

Instituto del Mar del Perú
Grupo de Trabajo Institucional El Niño

Informe de las Condiciones Oceanográficas y Biológico Pesqueras
Abril 2017

1. Aspectos Meteorológicos

1.1. Velocidad y dirección del viento a lo largo de la costa peruana

Durante el mes de abril, el viento en la franja costera de 40 km presentó mayormente velocidades entre 3,5 a 7,0 m/s. Vientos más intensos ($> 7,0$ m/s) se registraron entre los 14° y 16° S de latitud, mientras que vientos más débiles ($< 3,5$ m/s) se presentaron frente a Tumbes y en la zona sur, entre las costas de Moquegua y Tacna (Figura 1). La anomalía de la velocidad de viento varió entre $-1,5$ y $+2,5$ m/s, predominando anomalías negativas $< -2,0$ m/s, a excepción de los días 05 a 10 de abril, en los que se presentaron anomalías positivas en gran parte de la costa (Figura 2).

Respecto a la dirección del viento, predominaron vientos con componente sur a lo largo de la costa. Al norte de los 5° S, se registraron vientos de dirección Sursuroeste (SSW) y Suroeste (SW); entre 5° S y 15° S predominaron vientos del Sudeste (SE); mientras que al sur de los 15° S se presentaron vientos de dirección Sudsudeste (SSE) (Figura 3). Durante el mes el afloramiento costero predominó a lo largo de todo el litoral como se venía observando desde la tercera semana de marzo- El índice de afloramiento costero varió entre 50 y $150 \text{ m}^3/\text{s}/100\text{m}$, con los valores más altos frente a las San José ($06^{\circ}30'$), Huanchaco ($08^{\circ}00'S$) y Chimbote ($09^{\circ}00'S$) (Figura 4).

2. Aspectos Oceanográficos físicos

2.1 Anomalía de la altura del nivel medio del mar.

En el Pacífico Tropical la anomalía del nivel medio del mar (ANMM) varió entre -10 cm (entre Venezuela y Panamá) y $+25$ cm $>$ (norte de 8° N y entre 95° - 120° W), destacando la presencia de anomalías negativas de -5 cm al norte de la franja ecuatorial y oeste de 100° W. En la región Niño 1+2 y en la región Niño 3 al este de los 105° W predominaron anomalías de $+10$ cm, que se extendieron hasta frente a la costa central de Perú (Figura 5).

En la franja de 100 km adyacente a la costa peruana, se registró en la mayor parte del litoral predominio de valores de ANMM $> +5$ cm, alcanzando valores $< +10$ cm al norte de los 10° S en la primera quincena. En Galápagos la ANMM disminuyó de $+13$ cm (a inicios de mes) a $+5$ cm (al final de mes), posiblemente asociado al arribo de una onda Kelvin fría. Igualmente, frente a la costa, luego de la quincena se observó una disminución de la ANMM a valores en el rango neutral (Figuras 6, 7).

2.2. Temperatura superficial del mar

2.2.1 Laboratorios Costeros de IMARPE

La temperatura superficial del mar (TSM) entre Paita y Callao presentó una reducción de su valor mensual respecto al mes anterior de 2° a 5° C, siendo la disminución más acentuada entre San José y Chicama.

La TSM mensual varió entre 16,85°C (Ilo) a 29,12°C (Tumbes). , mientras que la ATSM varió entre +0,15°C (Ilo) a +1,86°C (Callao) (Tabla 1). La reducción de la ATSM entre Paita y Chimbote pasó de valores mayores a +4°C (marzo) a valores menores a +2°C en abril (Figura 8).

2.2.2 Información satelital.

Las temperaturas mayores a 28°C presentes en marzo disminuyeron en cobertura en el presente mes. Condiciones cálidas en el sector costero al norte de 15°S se apreciaron durante la primera quincena de abril con núcleos >+2°C, mientras que durante la segunda quincena estas anomalías disminuyeron en cobertura replegándose al sector costero entre 5° y 15°S. Cabe destacar que durante el mes, al sur de 15°S persistieron anomalías negativas (Figuras 9, 10).

2.3 Información satelital de Salinidad Superficial del Mar

Durante abril, frente a la zona norte del litoral peruano las aguas con salinidad menor a 34,8 ups estuvieron expandidas desde la zona ecuatorial hasta Pimentel (7°S), mientras que fuera de las 100 mn estuvieron desplazadas un poco más hacia el sur, hasta ubicarse frente a Chimbote (9°S). Las aguas con salinidad entre 35,0 y 35,1 ups estuvieron distribuidas desde Salaverry (8°S) hacia el sur de Perú, dentro de las 60 mn. Entre Pisco y San Juan (15°S) estas aguas exhibieron una delgada aunque extensa proyección fuera de la zona costera, en medio de aguas con salinidad mayor a 35,1 ups (Figura 11).

Por otro lado, durante la última semana, se notó la formación de una lengua de agua con salinidad entre 34,8 y 35,1 ups, que se expandió desde la costa central de Ecuador y el litoral de Tumbes (3,5°S), hacia zonas oceánicas fuera de las 200 mn (Figura 11).

2.3. Condiciones Oceanográficas durante el Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos 1702-04

2.3.1. Temperatura y Anomalía Térmica en la superficie del Mar

La TSM varió de 20,2°C a 27,9 °C con un valor promedio al norte de Salaverry de 23,2°C, para área prospectada hasta el día 11 de abril. Valores mayores de 27°C se presentaron por fuera de las 30 mn, frente a Salaverry. (Figura 12a).

En esta región la ATSM varió de -1,5°C a +6,2°C, con un promedio para el área evaluada al norte de Punta Chao de +2,3°C. La distribución de la ATSM mostró valores mayores a +4°C entre Punta Chao (8,5°S) y Salaverry (8,10°S), resaltando un núcleo con anomalías mayores a 6°C frente a Punta Chao (Figura 12b).

2.3.2 Salinidad y Anomalía Halina en la superficie del Mar

Las concentraciones de salinidad registradas entre Punta Chao - Talara variaron entre 31,0 ups, debido a la influencia de las aguas de los ríos, a 35,2 ups por la presencia de aguas oceánicas.

Las masas de agua detectadas fueron: Aguas Tropicales Superficiales (ATS), ubicadas al norte de Talara; Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), desplazadas inusualmente hasta Chimbote; Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), de Chimbote al sur, mostrando su máxima proyección a la costa hacia el sur.

Asimismo se detectaron aguas de mezcla en varios núcleos, formadas por el encuentro entre AES y ASS y un núcleo de baja salinidad frente a Chicama, posiblemente debido a la descarga del río (Figura 13a).

Las anomalías halinas (ASSM) variaron de -3,9 ups a +0,3 ups con un promedio para el área evaluada de -0,2 ups. Anomalías negativas se observaron en el 85% del área evaluada que fue al norte de Salaverry (08°S), las que estuvieron asociadas a la presencia de las AES al norte de Punta Chao y a la influencia del agua continental en la franja costera (Figura 13b).

2.4 Condiciones oceanográficas físicas en la columna de agua.

2.4.1 Sección Paita.

Frente a Paita, dentro de las 80 mn se observó una fuerte estratificación en la capa superficial, con TSM entre 21° y 22°C. A mayor distancia de la costa se registró una capa de 40 metros de espesor con TSM > 23°C. Sobre los 50 m las isotermas de 19 y 20°C mostraron ascenso hacia la costa, mientras que a mayor profundidad y hasta los 250 m, las isotermas (14°C – 18°C) tendieron a hundirse hacia la costa, debido a flujos hacia el sur. Predominaron anomalías térmicas positivas, siendo estas significativas por fuera de las 70 m y sobre los 60 m, donde se presentaron anomalías de hasta +3°C (Figura 14a, b).

El núcleo de alta temperatura correspondió a la presencia de AES ($S < 34,8$ ups), que disminuyeron en cobertura respecto a marzo, cuando se presentaron en toda la sección (0-100 mn). Dentro de las 70 mn se presentaron aguas de mezcla (AES, AESS y aguas costeras frías). Las anomalías halinas presentaron valores de +0,1 ups en la zona costera hasta 50 mn, excepto en una delgada capa superficial en las primeras 10 mn, donde se detectó anomalías negativas, posiblemente debido a la influencia del agua continental en esta área. Fuera de las 50 mn, se registraron anomalías negativas de -0,1 ups, debido a la presencia de AES en la zona oceánica (Figura 14 c,d).

2.4.2 Sección Punta Falsa

La Sección Punta Falsa, se caracterizó por presentar una termoclina intensa conformada por 8 isotermas (18°-25°C) sobre 50 m de profundidad, debilitándose dentro de las 30 mn. En la zona costera, por debajo de los 40 m se observó la profundización de las isotermas de 17°- 15°C, asociado probablemente a flujos hacia el sur. Las anomalías térmicas mostraron valores mayores a +2°C sobre los 40 m y de +1°C sobre los 250 m de profundidad. La estructura halina evidenció la presencia de AES por fuera de las 20 mn de la costa y sobre 30 m de profundidad, presencia que generó anomalías negativas de hasta -0,02 ups. En la zona costera valores de 34,9 indicarían la presencia de ACF (Figura 15). La iso-oxígena de 4,0 mL/L se localizó desde los 25 m en la zona oceánica a 5 m en la región costera por un débil afloramiento, a su vez se muestra un gradiente homogéneo sobre los 50 m de profundidad con concentraciones de 4,0 a 2,0 mL/L. La iso-oxígena de 1,0 mL se localizó a los 100 m a las 55 mn y se profundizó hasta los 130 m hacia costa, por un marcado flujo subsuperficial sur. (Figura 15).

2.4.3 Sección Chicama

Frente a Chicama, la sección realizada el 11 de abril registró una termoclina intensa sobre los 50m, aunque de menor intensidad que la observada dos semanas antes, a fines de marzo. También se apreció una disminución de las anomalías térmicas, de +7°C a +4°C en los primeros 50 metros, persistiendo anomalías de 1°C o menos a mayor profundidad (Figura 16 a, b).

Los valores halinos mostraron valores menores de 34,8 ups dentro de las 5 mn de la costa, asociados a la descarga del río Chicama. En el resto de la sección se observó valores de salinidad cercanos a 35,0 ups, que estarían relacionados a la presencia de aguas costeras frías e interacción de las AES y ASS. Las anomalías halinas en la capa superficial fueron de -0.1 ups en la zona costera y de +0,05 ups a distancias mayores de 20 mn. Entre los 30 y 70 metros predominaron anomalías positivas de hasta +0,2 ups (Figura 16 c,d).

2.4.4. Monitoreo de Alta Frecuencia

Punto Fijo Paita

En la Estación Fija Paita (7 mn de la costa), se registraron temperaturas entre 20° y 26°C sobre los 40 m de profundidad a inicios de mes, descendiendo a 19 – 20°C hacia fines de mes. No obstante, debajo de los 40 m, las isotermas de 17° a 19°C tendieron a profundizarse en el transcurso del mes (Figura 17a). Las anomalías térmicas descendieron entre fines de marzo (hasta +6°C) y fines de abril, en donde alcanzaron +1,0°C desde la superficie hasta los 40 m y +2°C por debajo de los 60 m de profundidad. La salinidad en los primeros 20 m de profundidad aumentó en el transcurso del mes, de <34,0 ups a 35,0 ups. Hacia fines de mes predominaron aguas de mezcla (35,0 ups – 35,1 ups) en toda la columna de agua (Figura 17c).

Punto Fijo Chicama

En la Estación Fija Chicama (10 mn de la costa), se registró temperaturas entre 17° y 25°C en la primera semana de abril, y entre 17° a 20°C a finales del mes. El descenso de las temperaturas fue principalmente en las capas sobre los 50m en cambio por debajo de los 60 m de profundidad la isoterma de 17°C se profundizó bruscamente. (Figura 18a). La salinidad en la capa superficial aumentó de 34,8 ups a 35,0 ups en el transcurso del mes, para finalmente estabilizarse entre 35,0 ups y 35,1 ups (aguas de mezcla y costeras frías) en toda la columna de agua (Figura 18b).

Punto Fijo Callao

En la Estación Fija Callao (8 mn de la costa), la temperatura mostró valores en el rango de 18° a 21°C sobre los 40 m de profundidad a principios de mes, para luego descender a 18° – 19°C a fines de mes. La isoterma de 16°C se profundizó, desapareciendo de la columna de agua a principios del mes (Figura 19a). Las anomalías de temperatura mostraron valores positivos de +1,0°C, descendiendo paulatinamente en abril (Figura 19 b). Hacia fines de mes, en toda la columna de agua (100 m) se apreció una predominancia de aguas costeras frías.

Puntos Fijos Atico e Ilo

En ambos puntos, la distribución vertical de las isotermas no se profundizó durante el mes. En la Estación Fija Atico (1mn de la costa), la temperatura del agua de mar mostró valores en el rango de 15° a 18°C sobre los 100 m de profundidad.

Las isotermas de 16° y 17°C mostraron un ligero ascenso hacia la superficie (Figura 20a). La salinidad mostró valores propios de aguas de mezcla entre las ACF y ASS (20b).

En la Estación Fija Ilo (8 mn de la costa), la temperatura del agua de mar mostró valores en el rango de 13° a 18°C sobre los 100 m de profundidad (Figura 21a). Las salinidades mostraron valores propios de aguas de ACF en la columna de los 100 m de profundidad (Figura 21b)

2.4.5. Índices integrados de anomalías de temperatura y salinidad en la columna de agua

La Figura 22 muestra índices integrados de las anomalías térmicas y halinas en la capa de los primeros 150 m y de la costa hasta las 45 mn en el periodo de marzo del 2016 a abril 2017. Destaca que la estructura térmica a lo largo de todo el litoral tuvo una disminución de las anomalías térmicas integradas durante el 2016 y un incremento en lo que va del 2017, mostrando frente a Paita valores entre +1,5°C (1602-04) y -1,0°C (1609-10) durante el 2016 pasando a +0,9°C (1702-02) el 2017. La sección de Chicama presentó valores positivos menores de +0,7°C durante el 2016, sin embargo durante el verano del 2017, los valores se incrementaron hasta +1,8°C. En la sección de Callao y Pisco los índices fueron próximos a cero, con excepción de los veranos donde las anomalías superaron +0,5°C, siendo para el 2017 de +0,8 (Callao) y +0,5 (Pisco). Frente a San Juan se cambió de fase en la primavera del 2016 pasando de anomalías negativas a positivas alcanzando en el verano del 2017 valor promedio alrededor de +1°C.

