

**COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO**



INFORME TÉCNICO ENFEN

Año 3 N°03

Marzo de 2017

Programa Presupuestal por Resultados N° 068:

“Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”

Producto: Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño

Autor: Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (Enfen)

Comité Multisectorial Enfen

Presidente:

Vice-Alm. (r) Javier Alfonso Gaviola Tejada
Presidente del Consejo Directivo, Instituto del Mar del Perú (Imarpe)

Vice-Presidente:

Calm. David Portilla Linares
Director de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN)
Dr. Hernando Tavera Huarache
Presidente Ejecutivo, Instituto Geofísico del Perú (IGP)
Ing. Amelia Díaz Pabló
Presidente Ejecutiva, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
Ing. Abelardo de la Torre Villanueva
Jefe, Autoridad Nacional del Agua (ANA)
Vicealmirante Alberto Lozada Frías
Jefe, Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

Comité Técnico Enfen

Coordinador: Dimitri Alexey Gutiérrez Aguilar

IMARPE: Marilú Bouchón, Luis Vásquez, Carlos Quispe, Cecilia Peña, Octavio Morón,
DHN: Gustavo Laos, Rina Gabriel, Roberto Chauca.
SENAMHI: Grinia Avalos, Christian Barreto, Nelson Quispe.
IGP: Ken Takahashi, Kobi Mosquera.
ANA: Gustavo Galindo, Carlos Verano
INDECI: Hernán Iván Vásquez Rivasplata, Sheyla Yauri Condo

Año: 3

Redacción del informe: Comité Técnico Enfen

Edición y Producción: L. Pizarro (Secretaría Técnica Enfen)

Diseño de carátula: Imarpe

El contenido de este documento puede ser reproducido mencionando la fuente Enfen.

Este documento se puede citar como:

Comité Multisectorial Encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (Enfen). 2017.
Informe Técnico Enfen. Año 3, N° 03, marzo de 2017, **65 p.**

El Informe Técnico Enfen de marzo 2017 y los informes previos están disponibles en la World Wide Web en las páginas electrónicas de las instituciones que conforman el Comité. De tener inconvenientes para acceder al informe, contacte a la Secretaría Técnica Enfen a la dirección electrónica st_enfen@imarpe.gob.pe.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N°2015-09351

Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú, marzo 2017

Análisis mensual de los impactos de la Oscilación del Sur en las condiciones meteorológicas, geográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas del mes de marzo de 2016 en el Perú y las perspectivas de variabilidad.

PRESENTACIÓN

La gran diversidad y productividad de la zona continental como marítima del territorio peruano se altera eventualmente por eventos de la Naturaleza que ocurren a diferentes escalas de tiempo y espacio. Entre ellos, el Fenómeno El Niño reviste singular importancia por sus impactos en el Perú como a nivel global.



Han transcurrido casi cuatro décadas desde que el Estado Peruano estableciera el Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (Enfen). Durante este tiempo, el Comité ha monitoreado, vigilado, analizado y alertado sobre las anomalías del océano y la atmósfera con el fin de prevenir y mitigar los impactos de El Niño en el Perú. Estas acciones se realizan de forma sinérgica, coordinada, con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y el Instituto del Mar del Perú (Imarpe), institución que preside el Comité.

Las capacidades observacionales (meteorológica, oceanográfica, biológico-pesquera e hidrológica), de infraestructura, analíticas y de gestión se vienen fortaleciendo ahora con la participación de algunas instituciones del Comité Enfen en el Programa Presupuestal por Resultados N° 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Su producto denominado “Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño” comprende una versión resumida “Comunicado Oficial” que se publica quincenalmente en períodos de contingencia como el actual y en forma mensual en periodos normales, así como una versión extendida “Informe Técnico” de carácter mensual. Este último documento incorpora ahora nuevos elementos de información que tengo el honor de presentar, esperando que contribuya a mejorar el conocimiento y a adoptar decisiones y acciones oportunas hacia una eficiente y eficaz gestión del riesgo asociado a El Niño-Oscilación del Sur en nuestro país.

