

Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017

Resumen ejecutivo

En enero de 2017 la temperatura de la superficie del mar se incrementó abruptamente, contra los pronósticos del ENFEN y de los modelos climáticos internacionales, hasta alcanzar valores por encima de 26°C en varios puntos de la costa norte, mientras que en el Pacífico ecuatorial central aún ocurría la transición de La Niña a neutral. Esto activó la segunda banda de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en forma temprana e intensa frente a la costa de Perú, lo cual propició la ocurrencia de lluvias muy fuertes en la zona norte. Además, las condiciones atmosféricas tipo “La Niña en el Pacífico central” y el ingreso de humedad del norte propiciaron lluvias fuertes en los Andes occidentales. El calentamiento costero se habría iniciado por el debilitamiento de los vientos alisios del sur en enero, mientras que la intensificación de la segunda banda de la ZCIT al sur de Ecuador, activó un mecanismo de retroalimentación positivo que mantuvo los alisios del sur débiles en la banda ecuatorial y las temperaturas elevadas frente a la costa norte hasta el mes de abril. Luego, por la reducción estacional de la radiación solar las temperaturas se redujeron y se desactivó la banda secundaria de la ZCIT, iniciándose la rápida declinación del evento.

El periodo de diciembre 2016 a mayo del 2017 calificó formalmente como “El Niño costero” de magnitud moderada, con condiciones neutras en el Pacífico central. Si bien este evento fue de características y por mecanismos locales, a diferencia de los eventos de 1982-1983 y 1997-1998, fue bastante similar al evento El Niño del año 1925.

Por sus impactos, asociados a las lluvias e inundaciones, este evento “El Niño costero 2017” se puede considerar como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú. En cuanto a sus impactos en el ecosistema marino, la reducción del afloramiento costero ocasionó una disminución significativa de la productividad marina frente a la costa norte y centro. La anchoveta se desplazó hacia el sur, replegándose a la costa, y no presentó el desove de verano. Por otro lado, se detectó un incremento de la disponibilidad de recursos asociados a aguas cálidas, como caballa, bonito y atunes, desplazándose hasta el sur entre febrero y marzo.

Palabras clave: El Niño costero, ENFEN, lluvias, caudales, ICEN.

1. Condiciones oceánicas y atmosféricas en la región tropical

1.1 Pacífico central – Región Niño 3,4

En diciembre, en el Pacífico Central (región Niño 3.4) la temperatura superficial del mar (TSM) presentó una anomalía mensual de -0,6°C. Según el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) se tuvo la presencia de La Niña en el Pacífico Central de magnitud débil hasta diciembre de 2016 (Tabla 1). La actividad convectiva, la subsidencia y el viento zonal en el Pacífico Central fueron consistentes con las condiciones frías, aunque en enero se detectaron ligeras anomalías del viento del oeste hacia 160°W – 140°W. La inclinación este-oeste de la termoclina y el contenido de calor en el Pacífico ecuatorial se presentaron alrededor de lo normal durante enero. Durante febrero la anomalía de TSM mostró un cambio de valores negativos a positivos a mediados de mes y luego continuó en sentido ascendente (**Figura 1a**) hasta +0,3°C en la última semana; sin embargo, el promedio mensual alcanzó valores cercanos a lo normal. Entre marzo y mediados de abril la anomalía de la TSM en esta región continuó mostrando valores en el rango neutro, para luego y hacia finales de abril mostrar valores ligeramente positivos, acercándose al umbral de +0,5°C correspondiente a condiciones cálidas. Se debe resaltar que los pronósticos de los modelos climáticos para la temperatura en esta región fueron bastante acertados (**Figura 2d**).

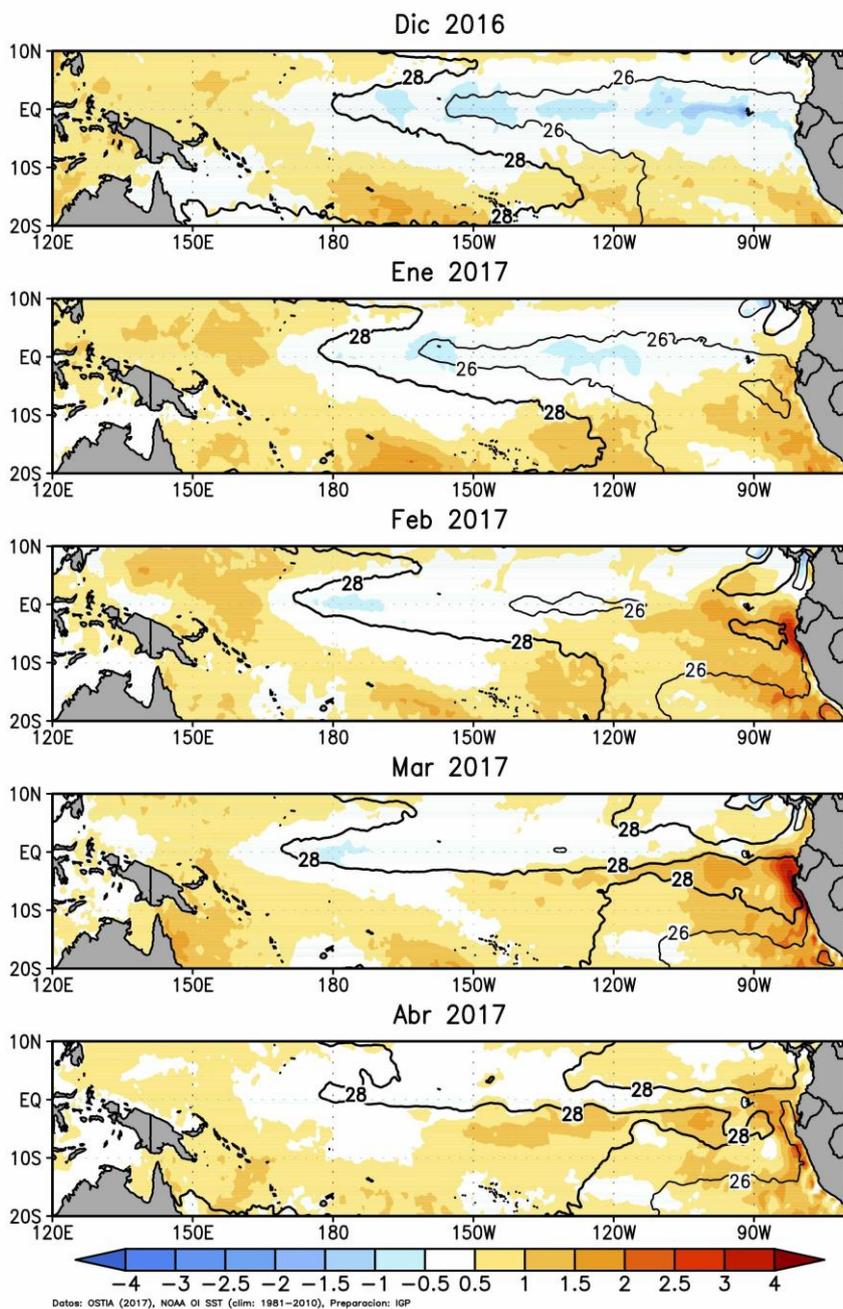


Figura N° 01. Desarrollo de la temperatura superficial del mar (°C; contornos de 26 y 28°C y anomalías en colores) en el Pacífico ecuatorial para el periodo diciembre 2016 – abril 2017. Datos: OSTIA, climatología OI SST (1981-2010).

1.2 Pacífico oriental - Región Niño 1+2

En la región Niño 1+2 que abarca la zona norte del mar peruano, la anomalía de la TSM fue del orden de $+0,4^{\circ}\text{C}$ en promedio durante diciembre. A partir de la segunda semana de enero se detectó el incremento de la anomalía semanal de la TSM en esta región a $+0,9^{\circ}\text{C}$ así como anomalías de vientos del oeste en el Pacífico Ecuatorial Oriental. El incremento de las anomalías de la TSM continuó, alcanzando hacia finales del mes $+2,0^{\circ}\text{C}$. En el litoral, Talara y Paita alcanzaron anomalías del orden de $+5^{\circ}\text{C}$ y $+6^{\circ}\text{C}$ respectivamente. La temprana formación de la segunda banda de la ZCIT favoreció el acoplamiento océano-atmosférico en la región del Pacífico oriental y hacia finales de enero se presentaron las primeras lluvias de magnitud fuerte en Tumbes y Piura. En febrero las aguas superficiales superaron los 28°C en gran parte de la región Niño 1+2 (anomalía de TSM de $1,6^{\circ}\text{C}$) y frente a Piura la TSM alcanzó valores de 29°C a 100 millas de la costa. Durante marzo esta región continuó presentando valores de TSM de 28°C (anomalía de TSM de $1,9^{\circ}\text{C}$), sin embargo, en la última semana del mes se observó un repliegue de las aguas más cálidas hacia el norte de dicha región. Durante el mes de abril se inició el descenso de las anomalías de TSM en la región, declinando a valores del orden de $+1^{\circ}\text{C}$.

Según los valores del ICEN, El Niño costero se extendió desde diciembre 2016 hasta mayo de 2017, alcanzando magnitud moderada en el verano (diciembre 2016 – marzo 2017; Tabla 1). Si bien los pronósticos de los modelos climáticos inicializados entre diciembre 2016 y febrero 2017 fueron acertados para el Pacífico central, ninguno de ellos previó el calentamiento del Pacífico oriental (ICEN); sólo a partir de enero previeron la persistencia del calentamiento (**Figura 2c**). El pronóstico del ENFEN a partir de este mes se basó sustancialmente en la analogía con El Niño de 1925 y la interacción océano-atmósfera que involucra la segunda ZCIT, los vientos del norte y el calentamiento de la costa (Takahashi y Martínez, 2017)¹.

¹ Takahashi K, Martínez AG, 2017: The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-017-3702-1.

Tabla 1. Valores del Índice Costero El Niño (ICEN) y del Índice Oceánico Niño (ONI) de diciembre 2016 a mayo 2017.

Mes	ICEN	Categoría
12/2016	0.42	Cálida Débil
01/2017	1.02	Cálida Moderada
02/2017	1.60	Cálida Moderada
03/2017	1.57	Cálida Moderada
04/2017	1.24	Cálida Moderada
05/2017	0.52	Cálida Débil

Mes	ONI	Categoría
12/2016	-0.73	Fría Débil
01/2017	-0.42	Neutra
02/2017	-0.12	Neutra
03/2017	0.15	Neutra
04/2017	0.39	Neutra
05/2017	0.48	Neutra

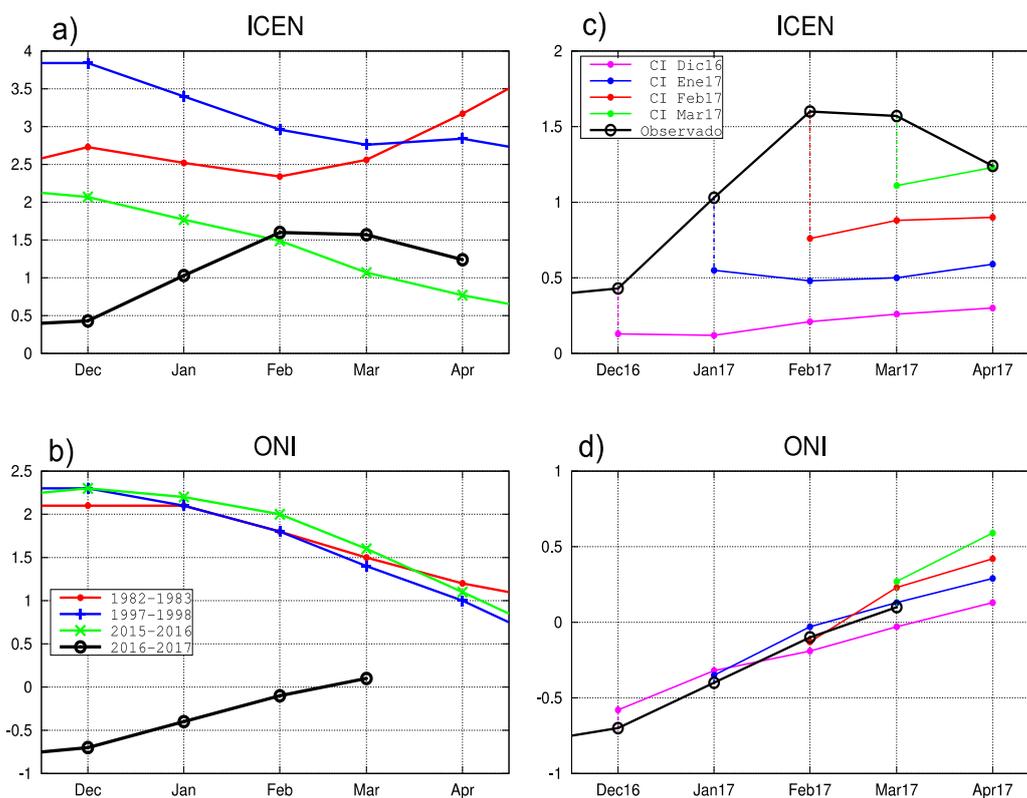


Figura N° 02. Series del Índice Costero El Niño (ICEN; a,c) y el Índice Oceánico Niño (ONI; b,d) para diciembre-abril. En la columna izquierda (a,b) se compara el evento 2016-2017 (negro) con los de 1982-1983 (rojo), 1997-1998 (azul) y 2015-2016 (verde). En la columna derecha (c,d) se muestran las observaciones para 2016-2017 (negro) junto con el promedio de los pronósticos de los modelos NMME inicializados en diciembre de 2016 (magenta), y enero (azul), febrero (rojo), y marzo (verde) de 2017.

Entre otoño y primavera de 2016, varias ondas Kelvin frías, originadas en el Pacífico Central, impactaron en la costa peruana, siendo la última registrada entre noviembre y diciembre. Entre enero y marzo de 2017, la presencia de las ondas cálidas continuó siendo más evidente en los datos satelitales. Según estos datos y los modelos oceánicos, la presencia de estas ondas cálidas se deberían, aparentemente, a una combinación de ondas Kelvin reflejadas en el extremo occidental del Pacífico y anomalías de viento del oeste en el Pacífico Ecuatorial Oriental que amplificaron las ondas reflejadas para originar la proyección rápida de ondas Kelvin cálidas, evidenciadas por la propagación de anomalías positivas del NMM (**Figura 7**), que contribuyeron, aunque en forma secundaria, al calentamiento superficial frente a la costa peruana. Entre marzo y abril se detectó el impacto de una onda Kelvin cálida que contribuyó al calentamiento sub-superficial a lo largo de la costa desde el norte hasta Atico (**Figura 8**), cuya influencia continuó hasta mayo. Los modelos lineales de propagación de las ondas Kelvin del ENFEN indicaron la señal de una onda Kelvin fría impactando la costa entre abril y mayo (**Figura 3**) que se debería a pulsos de viento del este durante el mes de febrero entre 160°E y 160°W; aunque ello no se verificó en las observaciones de NMM o de las anomalías de la temperatura en la columna de agua frente a Paita.