La salinidad también mostró cambios en la columna de agua y a lo largo del litoral debido a la dinámica de las masas de agua, proyección o repliegue de las ASS y AES, así como a los procesos de afloramiento. En general las anomalías halinas entre Paita y Chicama disminuyeron durante el verano 2017 a valores menores de -0,02 ups debido al desplazamiento inusual de las AES hacia el sur, en tanto que, para el Callao y Pisco las anomalías se incrementaron significativamente superando valores de +0,07 debido al acercamiento a la costa de las ASS en la zona. Frente a San Juan los valores fueron negativos (menores de -0,06 ups) debido a la influencia de las ATSA (Figura 23)

3. Oxígeno, Fertilidad y Productividad

3.1. Variabilidad espacio-temporal del oxígeno disuelto en la columna de agua

En la sección Paita realizada en abril se destaca la presencia de concentraciones entre 5,0 a 6,0 mL/L por dentro de las 50 mn de costa y sobre los 10 m de profundidad, asociadas posiblemente a un aumento de la productividad hacia inicios de abril en la parte norte de nuestras costas. El flujo subsuperficial sur fue intenso, profundizando hacia la costa la oxiclina (asociada a la iso-oxígena de 1,0 mL/L) a unos 200 m, así como al límite superior de la Zona de Mínima de Oxígeno – ZMO (asociado a la iso-oxígena de 0,5 mL/L) a los 215 m. (Figura 14). En la sección de Punta Falsa, se registraron concentraciones de 4mL/L sobre los 25 m de profundidad fuera de las 20 mn (Figura 15). La oxiclina se profundizó hacia la costa hasta 140 m y el límite superior de la ZMO fluctuó alrededor de los 170 m, aunque algunos bolsones de aguas más oxigenadas fueron detectados a 200 m. En la sección Chicama el oxígeno disuelto en la zona costera mostró el ascenso de la iso-oxígena de 4,0 mL/L desde los 25 m a superficie. Por otro lado, aquí la oxiclina se presentó a 100 m y el límite superior de la ZMO se ubicó desde los 75 m a 110 m (Figura 16).

Tomada en conjunto, la distribución vertical del oxígeno desde Paita hasta Chicama dentro de las 100 millas de la costa evidenció una profundización anómala de la ZMO, cuyo límite superior normalmente se ubica en esta región entre los 50 y 100 m en este período del año.

Los registros de oxígeno disuelto en los puntos fijos costeros corroboraron la información obtenida en las secciones de la costa norte. En la estación fija de Paita, los valores de oxígeno en la columna de agua de los primeros 100 m superaron 2 mL/L sobre los 80 - 90 m de profundidad durante todo el mes (Figura 17d). En la estación fija de Chicama, se detectaron valores de oxígeno entre 2 y 5 mL/L sobre los 40 m, mientras que a mayor profundidad se observó, en la primera quincena, la profundización de las iso-oxígenas de 0,5 mL/L y 1 mL/L a más de 100 m (Figura 18c).

En cambio, en la estación fija de Callao, la oxiclina se ubicó a menos de 20 m de profundidad con la iso-oxígena de 0,5 mL/L en la base de esta capa, aunque el núcleo de más bajas concentraciones (<0,1 mL/L) se profundizó durante el mes (Figura 19d).

3.2. Variabilidad espacio-temporal de nutrientes en la columna de agua

La distribución de nutrientes en la sección Paita muestra para abril 2017 una recuperación de la fertilidad sobre la capa de mezcla. El afloramiento evidencia su influencia entre los 10 m a 50 m de profundidad con fosfatos en 1,5 μM y alrededor de 10,0 μM para silicatos y nitratos. Sobre la capa de los 50 m destaca la presencia de nitritos, coincidiendo con la base de la termoclina (Figura 23).

En la sección Chicama para abril 2017, todavía se registra concentraciones bajas de nutrientes asociados a aguas cálidas, con valores inferiores a los encontrados en la sección Paita. La isolínea de 1,5 μM de fosfatos se ubicó desde los 100 m en la zona oceánica a los 10 m en la parte costera y los silicatos cercanos a 10,0 μM estuvieron desde los 75 m a 100 m. Aquí igualmente se detectó la presencia de nitritos asociados a la base de la termoclina (Figura 24).

En las estaciones fijas de Paita, Chicama y Callao, los silicatos mostraron en general bajas concentraciones en la capa de mezcla entre marzo y abril, particularmente en Chicama. Así, en abril la concentración de silicatos en Chicama alcanzó 5,0 μM sobre los 100 m, mientras que en Paita y Callao las concentraciones fueron de 10,0 μM y 15,0 μM , respectivamente. Ello sugiere que entre las latitudes 7°S y 8°S, aun no se habían recuperado sus niveles de fertilidad habitual, por la debilidad de la surgencia y/o la persistencia de pequeños núcleos de AES a inicios de abril (Figura 25).

La clorofila-a en las estaciones fijas de Paita, Chicama y Callao evidenció la persistencia de bajos niveles de productividad entre marzo y abril 2017, siendo la zona costera de Paita la más afectada, con un valor promedio <0,5 mg/L en la capa superficial. En Chicama y Callao, la concentración promedio en la capa superficial fue de 1 $\mu\text{g/L}$ y 0,5 $\mu\text{g/L}$, respectivamente; por debajo a los niveles de la primavera 2016 (2 $\mu\text{g/L}$), aunque por encima a los de abril 2016 en los casos de Chicama y Callao (Figura 26).

3.3. Variabilidad espacio-temporal de Clorofila-a en base a datos satelitales

Usando información del satélite MODIS a una resolución espacial de 9 km, se estimó la distribución promedio mensual de clorofila-a en superficie. Los resultados muestran un incremento de la clorofila, frente a las costas del Perú respecto a marzo, destacando las concentraciones de 5,0 a 10,0 $\mu\text{g/L}$.

En promedio estos valores fueron semejantes a superiores respecto a los registrados en abril 2016. En la franja costera entre Chicama y Pisco se localizaron las mayores concentraciones, que superaron al año anterior (Figura 27).

Durante la primera quincena, la clorofila-a en la franja de 100 Km costeros (04° – 16°S) mostró la transición de anomalías negativas a positivas, llegando a $\pm 2 \text{ mg/m}^3$ y decayendo a condiciones neutras a finales del mes (Figura 28). A lo largo de la costa al norte de los 12°S hasta los 4°S se observaron anomalías positivas durante casi todo el mes ($>+3 \text{ mg/m}^3$); sin embargo, alrededor de los 13°S las anomalías fueron predominantemente entre neutras y negativas ($\sim -1 \text{ mg/m}^3$) (Figura 29). La recuperación de las concentraciones de clorofila-a superficial frente a la costa principalmente se debería a la llegada de una Onda Kelvin fría y a la intensificación de los vientos costeros (mayor afloramiento) que habrían permitido una superficialización de la nutriclina, haciendo más disponible el alimento al fitoplancton.

4. Indicadores Biológicos del Plancton

4.1. Indicadores del Fitoplancton

En la sección oceanográfica de Paita (10 – 11 de abril), se registró al dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* indicador de aguas costeras frías (ACF) distribuido dentro de las 60 millas (Figura 30).

El fitoplancton fue predominante en un 98% en todo el perfil destacando el grupo de diatomeas, entre éstas a *Ditylum brightwellii*, *Thalassiosira* sp., *Chaetoceros curvisetus* y *Ch. affinis*, con abundancias relativas de “Muy Abundante”, seguido de *Lioloma delicatulum*, y *Thalassionema nitzschioides*, que obtuvieron abundancias relativas de “Abundante”. Otras diatomeas como *Coscinodiscus perfotarus*, *Rhizosolenia chunii*, *Thalassiosira subtilis*, *Detonula pumila*, *Skeletonema costatum*, y *Chaetoceros compressus* alcanzaron abundancias relativas de “Escaso”.

Por otro lado, el grupo de dinoflagelados estuvo representado por aquellos organismos de distribución cosmopolitas como *Protoperidinium depressum*, *P. conicum*, *Dinophysis caudata*, *Ceratium furca*, *C. fusus* y *C. tripos* con abundancias relativa de “Presente”. En este muestreo, se apreció algunos organismos termófilos como *Ceratium azoricum*, *C. macroceros*, *Dinophysis cuneus*, *Protoperidinium tristylum*, *P. quarnerense* y *P. grande*.

En la sección Chicama (11 de abril) continuó registrándose al dinoflagelado *Ceratium breve* v. *parallelum*, esta vez entre las 15 y 45 mn y aunado a *Ceratium praelongum* indicador de ASS a 45 mn (Figura 31).

La comunidad fitoplanctónica fue abundante en un 99% sólo en 5 mn de la costa, representada por el dinoflagelado *Ceratium fusus* que obtuvo abundancia relativa de “Muy Abundante”. En las demás estaciones, es decir entre las 15 y 100 mn la abundancia del fitoplancton fue menor al 15% del volumen del plancton, resaltando los dinoflagelados termófilos con una gran riqueza de especies (*Ceratium extensum*, *C. kofoidii*, *C. azoricum*, *C. gibberum* v. *dispar*, *C. gravidum*, *C. lúnula*, *Goniodoma polyedricum*, *C. candelabrum*, *Ceratocorys horrida*, *Protoperidinium tristylum*, *P. quarnerense*, *Pyrophacus horologicum* y *P. steinii*, entre otros).

5. Pronóstico de las Ondas Kelvin

Con el fin de detectar la propagación de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (OKE) hacia el Pacífico Oriental Ecuatorial, se ejecutó un modelo oceánico de complejidad intermedia con 3 modos baroclínicos, forzado con vientos del NCEP (Kalnay et al. 1996), siguiendo la metodología de Illig et al. (2004) y Dewitte et al. (2002).

La señal de la OKE puede ser descompuesta en modos normales de oscilación que se propagan a diferentes velocidades. Los primeros dos modos (modo 1, modo 2) sumados proporcionan la mayor contribución a la anomalía del nivel del mar (Figura 33). Según la simulación, a fines de abril 2017 habría alcanzado al extremo oriental una onda Kelvin fría (modo 1), pero con intensidad reducida sin mayores impactos en la TSM de la costa peruana. Se considera que la señal de esta onda correspondería al descenso de la ANMM a lo largo de la costa en la segunda quincena del mes. Sin embargo, la profundización de las isotermas en las estaciones fijas no obedece a la llegada de la onda fría.

Por otro lado, una señal de una OKE cálida (modo 2) se generaría debido al debilitamiento de los vientos alisios en el Pacífico Ecuatorial Central durante fines de abril 2017 y de ser así, la onda llegaría hacia el extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en junio 2017.

6. Conclusiones

- Durante el mes de abril, el viento en la franja costera de 40 km presentó mayormente velocidades entre 3,5 a 7,0 m/s, con los vientos más intensos registrados entre el 05 y 10 de abril, especialmente frente a Pisco – San Juan. El afloramiento costero predominó a lo largo del litoral durante el mes como se venía observando desde la tercera semana de marzo, con valores entre 50 y 150 m³/s/100m.
- La ANMM alrededor de Galápagos presentó un valor de +15 cm la segunda semana disminuyendo a +5 cm a fines mes, en tanto las zonas norte-centro y sur también mostraron una leve disminución del valor de la ANMM en la segunda quincena.
- La TSM varió de 20,2° a 27,9 °C con un valor promedio 23,2°C. Valores de TSM mayores de 27°C se presentaron por fuera de las 30 mn de Salaverry, en cambio los valores más bajos (menores a 20°C) se localizaron en la franja costera.
- Las ATSM variaron de -1,5° a +6,2°C, con un promedio de +2,30°C. La distribución de la ATSM, mostró un predominio de una condición cálida principalmente encontrándose anomalías mayores a +4° en algunas áreas del mar peruano frente a Salaverry y Punta Chao.
- Durante el Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos del IMARPE 1702-04, las masas de agua encontradas fueron; ATS al norte de Talara; AES al norte de Chimbote; ASS de Chimbote al sur; y aguas de mezcla en algunos núcleos debido a la descarga de los ríos y a la interacción de las AES, ASS y aguas costeras frías en la zona norte.
- Durante el mes de abril, las anomalías de clorofila-a indicaron una recuperación de las concentraciones de clorofila-a respecto al mes de marzo, llegando durante la primera quincena a +~2 mg/m³ y decayendo a condiciones neutras a finales del mes.

- Se registró al dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* indicador de Aguas Costeras Frías (ACF) dentro de las 60mn de Paíta, en tanto, en Chicama se encontraron al dinoflagelado *Ceratium breve v. parallelum*, entre las 15 y 45 mn indicador de AES y a *Ceratium praelongum* indicador de ASS a las 45 mn.
- Se prevé que una onda Kelvin cálida podría haberse generado en el Pacífico Central a fines de abril y llegaría hacia el extremo del Pacífico Ecuatorial Oriental en junio 2017.

7. Referencias

Dewitte B., D. Gushchina, Y. duPenhoat and S. Lakeev, 2002: On the importance of subsurface variability for ENSO simulation and prediction with intermediate coupled models of the Tropical Pacific: A case study for the 1997-1998 El Niño. Geoph. Res. Lett., vol. 29, no. 14, 1666, 10.1029/2001GL014452.

