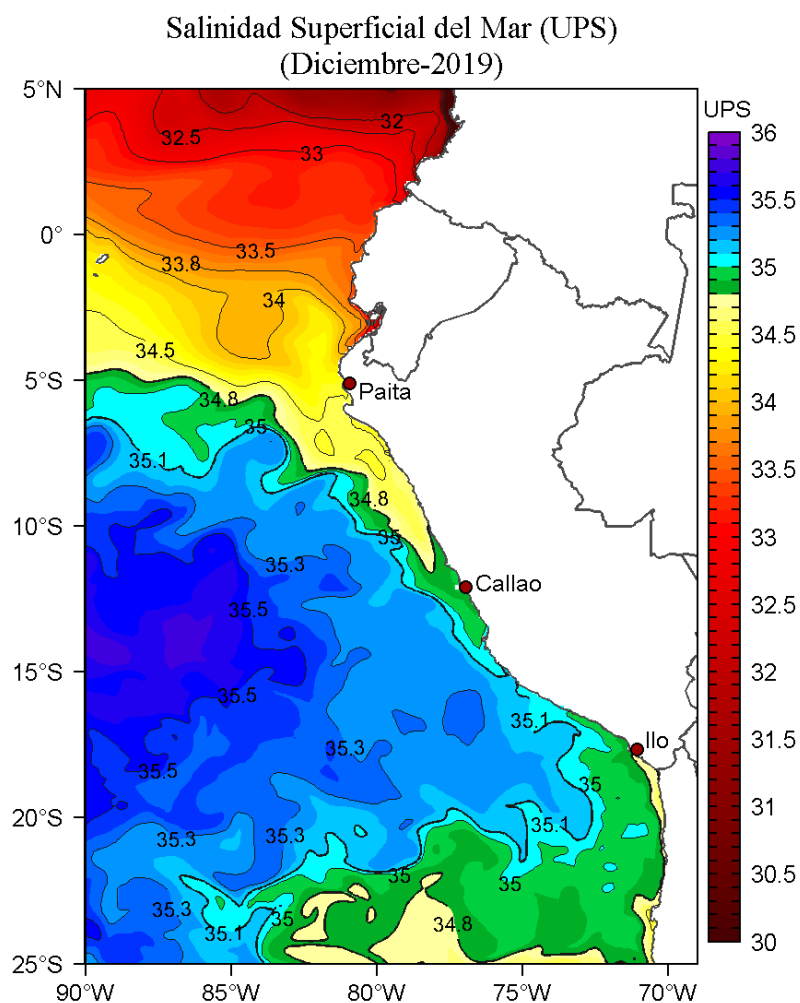


Figura 22. Distribución mensual de la Salinidad Superficial del Mar (SSM, ups) en el Pacífico Sureste durante el mes de diciembre de 2019. Datos: GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 (Lellouche, J.-M. et al, 2013) disponible en http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024. Procesamiento: LHF/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

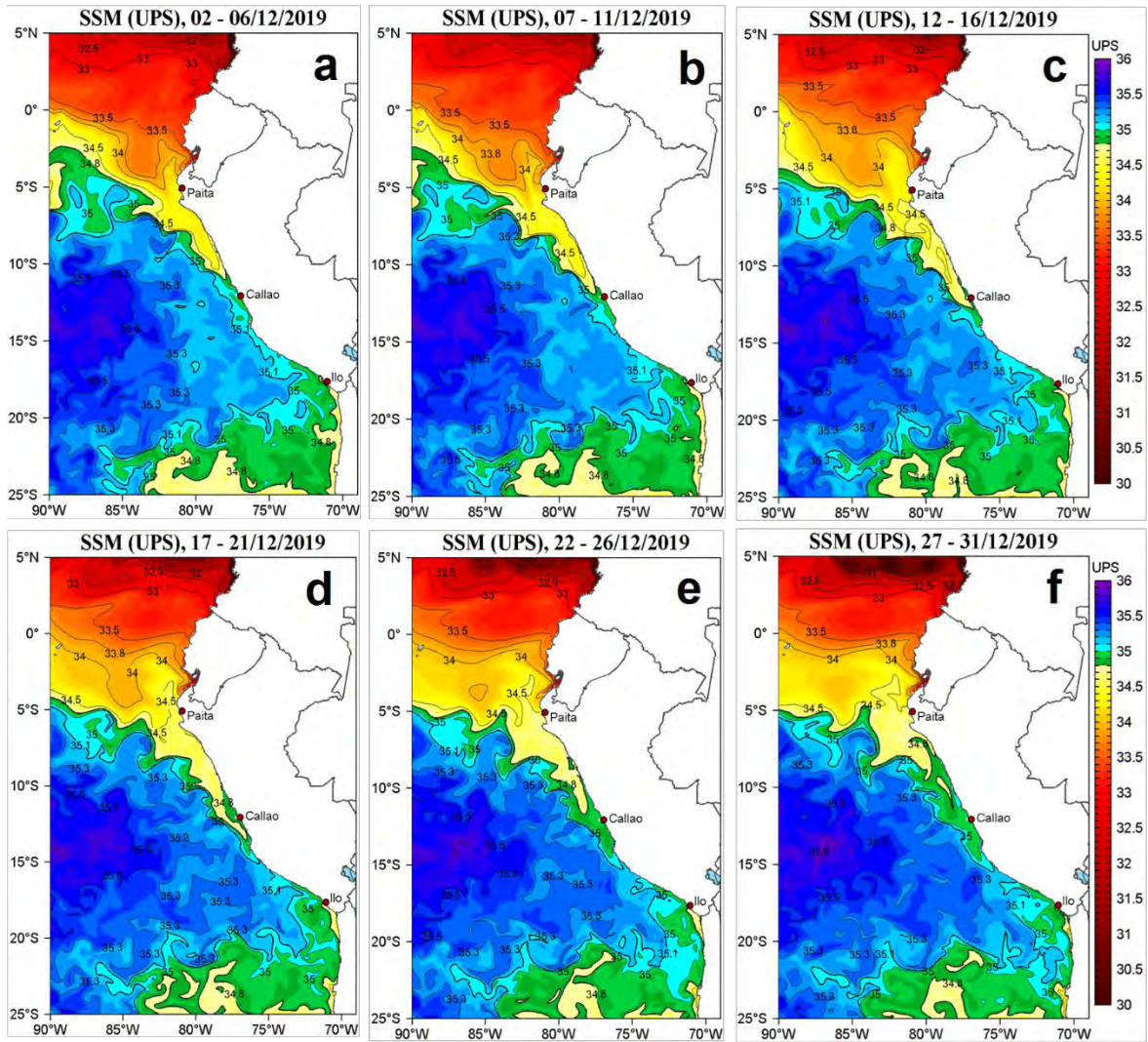


Figura 23. Distribución pentadal de la Salinidad Superficial del Mar (SSM, ups) en el Pacífico Sudeste, durante el mes de diciembre de 2019. Datos: GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 (Lellouche, J.-M. et al, 2013) disponible en http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

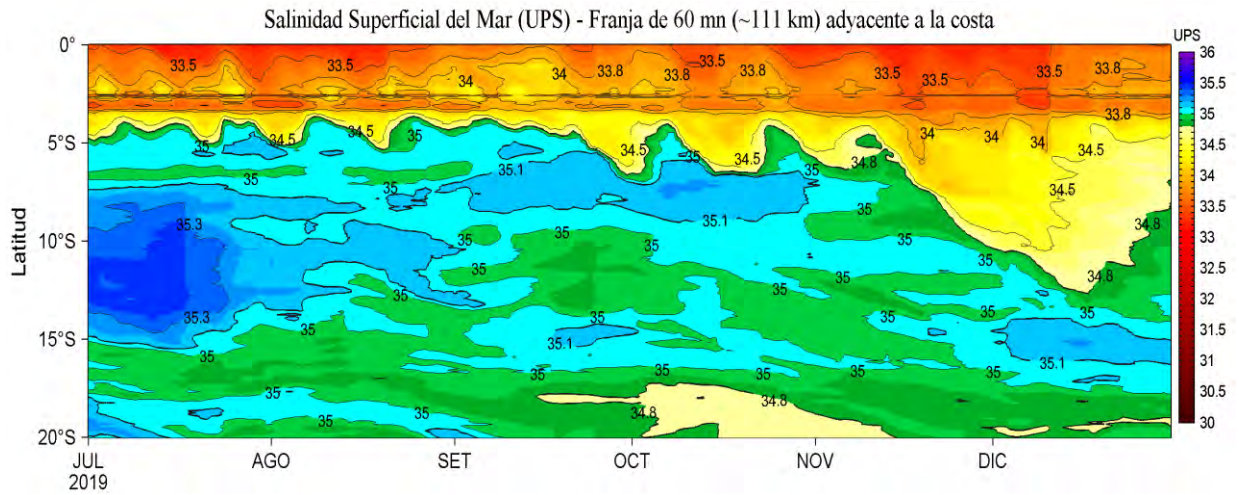


Figura 24. Evolución diaria de la Salinidad Superficial del Mar (SSM, ups) para la franja de 60 mn (~111 km) adyacente al litoral peruano de julio a diciembre de 2019. Datos: GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 (Lellouche, J.-M. et al, 2013) disponible en http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024. Procesamiento: LHFMAFIOF/DGIOCC/IMARPE.

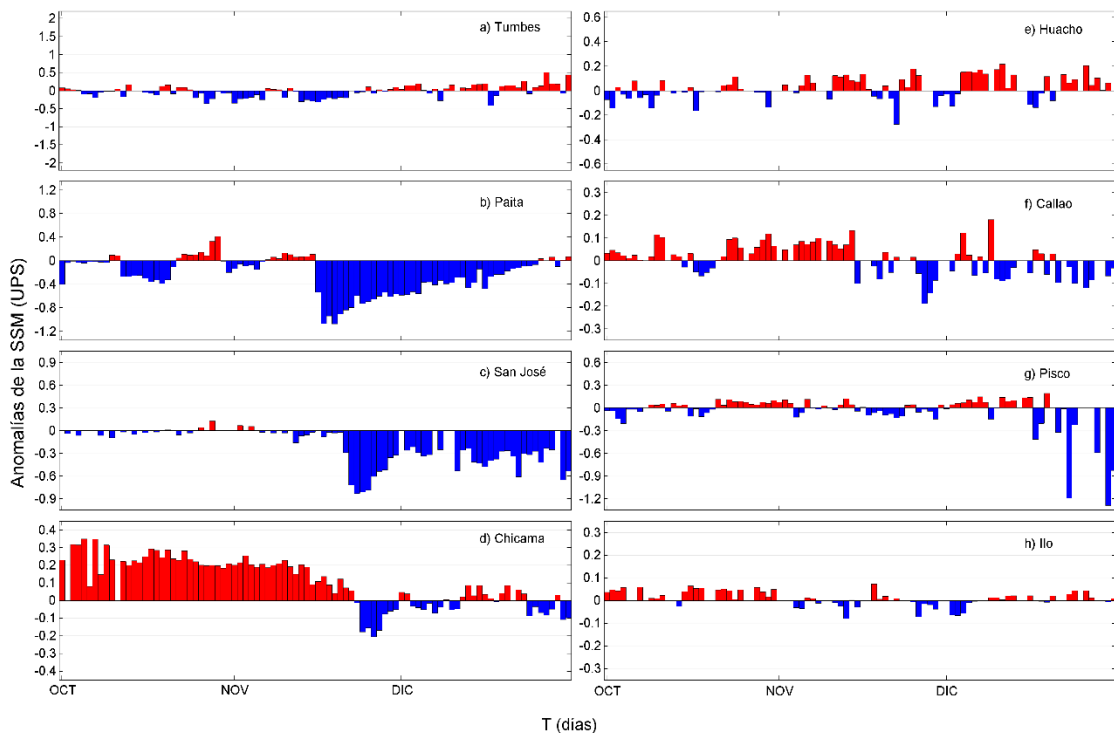


Figura 25. Series de tiempo del promedio diario de las anomalías de la salinidad superficial del mar (ASSM, ups) en la red de muelles costeros que administra IMARPE en el litoral peruano de octubre a diciembre de 2019. Las anomalías se calcularon respecto del promedio climatológico pentadal. Datos y procesamiento: LHFMAFIOF/DGIOCC/IMARPE.

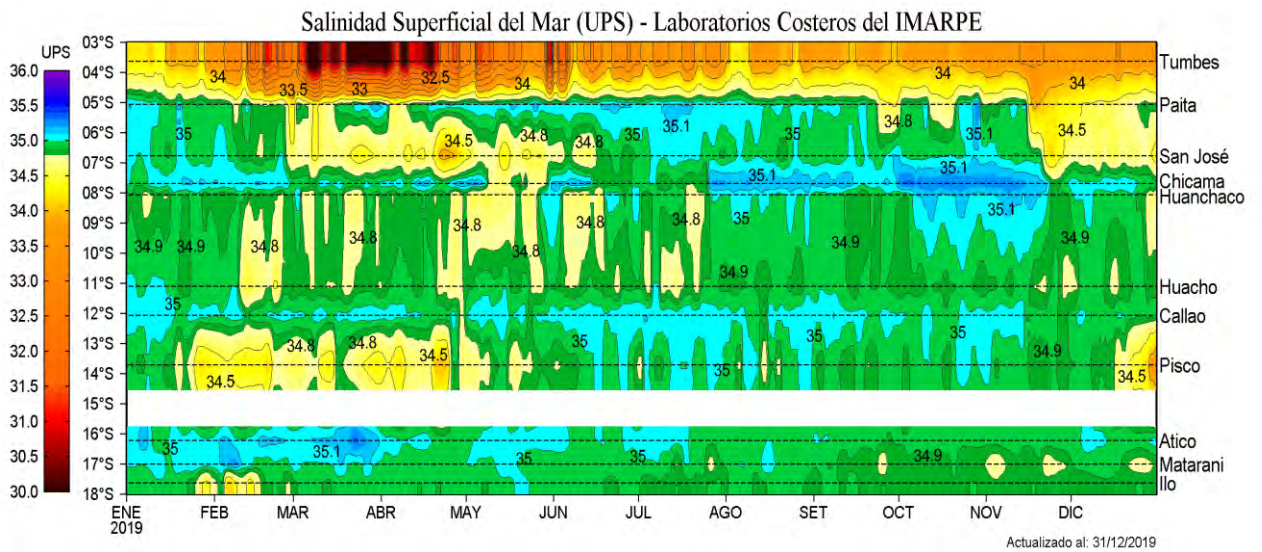


Figura 26. Diagrama Hovmöller de la evolución diaria de la Salinidad Superficial del Mar (SSM, ups) en los muelles costeros que administra IMARPE en el litoral peruano de enero a diciembre de 2019. Procesamiento: LHFMAFIOF/ DGIOCC /IMARPE.