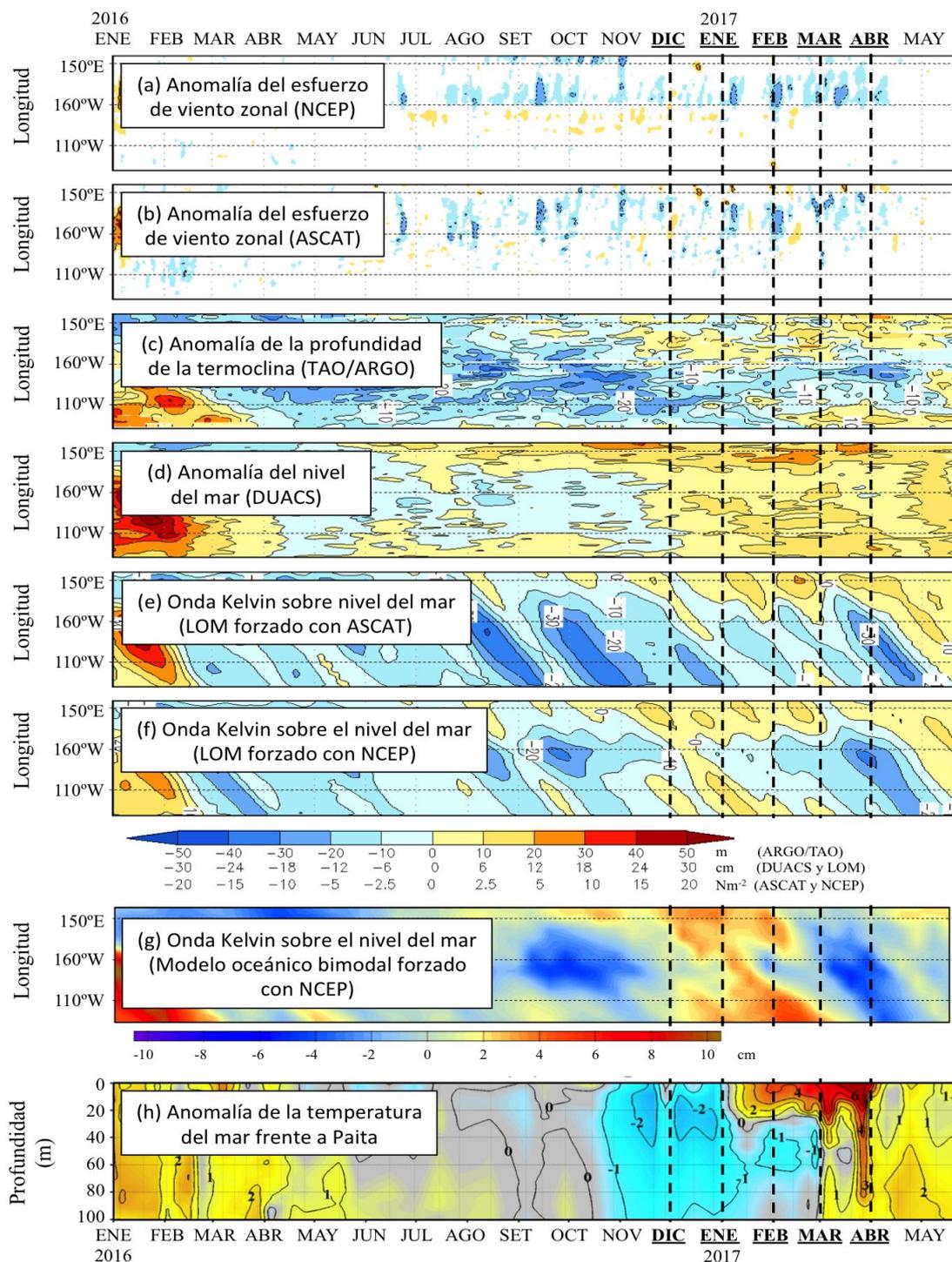


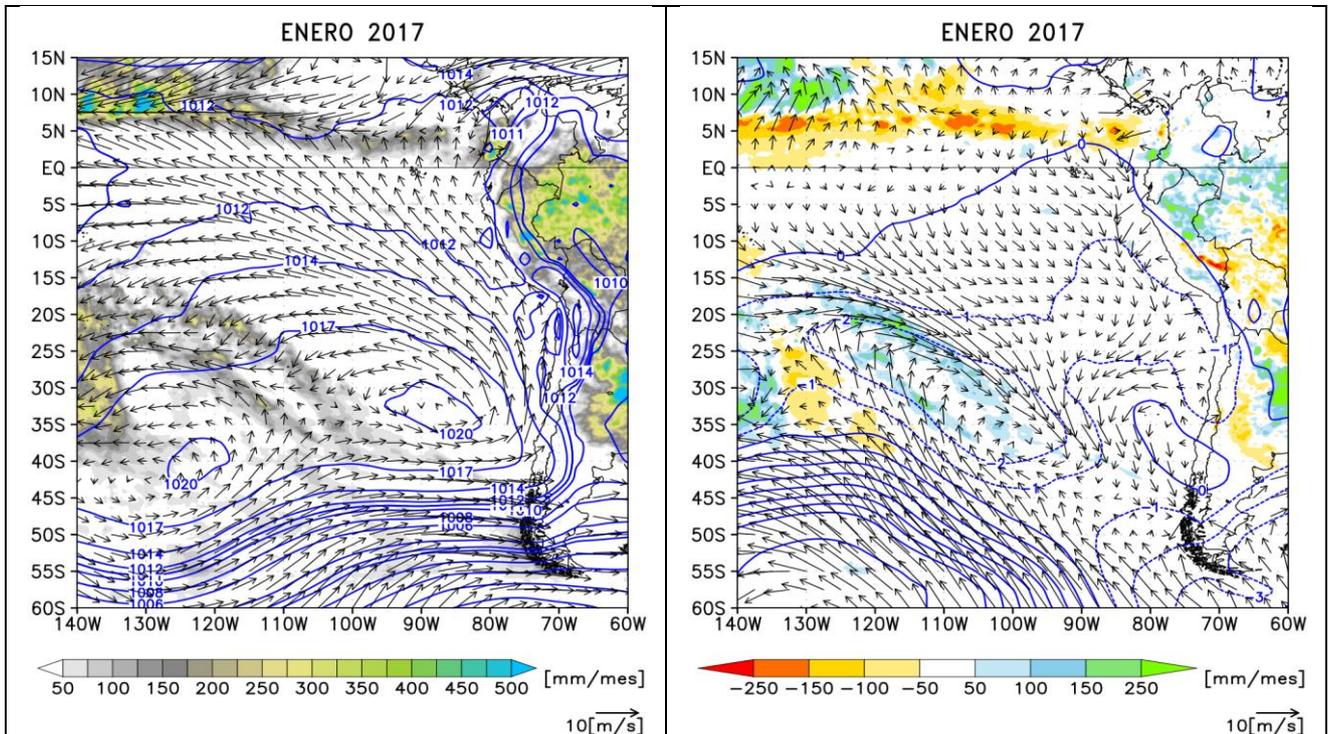
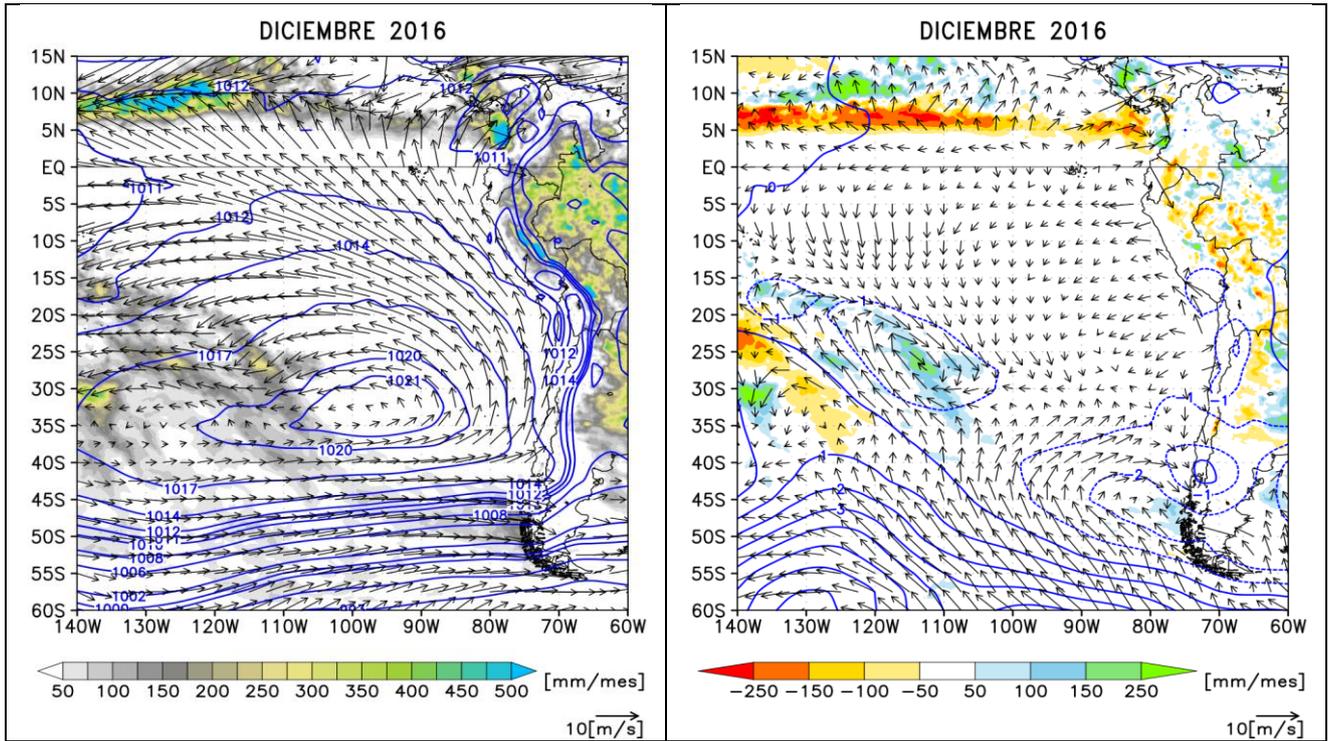
Figura N° 03. Evolución temporal (enero de 2016 - mayo de 2017)) en el océano Pacífico ecuatorial de la anomalía: del esfuerzo de viento zonal de NCEP (a), ASCAT (b), de la profundidad de la termoclina (c), del nivel del mar satelital (d) y del nivel del mar simulado (e,f y g). La anomalía de la temperatura del mar frente a Paita se grafica en (h). Las líneas verticales cortadas de color negro indican el inicio de los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril.

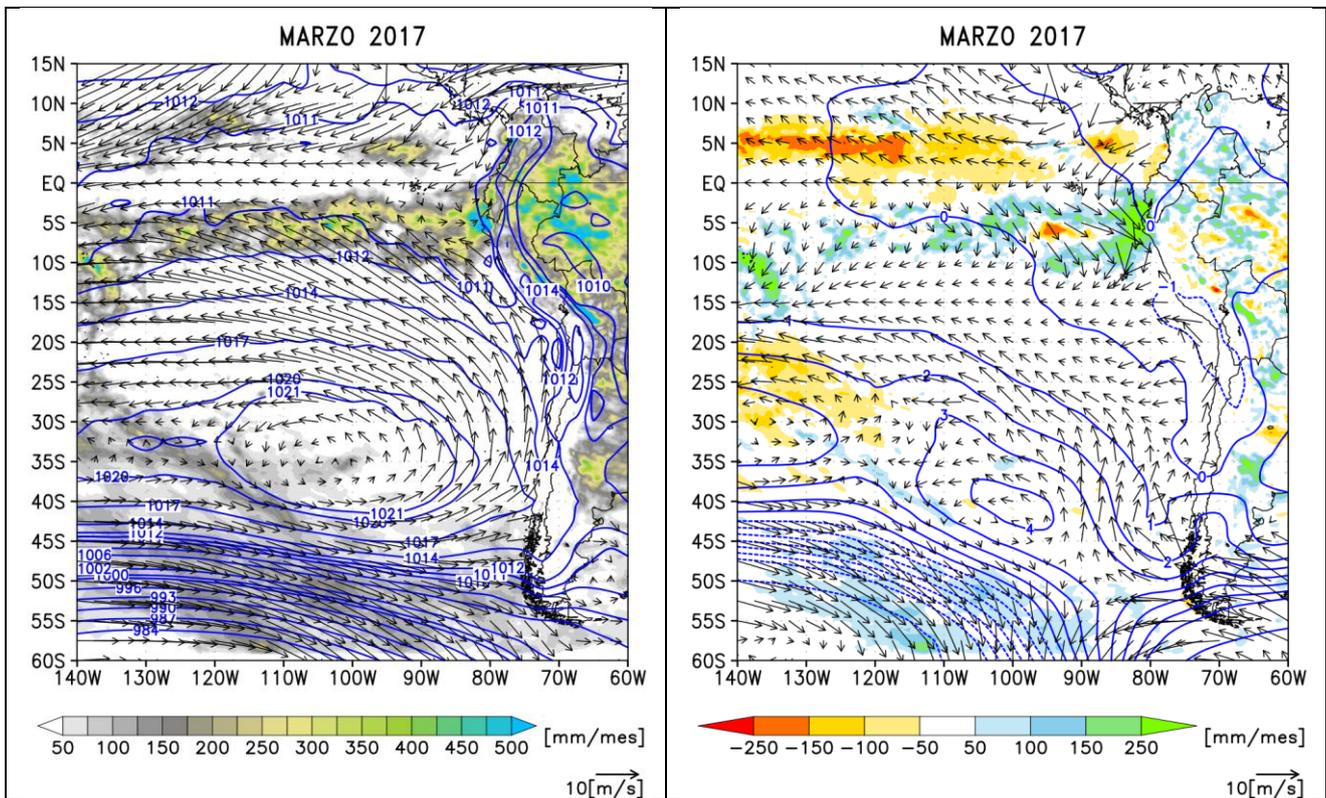
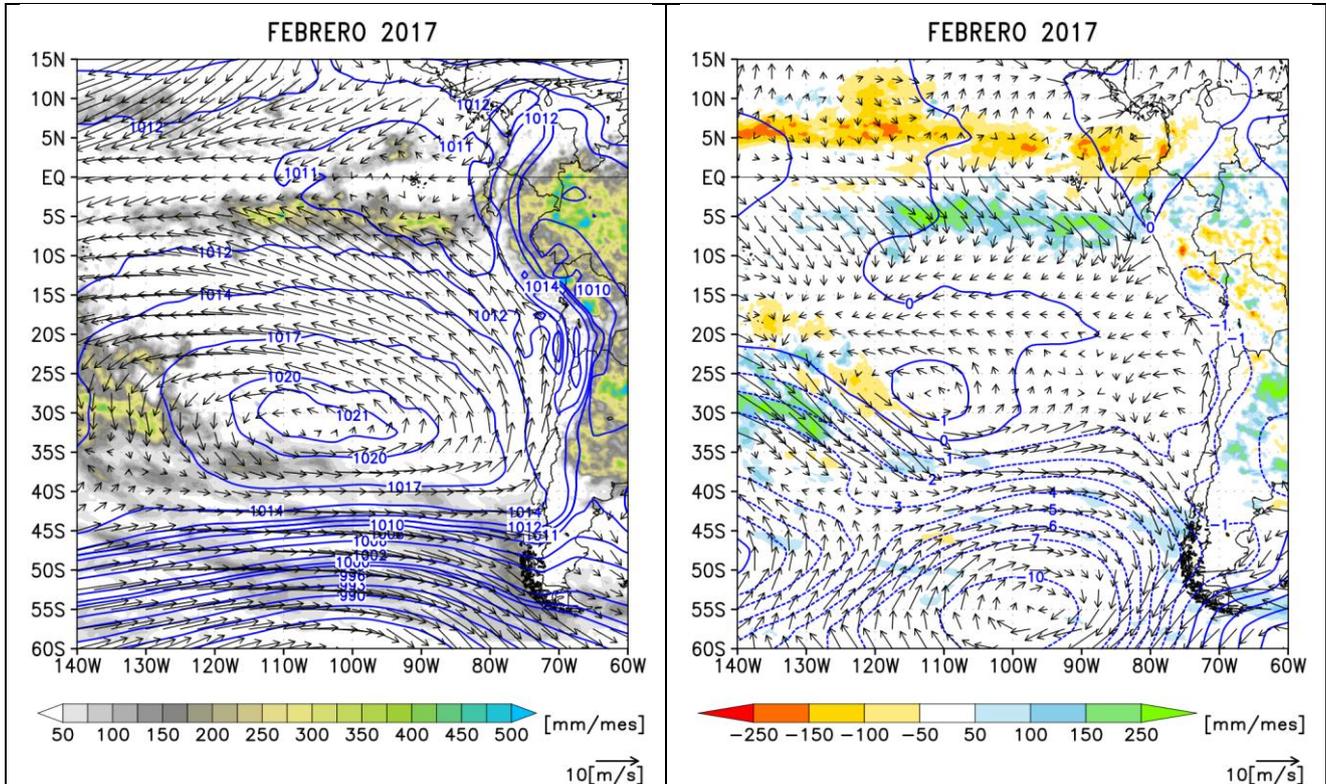
1.3 ZCIT y campo de presiones y vientos en el Pacífico oriental