Illig S., B. Dewitte, N. Ayoub, Y. du Penhoat, G. Reverdin, P. De Mey, F. Bonjean and G.S. E. Lagerloef, 2004: Interannual Long Equatorial Waves in the Tropical Atlantic from a High Resolution OGCM Experiment in 1981-2000. J. Geophys. Research, 109, C02022, doi:10.1029/2003jc001771.

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437–471.

Tabla 1: Valores mensuales de TSM y ATSM de Laboratorios costeros - abril 2017

Estación	T mensual, °C	ΔT mensual, °C
Tumbes	29,12	+1,54
Paíta	21,92	+1,12
San José	21,99	+1,06
Chicama	19,76	+1,62
Huanchaco	19,96	+1,67
Chimbote	22,95	+1,74
Huacho	18,88	+1,36
Callao	19,14	+1,86
Pisco	23,01	+0,59
Ilo	16,85	+0,15

8. Figuras

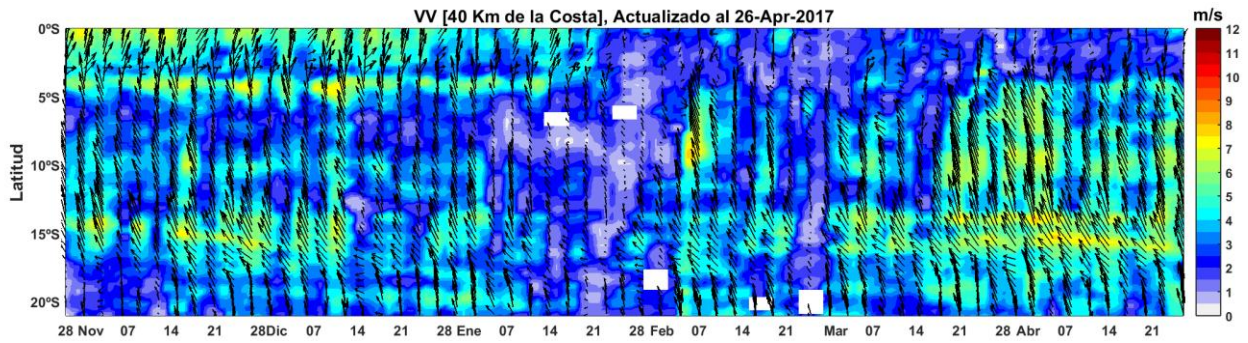


Figura 1. Diagrama Hovmöller de la Velocidad del Viento a lo largo de la costa peruana, de noviembre 2016 hasta abril 2017 (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/04/2017.

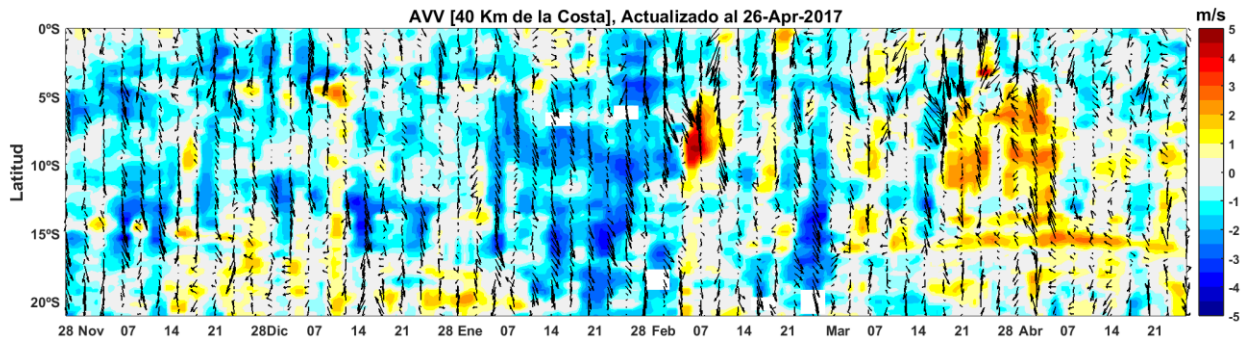


Figura 2. Mapas de anomalía pentadal de la Velocidad del Viento frente a la costa peruana, durante noviembre 2016 hasta abril 2017 (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/04/2017.

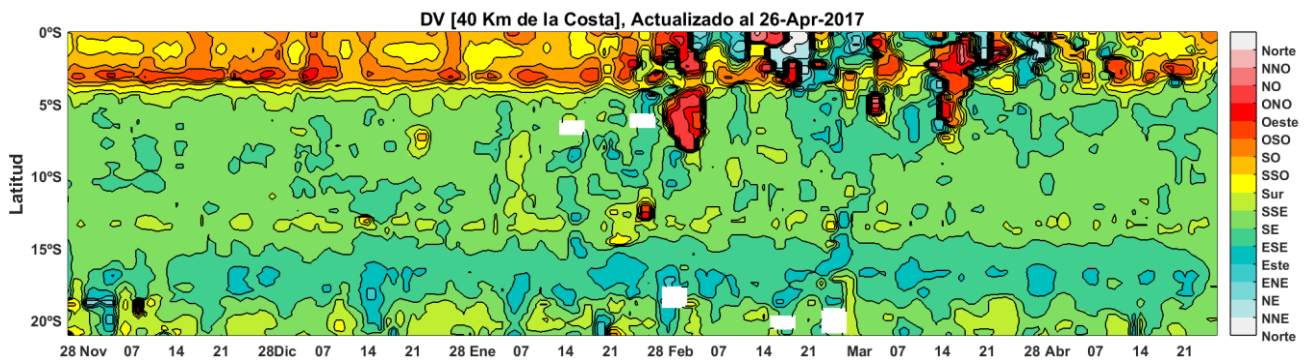


Figura N° 3: Diagrama Hovmöller de la Dirección del Viento a lo largo de la costa peruana, de noviembre 2016 hasta abril 2017 (Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE). Actualizada hasta el 30/04/2017.

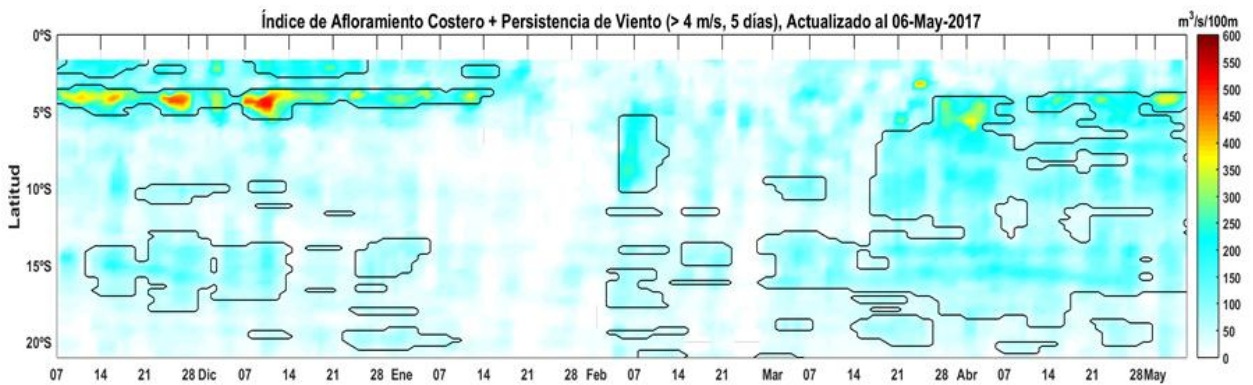


Figura 4. Diagrama Hovmöller del Índice del Afloramiento Costero ($m^3/s \times 100m$); las curvas corresponden a períodos con velocidad > 4 m/s por al menos 5 días. Calculado a partir del viento satelital ASCAT a 40 Km frente a la costa del Perú. Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE.

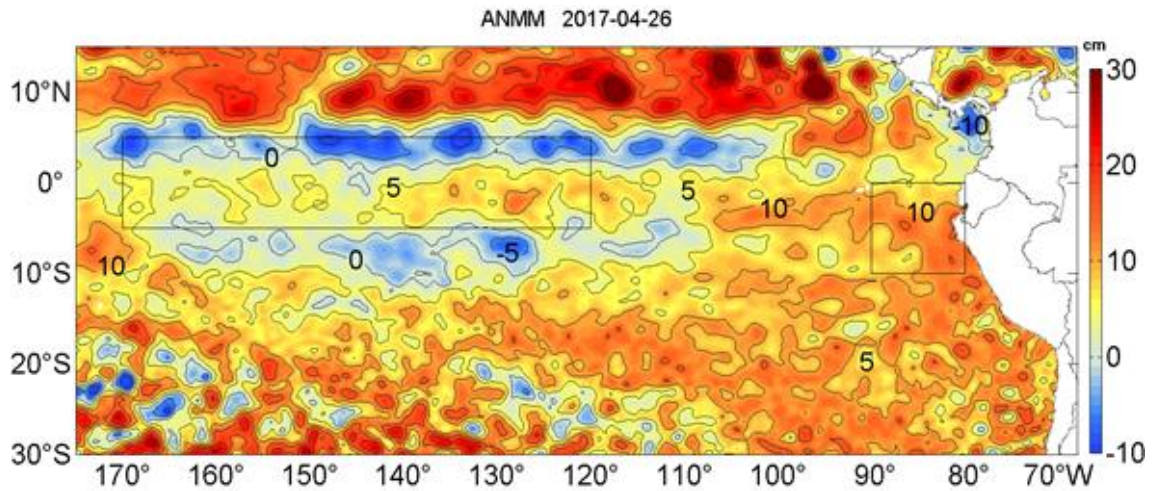


Figura N° 5. Anomalia de altura del nivel del mar (cm) en el océano Pacífico promediado para el periodo del 1-26 de abril de 2017. Fuente: CMEMS/ Procesado por Laboratorio de Hidrofísica marina/ IMARPE.

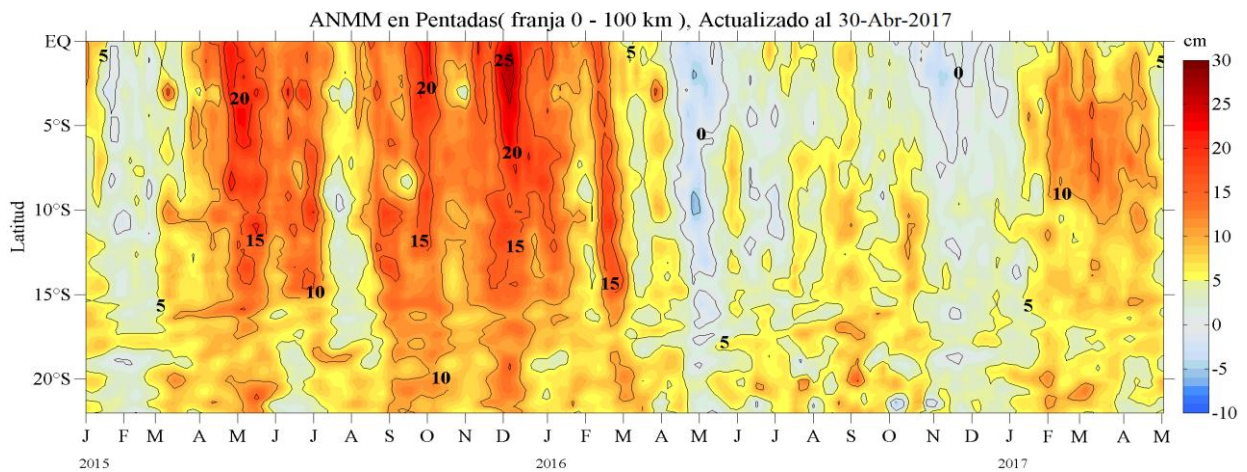


Figura 6. Diagrama Hovmöller de las anomalías del nivel medio del mar (cm) para la franja de 100 km adyacente a la costa, desde enero 2015. Fuente: CMEMS/ Procesado por Laboratorio de Hidro-Física marina/ IMARPE.