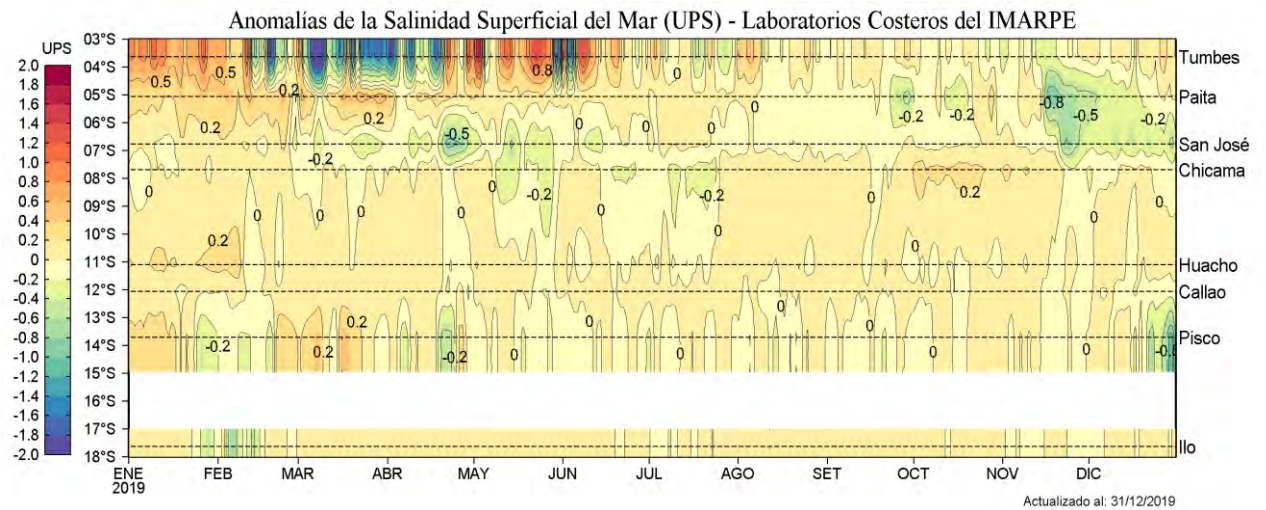


Figura 27. Diagrama Hovmöller de las anomalías de la salinidad superficial del mar (ASSM, ups) en los muelles costeros que administra IMARPE en el litoral peruano de enero a diciembre de 2019. Las anomalías se calcularon respecto del promedio climatológico pentadal. Datos y procesamiento: LHFMAFIOF/DGIOCC/IMARPE.

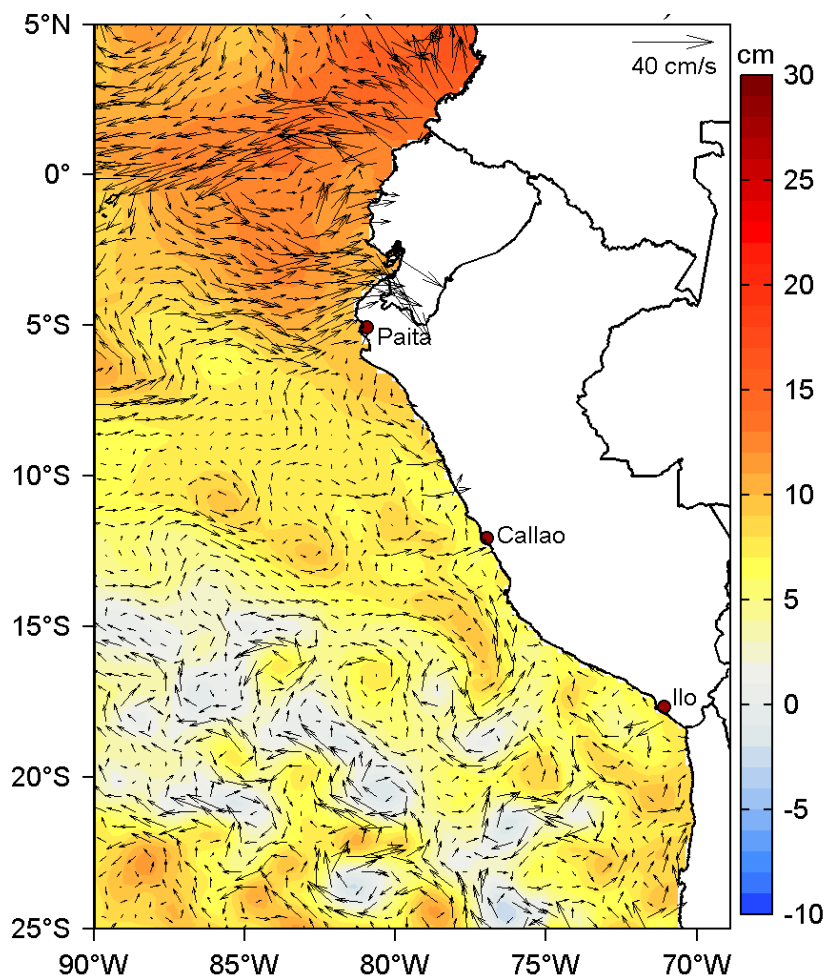


Figura 28. Distribución mensual de las Anomalías del Nivel del Mar (ANM, cm) y los flujos geostroficados (FG, cm s^{-1}) en el Pacífico Sudeste en diciembre de 2019. Fuente: CMEMS v3.0(ftp://nrt.cmemsdu.eu/Core/SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_046/dataset-duacs-nrt-global-merged-allsat-phy-l4/). Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

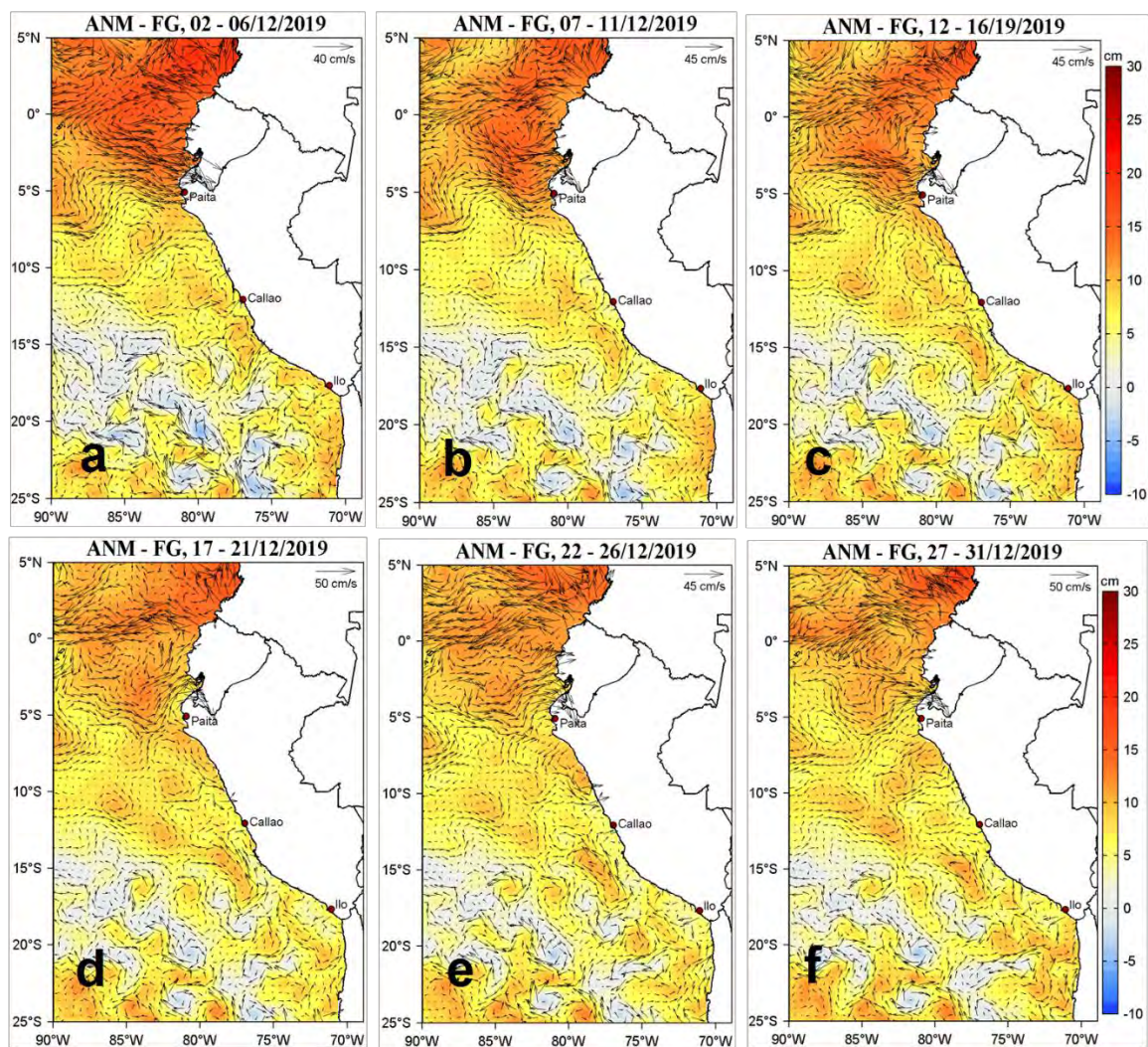


Figura 29. Distribución pentadal de las Anomalías del Nivel del Mar (ANM, cm) y los flujos geostroáficos (FG, cm s⁻¹) en el Pacífico Sureste durante el mes de diciembre de 2019. Fuente: CMEMS v3.0. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

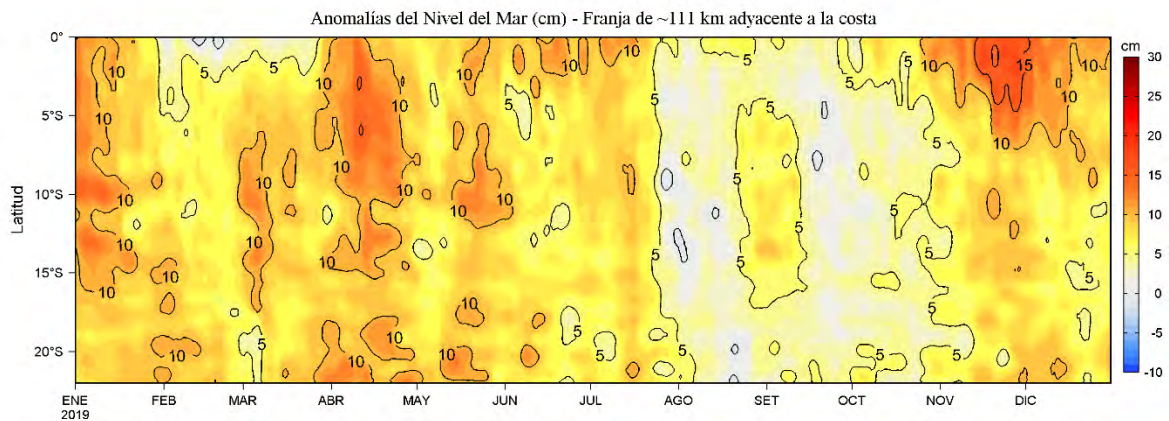


Figura 30. Evolución de las anomalías diarias del Nivel del Mar (cm) calculadas para una franja de 111 km adyacente a la costa entre el ecuador geográfico y 22°S de enero a diciembre de 2019. Fuente: CMEMS v3.0. Climatología: 1993-2012. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

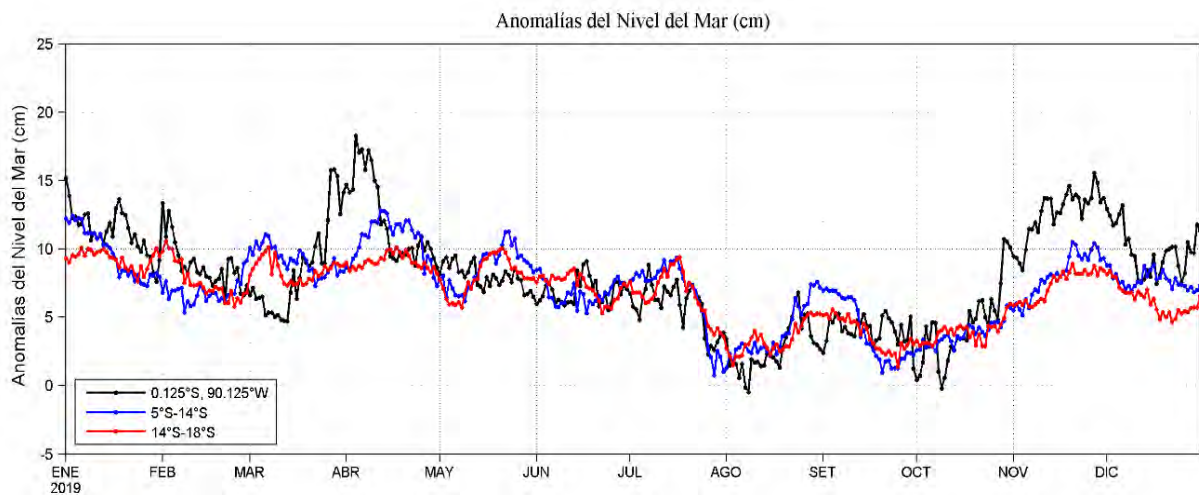


Figura 31. Variación temporal de las Anomalías del Nivel del Mar (cm) en tres áreas del promedio del Pacífico Sudeste: i) área de 75 km centrada en 0.125°S y 90.125°W, y áreas promedio de 60 mn (~111 km) entre ii) 5°S-14°S y iii) 14°S-18°S. Fuente: CMEMS v3.0. Climatología: 1993-2012. Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

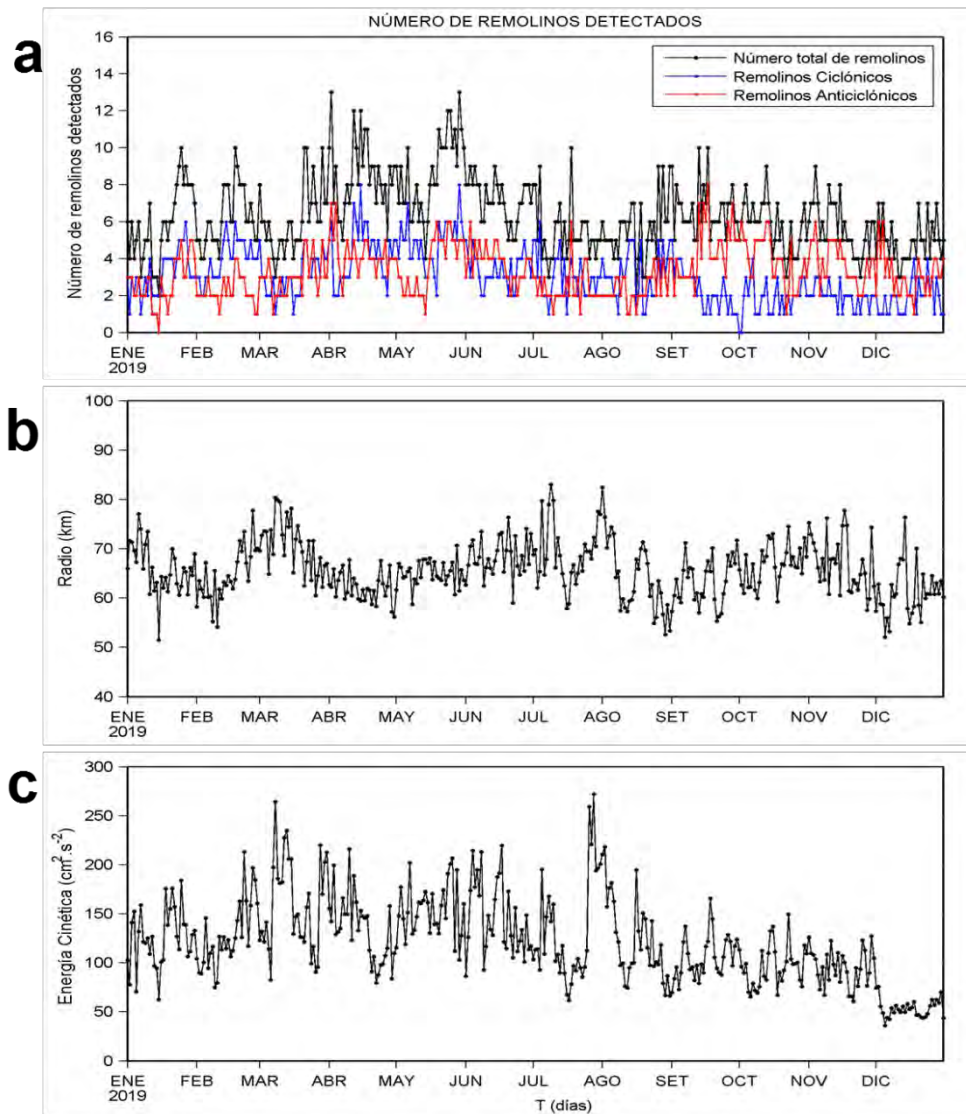


Figura 32. Variación diaria de: a) número de remolinos detectados, b) radio promedio (km) y c) la energía cinética promedio ($\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$) de los remolinos entre 3 y 18°S y de 70°W a 84°W de enero a diciembre de 2019. Procesamiento: LHF/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