Cordialmente,



Vice-Alm. (r) Javier Alfonso Gaviola Tejada
Presidente del Comité Multisectorial para
El Estudio Nacional del Fenómeno El Niño

Figuras:

3.1.1.1.	Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) en el océano Pacífico oriental para los días a) 1 de marzo, b) 10 de marzo, c) 20 de marzo, y e) 25 de marzo de 2017. La línea sólida en color azul indica el límite la región Niño 1+2 y Niño 3+4. Datos: NCDC/NCEP/NOAA. Procesamiento: DHN.	27
3.1.1.2.	a) TSM absoluta (°C) y b) anomalía de la TSM (°C) desde abril del 2016 hasta marzo del 2017, climatología (línea discontinua), datos infrarrojos (línea gris), microondas (línea roja) y OSTIA (línea negra), en la región 1+2. Procesamiento: IGP.	28
3.1.1.3.	Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) en las regiones Niño de abril del 2016 a marzo del 2017. Fuente: NCEP/NOAA.	29
3.1.1.4.	Evolución del Índice de Oscilación Sur (IOS), considerando la media móvil de 30 días. Fuente: Bureau of Meteorology, Australia.	29
3.1.1.5.	Hovmöller de anomalías de a) Radiación de Onda Larga - OLR (W/m ²) desde el mes de abril de 2016 hasta marzo de 2017. Datos: NCEP b) Precipitaciones en el mes de marzo de 2017. Datos: TRMM. Procesamiento: IGP/SENAMHI.	30
3.1.1.6.	Diagrama longitud-tiempo de las anomalías del viento a) zonal ecuatorial, b) la profundidad de la isoterma de 20°C y c) la anomalías de la TSM (entre 2°N-2°S) basado en datos de TAO/TRITON, actualizados al 31 de marzo del 2017.	31
3.1.1.7.	Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escatómetro ASCAT (a) y anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C con datos de los derivadores de Argo (b). Las líneas diagonales plomas representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.7 m/s para la Onda de nivel del mar. Datos: ASCAT, Argo, JASON-2. Procesamiento: IGP.	32
3.1.1.8.	Análisis de anomalías del viento (m/s) en a) 850 hPa y b) 200 hPa para el mes de marzo del 2017. Datos: NCEP/NOAA. Procesamiento: SENAMHI-DCL.	33
3.1.1.9.	Circulación atmosférica ecuatorial promedio mensual (derecha) y su anomalía (izquierda) para el mes de enero (a y b); febrero (c y d); y marzo (e y f) del 2017, respectivamente. Fuente: SENAMHI con datos de la NCEP-NOAA.	34
3.1.2.1.	Anomalías del Nivel Medio del Mar, actualizados a febrero del 2017, a) 09 de marzo, b) 14 de marzo, c) 19 de marzo, d) 24 de marzo y 29) marzo; Fuente CPC/NCEP/NOAA – DHN.	35
3.1.2.2.	Anomalías de la temperatura sub-superficial del mar (°C) en el océano Pacífico ecuatorial entre los 2°N y 2°S promediadas cada cinco días, finalizando los días: a) 2 de marzo, b) 7 de marzo, c) 12 de marzo, d) 16 de marzo, d) 21 de marzo y e) 26 de marzo de 2017. Fuente: TAO/TRITON, PMEL/NOAA.	36
3.1.2.3.	a) Inclínación de la termoclina, diferencia de la profundidad zonal del ajuste de la regresión lineal para la longitud (137°E – 95°W). Climatología 1993-2012 (punteado). b) Contenido de calor en la región ecuatorial entre 2°N y 2°S). Data: TAO/TRITON. Procesamiento: IGP.	37
3.2.1.1.	Presión atmosférica (hPa) a nivel medio del mar para marzo del 2017. a) Promedio de la Presión atmosférica (hPa) a nivel del mar, b) Anomalía de la Presión atmosférica (hPa) a nivel del mar. Datos: NCEP/NOAA. Procesamiento: SENAMHI.	38
3.2.1.2.	Condiciones promedio de precipitación, temperatura superficial del mar (TSM) y esfuerzo de viento, correspondientes a marzo, (a) valores absolutos de TSM asociados al esfuerzo de vientos, (b) anomalías de TSM, asociados al esfuerzo de vientos, (c) valores absolutos de precipitación, (d) anomalía de precipitación. Fuente TRMM, AVHRR-NCDC-NOAA, ASCAT-IFREMER. Procesamiento: IGP.	39
3.2.1.3.	a) Velocidad del viento (m/s) y b) Anomalía del viento (m/s), desde los 0° hasta 20°S en el periodo de octubre del 2016 al 1 de abril del 2017. Los vectores representan la dirección del viento y anomalía de la dirección del viento, respectivamente. Datos: ASCAT. Procesamiento: IMARPE.	40
3.2.1.4.	a) Dirección del Viento; b) Índice de Afloramiento Costero (a partir del viento diario satelital a 40 Km frente a la costa del Perú). Las líneas encierran los periodos en los cuales persistió viento con componente sur (vv>4 m/s) al menos 05 días consecutivos. Datos: ASCAT, Procesamiento: IMARPE	41
3.2.2.1.	Anomalías de las temperaturas extremas del aire (°C) en la costa peruana desde enero 2016 a marzo del 2017. a) Temperatura máxima y b) Temperatura mínima. Fuente: SENAMHI.	42
3.2.3.1.	Variaciones de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), precipitación y temperatura superficial del mar (TSM), en el pacífico ecuatorial cerca a Sudamérica. a) Evolución de la ZCIT entre los 84 a 86°W, evidenciada a partir de la convergencia de humedad relativa. Fuente SENAMHI, b) Hovmoller de isotermas de 26°C y 27°C (líneas negras) entre costa y los 330 km, asociados a la precipitación (gradientes de color). Fuente TRMM / IGP.	43
3.2.3.2.	Mapa de anomalías de precipitación acumulada (%), durante la a) primera, b) segunda y c) tercera decadiaria de marzo del 2017, registradas en las estaciones meteorológicas del SENAMHI.	44