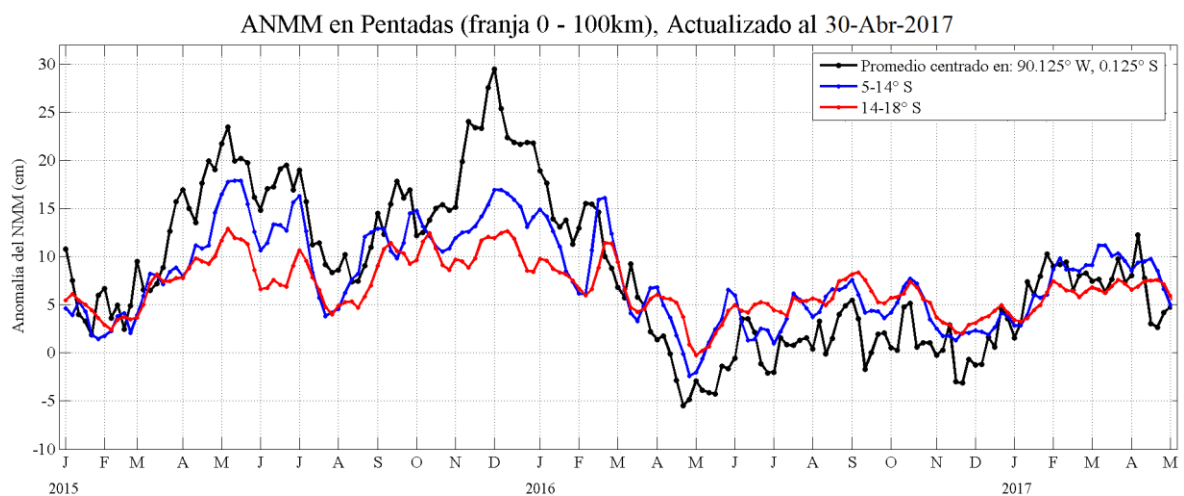


Figura 7. Variación temporal en promedios cada 5 días de la ANMM, período 2015-2017. Fuente: CMEMS/ Procesado por Laboratorio de Hidro-Física marina/ IMARPE

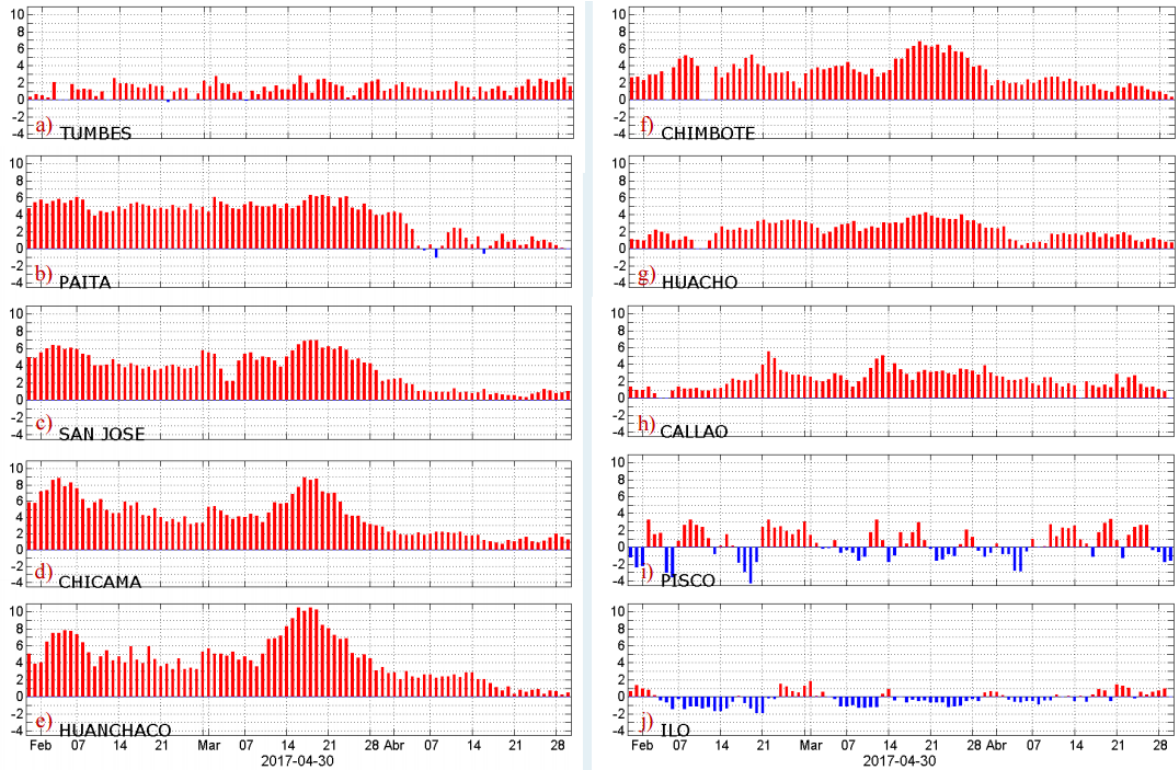


Figura 8. Series temporales del promedio diario de las anomalías de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) en la red de estaciones costeras de IMARPE durante el último trimestre. Datos y procesamiento: IMARPE.

Cambios cada 3 días de las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar entre el 30-marzo y 26-abril del 2017 - OSTIA

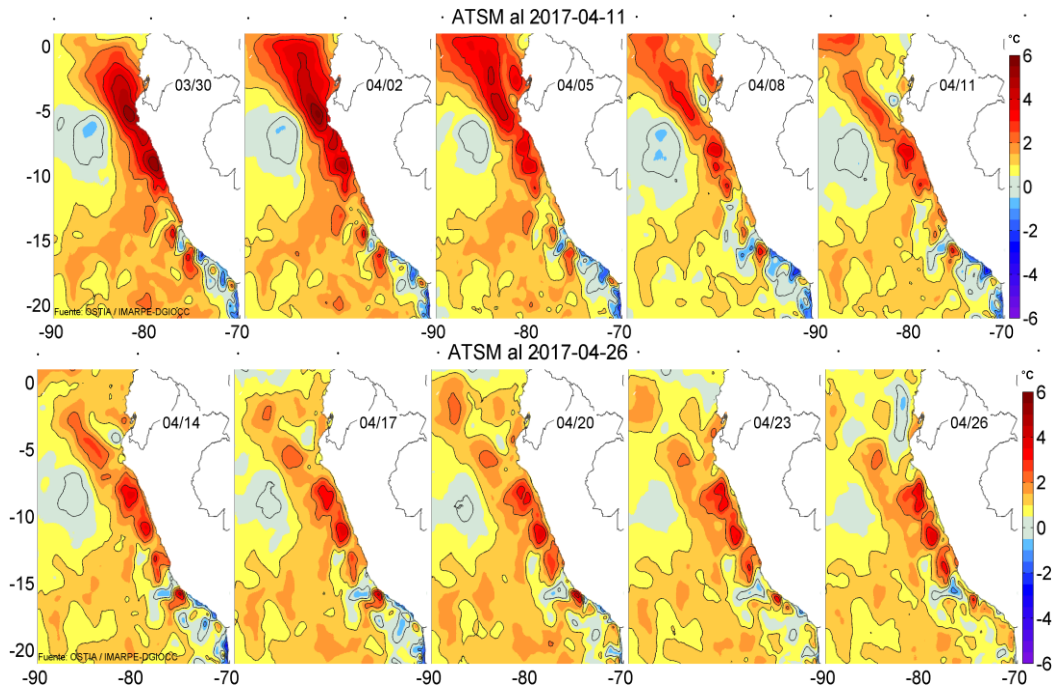


Figura 9. Anomalías de la temperatura superficial del agua (°C) en el mar peruano, cada tres días para abril de 2017. Datos: OSTIA. Procesamiento: IMARPE

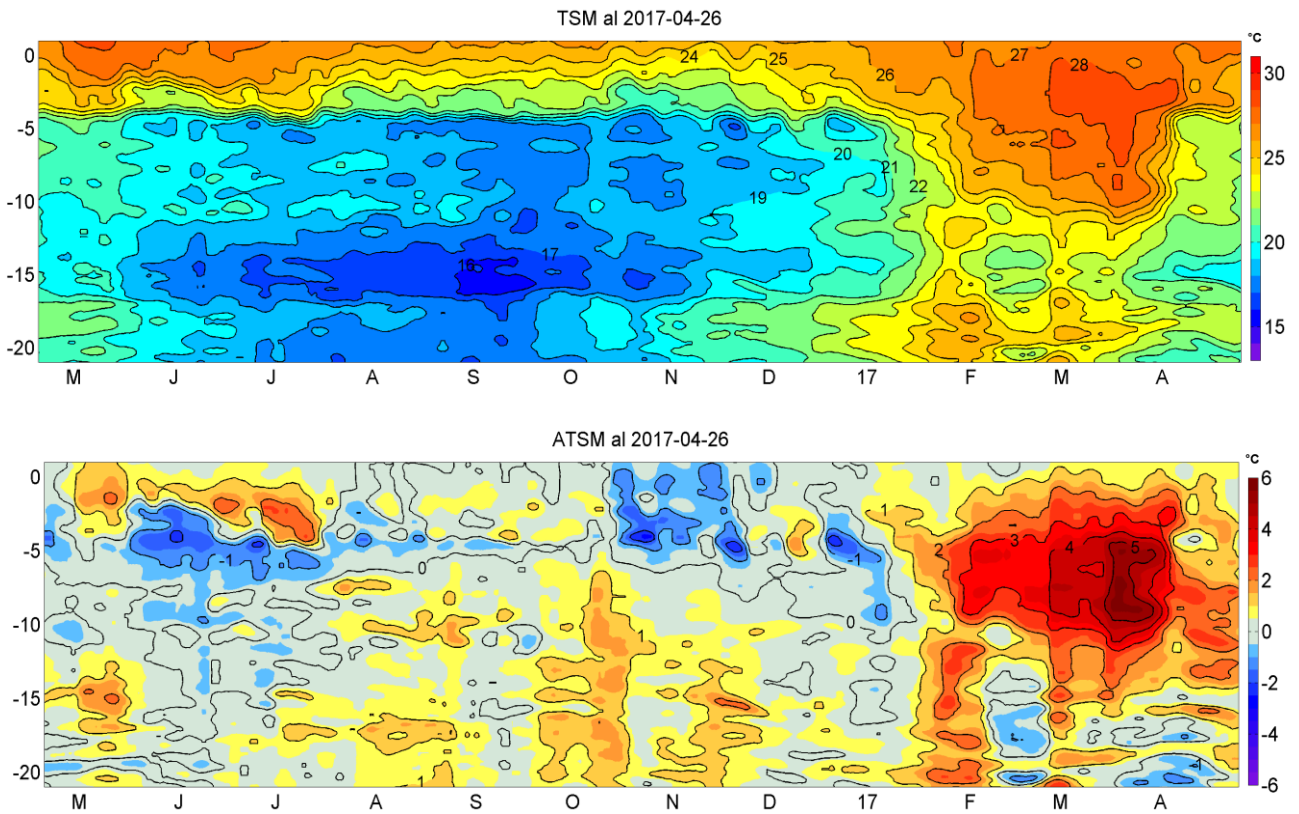


Figura 10. Evolución latitudinal de la temperatura superficial del mar (°C) y su anomalía promedio diarias para la franja de ~50 mn adyacentes al litoral peruano. Datos: OSTIA. Procesamiento: IMARPE.

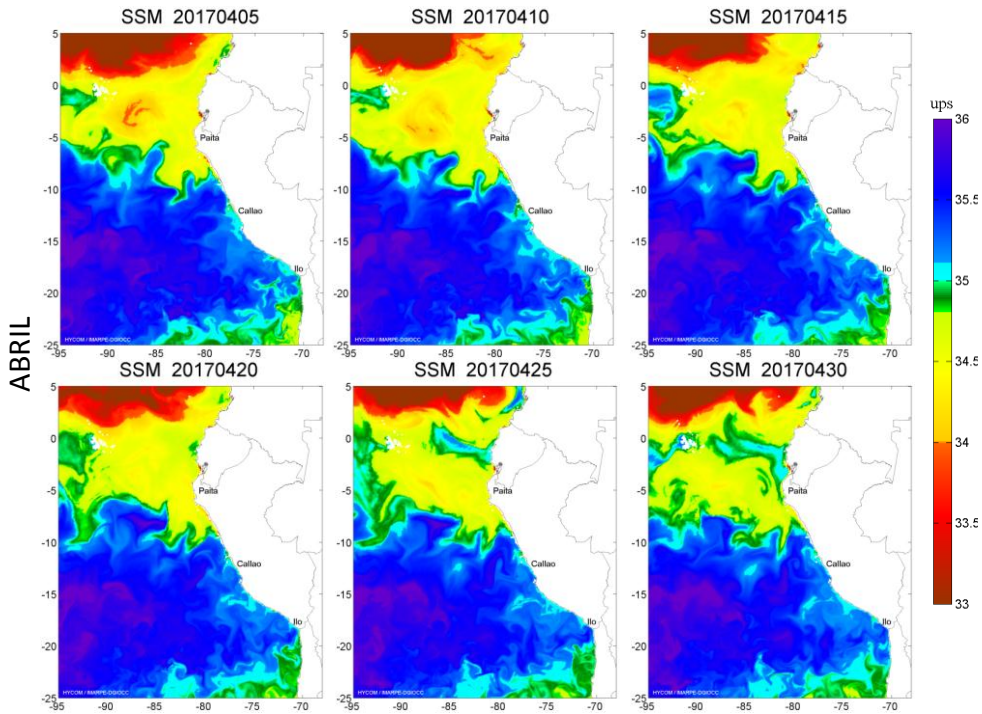


Figura 11. Distribución espacial de la Salinidad Superficial del Mar SSM (ups), cada cinco días para abril de 2017. Datos: HYCOM. Procesamiento: IMARPE

Cr. Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos BICs JOSE OLAYA- LUIS FLORES 1703-04

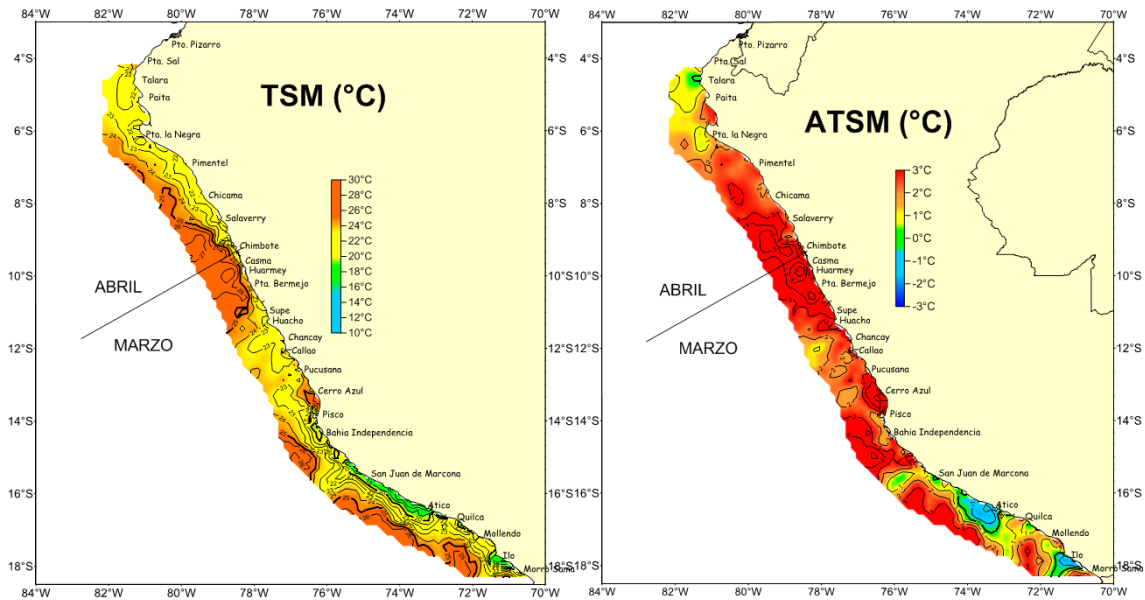


Figura 12 Distribución de la Temperatura Superficial del Mar y Anomalías Térmicas. Crucero 1703-04 de Evaluación Hidro-acústica de Recursos Pelágicos Fuente: IMARPE.