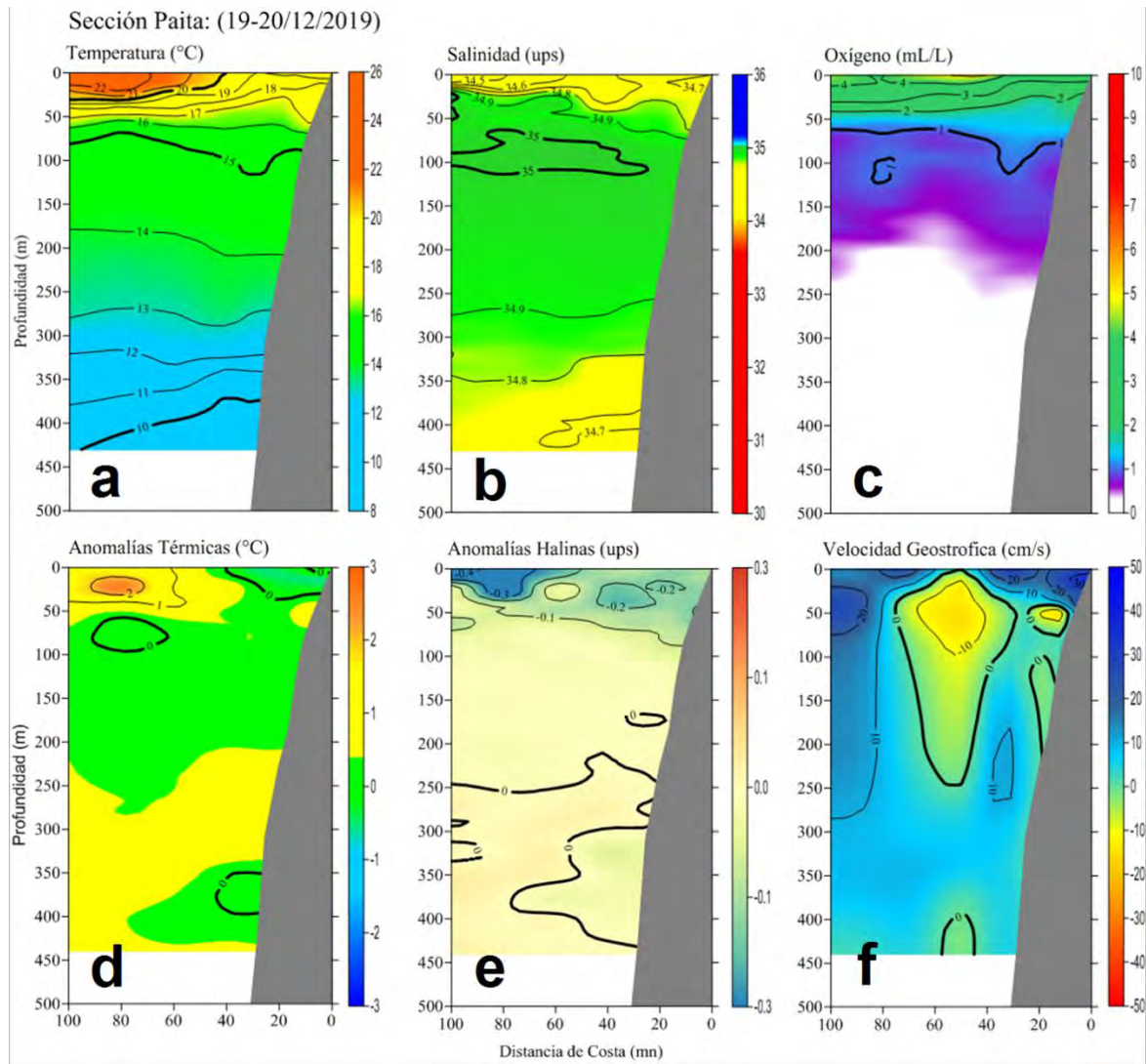


Figura 33. Estructura de a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Anomalías térmicas ($^{\circ}\text{C}$), c) Salinidad (ups), d) Anomalías halinas (ups), e) Oxígeno (mL L^{-1}) y f) Velocidad Geostrofica (cm s^{-1}) frente a Paita durante el “Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Chicama y Paita 1912/PPR-068” realizado del 19 al 20 de diciembre de 2019 a bordo del BIC Luis Flores Portugal. Las anomalías están calculadas con respecto al periodo 1981-2010 (Domínguez, et al; 2017).

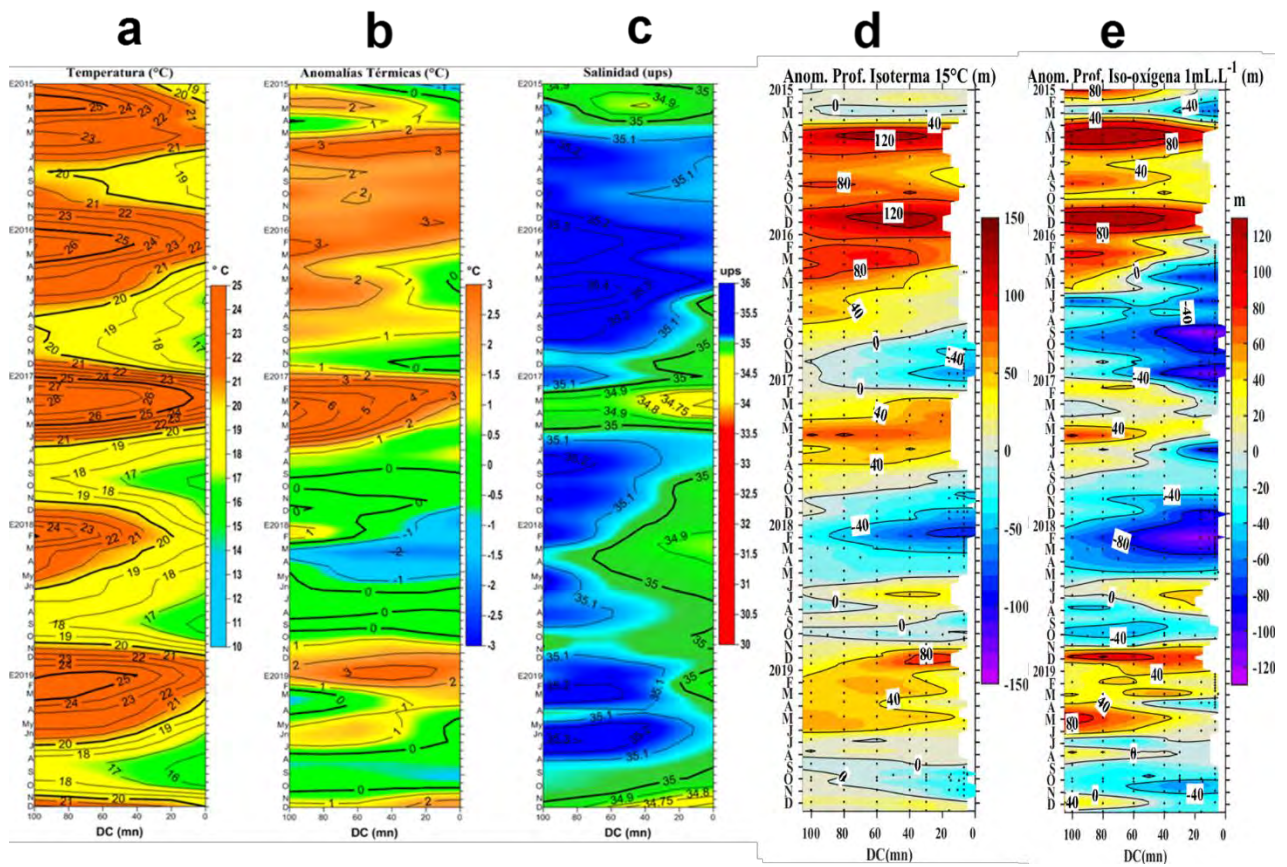


Figura 34. Diagrama Hovmöller de: a) temperatura (°C), b) anomalías térmicas (°C), c) salinidad (ups), d) anomalías de la profundidad (m) de la isoterma de 15 °C, y e) anomalías de la profundidad (m) de la iso-oxígeno de 1 mL L⁻¹ frente a Paita durante el “Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Chicama y Paita 1912/PPR-068” de enero de 2015 a diciembre de 2019. Datos: IMARPE.

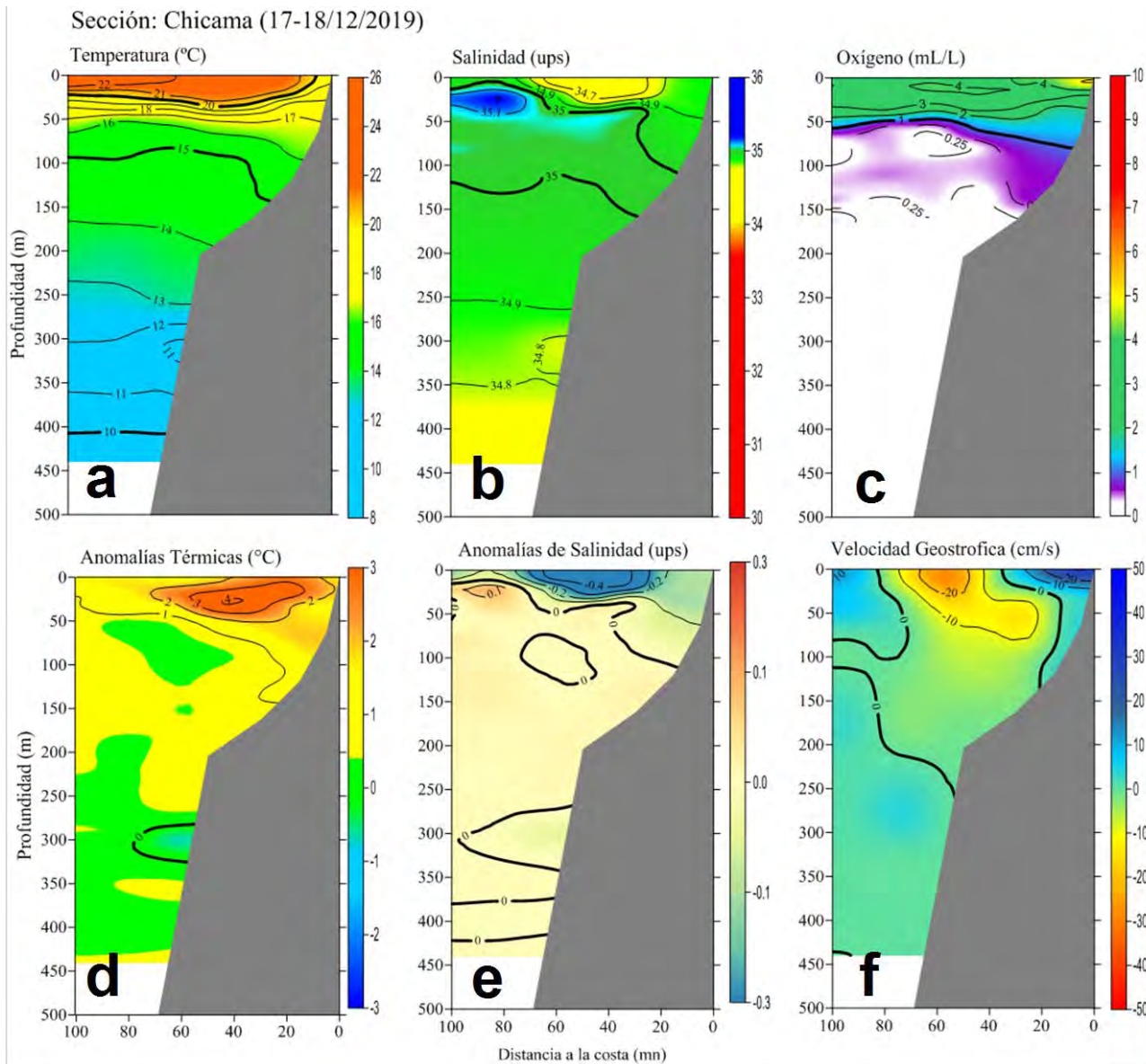


Figura 35. Estructura de: a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Anomalías térmicas ($^{\circ}\text{C}$), c) Salinidad (ups), d) Anomalías halinas (ups), e) Oxígeno (mL L^{-1}) y f) Velocidad Geostrofica (cm s^{-1}) frente a Chicama durante el “Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Chicama y Paita 1912/PPR-068” realizado del 17 al 18 de diciembre de 2019 a bordo del BIC Luis Flores Portugal. Las anomalías están calculadas con respecto al periodo 1981-2010 (Domínguez, et al; 2017).

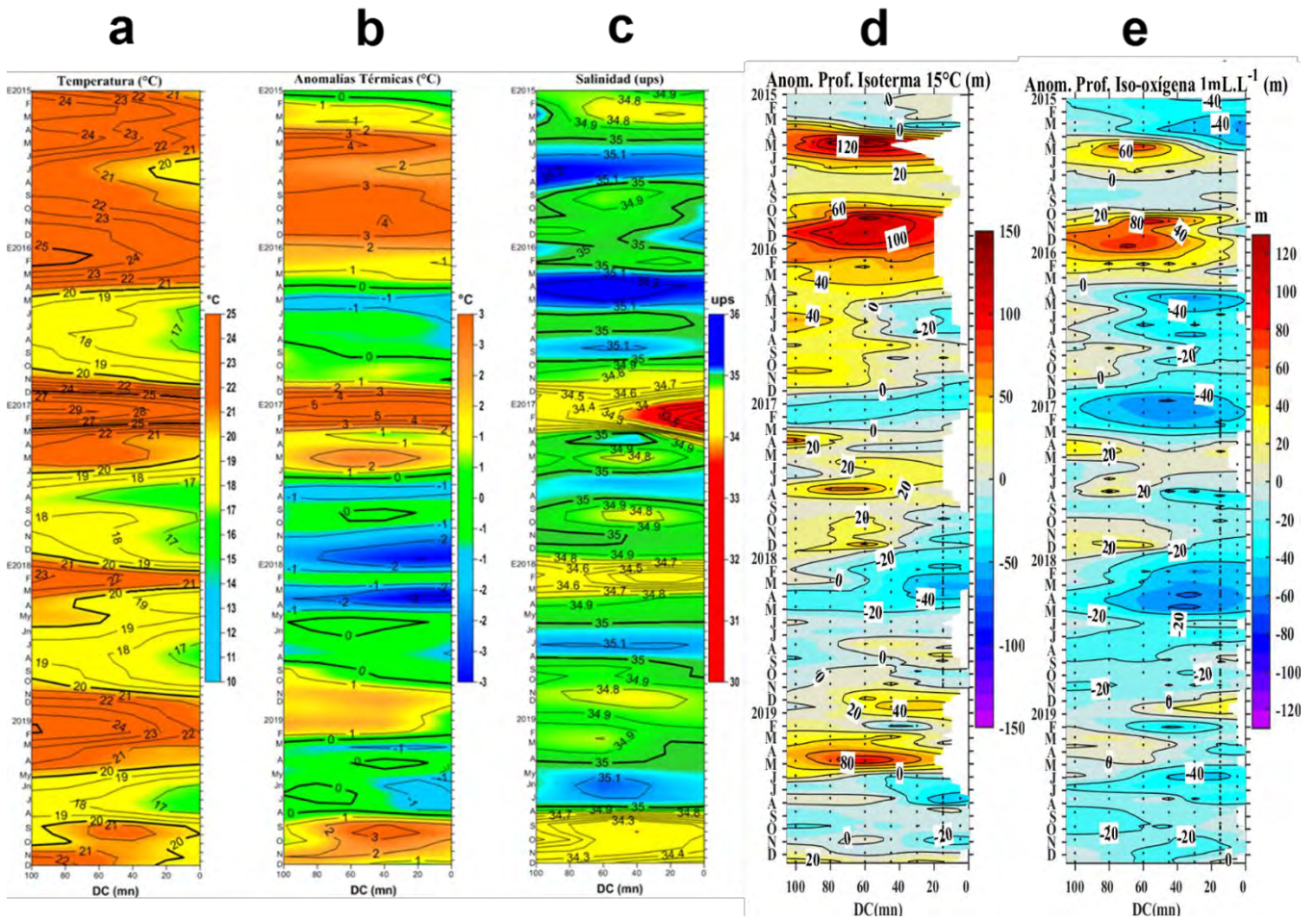


Figura 36. Diagrama Hovmöller de: a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) anomalías térmicas ($^{\circ}\text{C}$), c) salinidad (ups), d) anomalías de la profundidad (m) de la isoterma de 15°C , y e) anomalías de la profundidad (m) de la iso-oxígeno de 1 mL L^{-1} frente a Chicama durante el “Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Chicama y Paíta 1912/PPR-068” de enero de 2015 a diciembre de 2019.