3.2.3.3.	Series de tiempo actualizados a fines de febrero, de los caudales diarios (m^3/s) de los principales ríos del Perú, entre los meses de setiembre a agosto: a) Tumbes, b) Chira, c) Piura, d) Chancay Lambayeque, e) Santa, f) Chancay Huaral, g) Rímac, h) Majes, de la vertiente del pacífico; i) Huancané y j) Ramis, de la cuenca del Titicaca. Líneas azules: caudales de años 2016-2017, negras: Promedio histórico, amarillas: nivel de alerta, y rojas: nivel de emergencia. Fuente: ANA.	45
3.2.4.1.	Índice Costero El Niño para los años 1972-1974 (verde), 1982-1984 (rojo), 1997-1999 (azul) y 2016-2017 (negro). Las líneas delgadas representan el ICEN con datos de OISST. Fuente IGP.	46
3.2.4.2.	Condiciones térmicas del océano frente a Perú, a) Temperatura Superficial del Mar (TSM) y b) Anomalías de la TSM ($^{\circ}C$), durante los días 07, 15, 23 y 31 de marzo del 2017. El cuadrante indica el límite de la región Niño 1+2. Fuente: OSTIA. Procesamiento IMARPE-DGIOCC (climatología 2007 – 2016).	47
3.2.4.3.	a) Variación del índice LABCOS y su valor mensual (línea punteada con símbolos), basado en las anomalías de la TSM registradas en estaciones del litoral ubicadas de Paita a Ilo (Quispe & Vásquez, 2015); b) Diagrama Hovmöller de la anomalía de la TSM a lo largo del litoral durante el último trimestre, en estaciones de la DHN e IMARPE (Chicama).	48
3.2.4.4.	Anomalías del Nivel Medio del Mar, actualizados a marzo del 2017, a) Hovmöller durante el último bimestre en estaciones costeras de la DHN, b) Hovmöller en la franja costera de 0-100 km, entre 2015-2017; Fuente AVISO – IMARPE.	49
3.2.5.2.	Distribución vertical de: a) temperatura ($^{\circ}C$), b) anomalía de temperatura ($^{\circ}C$), c) salinidad (ups) y d) anomalía de salinidad (ups) frente a Paita, realizada durante el 30 y 31 de marzo de 2017. Fuente: IMARPE.	50
3.2.5.2.	Distribución vertical de: a) temperatura ($^{\circ}C$), b) anomalía de temperatura ($^{\circ}C$), c) salinidad (ups) y d) anomalía de salinidad (ups) frente a Chicama, realizada durante el 27 y 28 de marzo de 2017. Fuente: IMARPE.	50
3.2.5.3.	Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Paita (punto fijo Paita) de: a) temperatura ($^{\circ}C$), b) anomalía de la temperatura ($^{\circ}C$), c) Salinidad (ups), c) Oxígeno (mL/L), d) Silicatos (μM) y e) Clorofila ($\mu g/L$), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 27 de marzo de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: IMARPE	51
3.2.5.4.	Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Chicama (punto fijo Chicama) de: a) Temperatura ($^{\circ}C$), b) Salinidad (ups) y c) Oxígeno (mL/L), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 27 de marzo de 2017. Fuente: IMARPE.	52
3.2.5.5.	Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Callao (punto fijo Callao) de: a) temperatura ($^{\circ}C$), b) anomalía de la temperatura ($^{\circ}C$), c) Salinidad (ups), d) oxígeno (mL/L), e) Silicatos (μM) y f) Clorofila ($\mu g/L$), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 28 de marzo de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: IMARPE	53
3.2.6.2.1.	Clorofila satelital promedio para el mes de (a) febrero y (b) marzo del satélite MODIS frente a Perú. (c) Mapa de anomalía promedio mensual de clorofila-a satelital y (d) número de datos por pixel proveniente del satélite MODIS. Además, (e) Hovmöller latitud vs. tiempo y (f) serie de tiempo de anomalías de clorofila superficial satelital promedio provenientes del satélite MODIS entre enero del 2014 a marzo del 2017. En (e) se tomó un promedio entre los 0-100km de la costa y en (f) entre los $4^{\circ}S$ - $16^{\circ}S$ y 0-100km de la costa.	54
3.2.7.1.	Estructura de tallas por puerto y distribución espacial de las capturas de anchoveta de la flota artesanal en la región norte-centro (a). Además, el desembarque y a estructura de tallas por puerto y la distribución espacial de las capturas de las capturas de anchoveta de la flota industrial en la región sur (b) durante marzo 2017. Fuente: LBR/IMARPE	55
3.2.7.2.	Indicadores reproductivos, a) Índice Gonadosomático (IGS), b) Fracción Desovante (FD), y c) Índice de atresia del stock norte – centro de anchoveta. Serie mensual: enero 2014 – marzo 2017. Fuente: LBR/IMARPE	56
4.1.1.	Diagramas Hovmöller longitud-tiempo mostrando las simulaciones de las ondas Kelvin en el Océano Pacífico ecuatorial. Modelo oceánico de complejidad intermedia: Modo 1 (a), Modo 2 (b), Modos 1+2 (c) de la isoterma de $20^{\circ}C$, en metros. La línea discontinua horizontal indica el inicio del pronóstico.	57
4.1.2.	Diagrama Hovmöller longitud-tiempo mostrando las simulaciones de las ondas Kelvin en el Océano Pacífico ecuatorial. Modelo oceánico lineal (LOM-IGP, suma de componentes Kelvin y Rossby) con termoclina constante y termoclina variable utilizando como forzantes del modelo la base de datos de ASCAT (a) y NCEP (b). FUENTE: IGP.	58
4.2.1.	Índice Niño 3.4 mensual observado y pronosticado por los modelos de NMME. Fuente: CPC/NCEP/NOAA.	59
4.2.2.	Índice Costero El Niño (ICEN, círculos llenos en color negro) y sus valor temporal (ICENTmp, círculo lleno en color rojo). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en la región Niño1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden	60