**Cr. Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos BICs JOSE OLAYA- LUIS FLORES
1703-04**

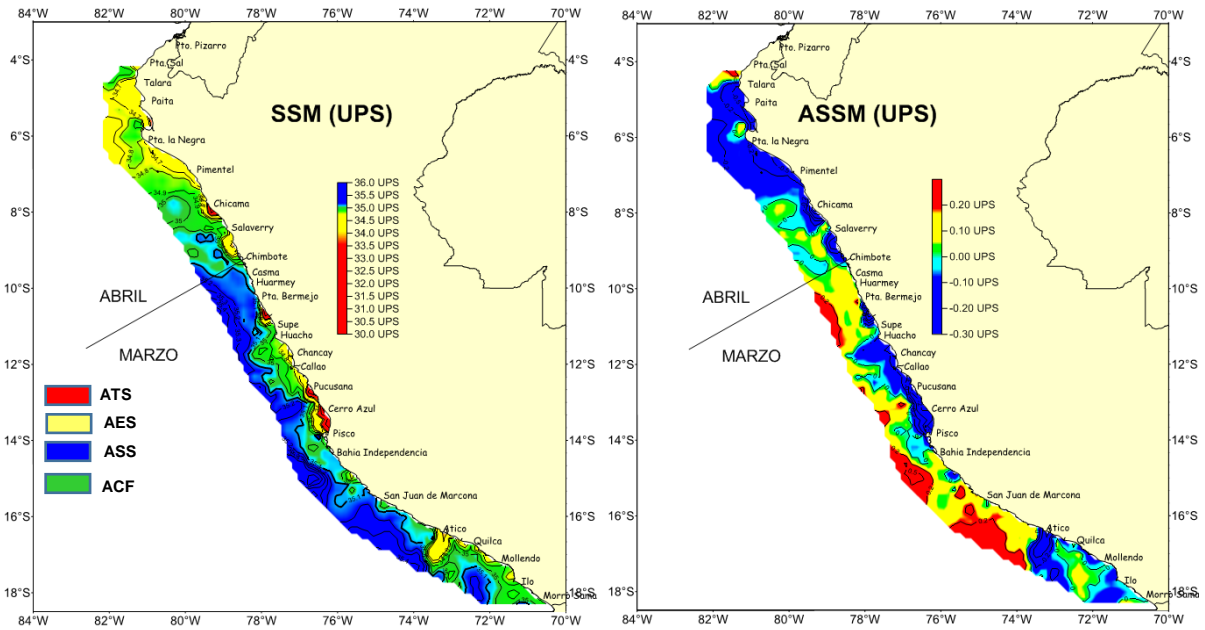


Figura 13 Distribución de la Salinidad Superficial del Mar (la escala de colores corresponde a los límites halinos de las masas de agua) y anomalías de Salinidad Superficial. Crucero 1703-04 de Evaluación Hidro-acústica de Recursos Pelágicos Fuente: IMARPE

SECCION PAITA (10-11 abril del 2017)

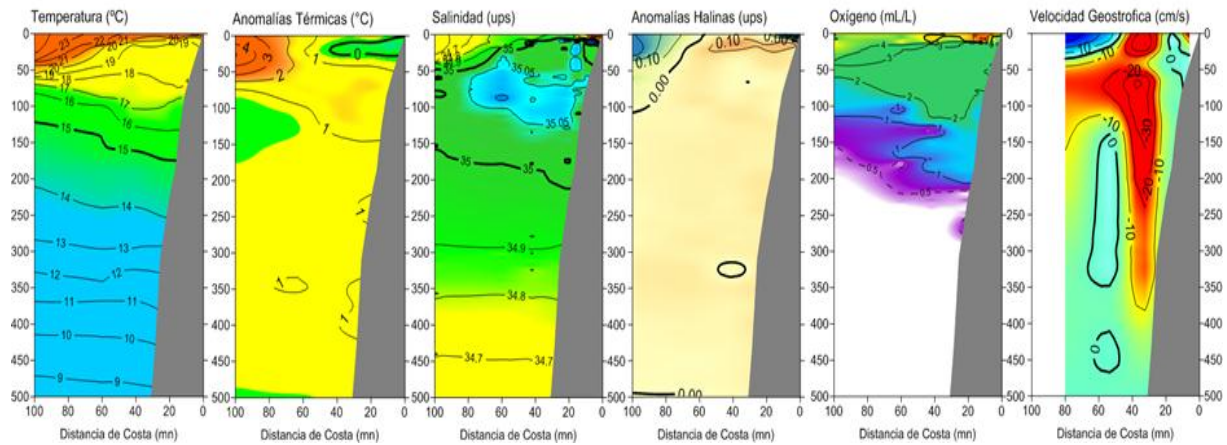


Figura 14. Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups), d) anomalía de salinidad (ups) frente a Paita.

Cr. PELAGICO 1703-04 BIC / OLAYA
SECCION PUNTA FALSA 06/04/2017 (CTD)

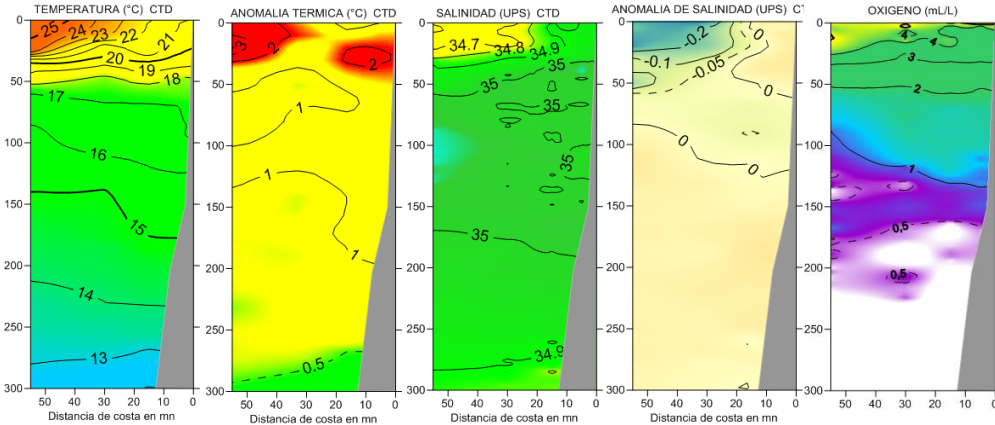


Figura 15. Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups), d) anomalía de salinidad (ups) frente a Punta Falsa, realizada durante el Crucero de Evaluación Hidro-acústica de Recursos Pelágicos

SECCION CHICAMA (11 de abril del 2017)

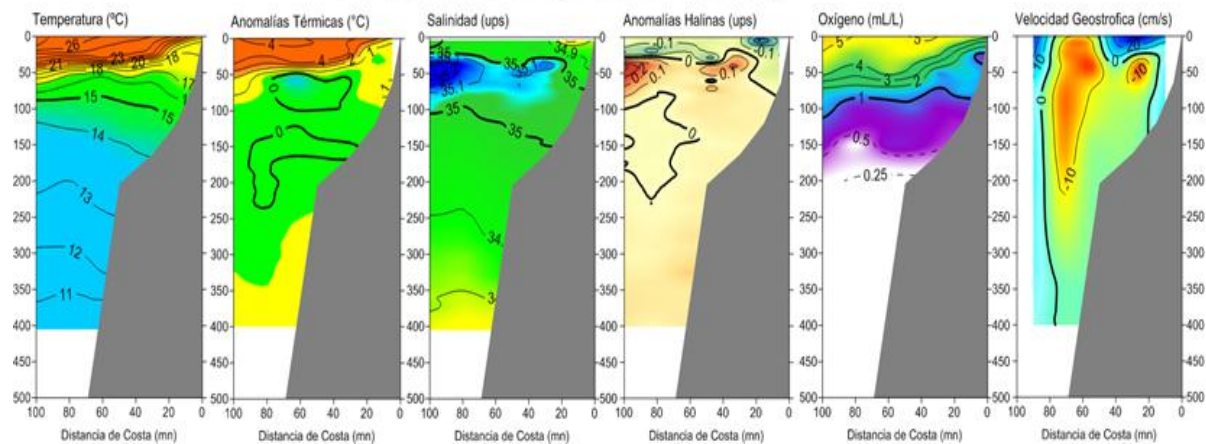


Figura 16. Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups) y d) anomalía de salinidad (ups) frente a Chicama.

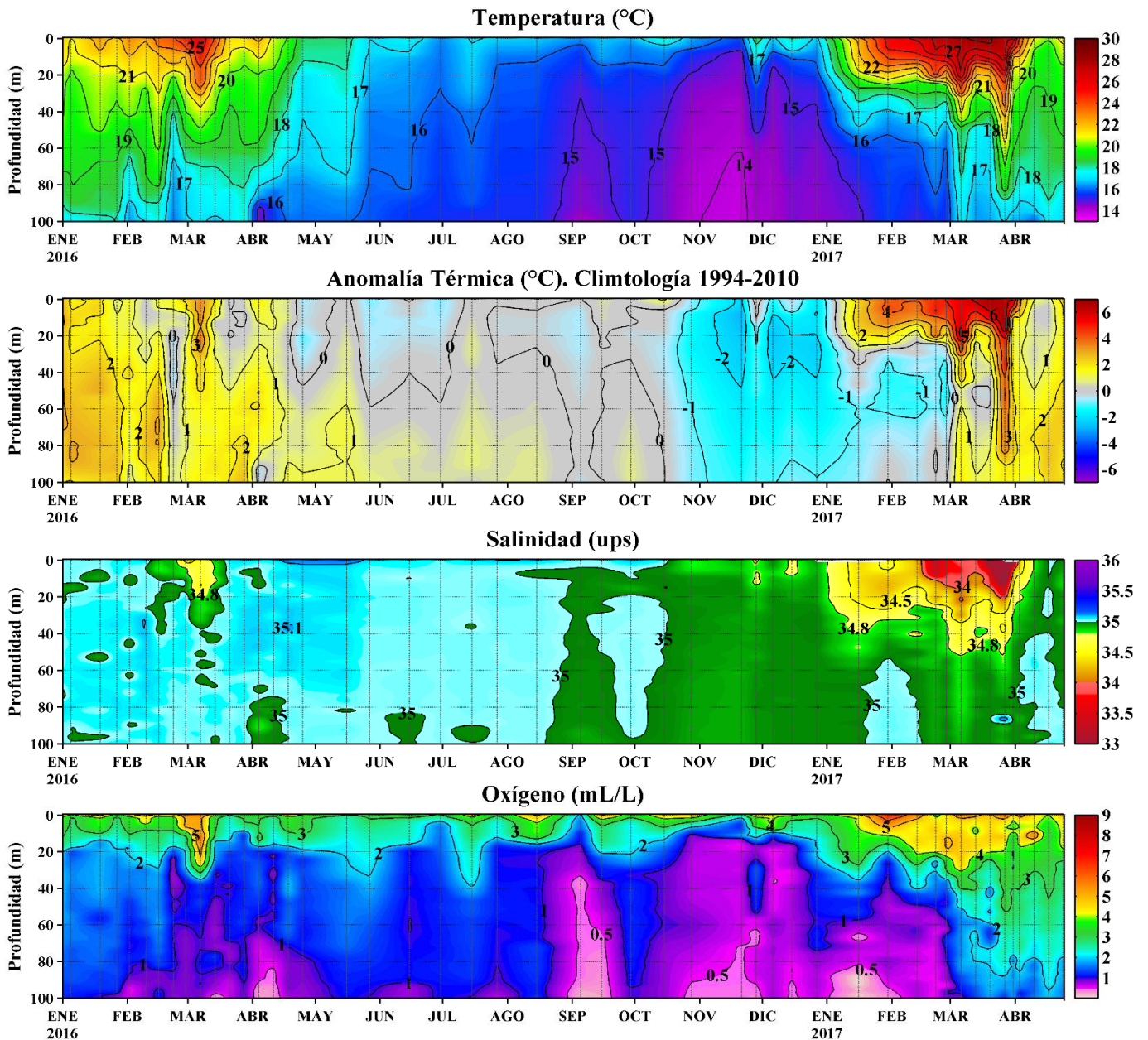


Figura 17. Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Paita (Punto Fijo Paita) de: a) temperatura (°C), b) anomalía de la temperatura (°C), c) Salinidad (ups) y d) oxígeno (mL/L) para el periodo del 01 de enero de 2016 al 24 de abril de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: LHFM/DGIOCC/IMARPE.