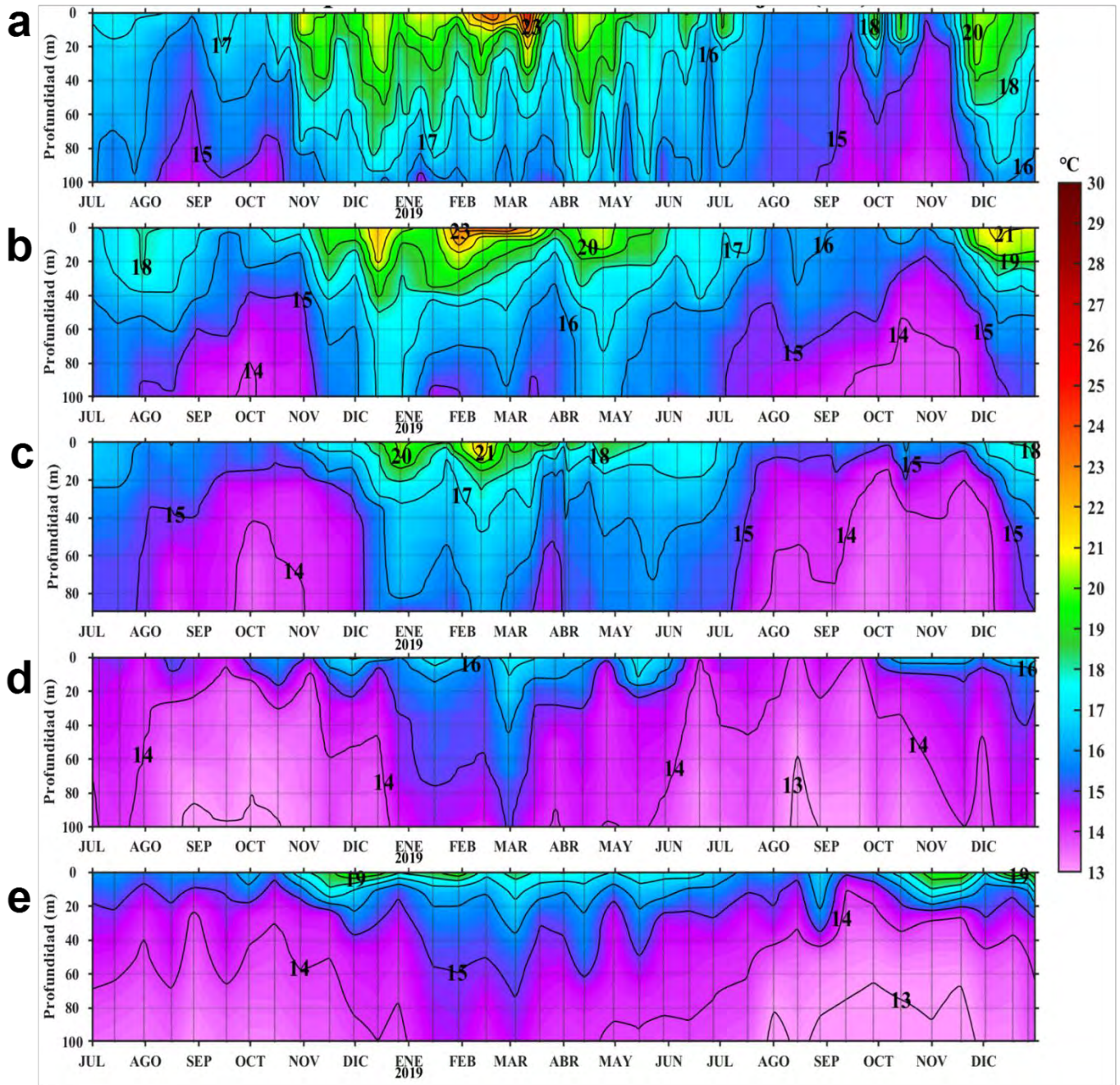


Figura 37. Evolución de la Temperatura del agua de mar (°C) para las estaciones fijas de: a) Paita, b) Chicama, c) Callao, d) Atico y e) Ilo de julio 2018 a diciembre de 2019. Los puntos en la columna de agua indican los días en que se realizaron los monitoreos. Procesamiento: AFIOQ/DGIOCC/IMARPE.

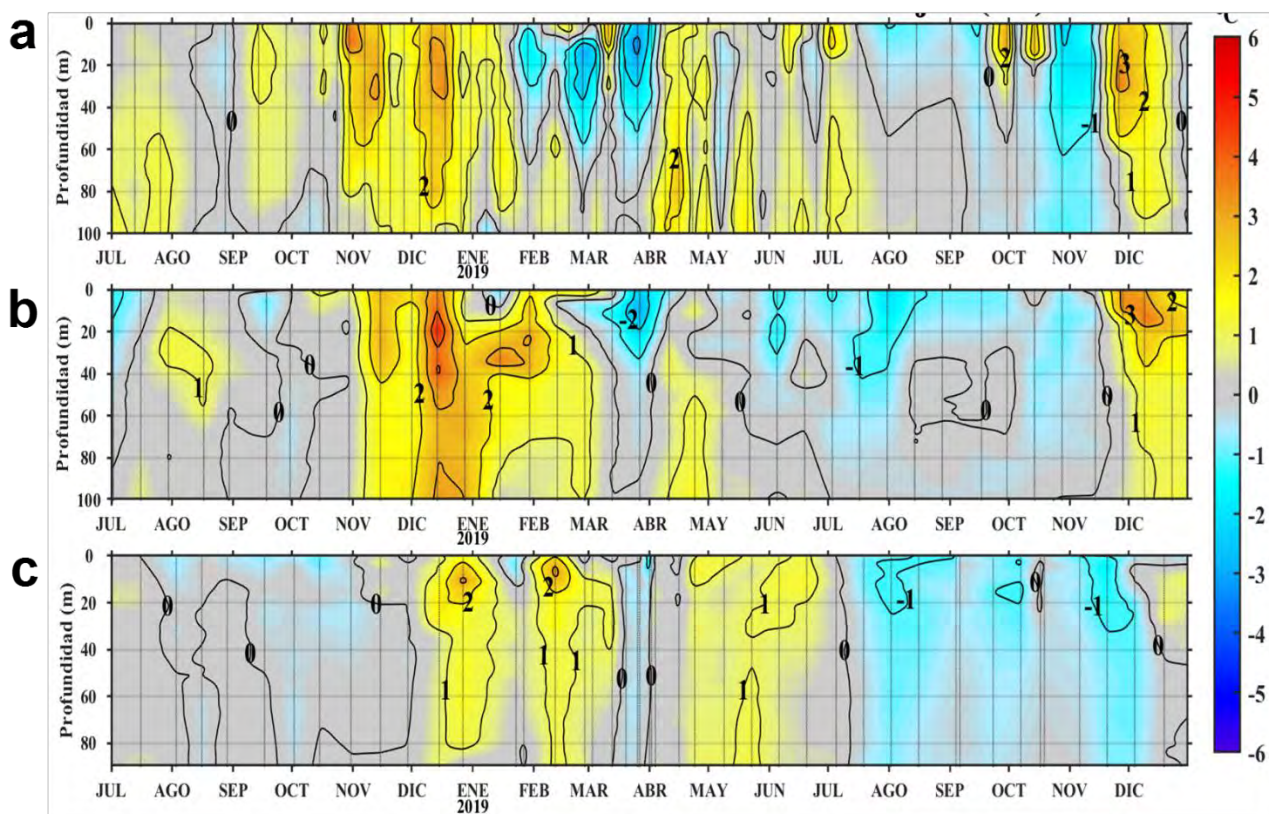


Figura 38. Evolución de las anomalías de la Temperatura del agua de mar ($^{\circ}\text{C}$) para las estaciones fijas de: a) Paita, b) Chicama y c) Callao de julio 2018 a diciembre de 2019. Las anomalías de la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) se calcularon en base al promedio climatológico de 1981-2010 de acuerdo a Anculle, *et al* (2015). Los puntos en la columna de agua indican los días en que se realizaron los monitoreos. Datos: Monterrey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) para el periodo de 1982 a mayo de 2013 y de IMARPE para el periodo de 2013 a la fecha. Procesamiento: AFIOQ/DGIOCC/IMARPE.

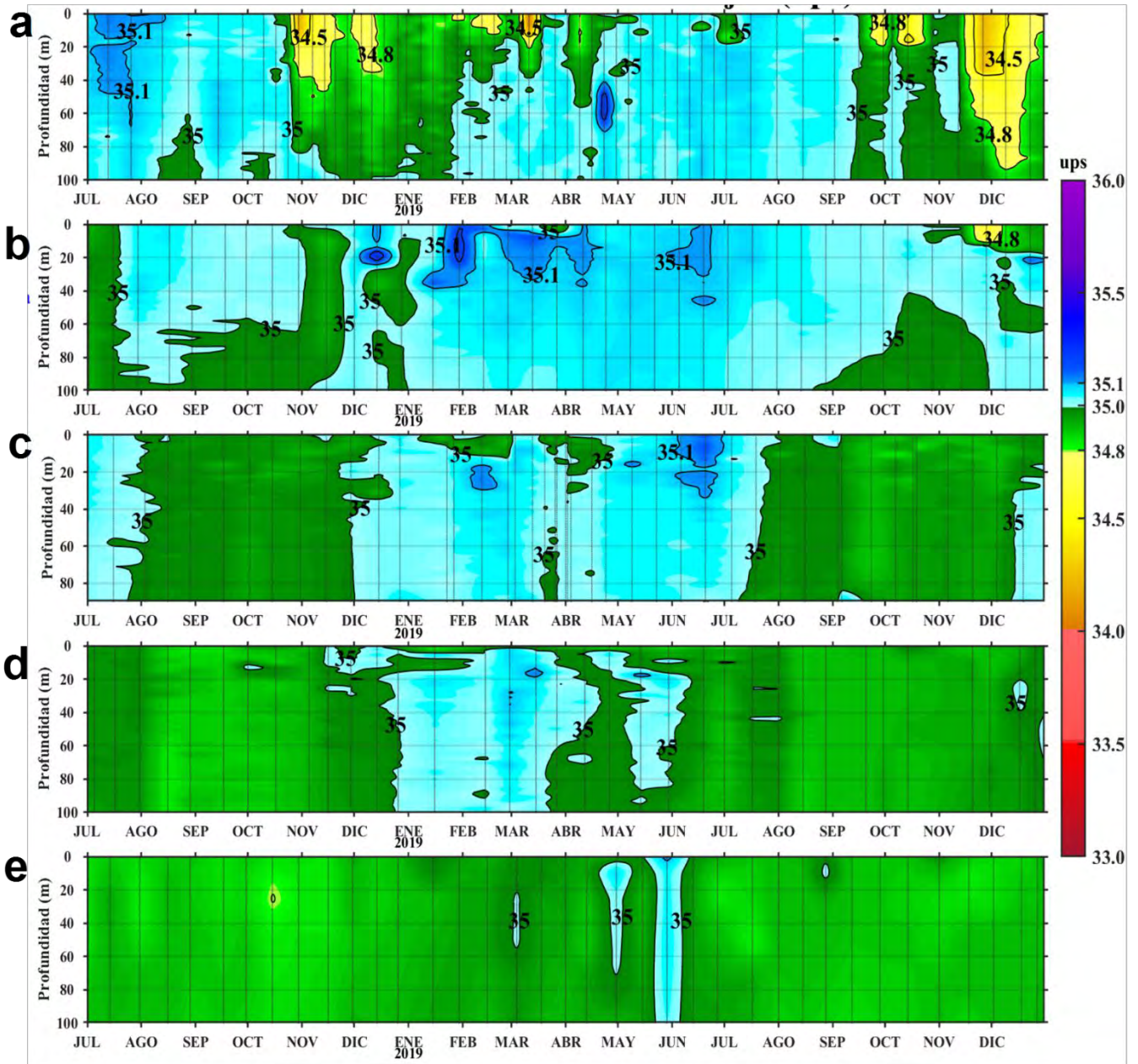
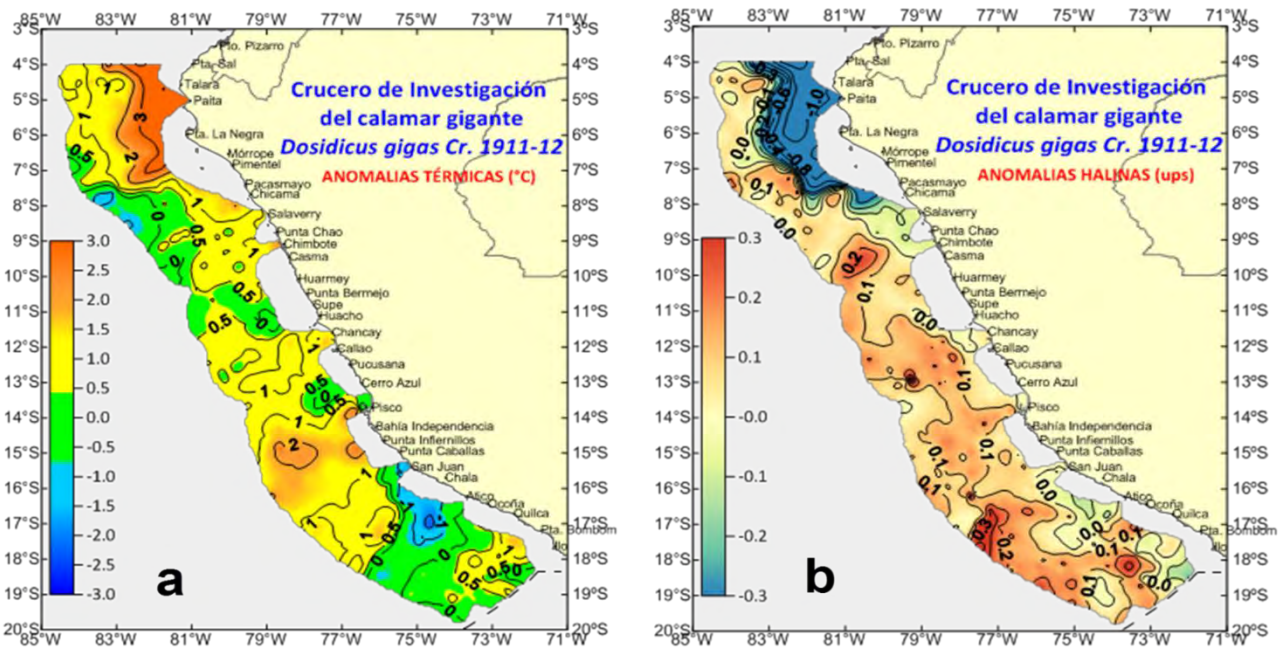


Figura 39. Evolución de la Salinidad del agua de mar (ups) para las estaciones fijas de: a) Paita, b) Chicama, c) Callao, d) Atico y e) Ilo de julio 2018 a diciembre de 2019. Los puntos en la columna de agua indican los días en que se realizaron los monitoreos. Procesamiento: AFIOQ/DGIOCC/IMARPE.