Durante el mes de diciembre, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) mantuvo, en promedio, una posición normal, aunque el promedio mensual del campo de presiones presentó una ligera anomalía negativa; su acercamiento hacia la costa norte de Chile, a mediados de diciembre, propició un ligero incremento de vientos en el litoral sur del Perú. Hacia la segunda semana de enero de 2017, se observaron periodos cortos de incursión de vientos del norte hasta la costa de Lambayeque, al mismo tiempo los vientos alisios del sur se mostraban súbitamente más débiles a la par de un APS desplazado hacia el sur-oeste de su posición habitual y menos intenso, mostrándose generalmente debilitado hasta mediados de febrero inclusive. Esta anomalía del campo de presiones y vientos débiles del sur, favoreció la presencia de anomalías de vientos norte sobre la región costera norte y central y contribuyeron al calentamiento superficial del mar frente a las costas de Perú, lo cual propició la temprana aparición de la segunda banda de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) muy desplazada al sur de su posición habitual, alcanzando su máxima posición sur frente a La Libertad y Ancash (aprox. 10°S) en la primera quincena de marzo. A partir de la segunda quincena de marzo, se observó un progresivo fortalecimiento del APS lo cual incidió en el paulatino incremento de vientos del sur, y con ello, en el ligero desplazamiento de la ZCIT hacia el norte; hacia finales del mes ya se observaba la disminución de la TSM frente a la costa central y sur, no así en la costa norte, donde la ZCIT se mantuvo desarrollada manteniéndose el acoplamiento océano – atmósfera. En abril, el APS se mostró fortalecido y al sureste de su posición normal, es decir, más próximo hacia el continente. El acercamiento del APS a continente estuvo asociado a sistemas anticiclónicos migratorios, favoreciendo la persistencia de vientos de moderada intensidad principalmente a lo largo de la costa central y sur, evidenciándose anomalías del sur en la zona costera central y sur y alejamiento de la segunda banda de la ZCIT, la cual continuó su desplazamiento norte propio de su estacionalidad. **Figura 4.** (nota: La Figura 4 no incluye región subtropical del APS).

Cabe indicar que la reducción anómala del esfuerzo de viento costero fue persistente la mayor parte de enero, predominando aún hasta la primera quincena de marzo, ocasionando la reducción significativa del afloramiento costero.

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”





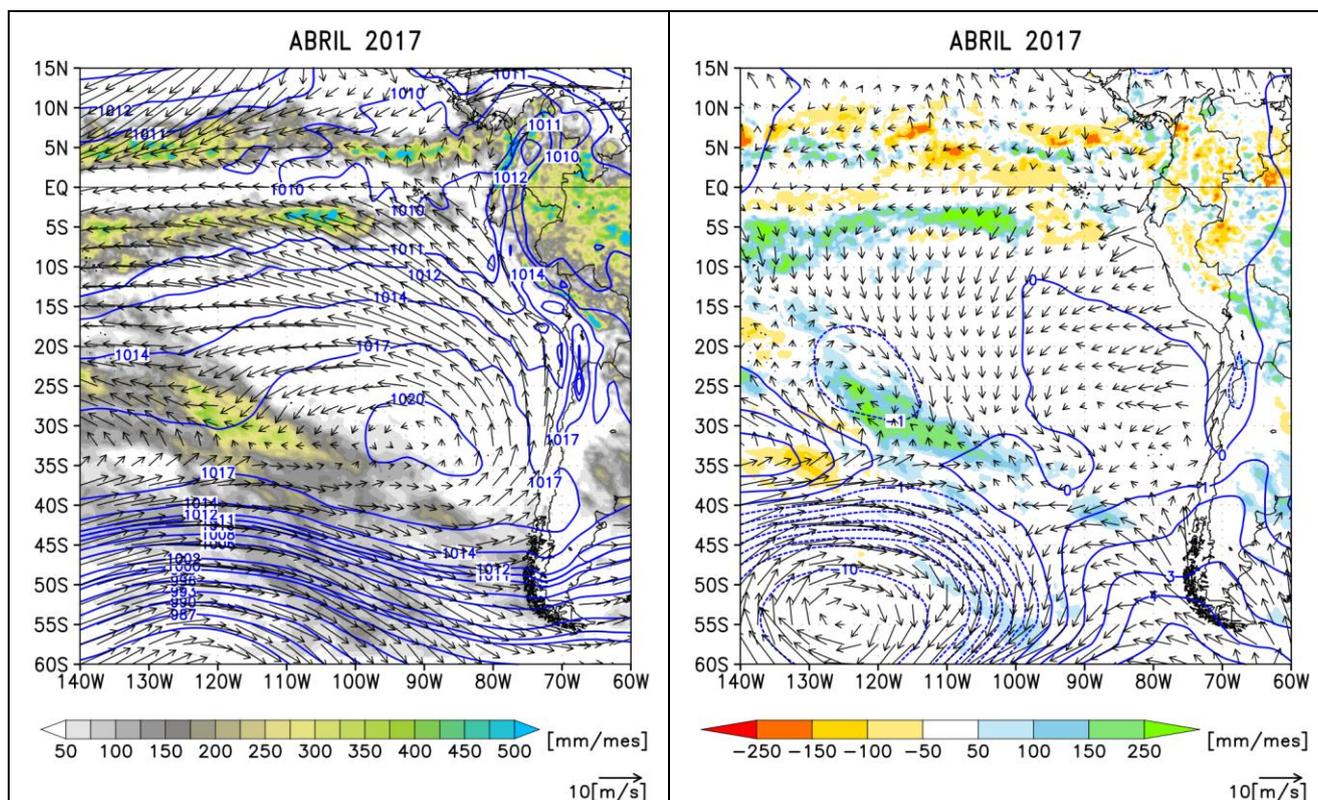


Figura N° 04. Desarrollo de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en el flanco oriental del Pacífico Ecuatorial para el periodo diciembre 2016 – abril 2017. Datos: Viento a 10 m (m/s; NOAA-NESDIS/NCDC - diario satelital) y presión reducida al nivel del mar (hPa; NCEP/NCAR Reanalysis), precipitación (mm/mes; TRMM 3B42). Anomalías en la columna derecha.

1.4 Comportamiento de la TSM y NMM en el litoral costero

En el mes de diciembre las estaciones costeras entre Talara y Lobos de Afuera presentaban, en promedio, anomalías negativas de TSM de $-0,8^{\circ}\text{C}$, mientras que el litoral central-sur presentó condiciones alrededor de lo normal; no obstante, por fuera de las 50 millas de la costa se continuó observando anomalías positivas de la TSM alrededor de $+1^{\circ}\text{C}$ en promedio. En enero 2017, en promedio, las estaciones costeras presentaron valores por encima de lo normal en la costa norte, manifestándose un rápido incremento de los valores de TSM en la región norte y central desde la segunda semana, con valores de ATSM oscilando entre $+2^{\circ}\text{C}$ y $+6^{\circ}\text{C}$. Así también, frente a la costa norte (central – sur), los valores de TSM alcanzaron valores de 27°C (26°C , exceptuando Callao y Pisco con valores menores) por fuera de las 50 millas de la costa. A mediados de enero se incrementó las anomalías diarias de nivel medio del mar (NMM) frente a la costa, especialmente en el norte. Los valores máximos registrados ocurrieron a inicios del mes de febrero, alcanzando $+19$ cm frente a Paita. En febrero, las ATSM diarias se incrementaron entre $+4^{\circ}\text{C}$ y $+5^{\circ}\text{C}$ entre Chimbote y Talara, asimismo, se resaltó el incremento rápido de hasta $+2^{\circ}\text{C}$ en las costa de Lambayeque y La Libertad durante los últimos días del mes, debido a la proyección de aguas cálidas a la costa. Cabe mencionar que en la tercera semana del mes, a excepción de la estación Ilo

(con $+0.9^{\circ}\text{C}$), frente a la costa central y sur los valores de ATSM disminuyeron ($+3^{\circ}\text{C}$ en Callao) y se mantuvieron negativos (-2°C en San Juan y Mollendo), respectivamente.

El calentamiento de las aguas oceánicas frente al litoral norte y centro peruano alcanzaron valores diarios altos durante marzo, cuando las ATSM alcanzaron hasta $+10^{\circ}\text{C}$ entre las estaciones Chicama y Salaverry, hacia mediados del mes (**Figuras 5 y 6**). Seguidamente, entre Talara y Lambayeque, las ATSM fluctuaron entre $+4^{\circ}\text{C}$ y $+6^{\circ}\text{C}$. Y, frente a la región central las ATSM fluctuaron alrededor de $+3^{\circ}\text{C}$; las anomalías diarias de NMM exhibieron un nuevo incremento a fines de mes (**Figuras 7**). Durante abril, en el litoral norte y centro, la TSM continuó disminuyendo, llegando a alcanzar ATSM alrededor de $+1^{\circ}\text{C}$.

Cabe señalar que durante la primer quincena y frente al litoral norte (entre Tumbes y San Juan), el promedio varió entre $+1^{\circ}\text{C}$ y $+3^{\circ}\text{C}$, resaltando valores absolutos de la TSM mayores a 28°C frente a las costas de Tumbes en los últimos días, lo cual moduló las lluvias aisladas de moderada intensidad en esta región particular. Por otro lado, a lo largo de la costa peruana las anomalías positivas del nivel medio del mar (NMM) continuaron disminuyendo con respecto a la primera quincena de abril hasta presentar valores normales a finales del mes.

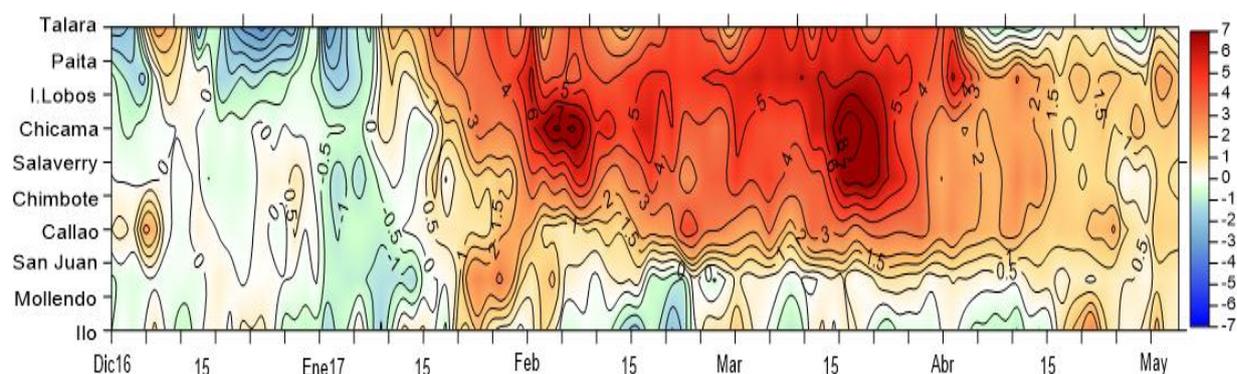


Figura N° 05. Distribución temporal de las anomalías de la temperatura superficial en el litoral peruano, del 01 diciembre de 2016 al 30 de abril 2017. Climatología 1981- 2010. Fuente: estaciones costeras de DHN y estación costera Chicama de IMARPE.