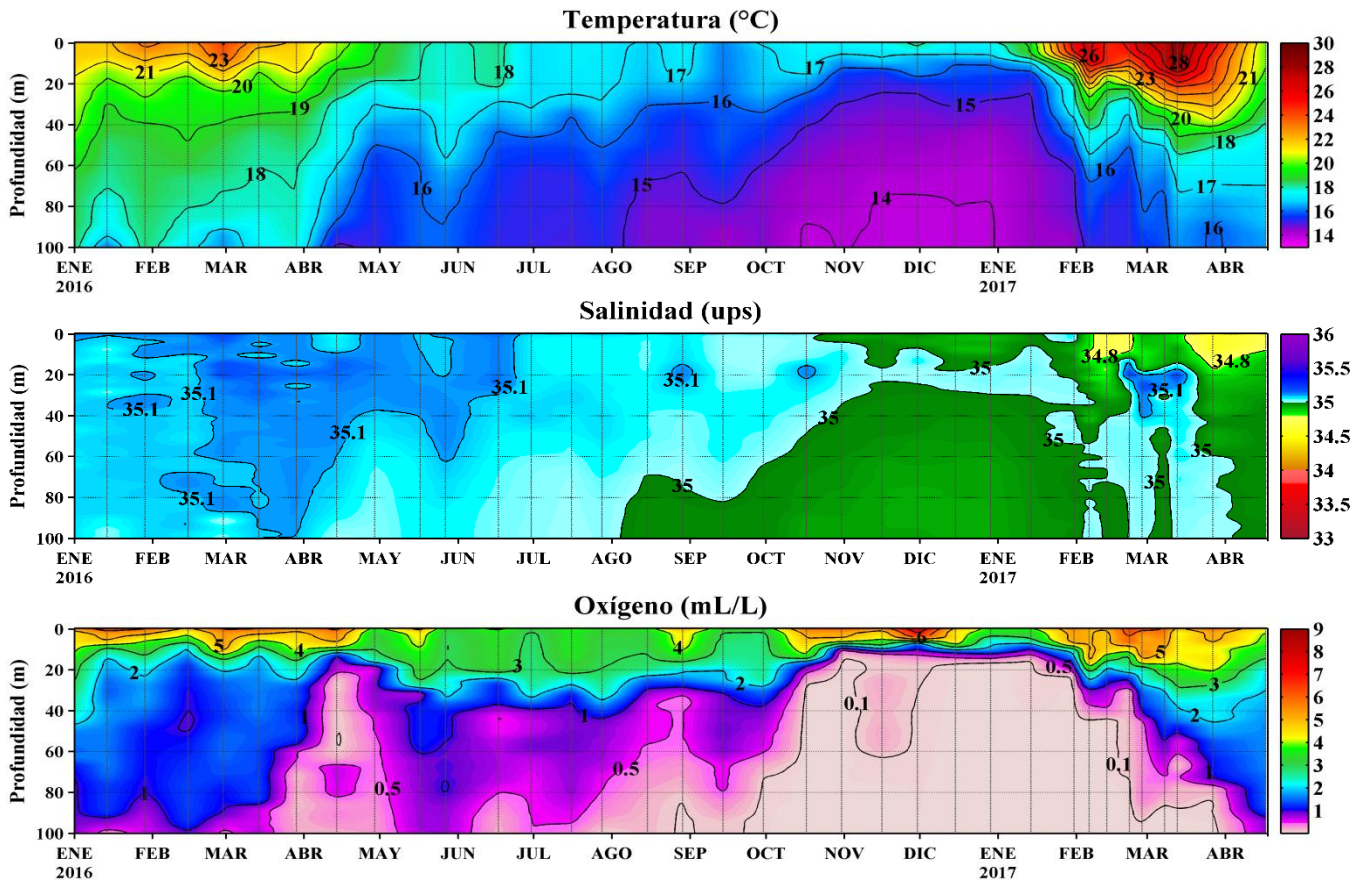


Figura 18. Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Chicama (Punto Fijo Chicama) de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad (ups), c) Oxígeno (mL/L), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 27 de abril de 2017. Fuente: IMARPE.

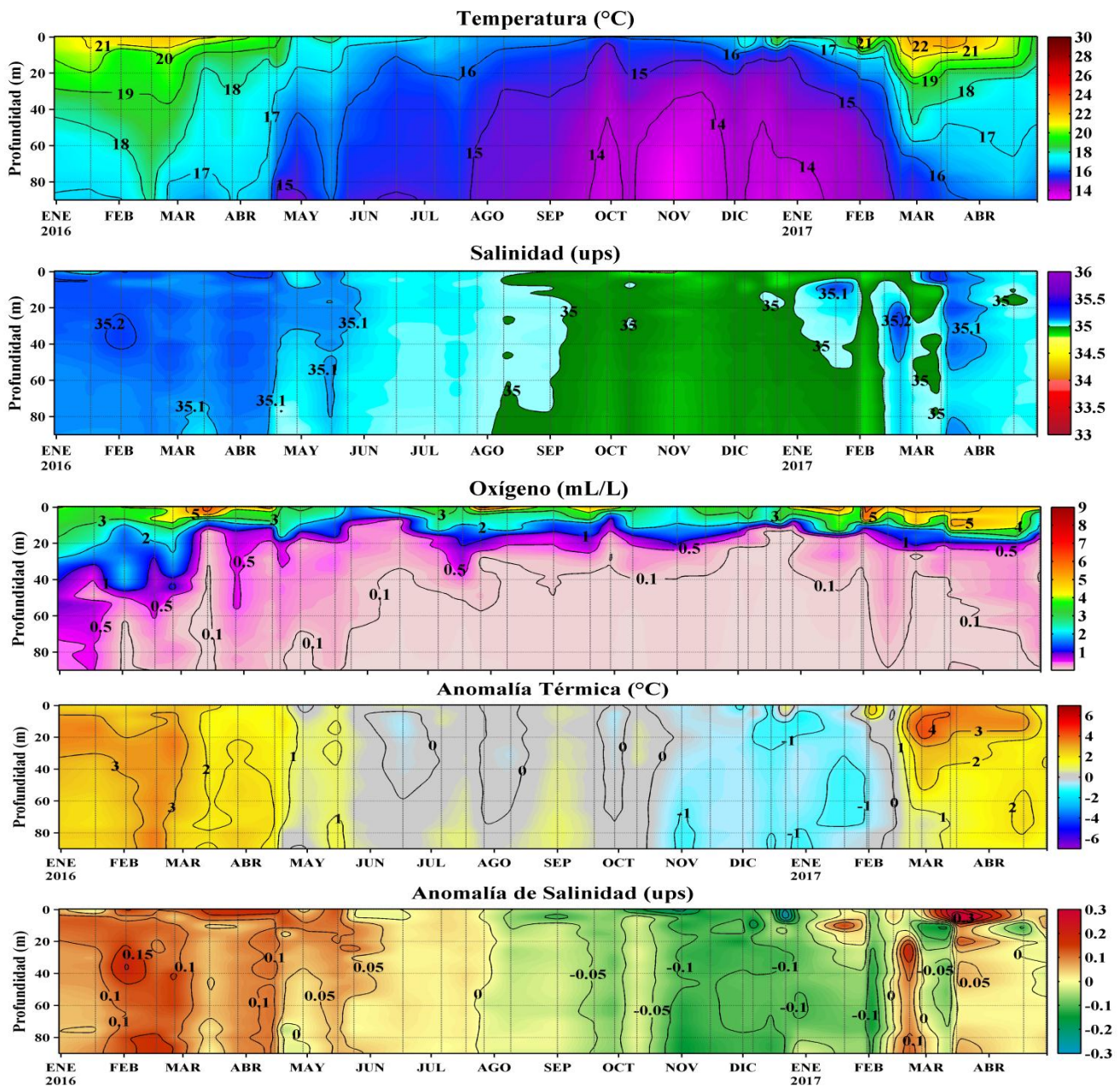


Figura 19. Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Callao (Punto Fijo Callao) de: a) temperatura (°C), b) Salinidad (ups), c) oxígeno (mL/L), d) anomalías de temperatura (°C) y f) Anomalías de salinidad (ups), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 29 de abril de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: IMARPE.

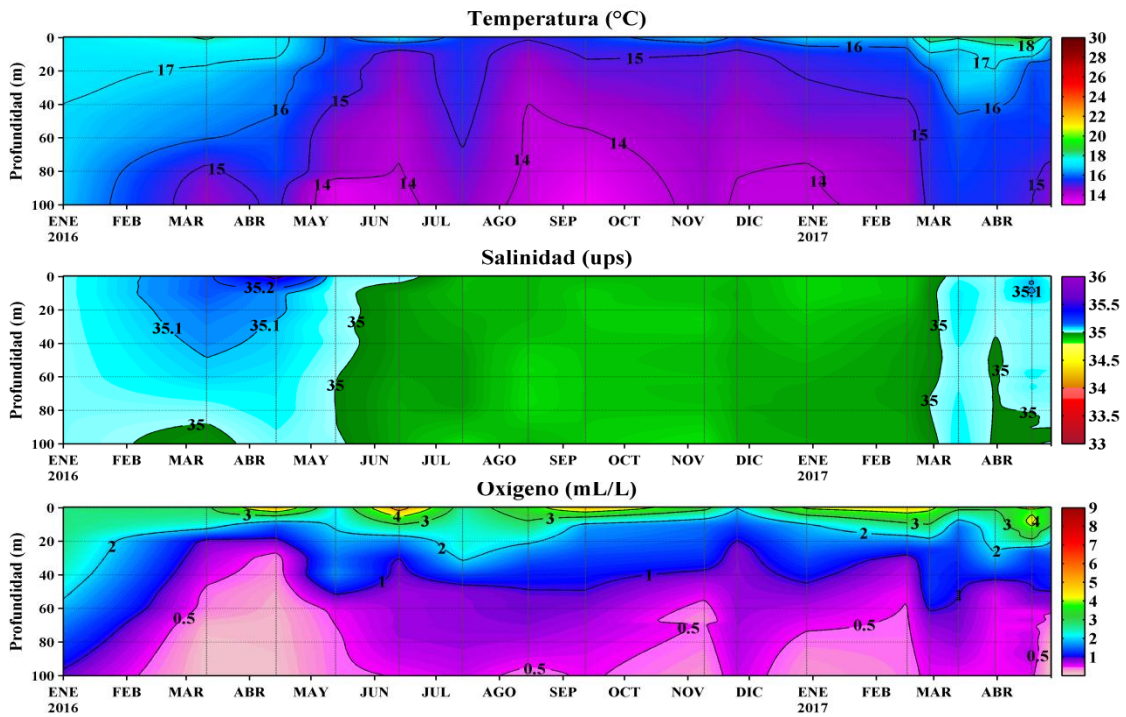


Figura 20. Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Atico (Punto Fijo Atico) de: a) temperatura (°C), b) Salinidad (ups), c) oxígeno (mL/L) para el periodo del 01 de enero de 2016 al 27 de abril de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: IMARPE.

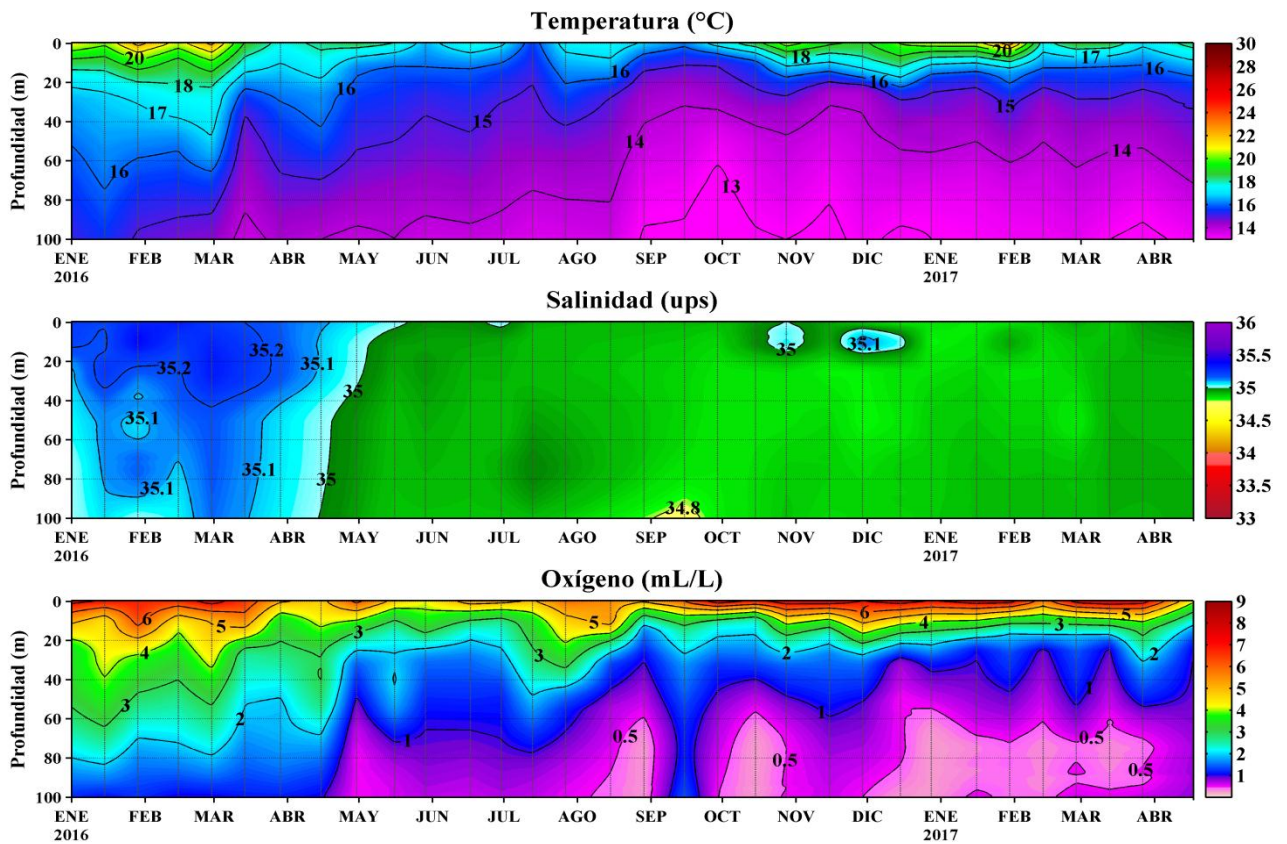


Figura 21. Series de tiempo para la estación oceanográfica Punto Fijo frente a Ilo (Punto Fijo Ilo) de: a) temperatura (°C), b) Salinidad (ups), c) oxígeno (mL/L), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 28 abril de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: IMARPE.