a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, NCAR y el modelo ECMWF tienen como condición inicial el mes de abril de 2016. Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMW.

Tablas

Tabla 2.1.1.	Principales variables y bases de datos utilizados en el presente informe	13
Tabla 3.1.1.1.	Valores del Oceanic Niño Index (ONI) de junio 2016 a febrero del 2017. Además el ONItmp para marzo y abril del 2017. Fuente IGP	61
Tabla 3.2.3.1.	Volumen de agua almacenado en los reservorios principales para el mes de marzo del 2017. Fuente ANA.	62
Tabla 3.2.4.1.	Valores del Índice Costero El Niño (ICEN) de junio de 2016 a febrero de 2017. Además del ICEN Oltmp de marzo y abril del 2017. Fuente IGP.	63
Tabla 3.2.4.2.	Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (°C) y nivel medio del mar (cm) en el semestre octubre de 2016 – marzo de 2017. Fuente: Estaciones costeras – DHN	64
Tabla 4.2.1	Pronósticos de ONI por modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías en Niño 3.4). Para los trimestres EFM los meses de febrero y marzo son datos observados.	65
Tabla 4.2.2	Pronósticos de ICEN por modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías en Niño 1+2). Para los trimestres EFM los meses de febrero y marzo son datos observados.	65

Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú, marzo 2017

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. VARIABLES	12
2.2. ÍNDICES.....	12
2.3. MODELOS DE PRONÓSTICO.....	12
3. CONDICIONES OBSERVADAS EN MARZO.....	14
3.1. CONDICIONES A MACROESCALA	14
3.1.1. Circulación atmosférica y temperatura superficial en el Pacífico Ecuatorial	14
3.1.2. Dinámica oceánica en el Pacífico Ecuatorial	14
3.2. CONDICIONES A ESCALA REGIONAL	15
3.2.1. Circulación atmosférica en el Pacífico Sudoriental	15
3.2.2. Temperatura del aire.....	16
3.2.3. Precipitaciones e hidrología en la vertiente del Pacífico	16
3.2.4. Temperatura superficial del mar y nivel medio del mar en la Región Niño 1+2 y en la costa peruana	17
3.2.5. Condiciones oceanográficas subsuperficiales frente al litoral peruano.....	19
3.2.6. Nutrientes y Productividad en la costa peruana	20
3.2.7. Recursos pesqueros e indicadores biológicos	21
4. PRONÓSTICO	22
4.1. A CORTO PLAZO (SEMANAS).....	22
4.2. A MEDIANO PLAZO (HASTA 3 MESES).....	23
4.3. A LARGO PLAZO (MÁS DE 3 MESES)	23
5. CONCLUSIONES	23
6. REFERENCIAS	24
7. FIGURAS	27
8. TABLAS	61

RESUMEN

El Comité encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente al mes de marzo de 2017.