C

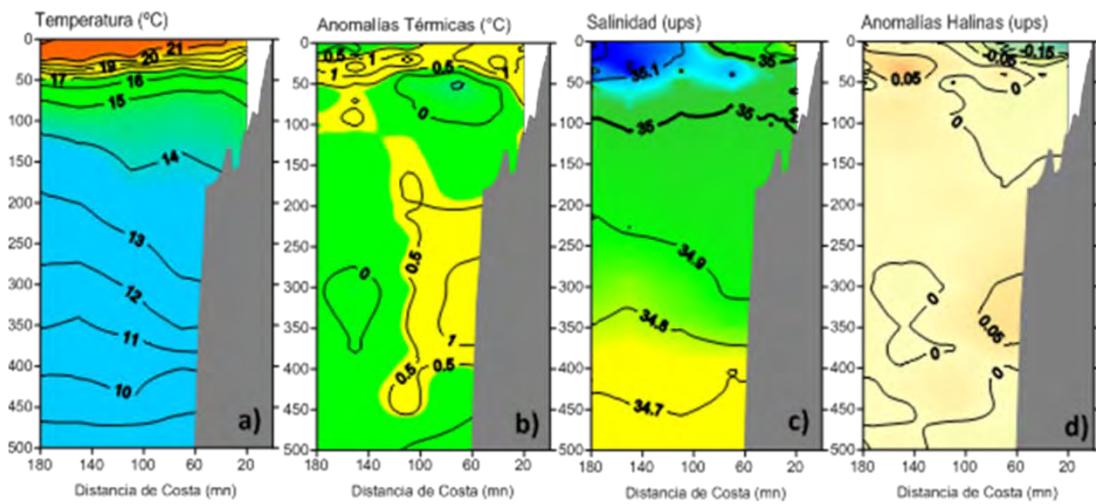


Figura 40. a) Anomalías térmicas ($^{\circ}\text{C}$), b) Anomalías halinas (ups) y c) Estructura termohalina en la sección Malabrigo realizada del 04 al 05 de diciembre 2019. Crucero de Investigación del Calamar Gigante 1911-12. BIC's Humboldt y Olaya. Datos: IMARPE.

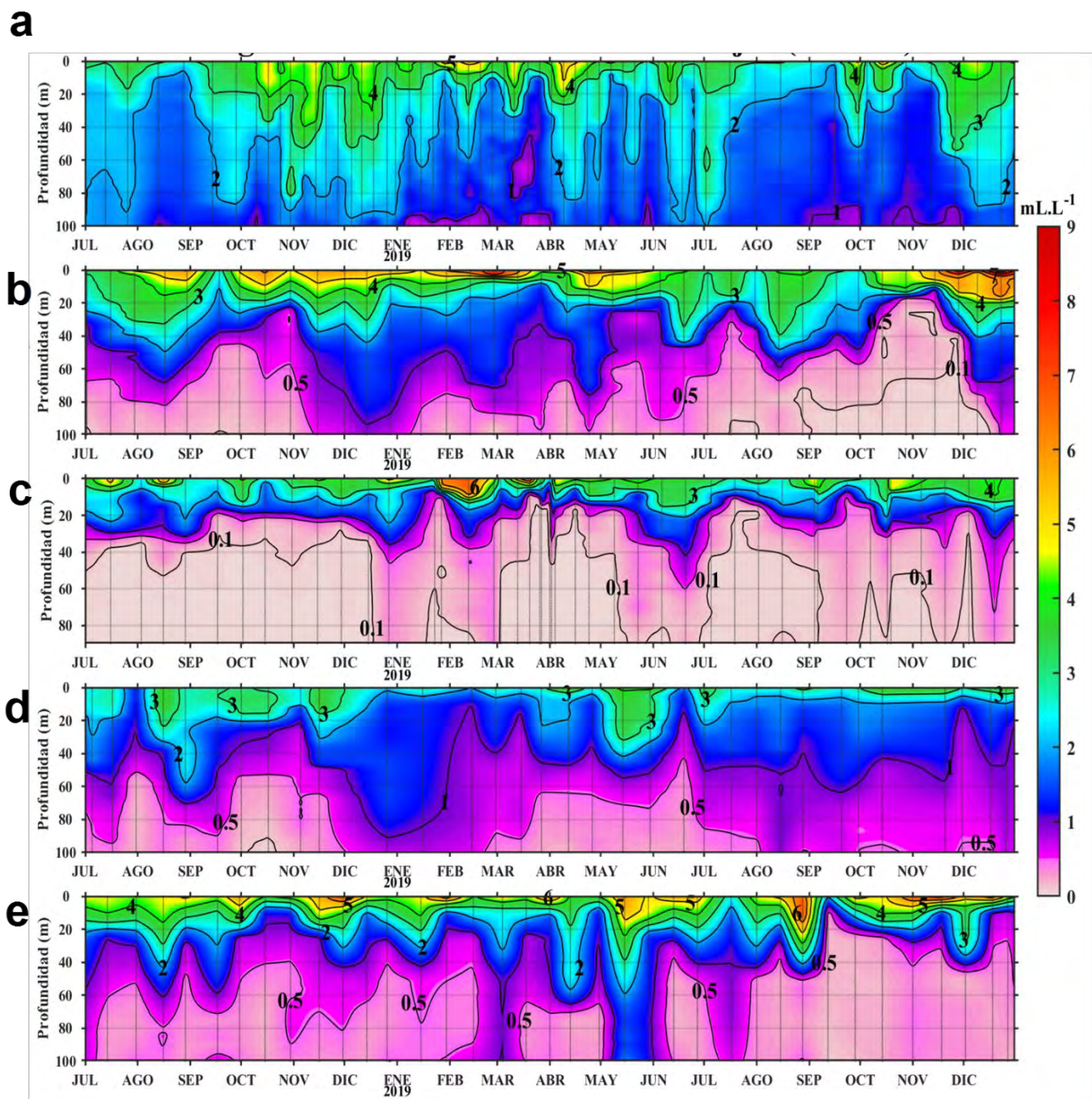
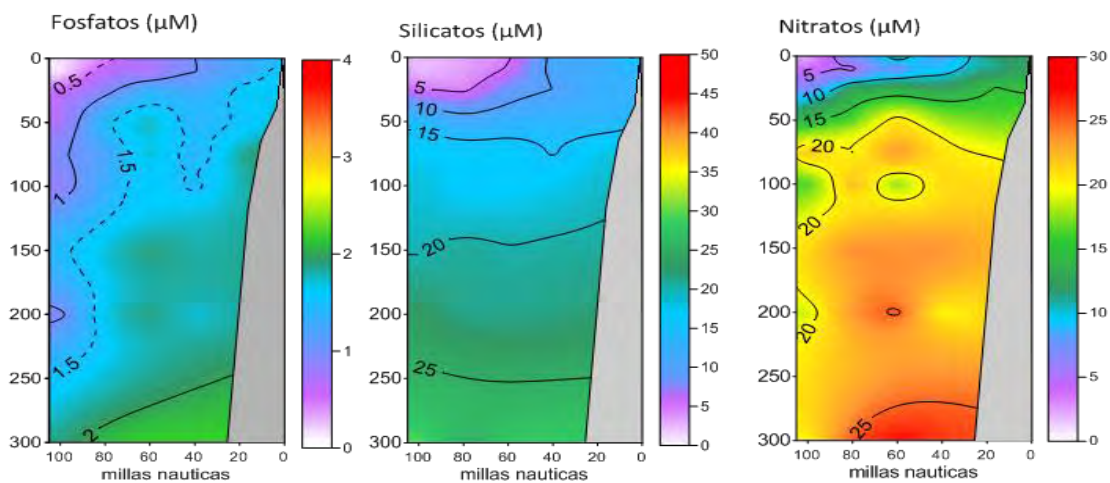


Figura 41. Evolución del contenido de oxígeno disuelto (mL L^{-1}) para las estaciones fijas de: a) Paíta, b) Chicama, c) Callao, d) Atico y e) Ilo de julio 2018 a diciembre de 2019. Los puntos en la columna de agua indican los días en que se realizaron los monitoreos. Procesamiento: AFIOQ/DGIOCC/IMARPE.

a)

Paita 19-20 Diciembre 2019



b)

Chicama 17-18 Diciembre 2019

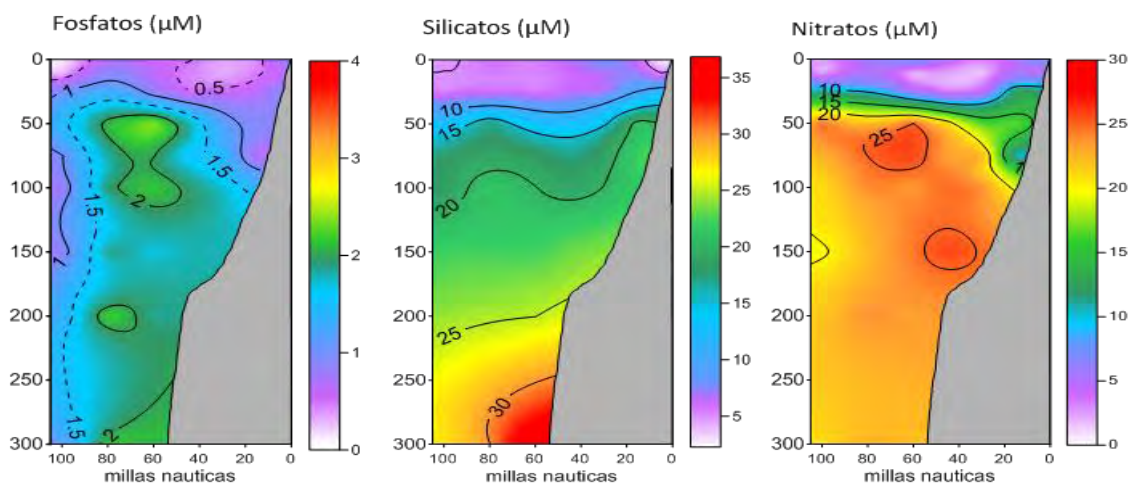


Figura 42. Distribución vertical de fosfatos, silicatos y nitratos en μM , en la sección Paita (a, durante 19-20 de diciembre 2019) y en la sección Chicama (b, durante 17-18 de diciembre 2019) realizada durante el "Monitoreo Bio-Oceanográfico frente a Chicama y Paita 1912/PPR-068" a bordo del BIC Luis Flores Portugal. Fuente: IMARPE.

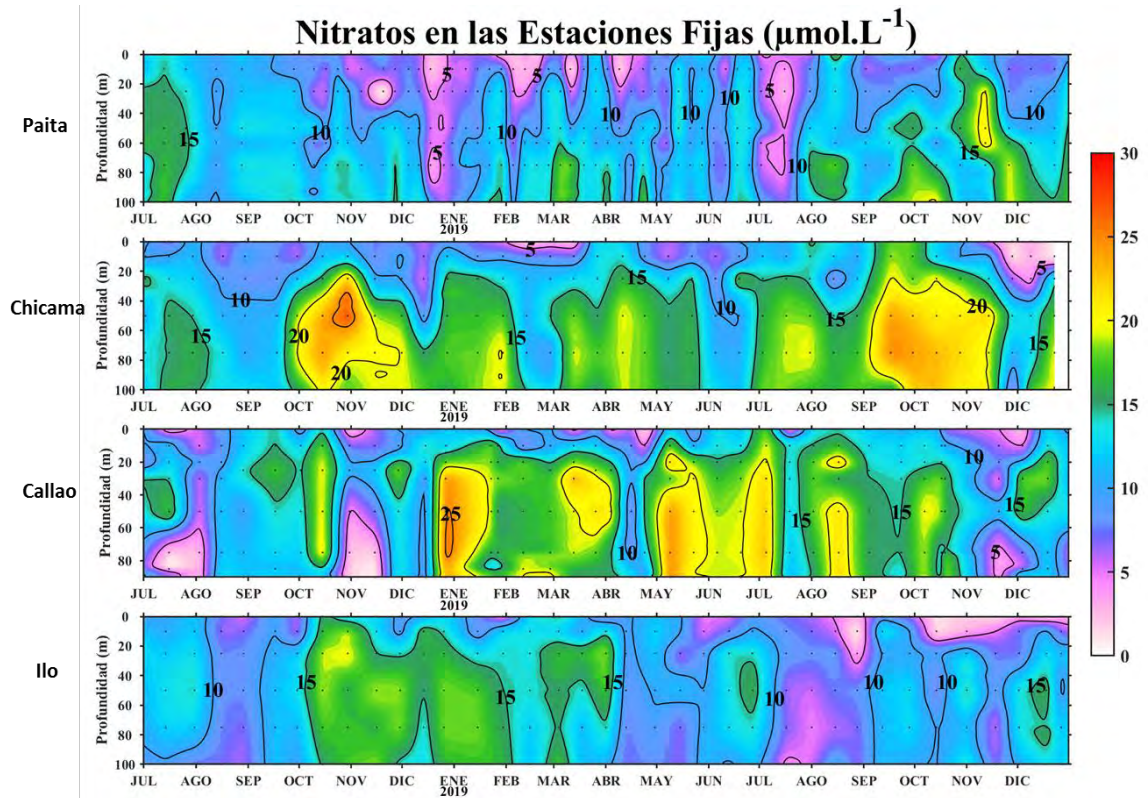


Figura 43. Series de tiempo de la concentración de nitrato (μM) en las estaciones fijas de Paita, Chicama, Callao, Atico e Ilo de julio de 2018 a diciembre de 2019. Fuente: IMARPE.