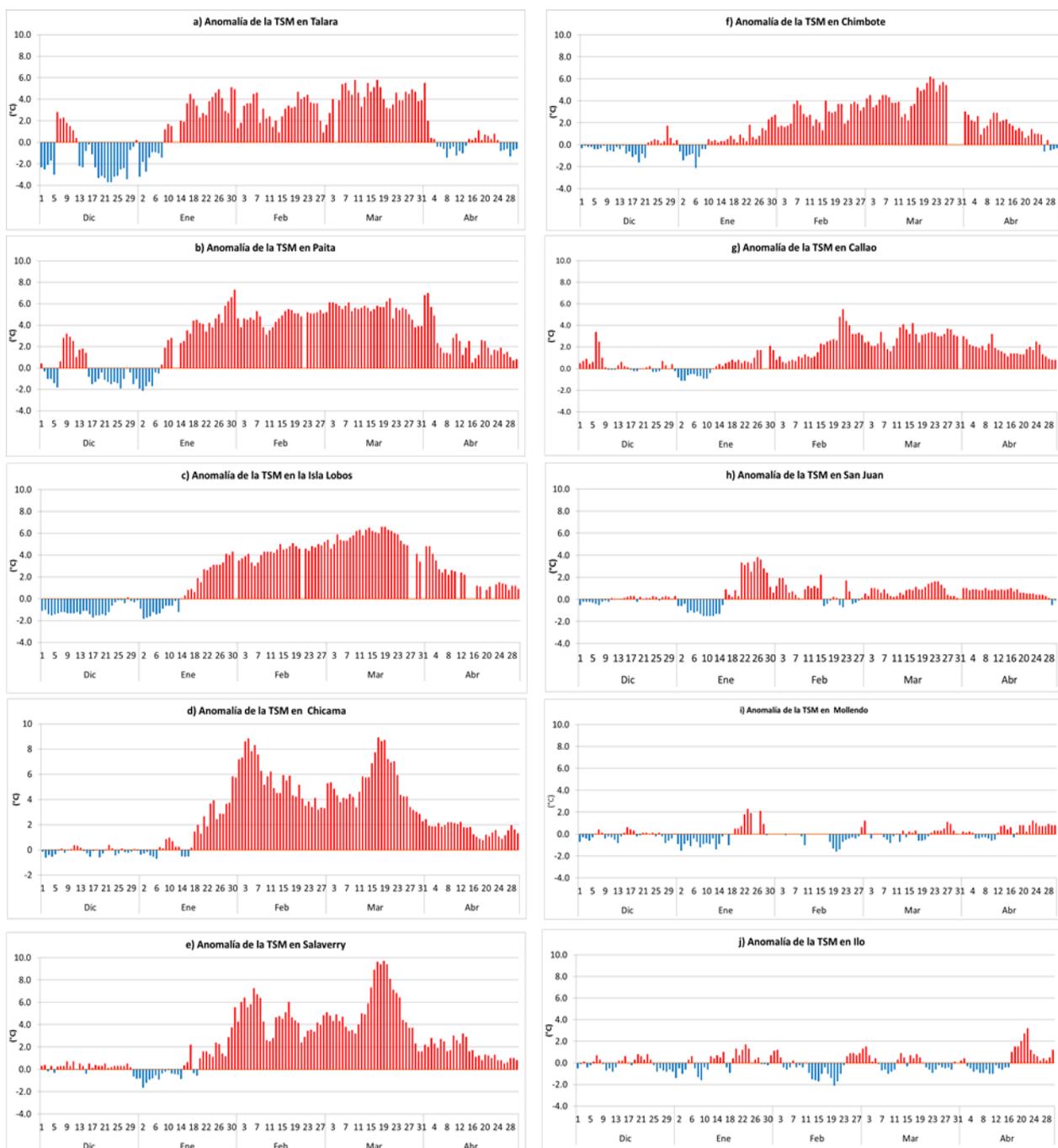


Figura N° 06a. Anomalías de TSM en el litoral peruano, del 01diciembre 2016 al 30 de abril de 2017 de estaciones costeras de DHN y estación costera Chicama de IMARPE. Climatología 1981- 2010.

Cabe indicar que la progresión de la TSM diaria en el litoral de Chicama muestran que la intensidad del calentamiento siguió un patrón similar al de El Niño Costero de 1925 (Takahashi & Martínez, 2017), superando entre febrero y marzo los valores máximos registrados en 1983, aunque por debajo de los registrados en 1998 (Figura 6b).

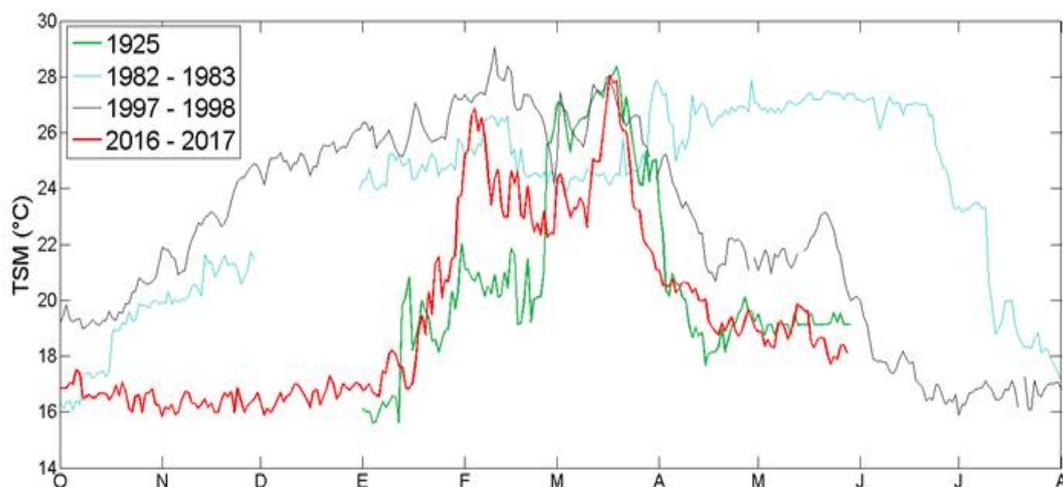


Figura N° 06b. Temperatura superficial mar diaria de Chicama y su anomalía durante los eventos 1925, 1982-83, 1997-98 y 2017. Fuente: Murphy, 1926; IMARPE.

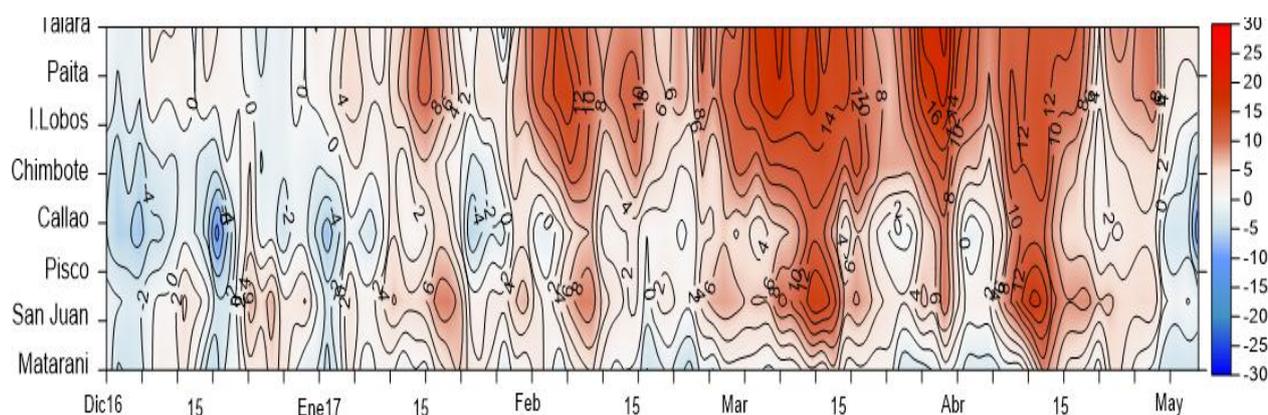


Figura N° 07. Distribución temporal de las anomalías del nivel medio del mar en el litoral peruano, del 01 diciembre de 2016 al 30 de abril 2017. Fuente: estaciones mareográficas de DHN.

1.5 Condiciones físicas en la columna de agua

Las condiciones oceanográficas sub-superficiales evidenciaron el alcance del evento en la columna de agua. Para ello se muestran series de tiempo de puntos fijos costeros (Figura 8) y secciones oceanográficas frente a Paita y a Chicama (0-500 m hasta 100 millas de la costa) desde diciembre 2016 hasta mayo 2017 (Figura 10 a y b). En diciembre se registraron anomalías negativas de temperatura de -2°C sobre los 50 metros en ambas secciones y anomalías positivas de salinidad fuera de la costa frente a Paita, asociadas a una mayor aproximación de las aguas subtropicales superficiales (ASS), de alta salinidad, en esta zona. En cambio, en la tercera semana de enero, ambas secciones registraron anomalías térmicas positivas sobre los 30 m superficiales, alcanzando $+4^{\circ}\text{C}$, acompañadas por anomalías negativas de salinidad en la misma capa frente a Paita, señal de la incursión de las AES desde el norte; a mayor profundidad las condiciones físicas se presentaron en el rango normal.

En febrero, la capa con anomalías térmicas superiores a $+1^{\circ}\text{C}$ se presentó hasta 50 m en Paita y hasta los 30 m en Chicama, mientras que las anomalías de temperatura alcanzaron $+6^{\circ}\text{C}$ y $+7^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A mayor profundidad, anomalías positivas $<+1^{\circ}\text{C}$ fueron detectadas en la mayor parte de ambas secciones. Frente a Paita, la capa con anomalías negativas de salinidad aumentó en espesor (hasta los 80 m) e intensidad ($<-1,2$ ups), mientras que frente a Chicama, se presentó en los primeros 30 m. Ello indicó la incursión de aguas tropicales superficiales (ATS) frente a Paita y la proyección de las AES hasta Chicama. Cabe indicar que en este mes otras observaciones indicaron la proyección de estas últimas hasta Chimbote, así como la aproximación de ASS hacia la costa y anomalías de temperatura de hasta $+2^{\circ}\text{C}$ en los 20 metros superficiales frente a Callao. Hacia finales de marzo, el espesor de la capa de anomalías térmicas $>+1^{\circ}\text{C}$ alcanzó los 180 m y los 150 m en las zonas costeras frente a Paita y a Chicama, respectivamente, evidenciando el impacto de la onda Kelvin cálida mencionada anteriormente, mientras que las anomalías térmicas alcanzaron $+7^{\circ}\text{C}$ en la capa superficial de ambas secciones. Asimismo, continuó observándose la incursión de ATS en la zona costera de Paita y de AES en el resto de la sección. Frente a Chicama, persistieron las AES sobre los 20 m de profundidad, así como la aproximación de ASS entre los 40 y 100 m fuera de la costa.

Durante abril, frente a Paita las anomalías térmicas disminuyeron significativamente en la zona costera, alcanzándose condiciones neutras sobre los 40 m; no obstante persistieron anomalías cálidas en los primeros 50 m fuera de las 60 millas, hasta valores de $+4^{\circ}\text{C}$. En Chicama persistieron anomalías positivas $>+1^{\circ}\text{C}$ en una capa que alcanzó los 70 m fuera de la costa y sobre la plataforma. Las anomalías de salinidad se redujeron en intensidad y espesor en ambas secciones, asociadas a la presencia residual de AES. Finalmente, en mayo, en Paita las máximas anomalías térmicas alcanzaron $+2^{\circ}\text{C}$, mientras que en Chicama se presentaron fuera de las 80 mn ($+4^{\circ}\text{C}$); en ambos casos sobre los 30 m. Si bien aún se registraron ligeras anomalías cálidas a mayor profundidad, especialmente en la zona costera de Chicama, las condiciones de salinidad tendieron a la normalidad frente a ambas localidades

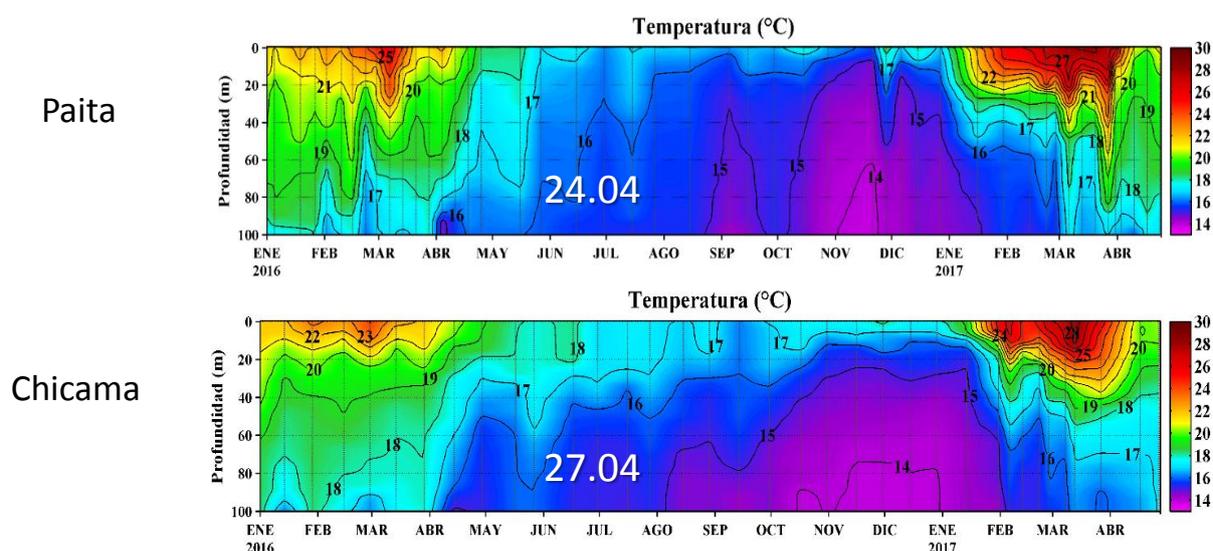


Figura N° 08. Temperatura de las estaciones fijas costeras del IMARPE desde enero 2016 hasta abril 2017. Las fechas indican el último registro.

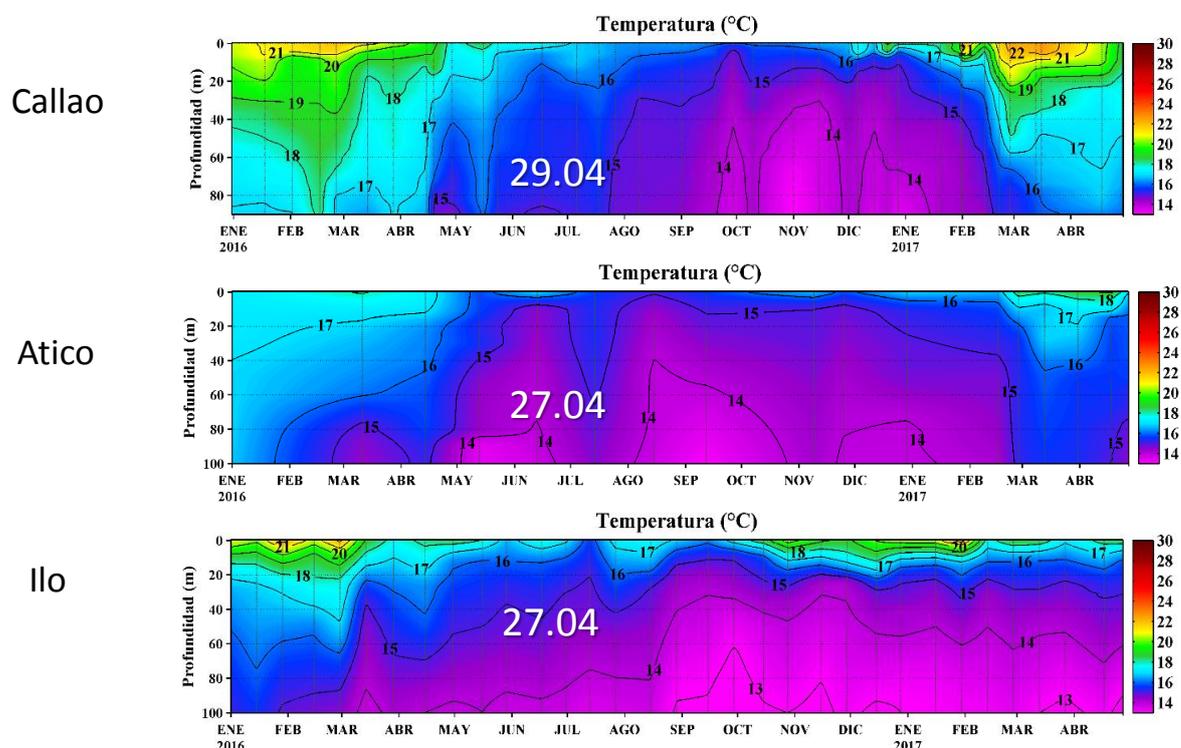


Figura N° 08. Continúa....