En la región del Pacífico Central (región Niño 3.4), la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) presentó valores cercanos a cero. En el Pacífico Occidental y Central se observó un debilitamiento de los vientos del oeste en la primera quincena del mes mientras que en la segunda quincena se presentaron anomalías de vientos del este. En el Pacífico Oriental las anomalías de vientos del oeste, luego de un debilitamiento parcial en la primera quincena de marzo, se recuperaron en la última semana.

En la región Niño 1+2, que abarca la zona norte del mar peruano, las aguas superficiales presentaron en su mayor parte TSM de 28°C, pero en la última semana se observó un repliegue de las aguas más cálidas hacia el norte de dicha región. La anomalía semanal de la TSM alcanzó un valor máximo de +2,1°C del 05 al 11 de marzo, +2,6°C del 12 al 18 de marzo, descendiendo a +2,2°C en la semana siguiente.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) de febrero fue de +1,60 y el valor estimado para marzo (ICEN_{tmp}) fue de +1,63, usando los datos de la fuente NCEP OI SST v2, correspondiendo a condiciones cálidas moderadas.

A inicios de mes el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) continuó debilitado, pero durante la segunda quincena se fortaleció, incidiendo en el progresivo incremento de vientos del sur frente a la costa sur y central, no así en el litoral norte. En promedio, durante el mes predominaron vientos débiles con incursión de vientos del norte inclusive. La banda secundaria de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) continuó presentándose bien desarrollada, alcanzando la zona frente a Chimbote en altamar, aunque en los últimos días del mes se observó un desplazamiento hacia el norte.

En el litoral norte las anomalías diarias de la TSM promediaron entre +4°C y +6°C, alcanzando un valor máximo de hasta +10°C entre Chicama y Salaverry hacia la quincena. En el litoral centro, las anomalías variaron en el rango entre +2°C a +4,5°C durante la primera quincena y de +2°C a +3°C en la segunda quincena. En el sur del litoral, en la primera quincena las anomalías fluctuaron entre +0,7°C y -1°C, mientras que en la segunda quincena fluctuaron alrededor de cero de Mollendo al sur. Por otro lado, las anomalías diarias del nivel medio del mar (NMM) aumentaron a principios de marzo, principalmente en la costa norte, alcanzando +21 cm en Paita, debido a la propagación de la onda Kelvin cálida. A fines de marzo se registró un nuevo incremento de las anomalías del NMM, producto de la llegada de una nueva onda Kelvin cálida.

De otro lado, las anomalías de las temperaturas extremas del aire aumentaron en la costa central. En el norte se registraron anomalías de +0,9°C en la temperatura máxima y +1,1°C en la temperatura mínima.

En la costa central, las anomalías fueron de +2,5°C en la temperatura máxima y mínima. En la costa sur se registraron anomalías de +1,2°C y +1,0°C, respectivamente.

Durante la primera quincena se presentaron lluvias de magnitud muy fuerte en las zonas bajas y medias de Tumbes, Piura y Lambayeque, así como lluvias fuertes en las zonas bajas y medias de La Libertad y Ancash. Además, en la segunda quincena se presentaron algunas lluvias de magnitud extremadamente fuerte en las zonas bajas y medias de Piura y Lambayeque, así como lluvias muy fuertes en las zonas bajas y medias de Tumbes, La Libertad y Ancash. Si bien la precipitación acumulada en las zonas bajas de Piura y Lambayeque es menor que lo observado durante El Niño 1997/1998, es similar a lo acumulado durante El Niño 1982/1983 al mes de marzo y posiblemente es superior a lo estimado para El Niño de 1925.

Producto de las intensas precipitaciones, mayormente en la costa norte y centro, los ríos incrementaron sus caudales llegando a niveles por encima de sus umbrales de emergencia. Asimismo se presentaron activaciones de quebradas en zonas medias y bajas de las cuencas con arrastre de sólidos. Resaltan caudales históricos en el río Piura, por encima de los 3,000 m³/s. Como consecuencia, las reservas hídricas en la costa norte alcanzaron a promediar 87% respecto a su capacidad hidráulica útil. En la costa sur, la mayoría de los embalses también mostraron una tendencia ascendente, operando en promedio al 79% de su capacidad hidráulica útil.