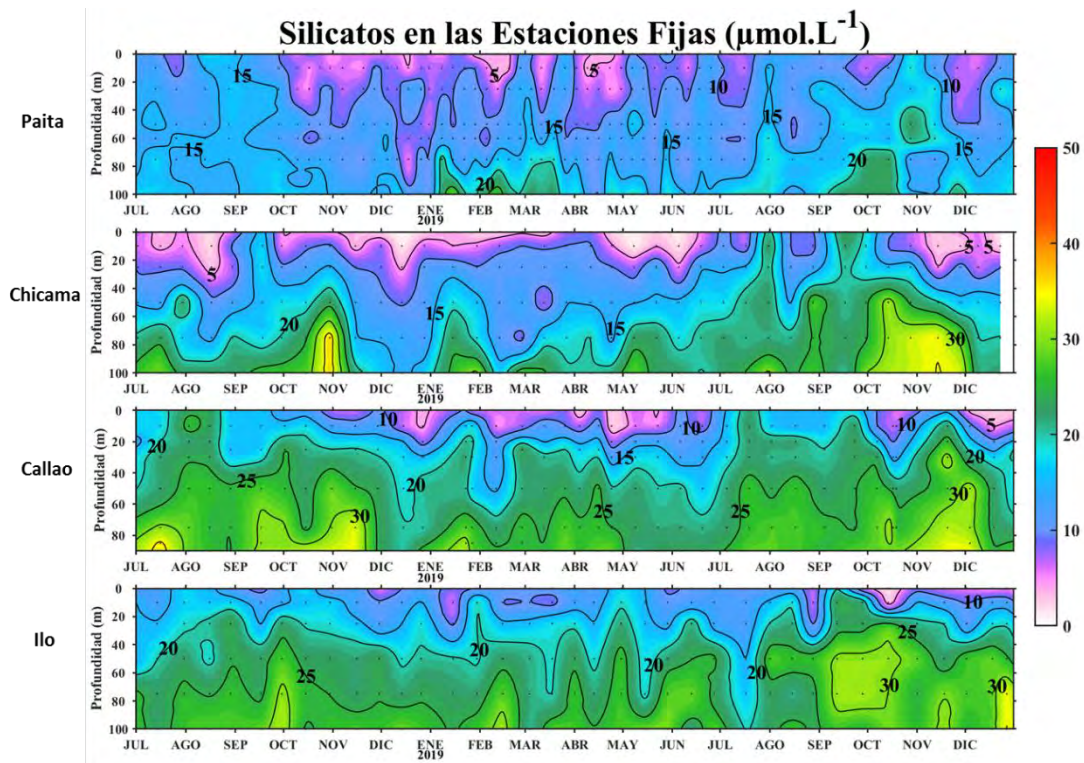


Figura 44. Series de tiempo de la concentración de silicatos (μM) en las estaciones fijas de Paita, Chicama, Callao, Atico e Ilo de julio de 2018 a diciembre de 2019. Fuente: IMARPE.

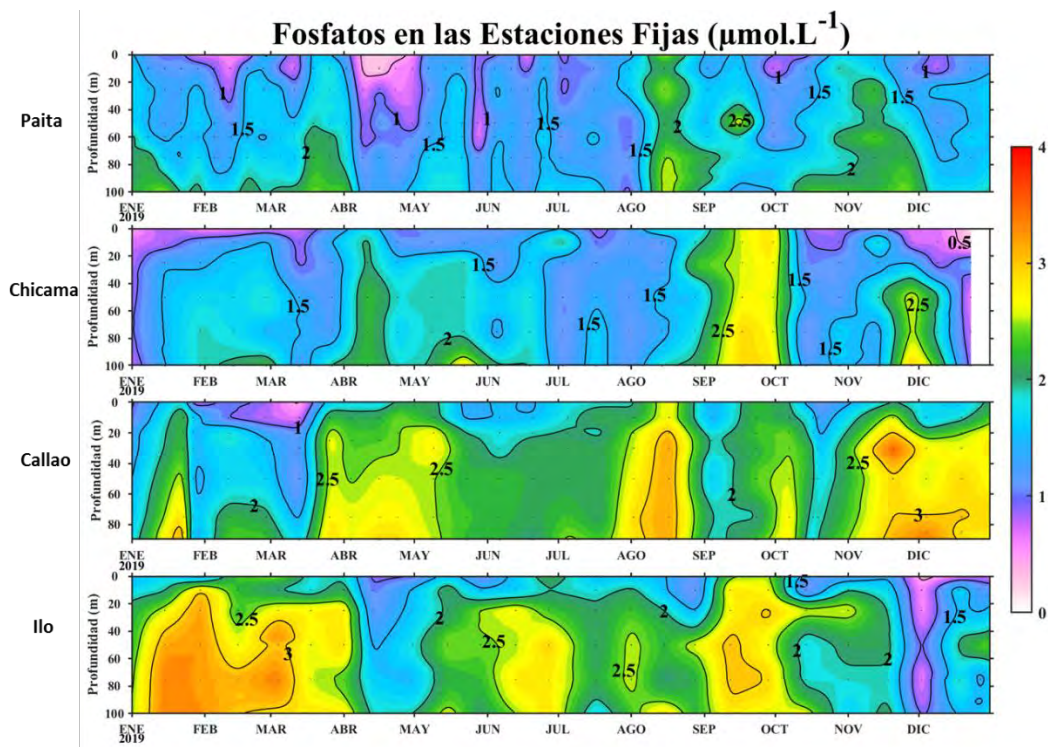


Figura 45. Series de tiempo de la concentración de fosfatos (μM) en las estaciones fijas de Paíta, Chicama, Callao, Atico e Ilo de enero de 2019 a diciembre de 2019. Fuente: IMARPE.

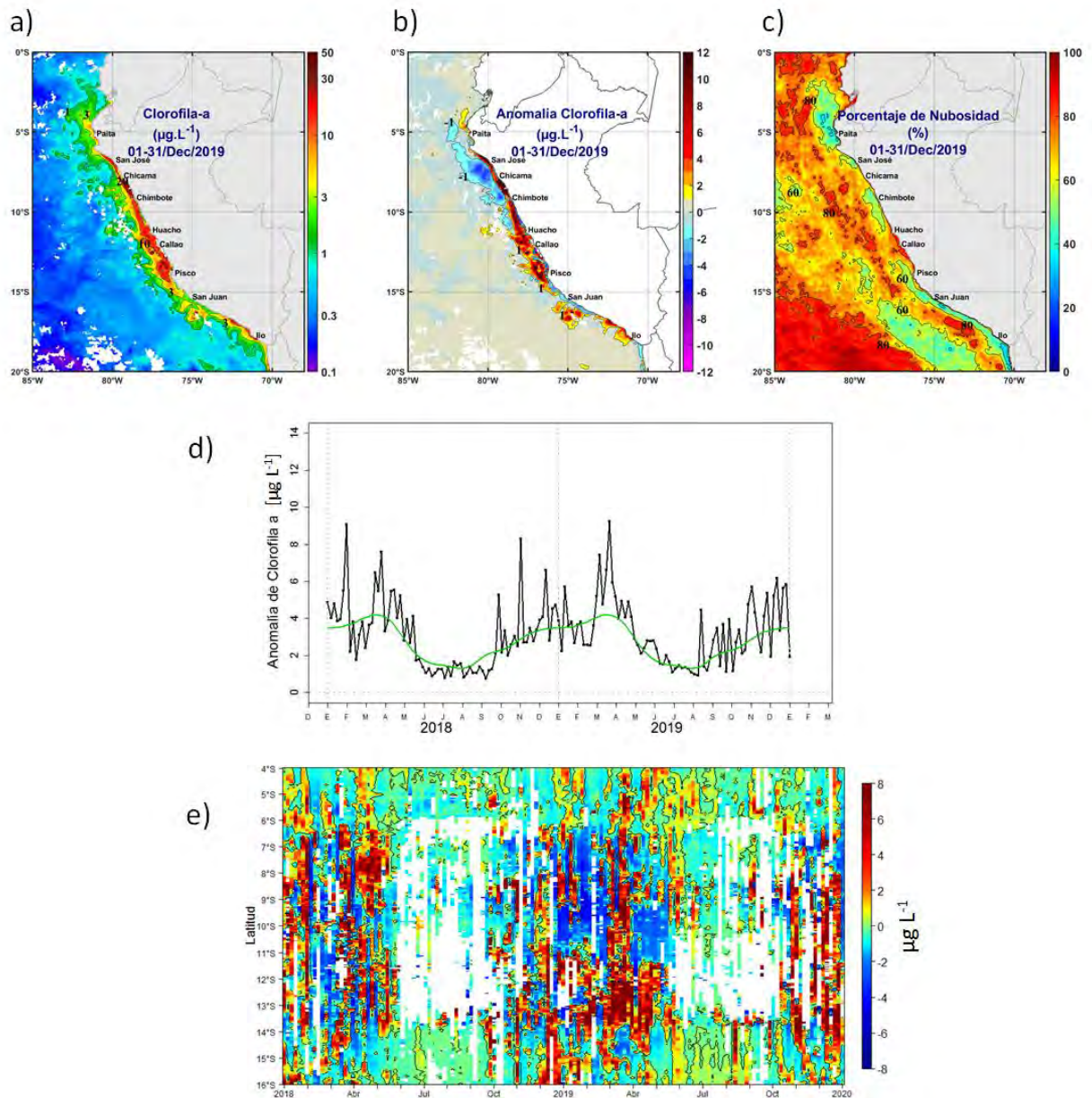


Figura 46. Mapa de la concentración (a) y anomalía (b) de clorofila-a satelital proveniente de MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP durante diciembre 2019 (en $\mu\text{g L}^{-1}$). Número de días con nubes en (c). Serie de tiempo (d) para 4°S - 16°S y dentro de los 100 km de la costa, de las concentraciones de clorofila-a 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.

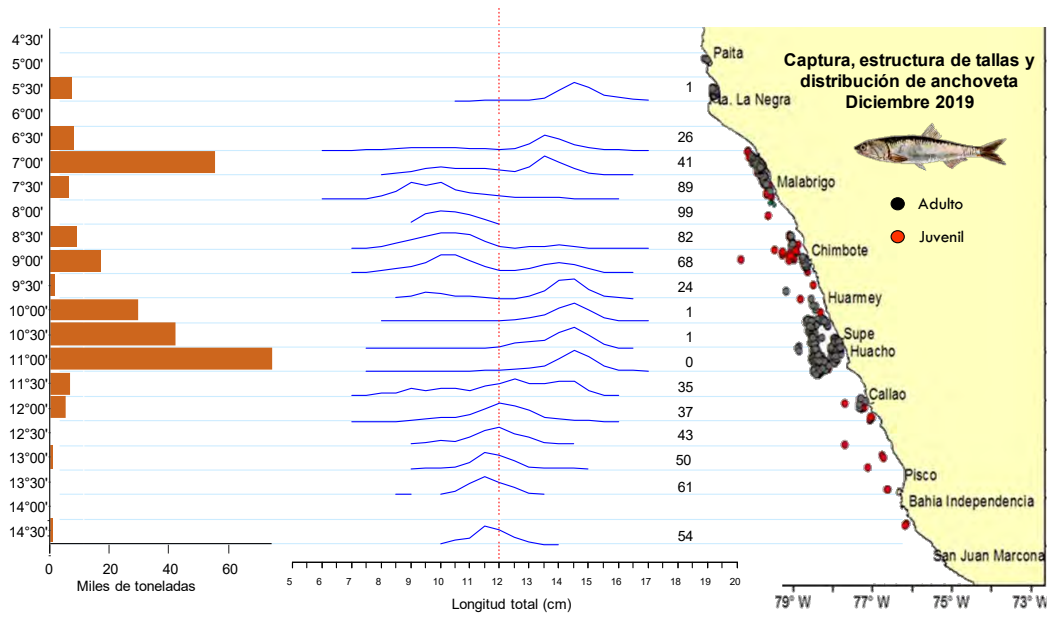


Figura 47. Captura (t) y estructura de tallas según latitud (°S) y distribución de anchoveta durante diciembre 2019 en la región norte – centro.

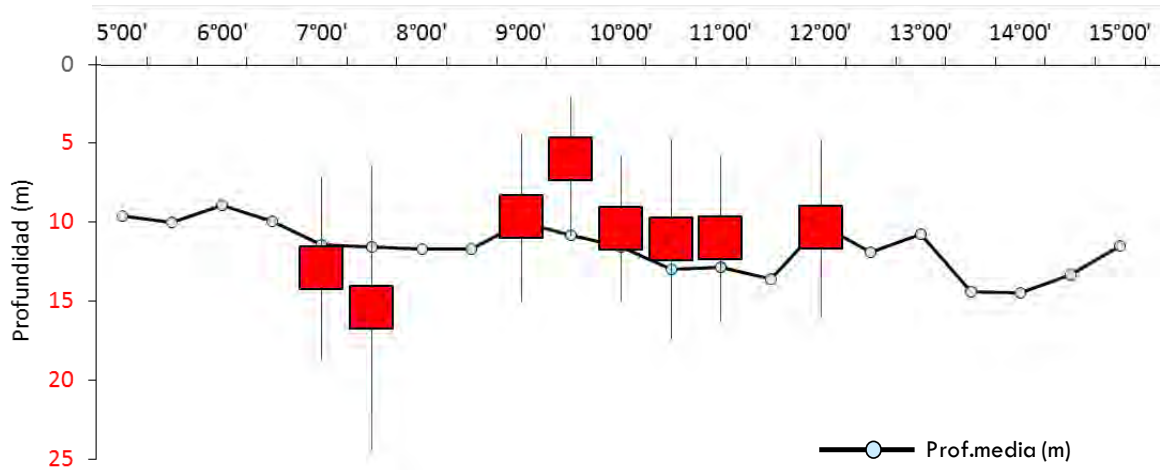


Figura 48. Distribución vertical de cardumen de anchoveta durante diciembre 2019 en la región norte – centro.

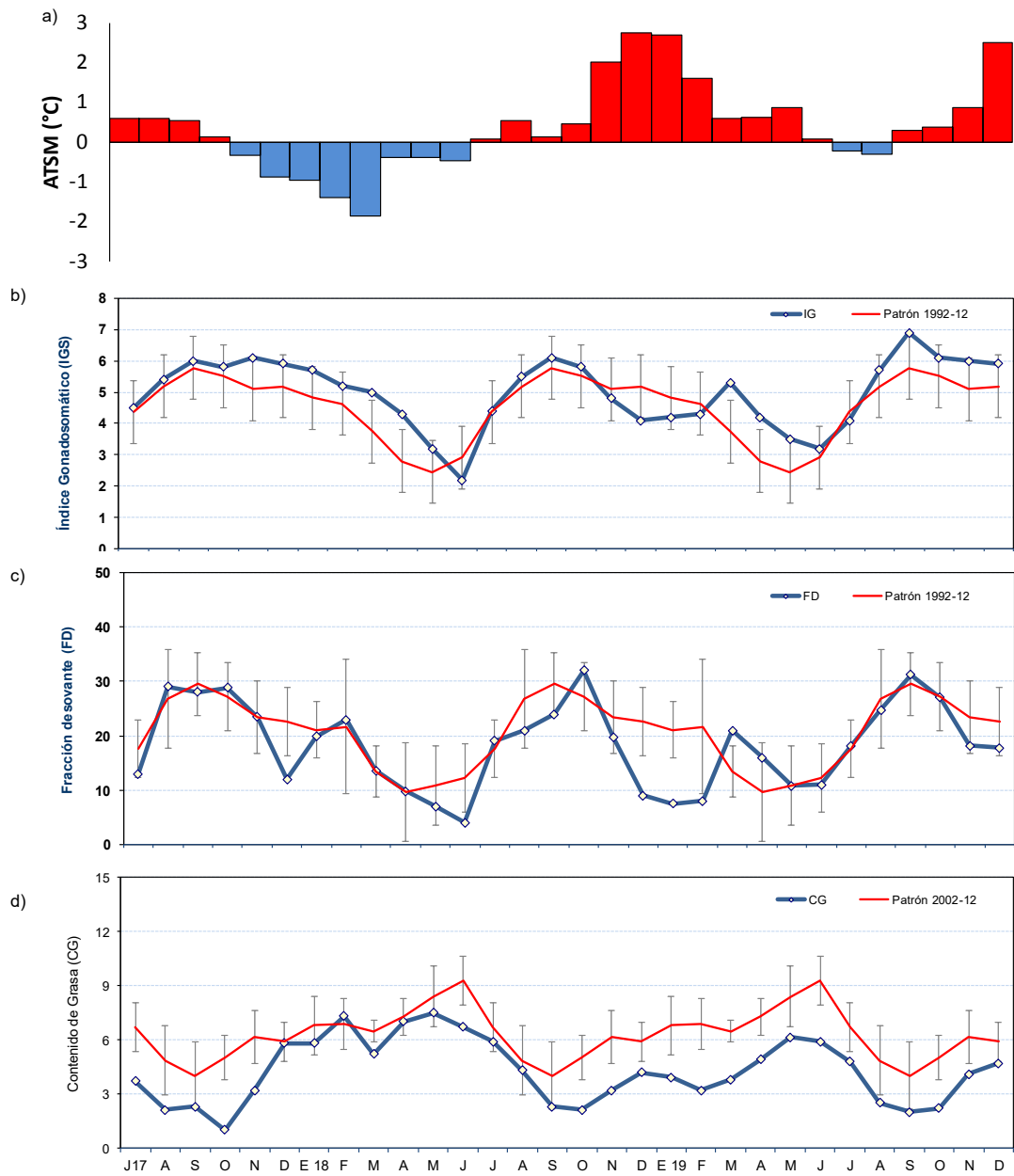


Figura 49. a) Anomalia de la TSM (°C) de Chicama, indicadores reproductivos b) Índice Gonadosomático (IGS) y c) Fracción Desovante (FD) e indicador somático d) Contenido graso del stock norte – centro de anchoveta. Serie mensual: julio 2017 a diciembre del 2019. Fuente: LBR/AFIRNP/DGIRP/IMARPE.