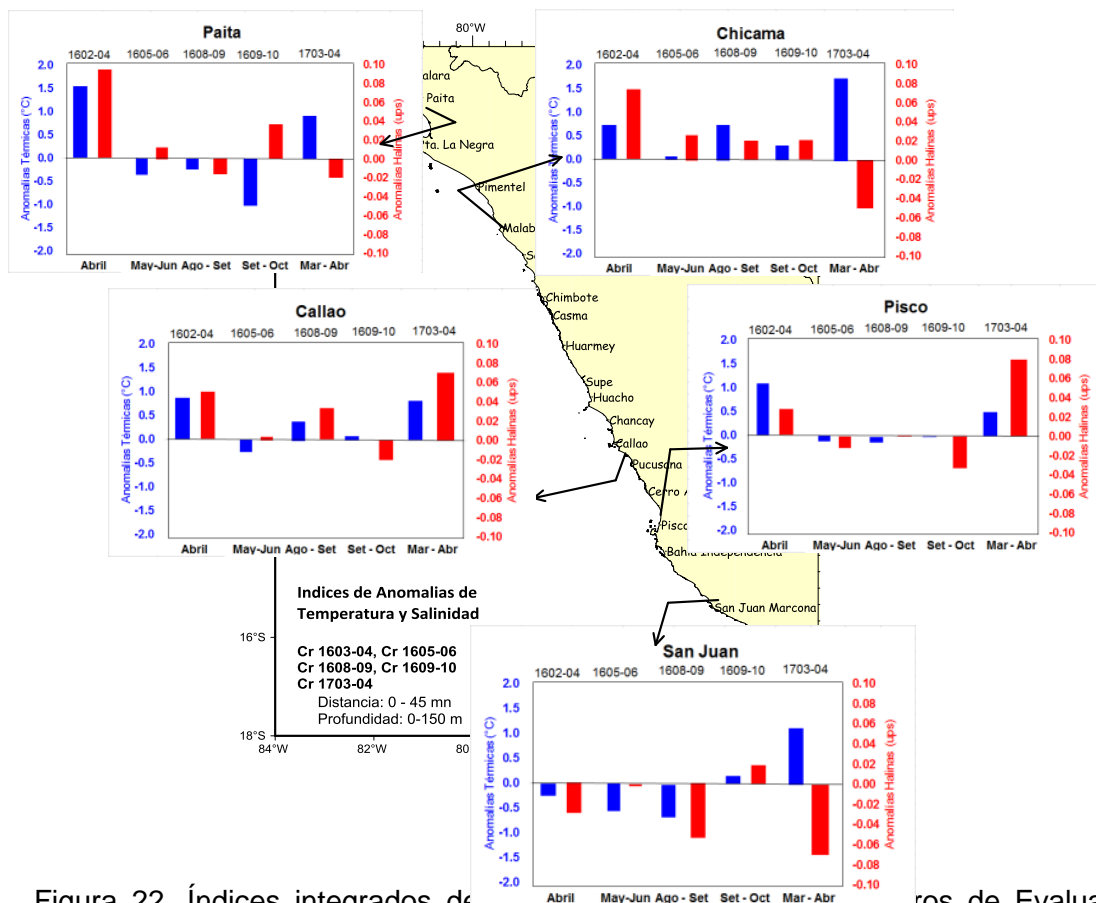


Figura 22. Índices integrados de temperatura y salinidad. Grupos de Evaluación Hidro-acústica de Recursos de los años 1616 y 1717.

Paita 10-11 Abril 2017

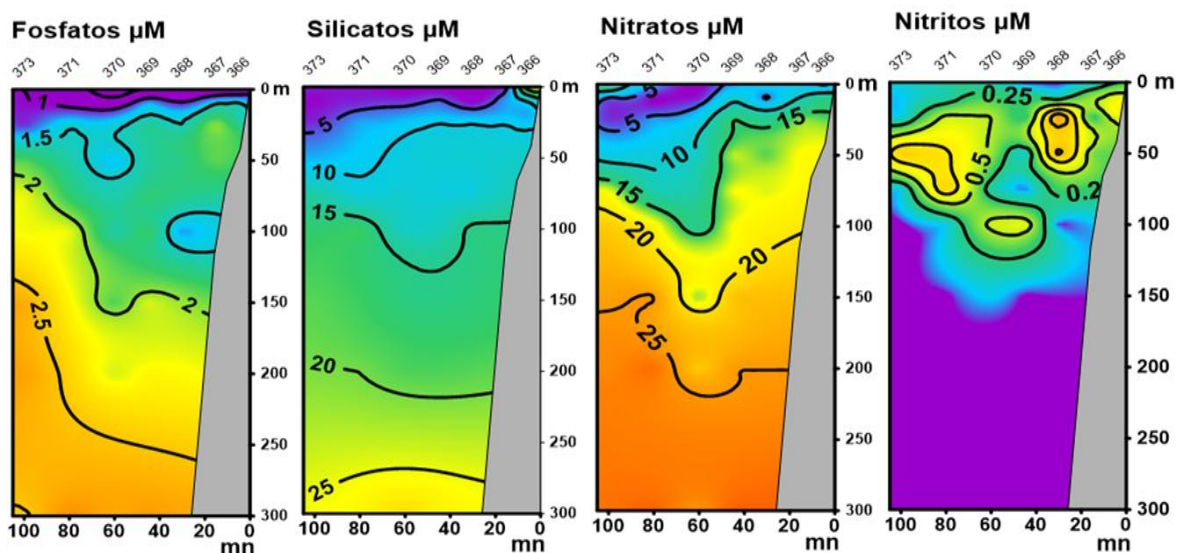


Figura 23. Distribución vertical de: a) fosfatos (μM), b) silicatos (μM), c) nitratos (μM), d) nitritos (μM) frente a Paita, realizada durante el 10-11 de abril de 2017

Chicama 11 Abril 2017

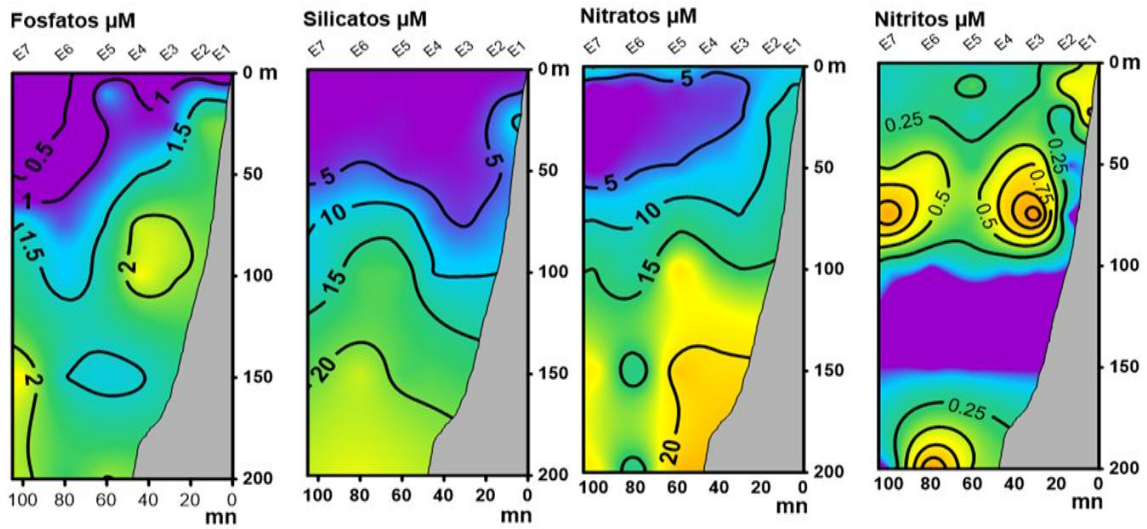


Figura 24. Distribución vertical de: a) fosfatos (μM), b) silicatos (μM), c) nitratos (μM), d) nitritos (μM) frente a Chicama, realizada durante el 11 de abril de 2017.

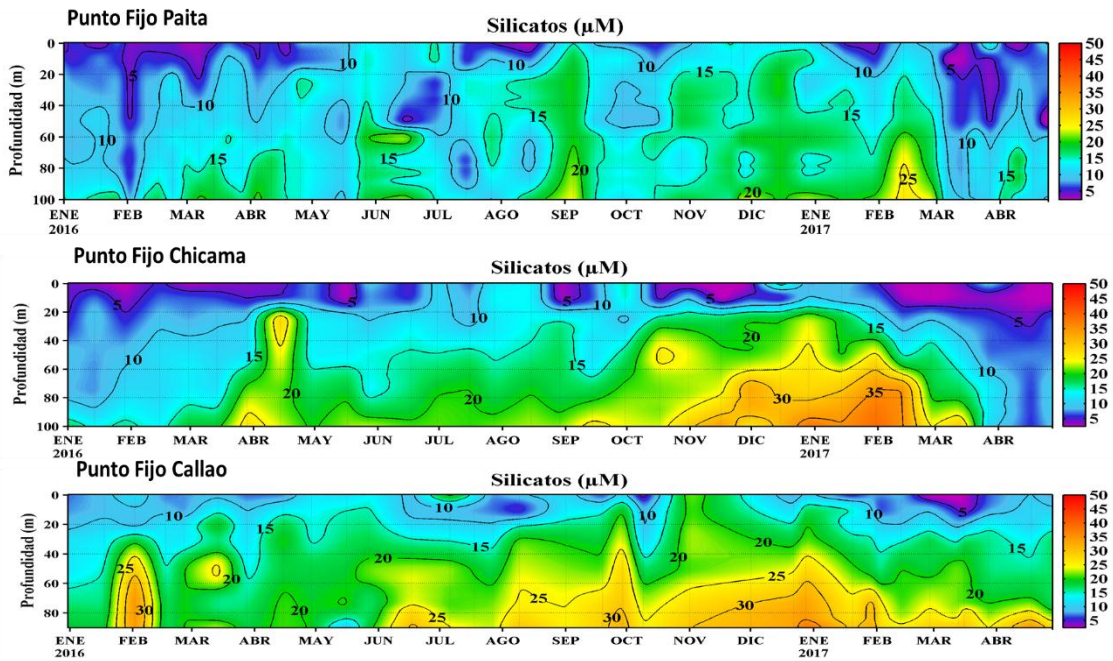


Figura 25. Distribución vertical de: a) silicatos (μM), en los Puntos Fijos de Paita, Chicama y Callao, desde enero 2016 hasta abril 2017.

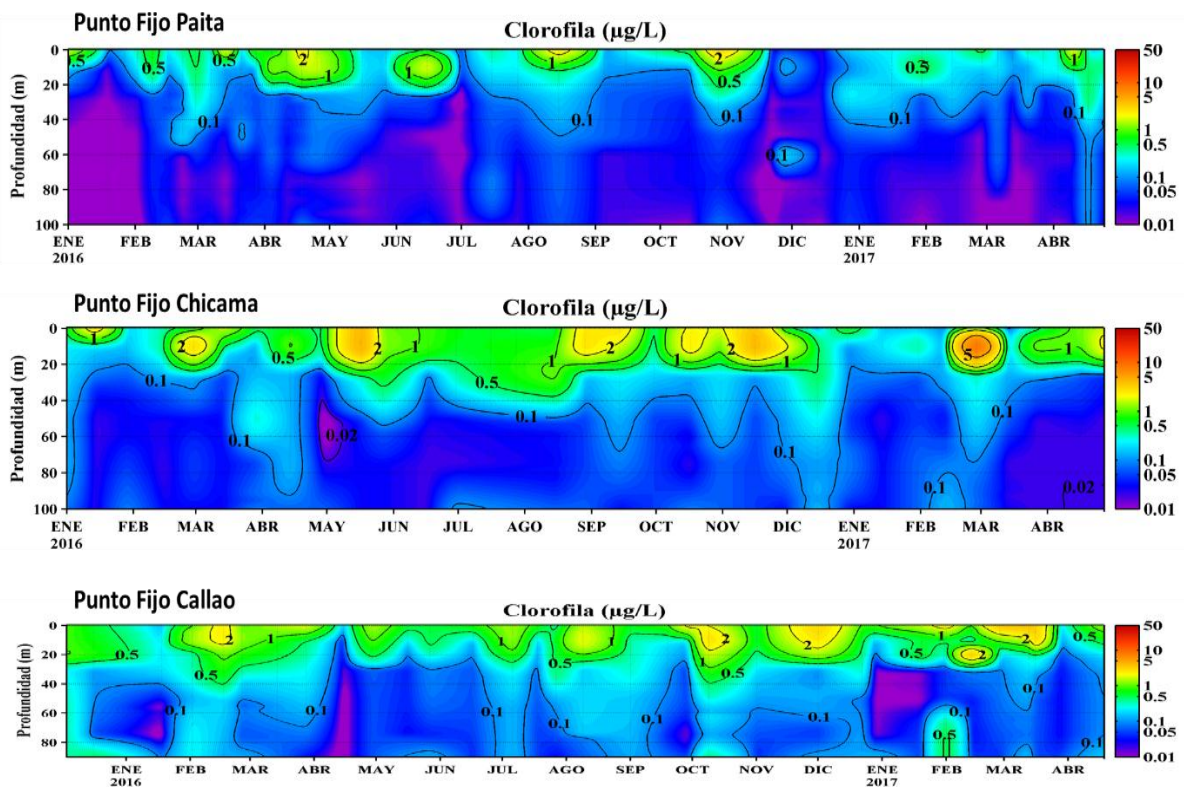


Figura 26. Distribución vertical de la Clorofila ($\mu\text{g/L}$) en los Puntos Fijos de Paita, Chicama y Callao, desde enero 2016 hasta abril 2017.