En la capa marina sub-superficial, durante la primera quincena las estaciones fijas oceanográficas de Paita, Chicama y Callao mostraron una profundización de las isotermas hasta los 100 metros. En la capa superficial, en Paita se mantuvieron anomalías de hasta +5°C, mientras que en Chicama y Chimbote se detectaron anomalías superiores a los +7°C. Frente a Callao se alcanzó +4°C. Durante la segunda quincena frente a Paita se observó una nueva profundización de las isotermas, generando anomalías mayores a +3°C sobre los 80 m de profundidad, mientras que las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y Aguas Tropicales Superficiales (ATS), alcanzaron los 60 m y 20 m de profundidad, respectivamente. El día 27 frente a Chicama se observó una ligera disminución de la temperatura, manteniéndose las AES hasta los 20 m de profundidad. De Callao hacia el sur predominaron anomalías positivas por debajo de los 50 m, aunque sobre los 50 m la condición dominante fue fría.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton, que es base de la cadena alimenticia en el mar, mostró anomalías negativas en la mayor parte de la costa, con algunos núcleos costeros de anomalías positivas en la zona central y sur, debido a la reactivación del afloramiento costero en esta última zona.

Los indicadores reproductivos de la anchoveta en la región norte-centro, señalaron que no hubo actividad desovante significativa. En el norte y centro se mantuvo la presencia de especies asociadas a aguas cálidas como bonito, botellita, barrilete; mientras que, en el sur se registró la presencia de munida, especie asociada a aguas frías. Por otro lado, se registraron varazones de especies costeras asociadas a descargas de ríos entre Lambayeque y La Libertad.

Para las próximas semanas, se espera que la TSM frente a la costa norte disminuya, pero sus anomalías positivas podrían persistir al menos hasta el mes de mayo, prolongándose la duración de El Niño costero. No obstante, la probabilidad de lluvias muy fuertes en las zonas medias y bajas de la costa entre Tumbes y La Libertad irá reduciéndose durante el mes de abril.

El pronóstico se basa en: 1) El acoplamiento océano-atmósfera observado frente a la costa de Sudamérica, entre el calentamiento costero, la banda secundaria de la ZCIT y las anomalías del viento del norte, decaería a lo largo de abril tanto por la estacionalidad de la TSM y lluvias y por la posible persistencia de vientos alisios del sur intensos. 2) La posible persistencia temporal de anomalías de vientos del oeste en el Pacífico Oriental, retroalimentadas por el calentamiento de esta región en relación al Pacífico Central, que aún generarían más ondas Kelvin cálidas. Este pronóstico es consistente con la mayoría de los modelos climáticos internacionales en los próximos dos meses. Si bien varios de estos predicen la continuación de las condiciones cálidas en el Pacífico Oriental y el inicio de El Niño en el Pacífico Central en lo que resta del año, sus pronósticos a mediano plazo no son tan confiables debido a la “barrera de predictibilidad” en el otoño austral.

1. INTRODUCCIÓN

El Niño Oscilación Sur (ENOS), es el proceso más importante que influye en la variación de las condiciones climatológicas interanuales en la cuenca del Océano Pacífico, manifestándose en sus fases ‘cálida’ y ‘fría’, conocidas comúnmente como El Niño y La Niña respectivamente. Por otro lado, en ciertas condiciones las condiciones cálidas de la temperatura del mar en el Pacífico Oriental propician precipitaciones intensas en la costa norte del Perú, dando lugar al denominado Fenómeno El Niño. Debido a los diversos efectos de estos procesos en los ecosistemas, que a su vez repercuten en los sistemas socioeconómicos, cada vez hay un mayor interés en mejorar el entendimiento de los factores que intervienen en su desarrollo, como en optimizar la anticipación al desenlace de posibles impactos extremos, constituyéndose en un principal propósito el poder generar alertas tempranas para mitigar daños.

En este contexto, el Comité Multisectorial para el Estudio del Fenómeno de El Niño (ENFEN), reporta periódicamente el análisis del monitoreo de parámetros océano-atmosféricos, en el Pacífico Ecuatorial y Sudoriental, así como de la dinámica sub-superficial de parámetros oceanográficos, poniendo mayor atención en la zona costera de Perú. Asimismo se reportan los impactos hidrológicos, asociados a precipitaciones e incrementos súbitos del caudal de los principales ríos del territorio peruano. Para los impactos en el ecosistema marino se analizan indicadores de la fertilidad y productividad del mar peruano, así como también la respuesta de los principales recursos hidrobiológicos y la actividad pesquera. Finalmente, se formula la previsión futura de los principales indicadores asociados al ENOS y al Fenómeno El Niño, a corto, mediano y largo plazo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. VARIABLES

Las principales variables utilizadas para el monitoreo de las condiciones ambientales, oceanográficas y continentales se resumen en la tabla 2.1.1.