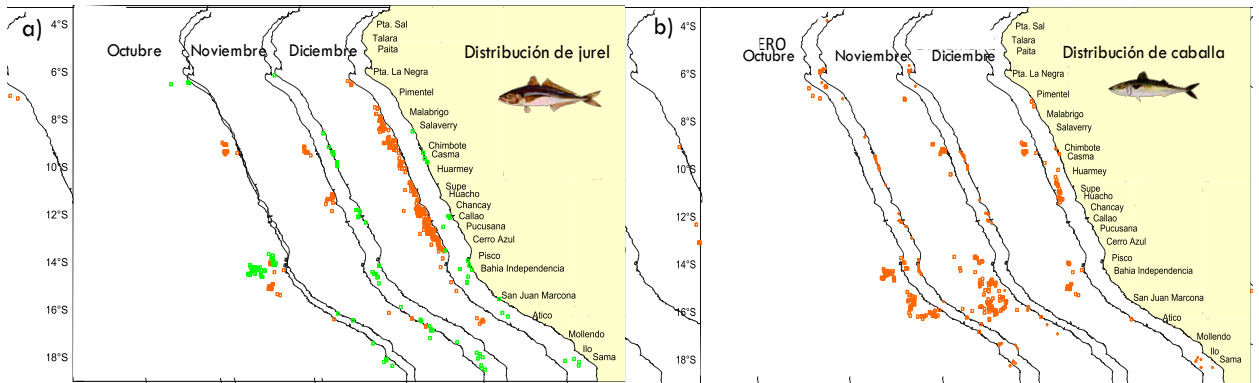


Figura 50. Distribución latitud ($^{\circ}$ S) de a) jurel y b) caballa durante diciembre 2019.

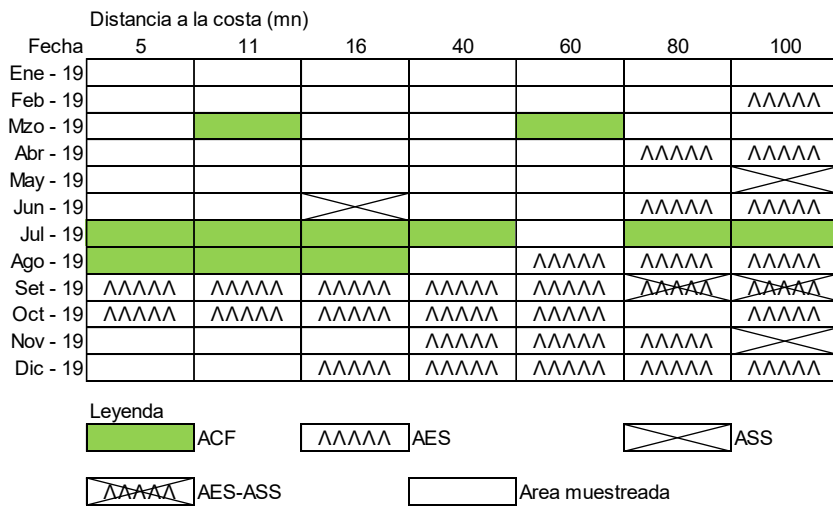


Figura 51. Distribución de indicadores biológicos de fitoplancton frente a Paita 1912

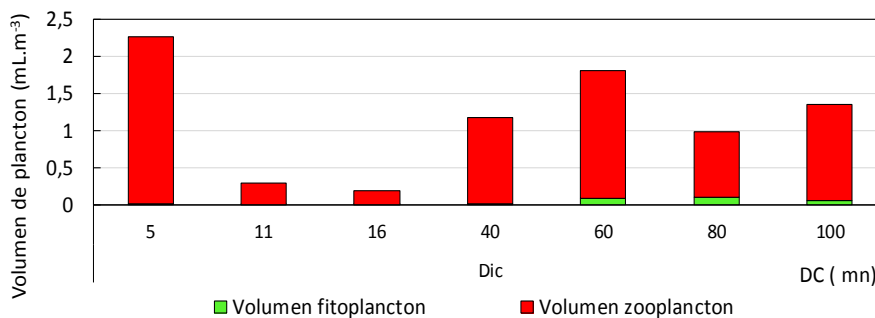


Figura 52. Variación de volúmenes de plancton en la sección Paita 1912

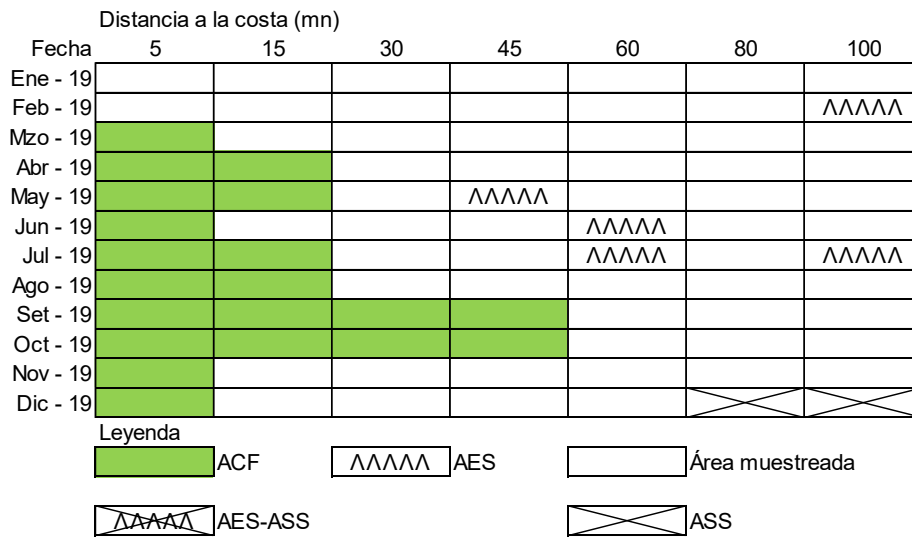


Figura 53. Distribución de indicadores biológicos de fitoplancton frente a Chicama 1912

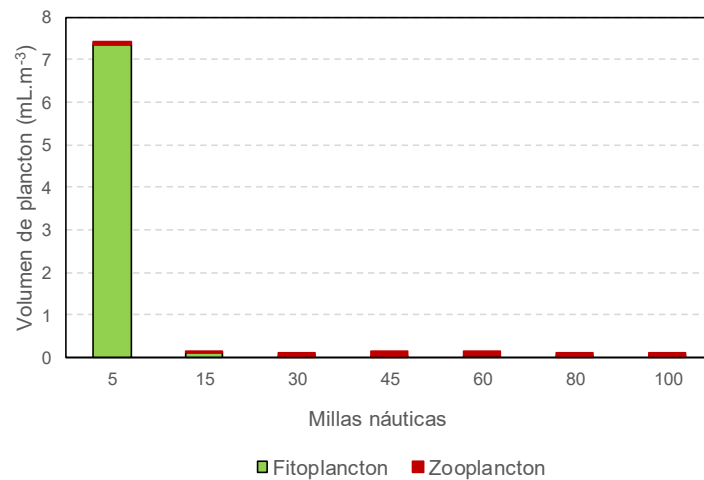


Figura 54. Variación de volúmenes de plancton en la sección Chicama 1912

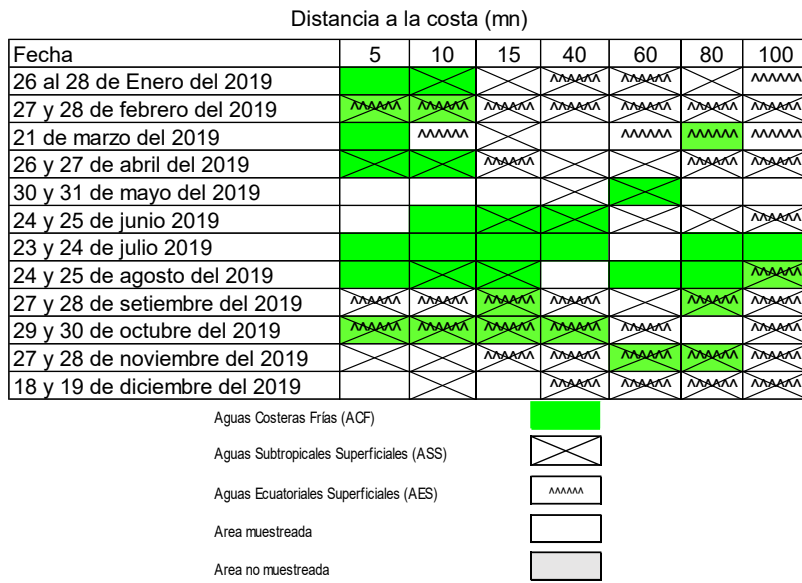


Figura 55. Indicadores biológicos de zooplancton frente a Paita.

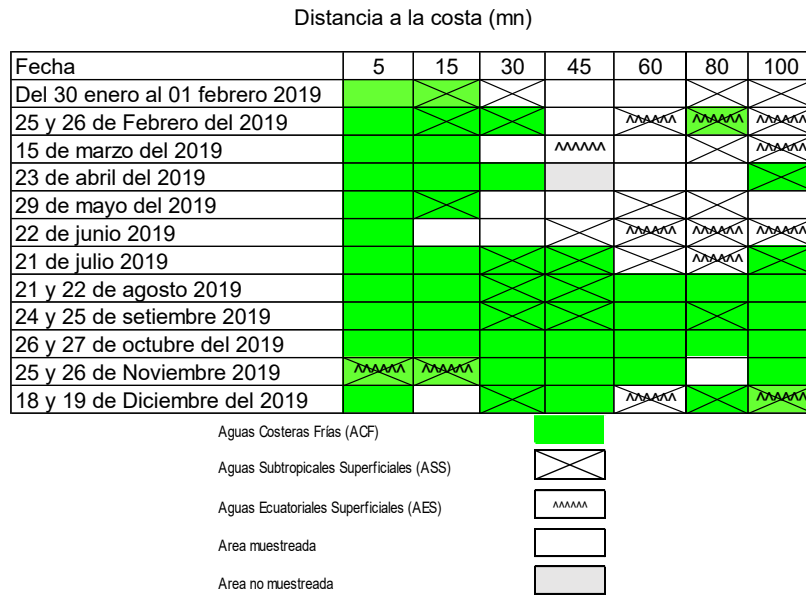


Figura 56. Indicadores biológicos de zooplancton frente a Chicama.

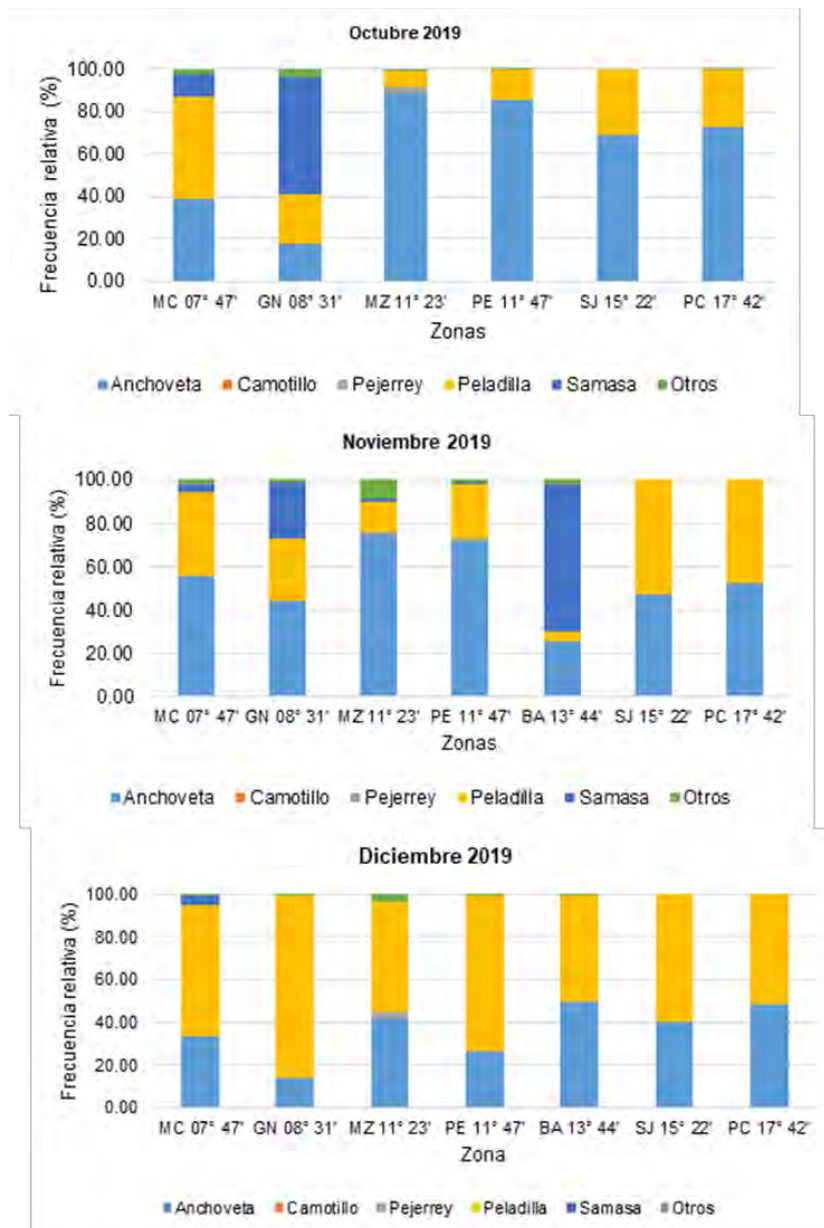


Figura 57. Variación latitudinal mensual de la composición por especies de la dieta del guanay a lo largo de la costa durante octubre - diciembre del 2019. Donde MC: Isla Macabí, GN: Isla Guañape, MZ: Isla Mazorcas, PE: Isla Pescadores, BA: Isla Ballestas, SJ: Punta San Juan y PC: Punta Coles.