En adición a lo anterior, del análisis de la boya Argo (Figura 09, a y b), en diciembre de 2016, se evidenció el paso de una onda Kelvin cálida en el Pacífico central propagándose hacia el Este (Comunicado Oficial N°01-2017 ENFEN), mientras que cerca de las 90 millas de la costa de Paita se presentaba un perfil de temperatura con una termoclina casi paralela a la superficie, delimitada por las isoterms de 21 °C y 16 °C, y profundizada hasta los 40 m aproximadamente. Este perfil estuvo asociado a un perfil de salinidad casi estable, con concentraciones cercanas a 35.0 UPS.

En la segunda semana de enero de 2017 en el Pacífico Oriental e incluyendo el mar peruano la temperatura aumentó rápidamente dentro de los primeros metros de la capa superficial. Frente a Paita (90 mn) este aumento se manifestó dentro de la capa superior de la termoclina (40 m), a través del ingreso aguas más cálidas con temperaturas de 22 °C a 24 °C y menos halinas con salinidades de 34.7 UPS a 34.9 UPS, generándose una termoclina con mayor gradiente térmico asociado a un fuerte gradiente halino, y profundizada por debajo de los 40 m.

El calentamiento de la capa superficial aumentó gradualmente hasta la tercera semana de marzo, alcanzando temperaturas cercanas a 30 °C y salinidades de 34.6 UPS a 34.7 UPS a nivel superficial. La termoclina limitada por la isoterma de 16 °C se profundizó gradualmente hasta cerca de los 90 m, manteniéndose a este nivel desde fines de febrero y todo el mes de marzo. Desde la última semana de marzo se evidenció la disminución gradual de la temperatura dentro de los primeros 30 m de profundidad, formándose una capa de mezcla entre las isoterms de 21 °C y 22 °C; por debajo

de esta capa la temperatura se mantuvo estable, formándose así una termoclina de menor gradiente térmico y profundizado hasta los 100 m.

Entre otros, este calentamiento estuvo asociado a la presencia de Aguas Ecuatoriales Superficial (AES) con temperaturas mayores de 22 °C y salinidades de 34.6 UPS a 34.8 UPS, desde la segunda semana de enero hasta la segunda semana de abril.

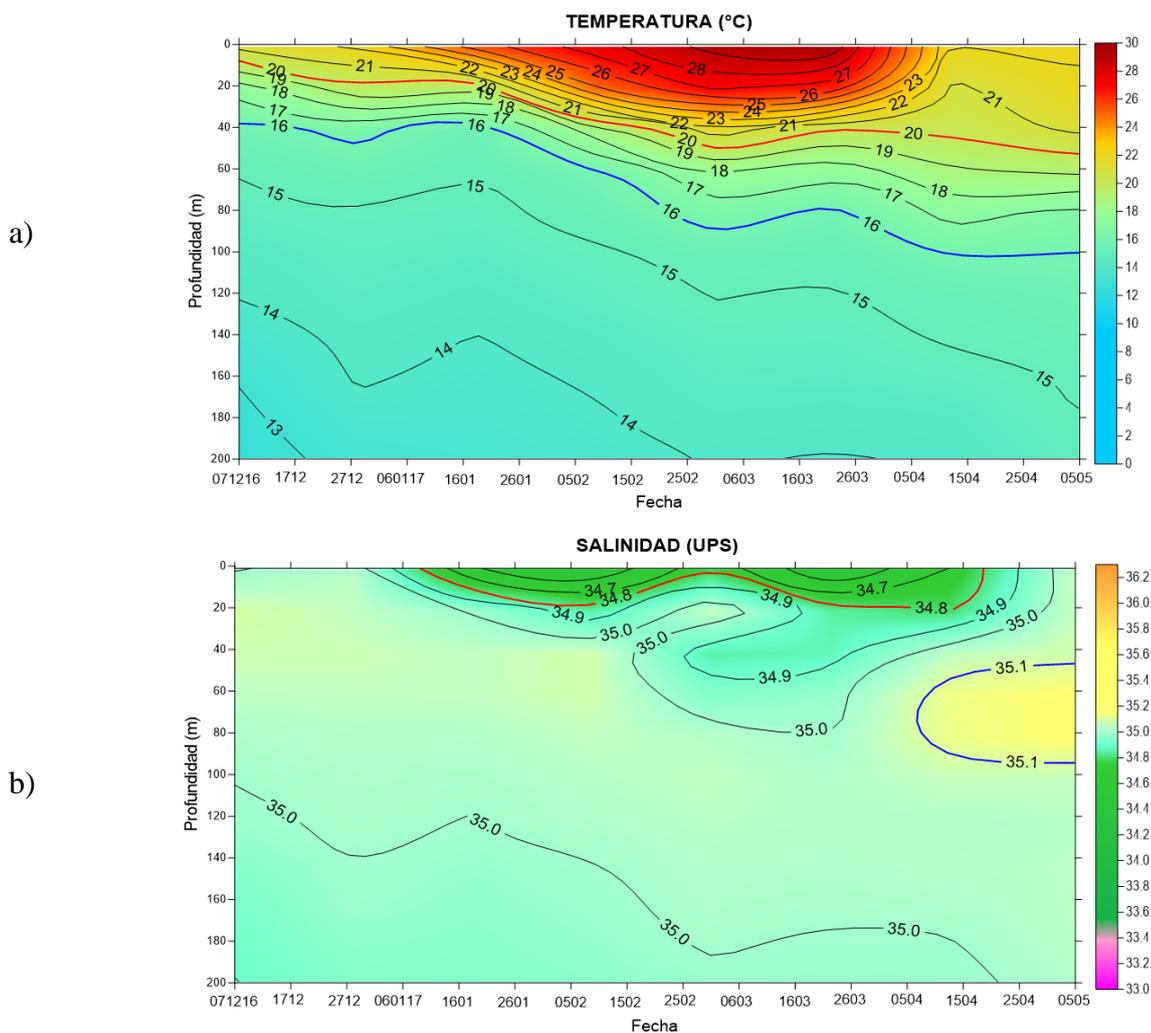


Figura N° 09. a) Temperatura sub superficial a 90 mn frente a Paita, del 05 diciembre de 2016 al 05 mayo de 2017, b) Salinidad sub superficial a 90 mn frente a Paita, del 05 diciembre de 2016 al 05 mayo de 2017.
Fuente: Boya Argo, gráfico de DHN.

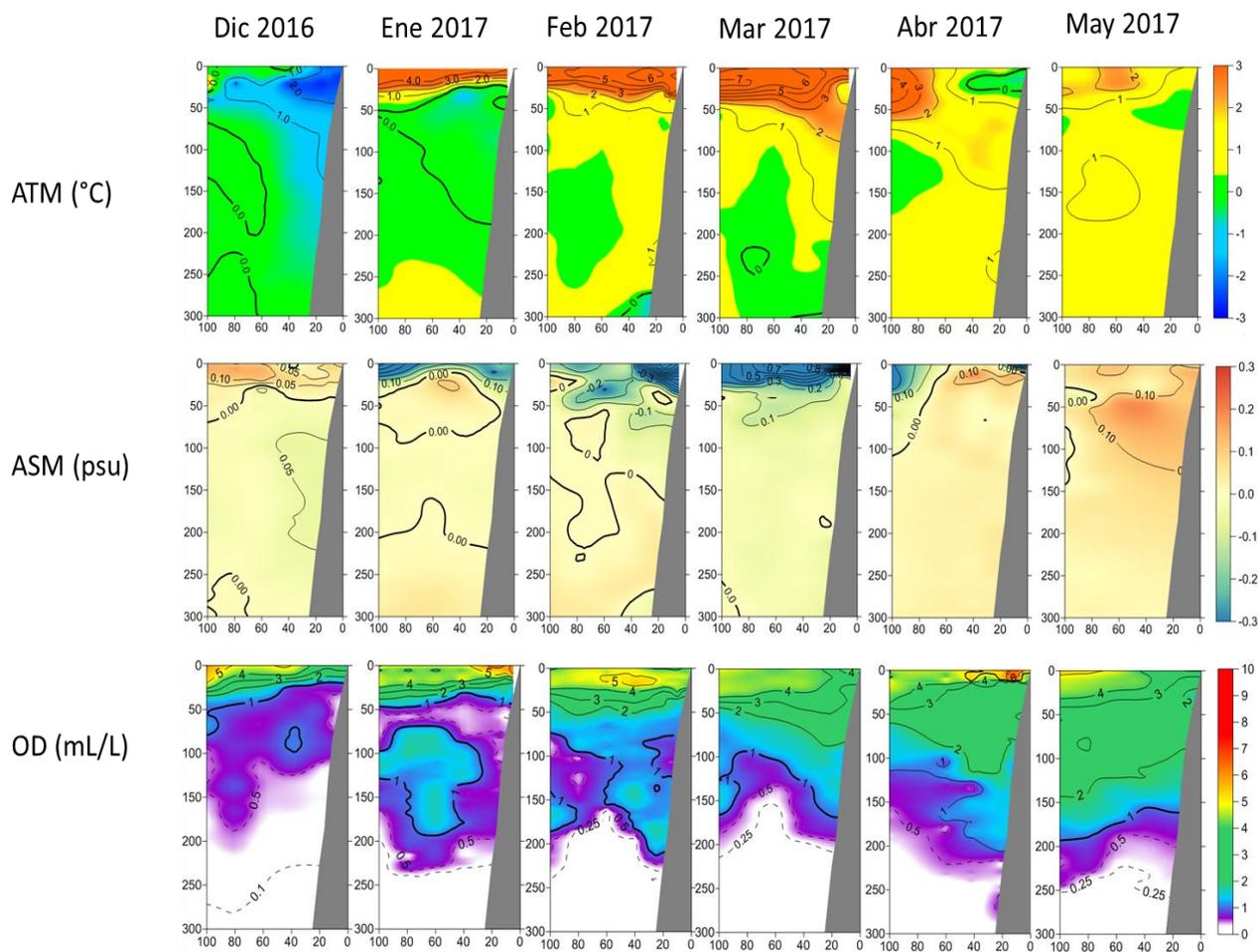


Figura N° 10a. Distribución vertical de anomalía de Temperatura del Mar (ATM), anomalía de Salinidad del Mar (ASM) y concentración de oxígeno disuelto (OD) en la sección oceanográfica de Paita (0 – 100 millas), los días 19/12/2016, 27-28/01/2017, 21-22/02/2017, 30-31/03/2017, 10/04/2017 y 19-20/05/2017.

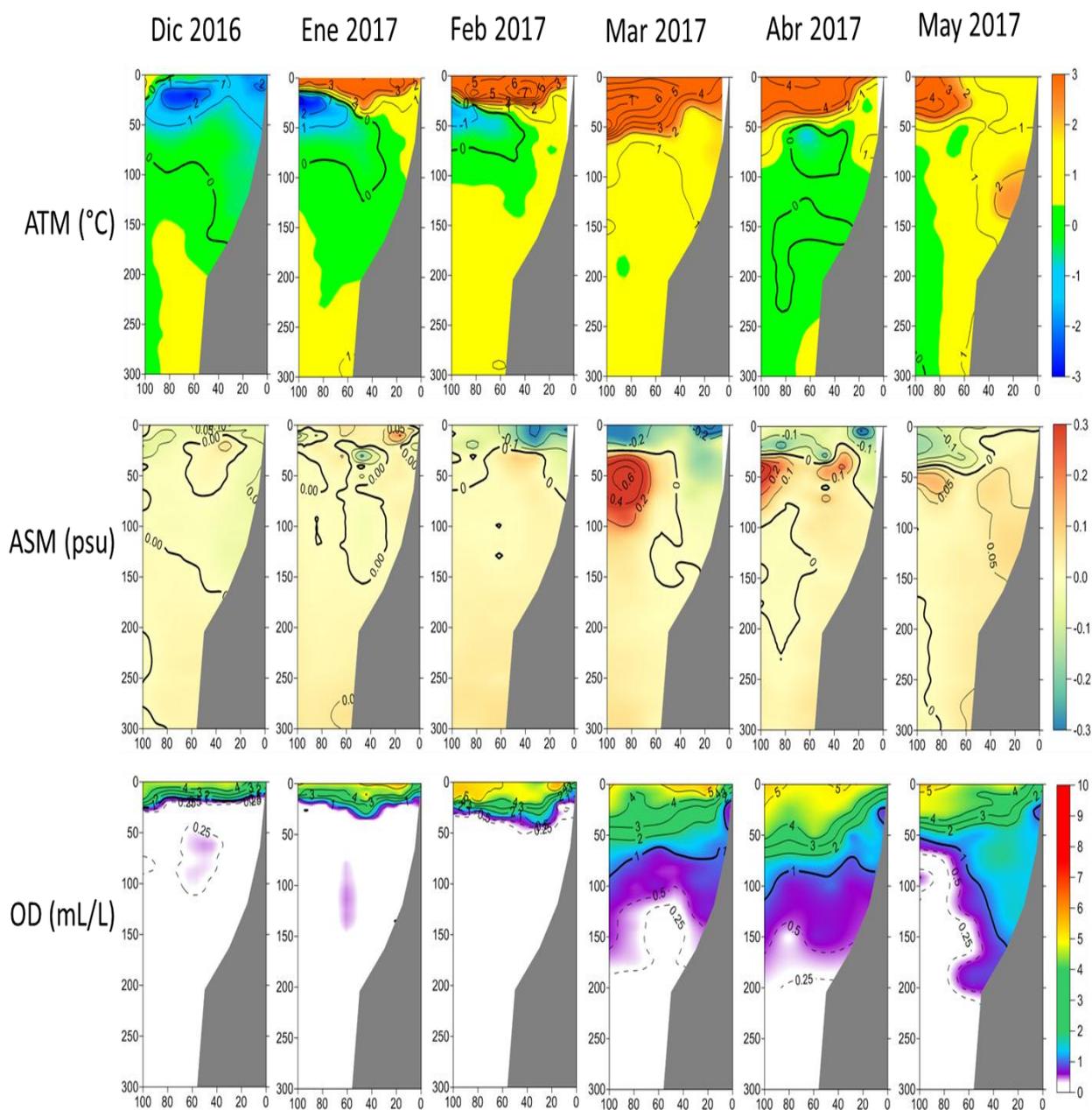


Figura N° 10b. Distribución vertical de anomalía de Temperatura del Mar (ATM), anomalía de Salinidad del Mar (ASM) y concentración de oxígeno disuelto (OD) en la sección oceanográfica de Chicama (0 – 100 millas), los días 16-17/12/2016, 25-26/01/2017, 18-19/02/2017, 27-28/03/2017, 11/04/2017 y 17-18/05/2017.