2.2. ÍNDICES

Índice Costero El Niño (ICEN): Consiste en la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2. Estas anomalías se calculan usando la climatología mensual para el periodo base 1981-2010. La fuente de datos para este índice son las TSM absolutas del producto ERSST v3b de la NOAA (EEUU) para la región Niño 1+2. Para el cálculo y uso en tiempo real, se utiliza temporalmente el valor aproximado ICENtmp, que se calcula igual que el ICEN, pero reemplazando, en general, los datos mensuales faltantes con datos de pronósticos mensuales provenientes de North American Multi-Model Ensemble (NMME). Se pueden ver más detalles en ENFEN (2012) y Takahashi, et al. (2014).

2.3. MODELOS DE PRONÓSTICO

Modelo Oceánico Lineal (LOM-IGP): Es un modelo oceánico lineal, que asume que toda la dinámica superior del océano se puede representar con un modelo de una capa de profundidad H , cuyo límite inferior es la profundidad de la termoclina, la cual puede ser constante o variar de acuerdo a su distribución zonal. Posee una línea de costa realista y su resolución horizontal es de 1° y $0,5^\circ$ para el eje X e Y , respectivamente. El modelo es forzado principalmente con: a) información del producto L3 del “escaterometro” ASCAT (Bentamy y Croize-Fillon, 2012) obtenido del IFREMER (<ftp.ifremer.fr>) y b) datos del modelo de reanálisis NCEP (Kalnay et al. 1996). Para calcular la contribución de las ondas Kelvin y Rossby sobre el nivel del mar y las corrientes zonales se usa la metodología de Boulanger y Menkes (1995). El lector es referido a Mosquera (2009), Mosquera et al. (2011) y Mosquera (2014) para mayores detalles sobre este modelo oceánico. Para realizar el pronóstico de la propagación de las ondas Kelvin, se asumen, en general, dos escenarios del esfuerzo de viento para los siguientes tres meses: 1) que no existen anomalías, es decir que el comportamiento de los vientos es climatológico y 2) que persistirá la anomalía de baja frecuencia.

Modelo Oceánico de Complejidad Intermedia: Con el fin de detectar la propagación de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (OKE), se ejecuta 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.

Tabla 2.1.1. Principales variables y bases de datos utilizados en el presente informe.

VARIABLE		FUENTE																				PROCESAMIENTO	
		Observación												Satélite (*)									Modelos
		Estaciones costeras SENAMHI	Estaciones costeras DHN	Estaciones costeras IMARPE	Estaciones fijas ANA	Secciones verticales IMARPE	Cruceros	Boyas TAO/TRITON	ARGO	Programa Bitácoras de Pesca	Seguimiento de Pesquerías	Muestras de puertos	TRMM-3B42	ESRL/NOAA	Reanálisis NCEP/NOAA	ASCAT	AVHRR (Daily OI SSTv2- NOAA)	OSTIA	JASON-2	AVISO	MODIS		HYCOM
VARIABLES ATMOSFÉRICAS																							
	Temperatura Ambiental	X																					SENAMHI
	Precipitación											X											IGP. Climatología 2001-2014
	Radiación de Onda Larga												X										IGP
	Presión Atmosférica														X								SENAMHI
	Vientos														X	X							IMARPE
															X								
VARIABLES OCEANOGRÁFICAS																							
Físicas	Temperatura del Mar		X				X	X							X		X	X					DHN
					X		X	X										X					IMARPE
								X	X						X		X	X					IGP
	Nivel medio del Mar		X																				DHN
					X															X			
	Salinidad									X										X			
Biogeoquímicas	Oxígeno y Nutrientes			X		X	X															X	IMARPE
	Clorofila			X		X	X																IMARPE
																					X		IMARPE, climatología 2002-2014
Pesqueras	Desembarques									X	X												IMARPE
	Índices reproductivos											X											IMARPE
	Indicadores de masas de agua del plancton											X											IMARPE
	Distribución de especies incidentales								X	X	X												IMARPE
VARIABLES HIDROLÓGICAS																							
	Caudal de ríos				X																		ANA
	Capacidad Hidráulica de reservorios				X																		ANA