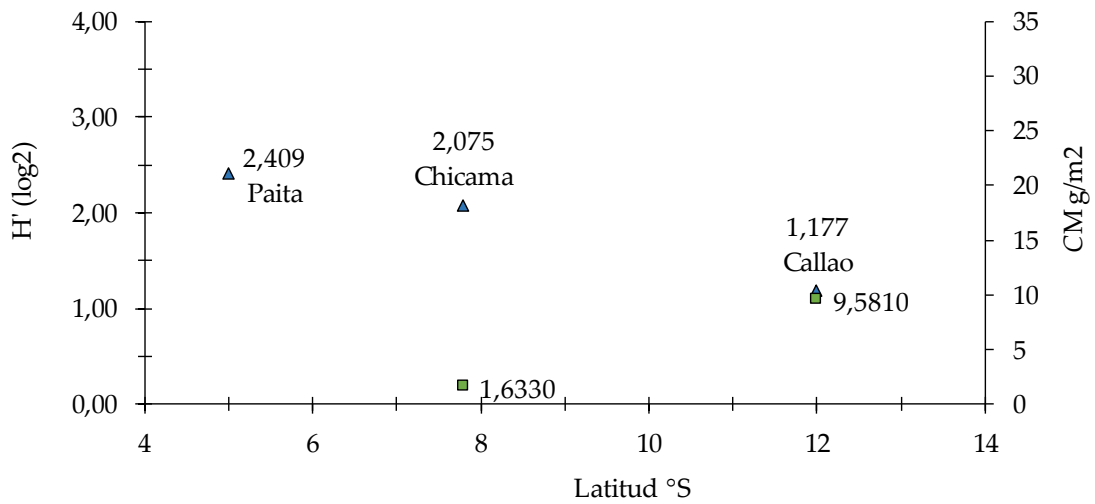


Figura 58. Variación del índice de diversidad de Shannon (en triángulo) y de la biomasa de *Candidatus Marithioploca* (en cuadrado) frente a las localidades de estudio, diciembre de 2019.

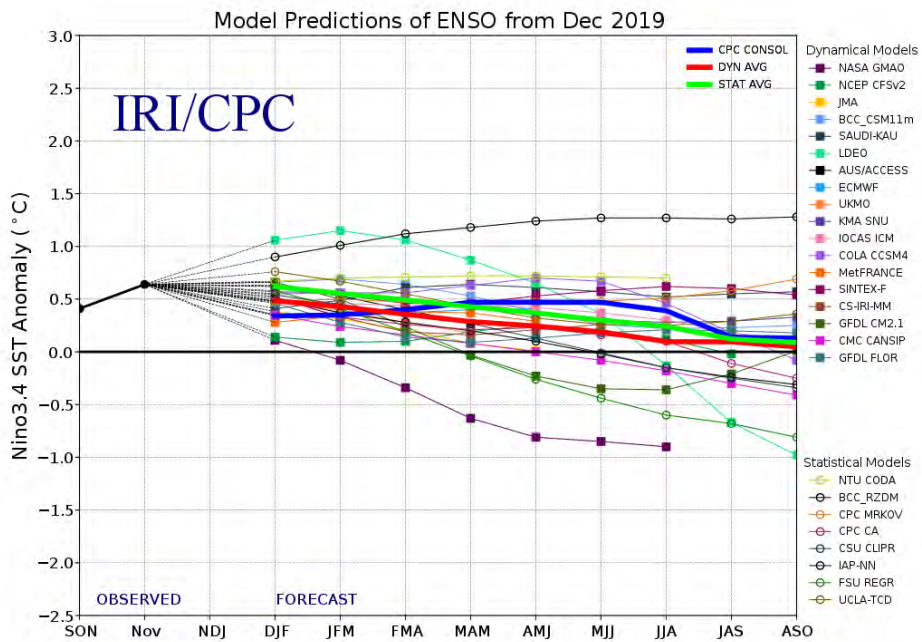


Figura 59. Pronóstico del índice Niño 3.4 mediante modelos climáticos estadístico y dinámico. Fuente: IRI/CPC, diciembre 2019

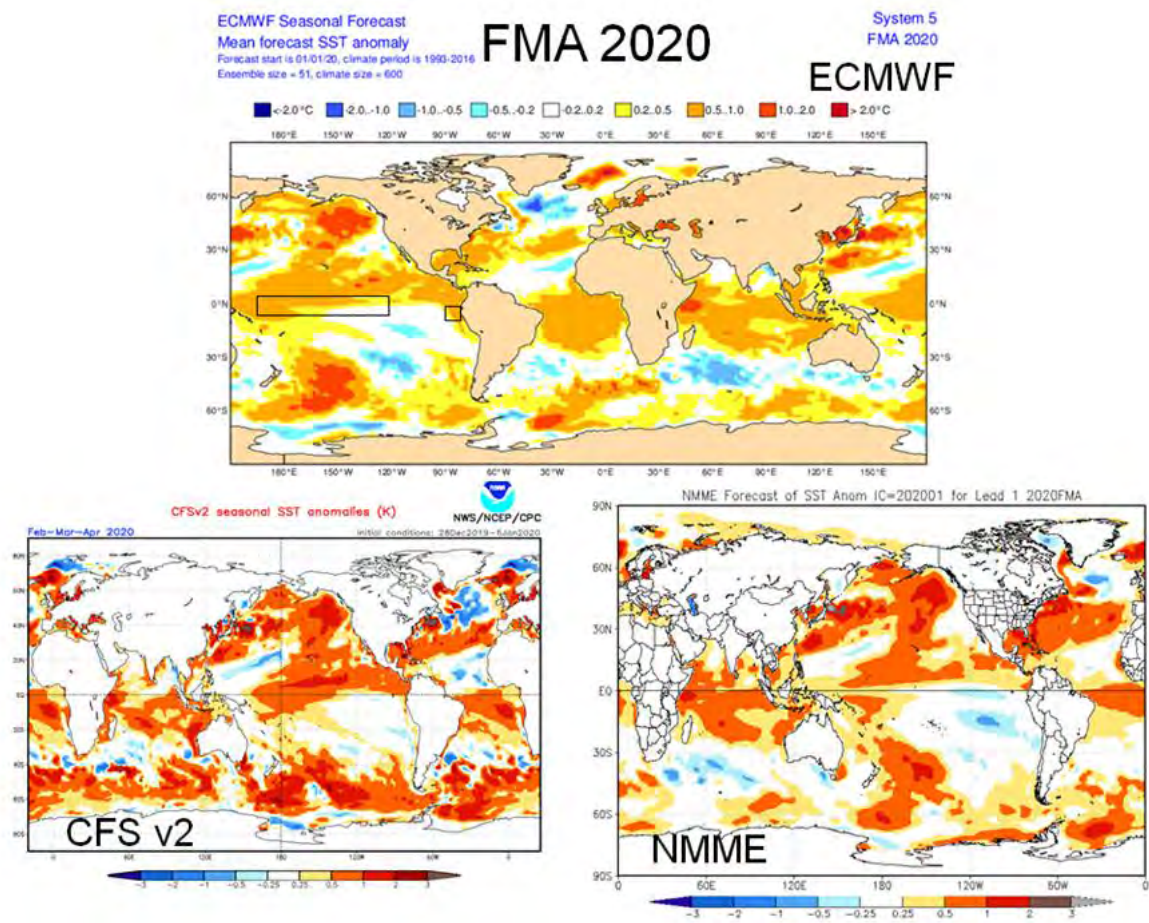


Figura 60. Pronóstico de la TSM para el trimestre FMA 2020 del modelo ECMWF, CFSv2, y NMME (condiciones iniciales: inicios de enero 2019). Los recuadros indican la región El Niño 3.4 y 1+2. Fuente: IRI/CPC.

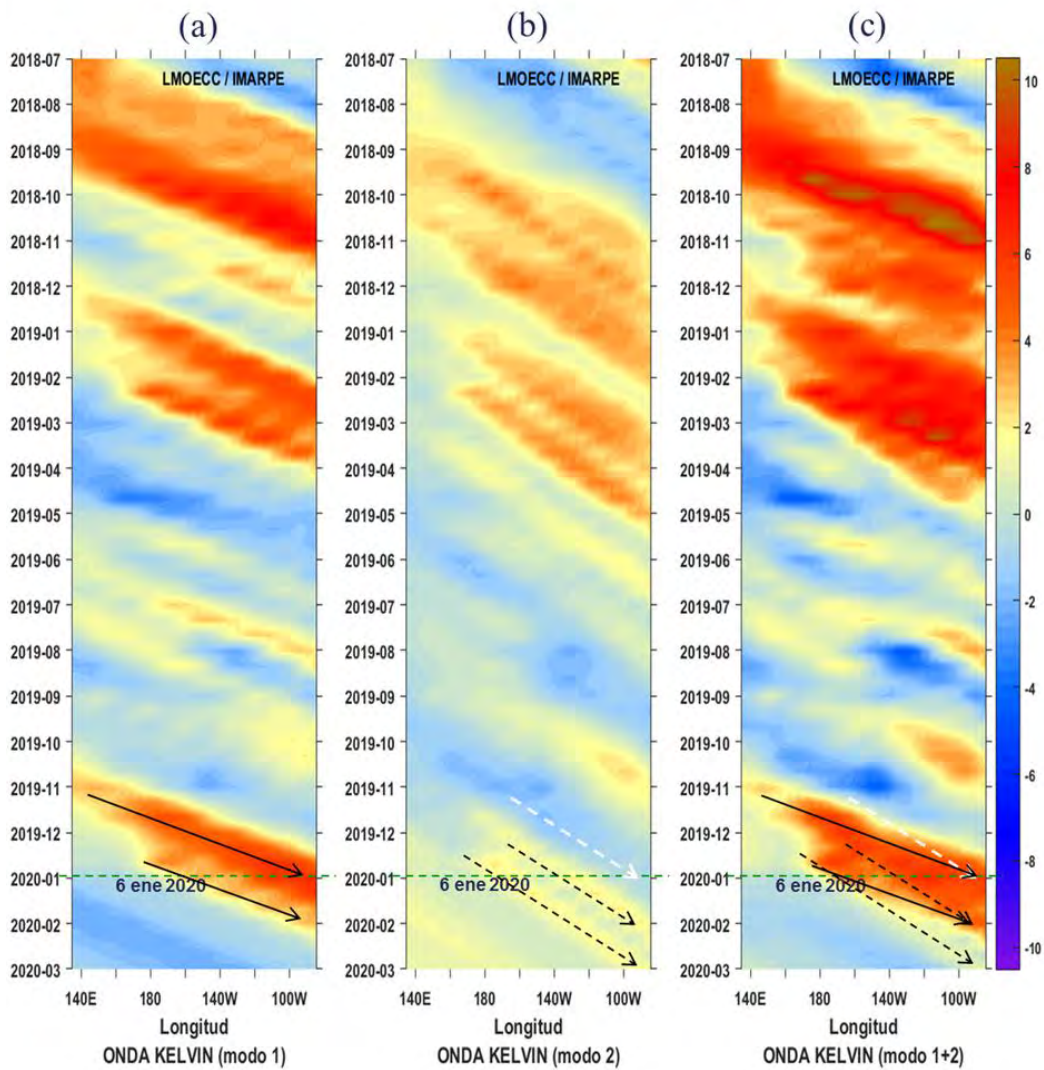


Figura 61. Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las ondas Kelvin en el océano Pacífico ecuatorial (0°N): (a) Modo 1, (b) Modo 2, (c) Modos 1+2. La línea discontinua horizontal, en verde, indica el inicio del pronóstico sin el forzante de vientos. Fuente: IMARPE, forzado con vientos de NCEP (Figuras a-c).

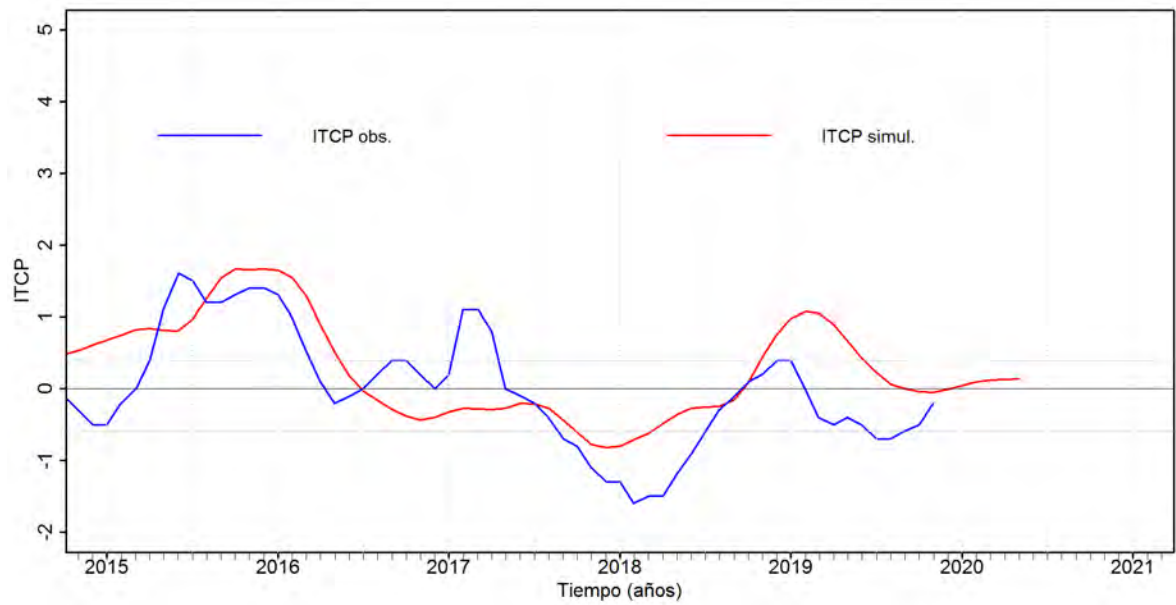


Figura 62. Pronóstico del ITCP mediante un modelo acoplado océano-atmosfera de complejidad intermedia, con datos actualizados hasta el mes de diciembre 2019. Fuente: IMARPE.

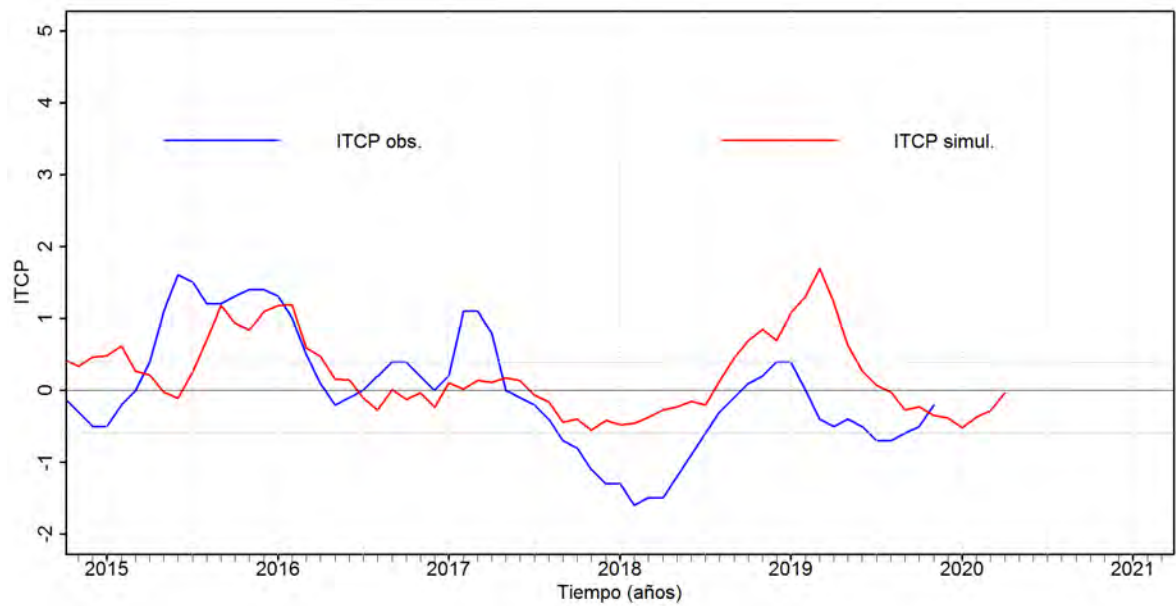


Figura 63. Pronóstico del ITCP mediante un modelo estadístico, con datos actualizados hasta el mes de diciembre 2019. Fuente: IMARPE.