2.2 Lluvias intensas

En el contexto de El Niño Costero 2017 se registraron lluvias frecuentes e intensas en la vertiente occidental de los Andes, principalmente en el sector norte y central, y concentradas principalmente entre febrero y marzo. Ciudades como Piura, Chiclayo, Trujillo y Huarney soportaron lluvias intensas que superaron records históricos observados solamente en eventos El Niño extraordinarios. Durante el periodo crítico de lluvias intensas, se presentaron lluvias entre “fuerte²” a “extremadamente fuertes” (SENAMHI, 2015), principalmente en las zonas bajas y medias de Tumbes, Piura y Lambayeque por efecto de las altas temperaturas del mar y condiciones atmosféricas favorables. Durante la primera decadiaria de febrero, la banda secundaria de la ZCIT se presentó bien desarrollada frente a la costa norte, condición que persistió durante el mes llegando a registrarse en la estación meteorológica Morropón (Piura) para el día 22 de febrero la precipitación más alta del registro histórico de febrero (150 mm/24hrs). El acoplamiento océano – atmósfera evidenciada por las altas temperaturas del mar y condiciones atmosféricas favorables, se fortaleció durante el mes de marzo con la sucesión de lluvias “extremadamente fuertes” en las zonas bajas y medias de Piura y Lambayeque, así como lluvias “muy fuertes” en las mismas cotas de Tumbes, La libertad y Ancash. Durante la primera quincena, sobresalen algunos récords de precipitaciones extremas encontrados el día 03 en la estación Partidor (Tambo Grande, Piura) con 258,5 mm/24hrs y el día 04 en la estación Jayanca (Lambayeque) reportó el segundo valor más alto de toda su serie histórica con 113 mm/24hrs. No obstante la intensidad de las lluvias, la precipitación acumulada entre enero y marzo en las zonas bajas de Piura y Lambayeque fueron menores a lo observado en el mismo periodo durante El Niño 1997/1998, similar a lo acumulado durante El Niño 1982/1983 al mes de marzo y posiblemente superior a lo estimado para El Niño de 1925 (Takahashi y Martínez, 2017). Finalmente, en el contexto de la declinación progresiva de El Niño Costero durante el mes de abril (disminución de las anomalías positivas de la TSM frente a las costas norte y el debilitamiento de la banda secundaria de la ZCIT), se presentaron algunas lluvias de moderada intensidad en las regiones medias y altas de Tumbes principalmente. **Figura 12.**

² “Lluvias muy fuertes” se definen como el percentil 95% de la precipitación diaria; “lluvias fuertes” se definen como el percentil 90% de la precipitación diaria y “lluvias extremadamente fuertes” se definen como el percentil 99% de la precipitación diaria.

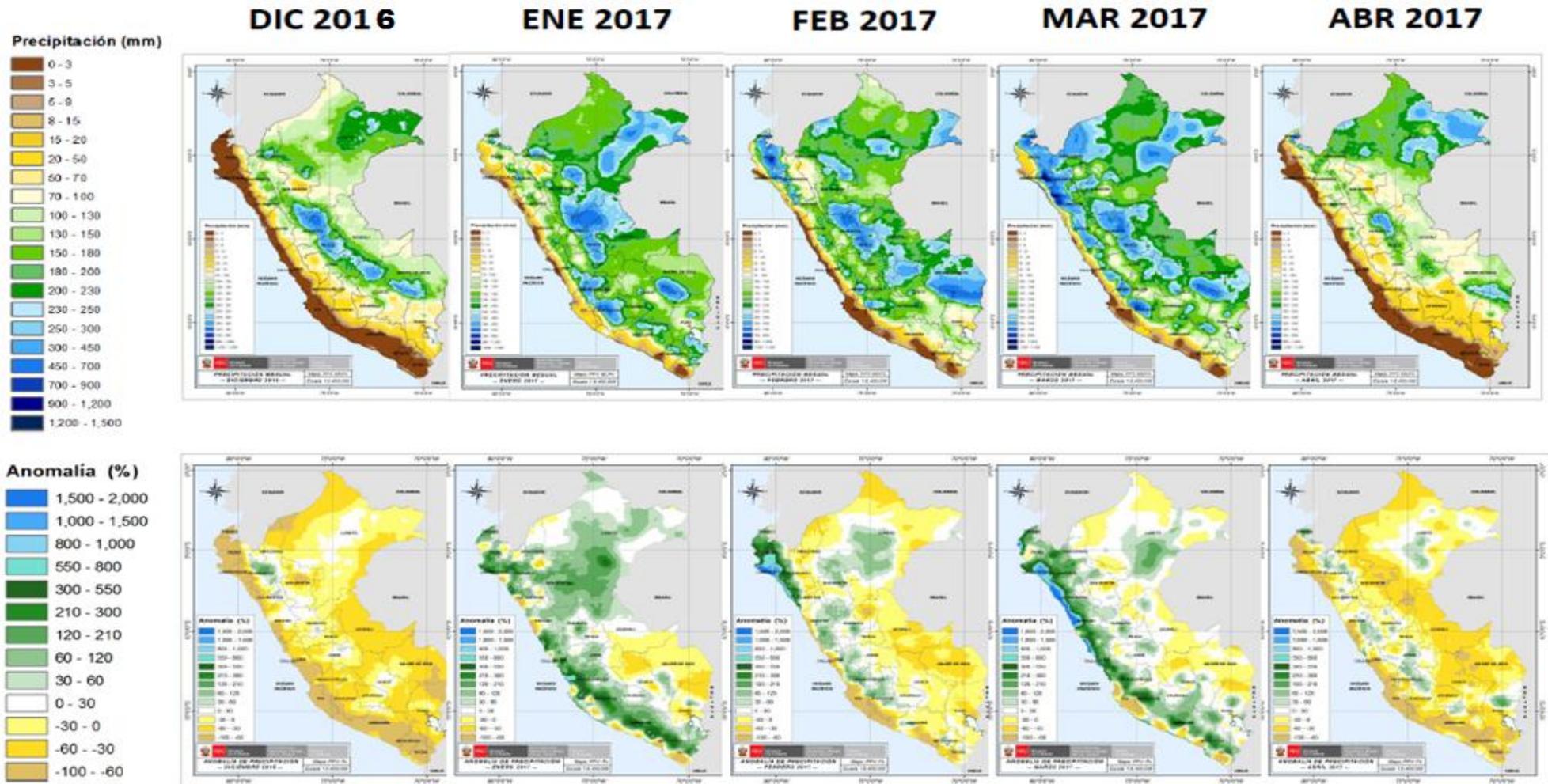


Figura N° 12. Mapas de precipitación observada en (mm) y anomalías en (%) desde diciembre 2016 – abril 2017.

2.3 Caudales

En noviembre 2016, los caudales de los principales ríos de la vertiente occidental se presentaron debajo de su promedio histórico. Los reservorios de las regiones norte y sur se mantuvieron operando con un porcentaje menor al 35% de su capacidad hidráulica, lo que significó una disponibilidad hídrica limitada. En diciembre, los caudales de los ríos se incrementaron ligeramente como consecuencia de la recuperación de las lluvias a partir de la segunda semana. En enero 2017, los caudales de los ríos (Tumbes, Chira, Rímac y Pisco) de la región centro-occidental alcanzaron valores muy por encima de sus promedios históricos como consecuencia del incremento de las lluvias, mientras que en las regiones sur y norte, estos valores variaron entre normal y ligeramente sobre su media. En la primera quincena de febrero, los valores de caudales superaron los promedios históricos generándose condiciones de alerta para los ríos Santa, Chancay – Huaral y Chillón. Hacia la segunda quincena del mes, los ríos de la vertiente occidental del Perú continuaron mostrando, en su mayoría, hidrogramas de tipo ascendente con caudales diarios por encima de sus promedios, siendo el río Piura el más importante, el cual superó su nivel de emergencia (1,000 m³/s). Durante marzo, tras las intensas lluvias, la mayoría los ríos de la costa norte y central superaron niveles de emergencia, presentándose activaciones de quebradas secas con arrastre de sólidos en las cuencas medias y bajas, resaltando caudales históricos en el río Piura, ya por encima de los 3,000 m³/s. Las reservas hídricas continuaron mostrando una tendencia positiva en la costa norte y sur, con un 87% y 79% respecto a la capacidad hidráulica útil. Durante el mes de abril, los caudales de los ríos empezaron a disminuir progresivamente debido a la normalización de las lluvias tanto en la costa norte y centro; no obstante, se mantuvieron valores superiores a sus promedios históricos. La mayoría de los reservorios de la vertiente occidental se encontraron por encima del 50% de su capacidad hidráulica promedio, en particular la costa norte y sur con 95% y 83% respectivamente.

Los hidrogramas de los ríos Tumbes, Chira, Piura, Chancay-Lambayeque, Santa, Rímac, Pisco y Majes se muestran en la **Figura 13a**. Asimismo se presenta en la Tabla 02 los máximos caudales diarios presentados en los ríos mencionados. Además de estos, se activaron quebradas en zonas medias de las cuencas que causaron estragos en ciudades en las partes medias y bajas de las cuencas del Pacífico (ejemplos: Trujillo, Casma, Huarmey, Paramonga, Mala, etc.).

El caudal del río Piura durante El Niño 2017 fue en promedio mayor que el estimado para El Niño de 1925 (Takahashi y Martínez, 2017), pero sustancialmente menor que el de los eventos de 1982-1983 y 1997-1998. En la **Figura 13b** se presenta un comparativo de los caudales de los ríos Tumbes y Piura durante otros eventos El Niño.

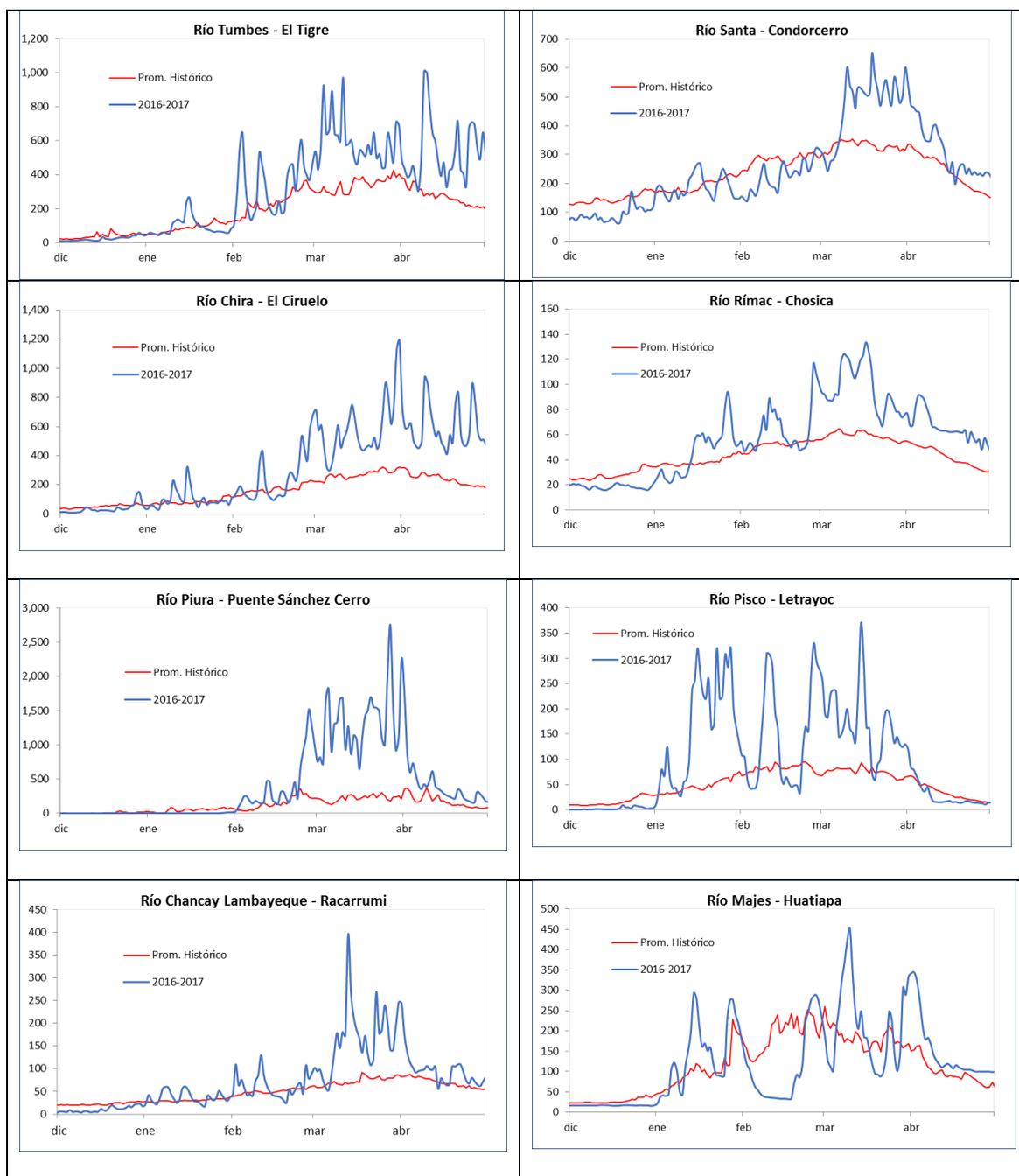


Figura N° 13a. Caudales y Promedios Históricos en los principales ríos de la costa del Perú durante El Niño costero 2017. Periodo diciembre 2016 a abril 2017. Fuente: ANA (datos: SENAMHI)

Tabla 2. Caudales máximos diarios – Período Diciembre 2016 – Abril 2017.