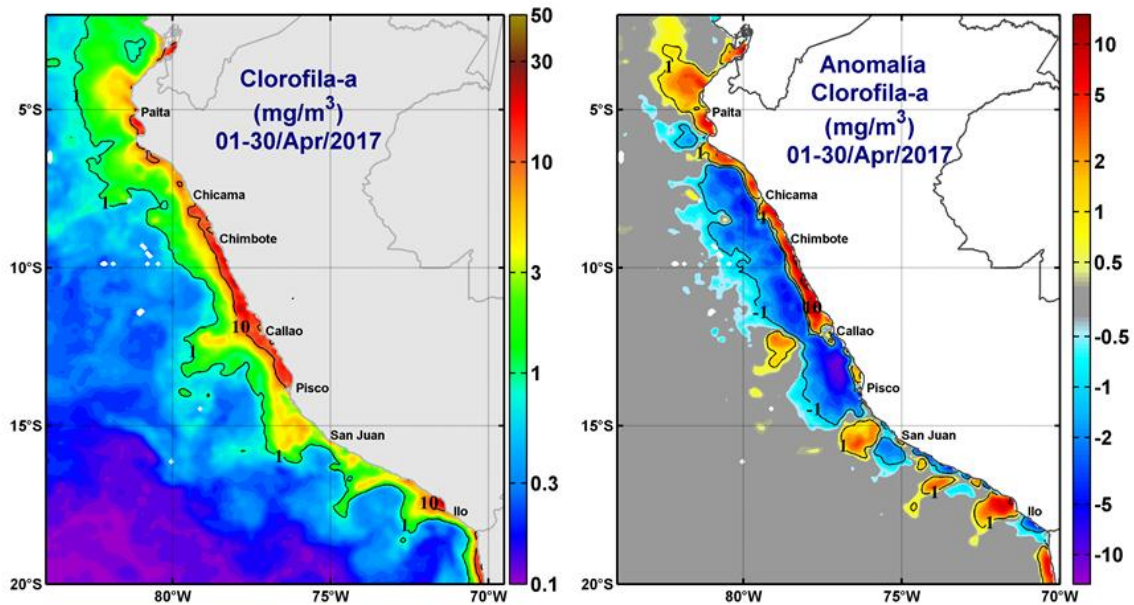


Figura 27. Distribución de clorofila-a (MODIS AQUA) durante abril de los años 2016 y 2017; y la anomalía de la concentración de clorofila-a en abril 2017; en base a climatología 2002 – 2015.

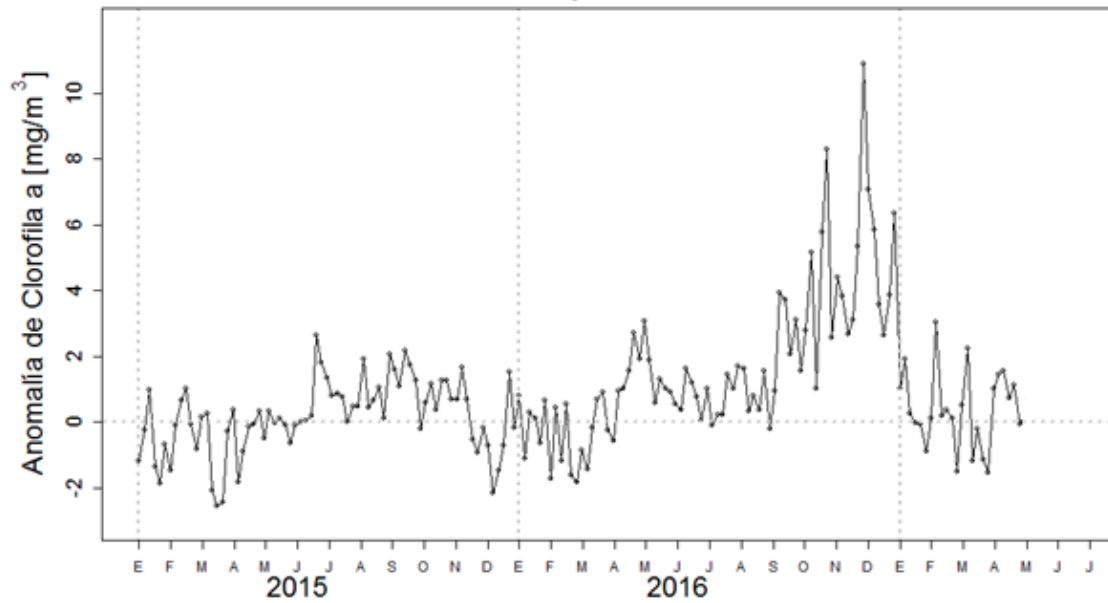


Figura 28. Anomalia promedio de clorofila-a superficial (mg/m^3) cada 5 días del satélite MODIS dentro de los 100 km a la costa y los $4^\circ\text{S} - 16^\circ\text{S}$ desde enero del 2015 hasta el 30 de abril del 2017. Para el análisis se utilizó información con una resolución espacial de 4 km. Además, se construyó una climatología cada 5 días de clorofila-a superficial tomando en cuenta la información del 2002 al 2015.

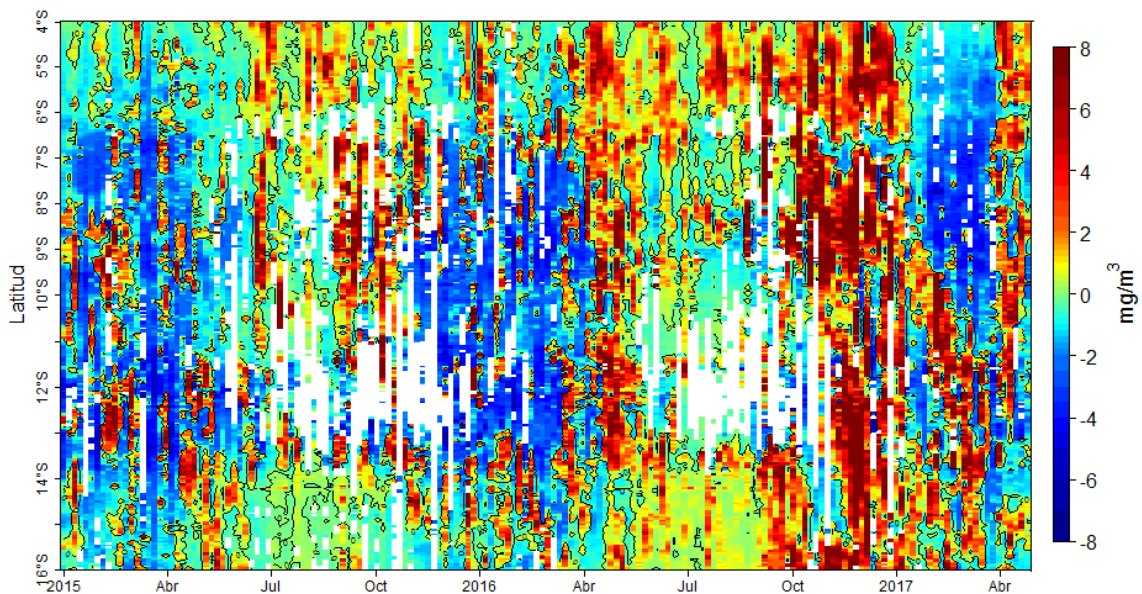


Figura 29. Anomalia promedio de clorofila-a superficial (mg/m^3) cada 5 días del satélite MODIS dentro de los 100 km a la costa desde enero del 2015 hasta el 30 de abril del 2017.

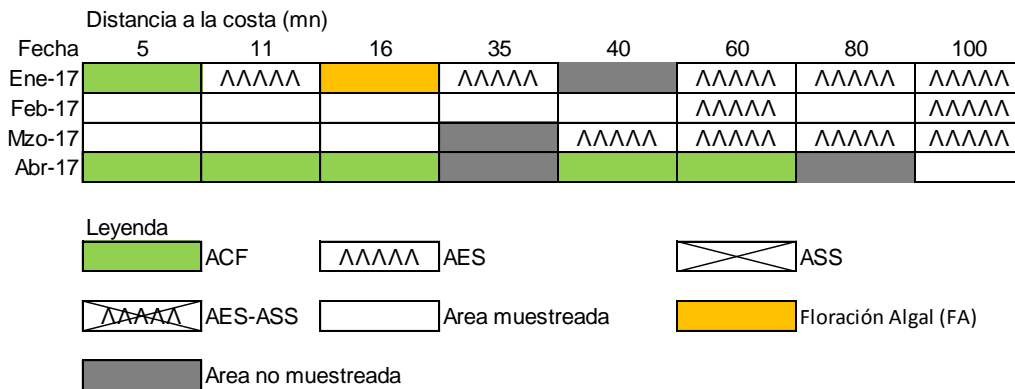


Figura 30. Distribución de indicadores biológicos de fitoplancton Perfil hidrográfico Paíta 1704

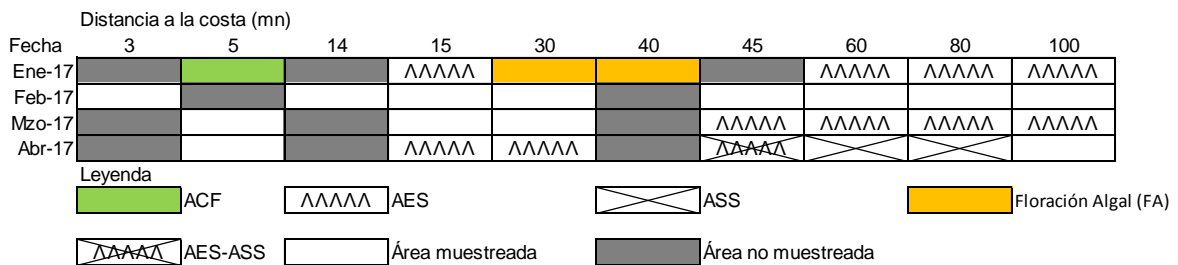


Figura 31. Distribución de indicadores biológicos de fitoplancton Perfil hidrográfico Chicama 1704

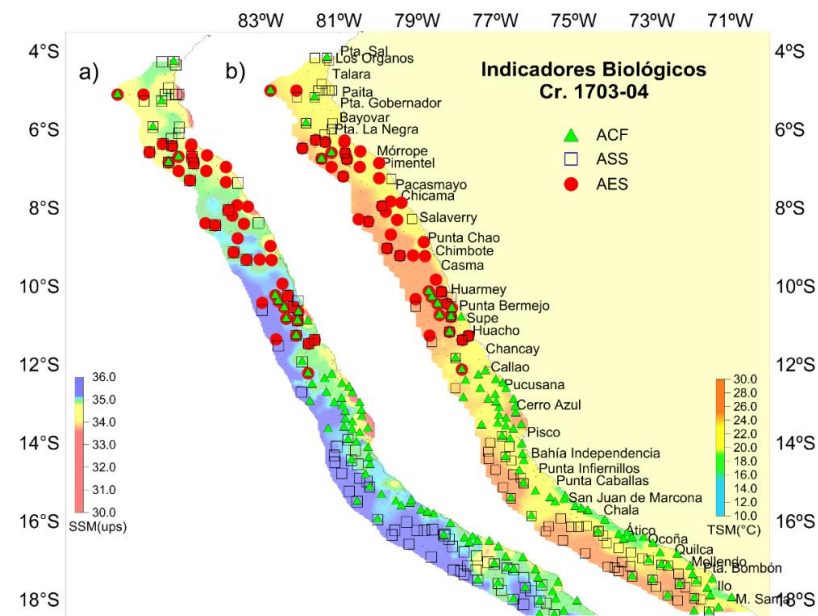


Figura 32. Distribución de los indicadores biológicos asociados a las condiciones ambientales: SSM (a) y TSM (b).

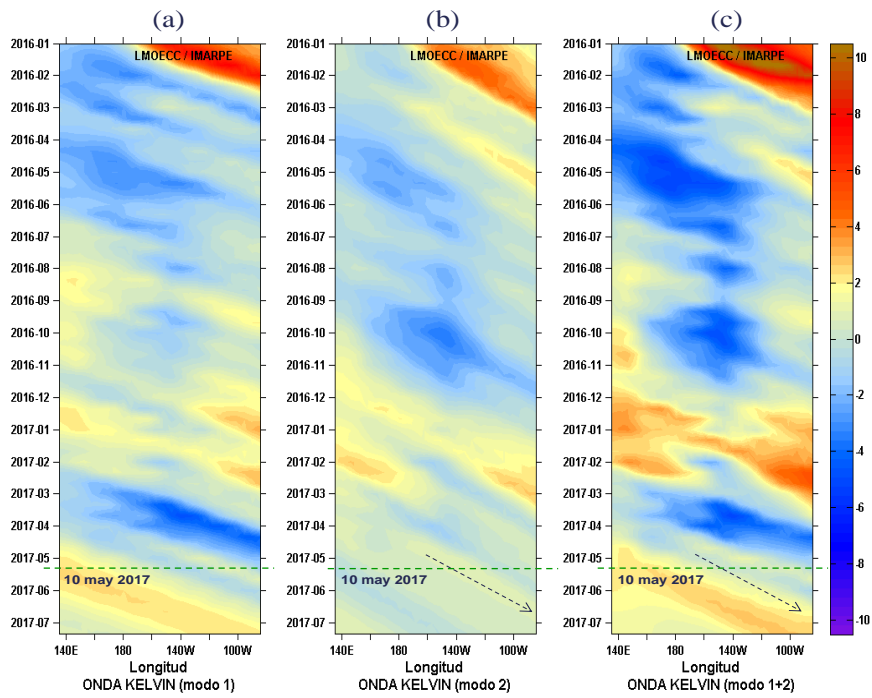


Figura 33. Diagrama Hovmöller longitud-tiempo mostrando las simulaciones de las ondas Kelvin en el Océano Pacífico Ecuatorial. Modelo oceánico de complejidad intermedia: (a) Modo 1, (b) Modo 2 y (c) Modos 1+2 en cm. La línea discontinua horizontal, en verde, indica el inicio del pronóstico.