Río	Estación	Q max 2017	Fecha
Tumbes	El Tigre	1000.9	10/04/2017
Chira	El Ciruelo	1187.2	31/03/2017
Piura	Pte Sanchez Cerro	2754.5	27/03/2017
Chancay Lambayeque	Racarumi	395.1	13/03/2017
Santa	Condorderro	649.5	19/03/2017
Rímac	Chosica	133.5	17/03/2017
Pisco	Letrayoc	370.0	15/03/2017
Majes	Huatiapa	451.0	10/03/2017

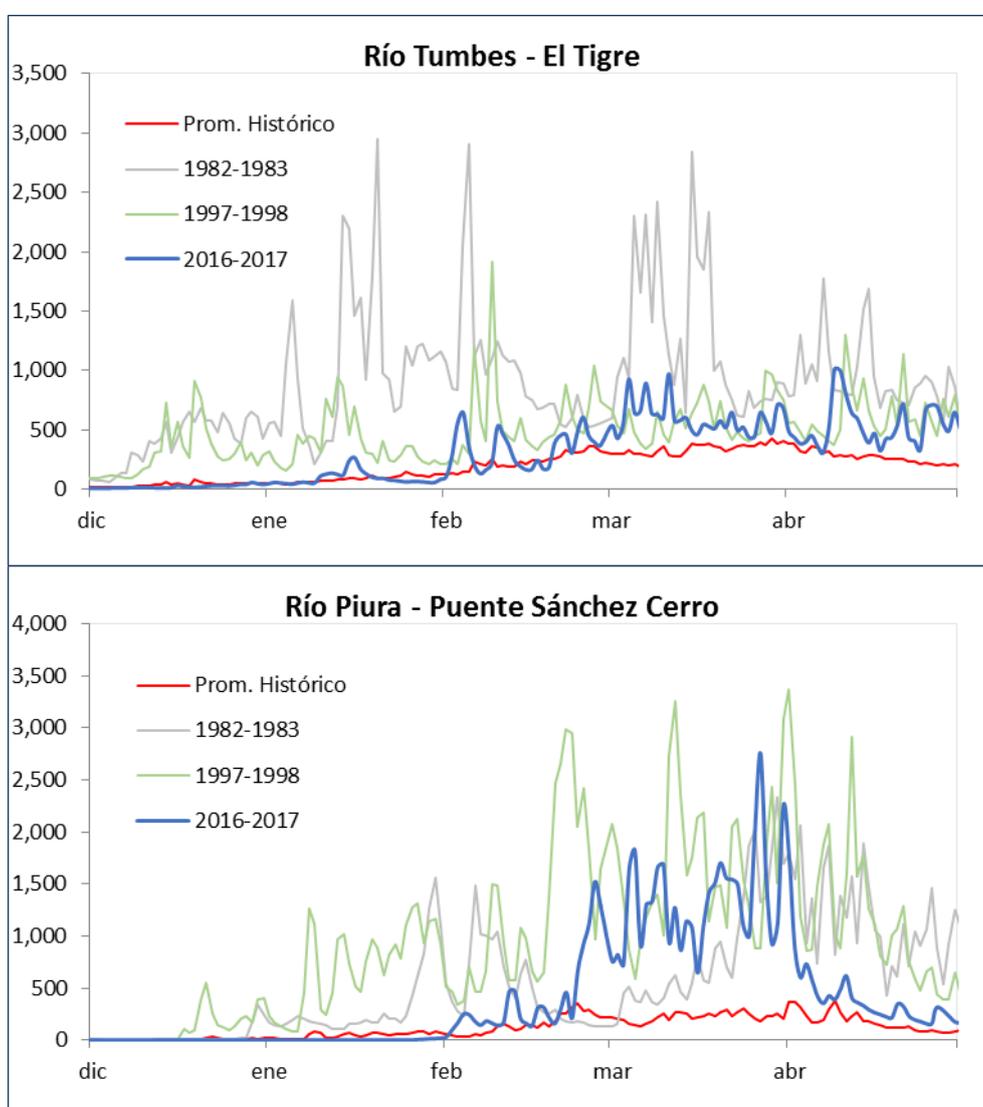


Figura N° 13b. Caudales comparativos durante El Niño costero 2017 con otros eventos El Niño. Arriba: Río Tumbes (estación El Tigre); Abajo: Río Piura (estación Puente Sánchez Cerro). Fuente: ANA (Datos: SENAMHI).

2.5 Impacto en la productividad marina y en los recursos hidrobiológicos

2.5.1 Clorofila-a

El debilitamiento persistente e inclusive colapso del afloramiento costero entre enero y marzo redujo la fertilidad de las aguas costeras superficiales, lo cual ocasionó una reducción significativa de la concentración de clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton, que es base de la cadena alimenticia en el mar. Previamente al evento, en la primavera de 2016 se habían registrado extremas anomalías positivas de clorofila-a frente y a lo largo de todo el litoral, alcanzando valores mensuales de $+10\text{mg m}^{-2}$ frente a Chicama y al norte de Pisco (**Figura 14**). Para enero, se presentaron anomalías negativas en la franja costera entre Talara y Pisco de hasta -5 mg m^{-2} , persistiendo algunos núcleos con anomalías positivas al sur de Pisco y fuera de la plataforma frente a Lambayeque. En febrero, las anomalías negativas se expandieron hacia fuera de la costa al norte de Chimbote, mientras que se consolidaron las anomalías positivas al sur de Pisco ($>+1\text{ mg m}^{-2}$). En el siguiente mes, las anomalías negativas de hasta -5 mg m^{-2} se expandieron hasta la costa central, mientras que de Pisco al sur se presentaron núcleos de mesoescala con anomalías positivas y negativas. La recuperación del afloramiento costero desde fines de marzo ocasionó la recuperación de la productividad en la zona costera, evidenciada en una franja con anomalías positivas ($>+1\text{ mg m}^{-2}$) entre Talara y Callao, aunque aun persistiendo anomalías negativas fuera de la costa entre Islas Lobos y Pisco.

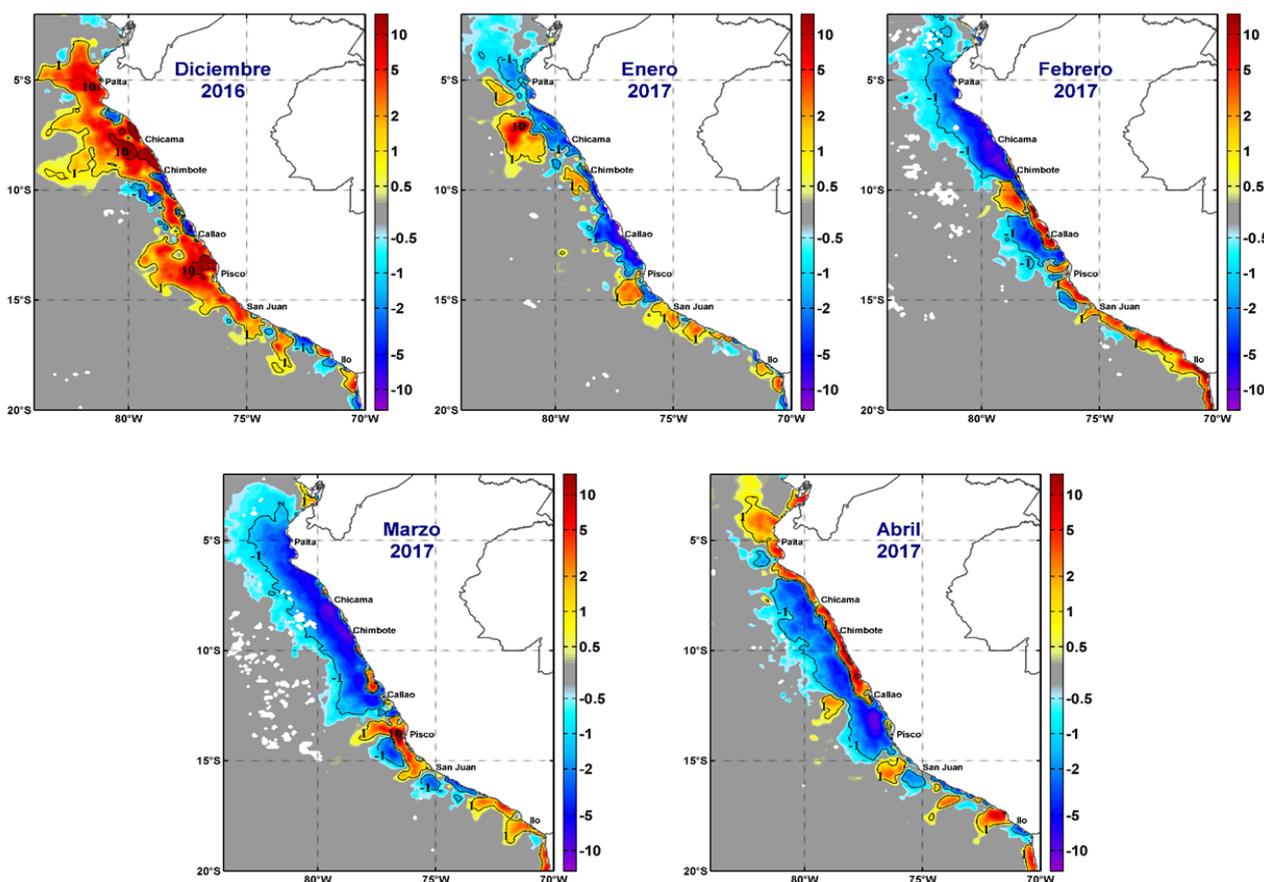


Figura N° 14. Anomalía promedio mensual de clorofila-a satelital (mg m^{-2}) proveniente del satélite MODIS frente a la costa (climatología 2002 – 2014).

2.5.2 Aspectos biológicos pesqueros

En general, la incidencia de eventos anómalos tipo El Niño costero, genera cambios en las condiciones oceanográficas del mar peruano, afectando principalmente a los recursos pelágicos, produciendo alteraciones en sus procesos biológicos, comportamiento y una paulatina disminución de sus niveles poblacionales. El período comprendido entre 2013 y 2017 se caracterizó por presentar altas y frecuentes fluctuaciones en las condiciones oceanográficas en el mar peruano afectando, entre otros, a la distribución y abundancia de la anchoveta (*Engraulis ringens*). En la primavera del 2016, las condiciones frías y la alta productividad del sistema, favorecieron la recuperación del recurso en la zona norte luego de El Niño 2015-16; sin embargo, con el evento El Niño Costero 2017, la anchoveta presentó un desplazamiento hacia la región sur, presentando las mayores concentraciones al sur de Huarmey (10°S) (**Figura 15**).

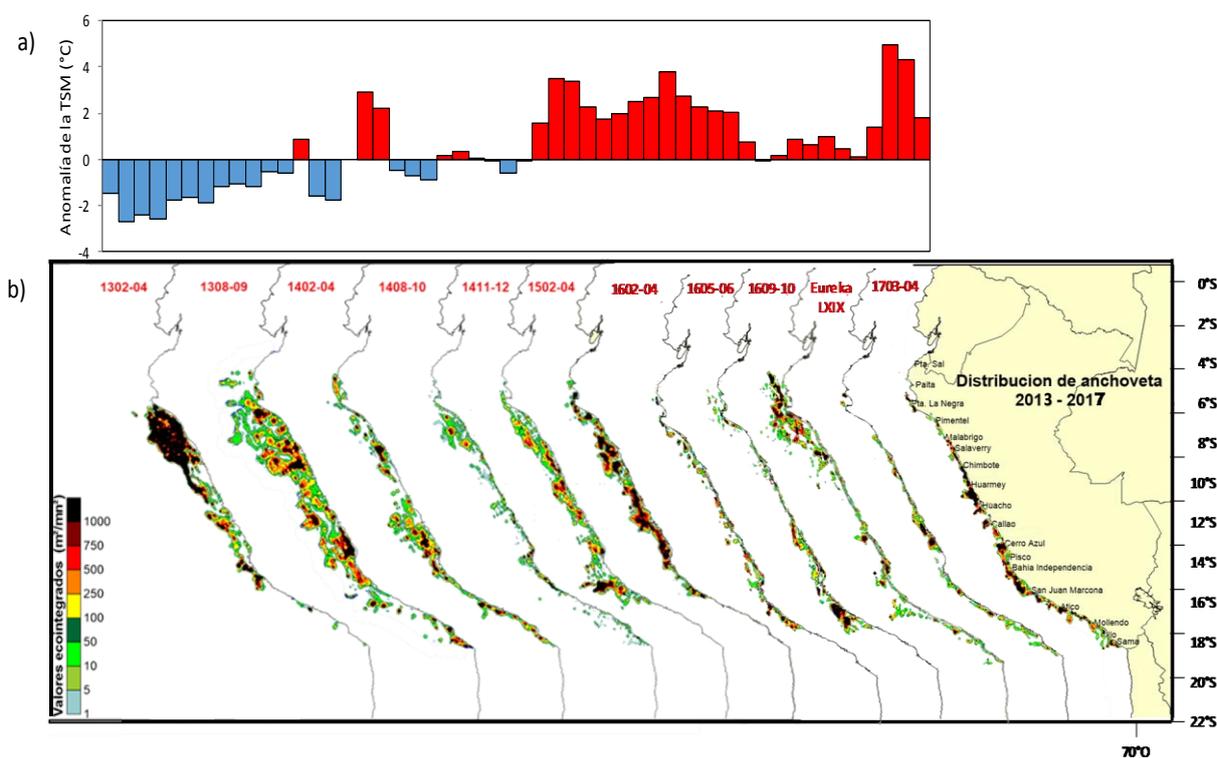


Figura N°15: a) Anomalía de la Temperatura del Mar (ATSM) de la estación Chicama, y b) distribución y biomasa de anchoveta. Período: 2013 - 2017. Fuente: DGIHSA/IMARPE.

Desde diciembre 2016 a abril del 2017, los índices reproductivos de la anchoveta como la fracción desovante (FD) mostraron el impacto en el desove, traducido en la ausencia de la actividad reproductiva. Cabe indicar que el desove principal de invierno se adelantó y se produjo con mayor intensidad en agosto del 2016 ($\text{FD} = 22.7\%$), superior al patrón histórico. Sin embargo, en cuanto al

Contenido Graso (CG), indicador de la condición nutricional y energética del pez, este registró valores por debajo de su patrón histórico desde el invierno, indicando que la anchoveta priorizó el gasto de energía para desplazamientos y/o migraciones hacia zonas favorables de alimentación y/o de refugio. **Figura 16.**

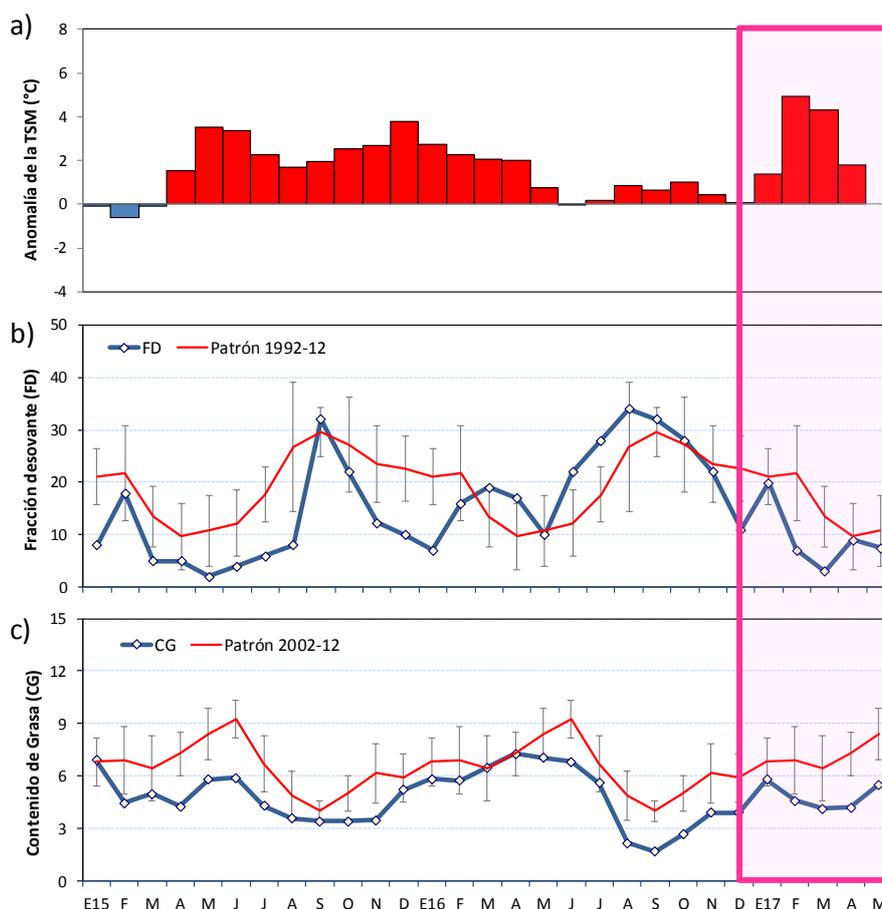


Figura N° 16: Indicadores biológicos de anchoveta en relación a las condiciones oceanográficas. a) Anomalia de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM), b) Fracción Desovante (FD) y c) Contenido Graso (CG). Período: Enero 2015 – Mayo 2017. Fuente: LBR/IMARPE.

Otras especies impactadas por cambios en la dinámica del mar peruano asociados con la intromisión de aguas oceánicas fueron: *Scomber japonicus* “caballa”, *Sarda chiliensis* “bonito”, *Thunnus albacares* “atún aleta amarilla” y *Katsuwonus pelamis* “barrilete” que al registrarse en zonas costeras a lo largo del litoral peruano favorecieron su disponibilidad a la pesquería. Mientras que, se observó un decrecimiento en los desembarques de *Odontesthes regia* “pejerrey”, especie costera indicadora de aguas frías (**Figura 17**).

Por otra parte, durante El Niño costero 2017 se destacó el desplazamiento latitudinal de recursos pesqueros en ambos sentidos. Debido a la proyección de masas de aguas cálidas provenientes de la zona ecuatorial y oceánica hacia la zona norte – centro de la costa peruana se registraron “atún de

aleta amarilla” y *Xiphias gladius* “pez espada” sobre todo entre Tumbes y Lima. Por otro lado, especies relacionadas a las aguas costeras de afloramiento (frías) como pejerrey, *Cilus gilberti* “corvina” y *Pleurocondes monodon* “munida”, también presentaron un incremento en sus desembarques a lo largo de la franja costera sur y centro de Perú (**Figura 18**).

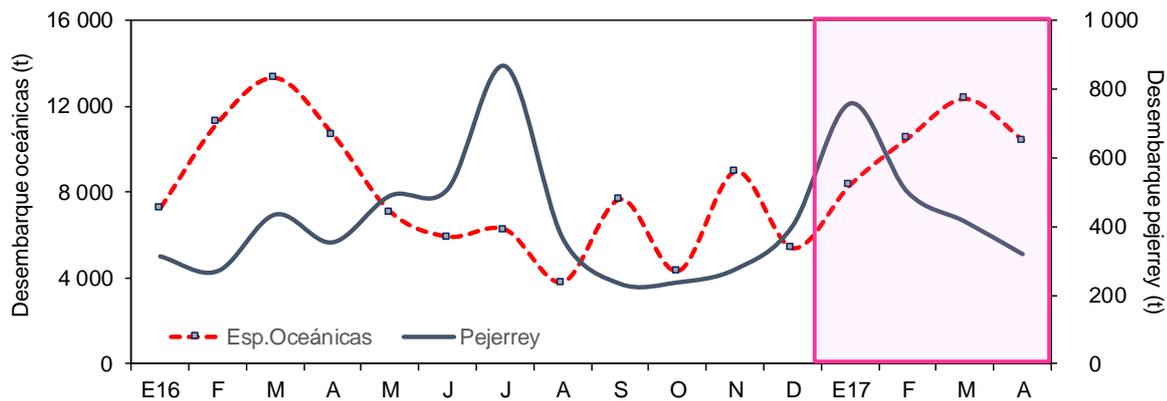


Figura N°17: Variabilidad temporal en el desembarque de recursos pesqueros indicadores de masas de agua. Periodo: Enero 2016 – Mayo 2017. Fuente: PRODUCE/IMARPE.

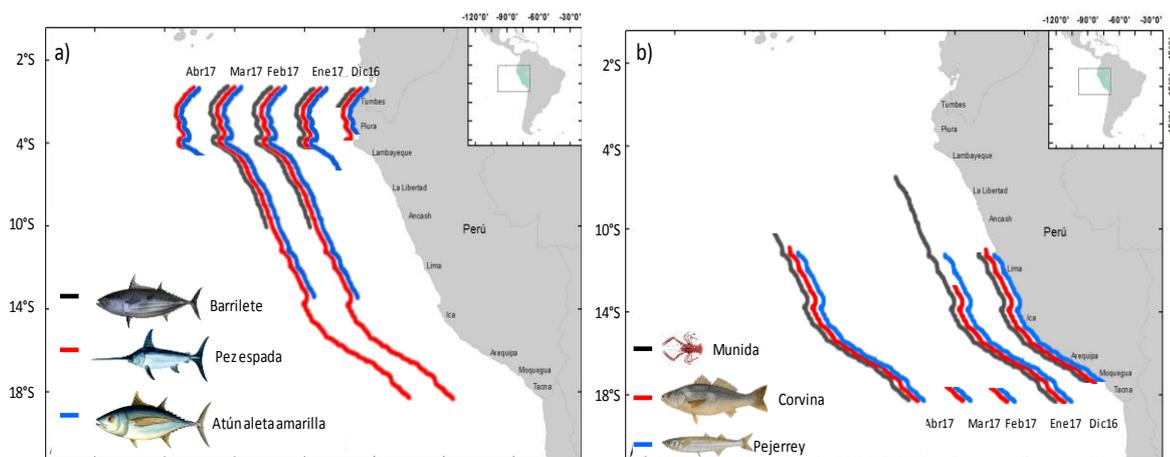


Figura N°18: Distribución latitudinal mensual de especies asociados a a) aguas cálidas y b) aguas frías. Periodo: Enero 2016 – Abril 2017. Fuente: MARPE.

Además, las condiciones anómalas en la zona norte del Perú, produjeron el acarreo agua de ríos por los huaicos ocasionados debido a las intensas precipitaciones, registrándose en la primera quincena de marzo, varazón de especies costeras como el pez *Scartichthys gigas* “borracho”, y los invertebrados *Octopus mimus* “pulpo”, *Platyxanthus orbigny* “cangrejo violaceo” y *Tetrapigus niger* “erizo negro” entre otros, al sur de Pimentel (6°S) y al Sur de Chicama (7°S). Por último, se

observó mortandad de aves guaneras como guanay, pelícano y piquero posiblemente ocasionado por la falta de alimento en la zona (**Figura 19**).

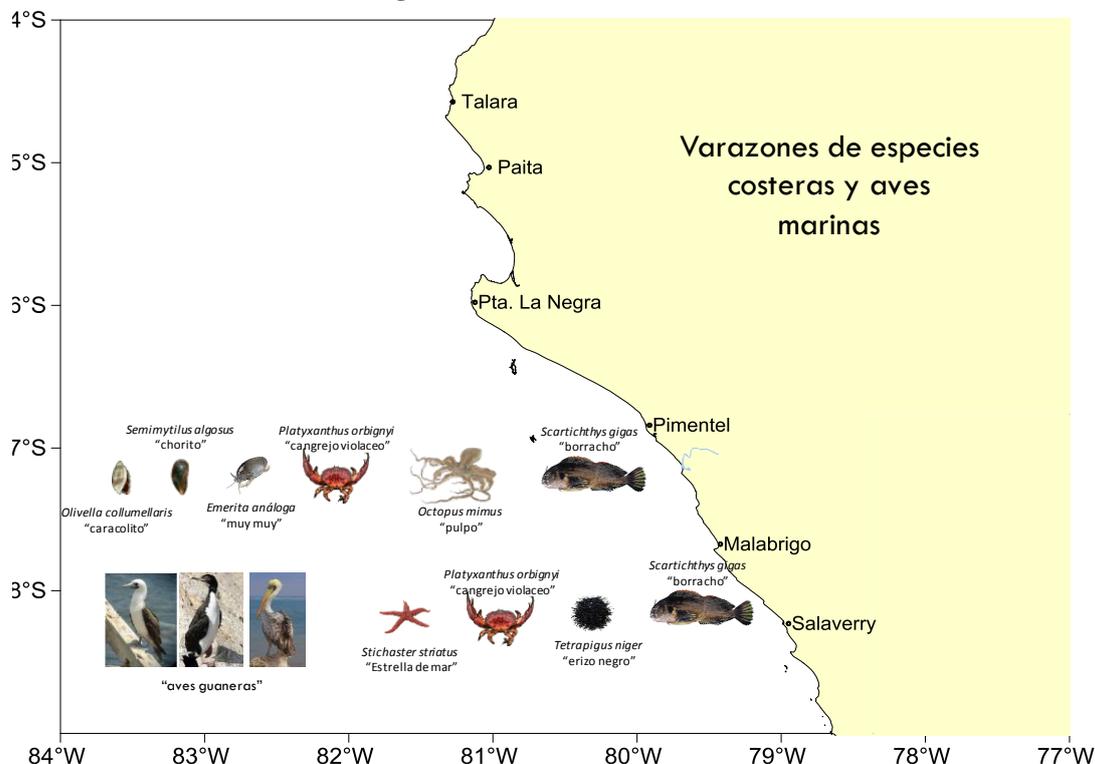


Figura N°19: Varazón de especies costeras y mortandad de aves marinas. Periodo: Marzo 2017. Fuente: MARPE.

3. Conclusiones

- El evento de El Niño costero se desarrolló en el contexto de anomalías regionales de la circulación atmosférica en el Pacífico Tropical y Suroriental asociadas al debilitamiento de los vientos alisios y del campo de presiones, en el contexto de un patrón anómalamente cálido de la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2, mientras que en el Océano Pacífico central se presentaban condiciones térmicas normales.
- El evento alcanzó una intensidad moderada de acuerdo a las anomalías térmicas en la región Niño 1+2 (ICEN) durante el verano y duró oficialmente entre diciembre 2016 y mayo 2017. Sin embargo, por sus impactos, asociados a las lluvias e inundaciones, este evento climático extremo se puede considerar como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú.
- El calentamiento costero se habría iniciado principalmente por el debilitamiento de los vientos alisios del sureste en enero de 2017, mientras que la aparición temprana e

intensificación de la segunda banda de la ZCIT al sur de Ecuador, activó un mecanismo de retroalimentación positivo que mantuvo los alisios débiles en la banda tropical y las temperaturas del mar elevadas frente a la costa norte y central hasta el mes de abril. Las ondas Kelvin no jugaron un rol importante en el desarrollo de El Niño costero 2017.

- Las principales manifestaciones de El Niño costero 2017 fueron el incremento sustancial de las lluvias y por ende los caudales de los ríos en las regiones históricamente afectadas por el fenómeno El Niño extraordinarios: Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, así como Ancash, Lima e Ica.
- La reducción del afloramiento costero ocasionó una disminución significativa de la productividad marina frente a la costa norte y centro del litoral peruano durante el verano 2017. La anchoveta, especie clave del ecosistema marino peruano, mostró un desplazamiento hacia el sur de los 10°S (Huarney) y estuvo replegada hacia la costa, desde Salaverry hasta el extremo sur del litoral peruano; no presentó actividad reproductiva ni desove durante el verano. Además, se detectó el incremento de la disponibilidad de recursos asociados a aguas cálidas, como caballa, bonito y atunes en todo el litoral peruano.

4. Recomendaciones

El Niño costero 2017 ha sido un evento climático extremo, cuyos impactos asociados a las intensas lluvias e inundaciones, lo catalogan como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú. Sus características y mecanismos fueron diferentes a los eventos de 1982-1983 y 1997-1998 siendo más, aparentemente, similar a El Niño de 1925, y si bien en la actualidad se viene documentando cada vez más sobre sus manifestaciones locales, queda aún mucho por conocer y comprender sobre los mecanismos físicos que lo modulan para mejorar su predicción, por lo que se recomienda:

- Incrementar la cobertura temporal y espacial del monitoreo in situ oceanográfico, meteorológico y biológico pesquero frente a la costa, a través de la implementación de un sistema observacional moderno, seguro, accesible e integrado con los sistemas internacionales de observación del océano y la atmósfera.
- Apoyar la operación y mantenimiento del sistema observacional internacional en el Océano Pacífico oriental, particularmente las boyas TAO en 95°W y con el lanzamiento de derivadores Argo, en colaboración con instituciones internacionales. Asimismo, aprovechar las operaciones asociadas para la realización de actividades científicas colaborativas. Este ítem y el anterior están alineados con las recomendaciones del proyecto internacional Tropical Pacific Observing System 2020 (TPOS 2020).

- Promover un mayor presupuesto para el desarrollo de la investigación científica en colaboración con las universidades para apoyar la mejora sistemática de las herramientas utilizadas tanto para el monitoreo como el pronóstico probabilístico de los diversos eventos El Niño y La Niña y sus impactos. Asimismo, brindar facilidades para la capacitación, a través de maestrías y doctorados, de profesionales jóvenes de las diversas especialidades e instituciones, y así contar con investigadores de alto nivel con dedicación a tiempo completo.
- Fortalecer los procesos de la gestión de riesgos asociados a la toma de decisiones en el contexto de pronósticos probabilísticos de El Niño o La Niña considerando las incertidumbres asociadas, en el marco de una cultura de prevención efectiva.

Callo, julio de 2017
Lima - Perú