3. CONDICIONES OBSERVADAS EN MARZO

3.1 CONDICIONES A MACROESCALA

3.1.1 Circulación atmosférica y temperatura superficial en el Pacífico Ecuatorial

Durante marzo, las anomalías de la TSM en el Pacífico Ecuatorial Central variaron de ligeramente negativas en la primera quincena a ligeramente positivas ($<+0,4^{\circ}\text{C}$) en la segunda (Figura 3.1.1.1). Así también, el índice ONI (Oceanic Niño Index, por sus siglas en inglés) calculado en base a la anomalía de la TSM en la región El Niño 3.4, estimado para el mes de febrero y marzo corresponde a condiciones neutras para el Pacífico Central (Tabla 3.1.1.1). Por su parte, en el Pacífico Ecuatorial Oriental (Región Niño 1+2), se presentaron valores de TSM de hasta 29°C , aunque en la última semana se observó un descenso de aproximadamente 1°C . La anomalía semanal de la TSM alcanzó un valor máximo de $+2,6^{\circ}\text{C}$, del 12 al 18 de marzo, descendiendo a $+1,8^{\circ}\text{C}$ en la última semana del mes (Figuras 3.1.1.2 y 3.1.1.3).

El Índice de Oscilación del Sur calculado para el mes de enero fue $+5,1$ (Figura 3.1.1.4). Este valor se encuentra dentro del rango asociado a condiciones neutras (± 7). Respecto a la actividad convectiva en el Pacífico Ecuatorial Central, un indicador clave del acoplamiento océano-atmósfera, la Radiación de Onda Larga (ROL) continuó presentando anomalías positivas, indicando la persistencia de la subsidencia en dicha región (Figura 3.1.1.5).

En el Pacífico Central-Occidental ($160^{\circ}\text{E} - 160^{\circ}\text{W}$), el viento en niveles bajos de la tropósfera (850 hPa) y el esfuerzo de viento zonal (este-oeste) continuaron mostrando anomalías mensuales del este, mientras que en el Pacífico Oriental las anomalías de vientos del oeste, luego del debilitamiento parcial en la primera quincena de marzo se recuperaron en la última semana (Figuras 3.1.1.6.a, 3.1.1.7 y 3.1.1.8 a).

En niveles altos (200 hPa), en promedio se observaron anomalías del viento del este mostrando su mayor intensidad sobre la región entre 100°W y 80°W y con ligeras anomalías de viento del este sobre el continente (Figura 3.1.1.8 b).

Las secciones verticales a lo largo de la franja mostraron un ligero debilitamiento de subsidencia sobre la región del Pacífico Central-Occidental ($160^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{W}$), principalmente entre los niveles medios y altos (500 a 200 hPa). Cabe señalar que, en los últimos meses, existe una tendencia a la disminución de esta configuración. Sobre el Pacífico Oriental (entre 120°W y 80°W), se presentaron condiciones muy próximas a sus condiciones normales de los movimientos verticales en comparación a los dos meses anteriores, principalmente en los niveles medios y bajos (Figura 3.1.1.9).

3.1.2 Dinámica oceánica en el Pacífico Ecuatorial

En el Pacífico Ecuatorial Oriental, a inicios del mes, las anomalías del Nivel Medio del Mar (NMM) mostraron valores negativos o cercanos a cero en el Pacífico Central.

En cambio se observó anomalías positivas frente a la costa de Ecuador y el norte de Perú, las que se fortalecieron y extendieron a ambos lados del ecuador a lo largo de la costa sudamericana en las semanas siguientes (Figuras 3.1.2.1)

La temperatura sub-superficial presentó a inicios del mes un núcleo de anomalía de hasta $+2^{\circ}\text{C}$ a 120 – 220 m de profundidad entre los 170°E y 160°W , el cual se fue debilitando posteriormente. En cambio, en el Pacífico Ecuatorial Oriental, durante el mes se observó el incremento de la cobertura espacial de la anomalía de $+1^{\circ}\text{C}$ hasta los 140°W – 95°W y los 50 m de profundidad (Figura 3.1.2.2). Los datos in situ de las boyas TAO/TRITON y ARGO mostraron una profundización de la isoterma de 20°C por debajo de su posición climatológica (reflejada en anomalías positivas de su profundidad) hasta unos 30 m en la región que va de 150°E a 180°W ; y hasta 20 m en la región de 110°W a 90°W (Figura 3.1.1.7 c), asociada a los pulsos de viento del oeste alrededor de los 150°E en la franja ecuatorial (Figura 3.1.1.8).

La inclinación zonal de la termoclina ecuatorial se presentó de acuerdo a su configuración normal en el mes. El contenido de calor oceánico ecuatorial se presentó con valores ligeramente positivos (Figura 3.1.2.3).

3.2 CONDICIONES A ESCALA REGIONAL

3.2.1 Circulación atmosférica en el Pacífico Sudoriental

El núcleo del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se mantuvo al oeste de su posición habitual, lo cual indica un menor gradiente de presión entre el núcleo del APS y el continente. Sin embargo, el APS se fortaleció en la segunda quincena de marzo. En promedio para el mes, el núcleo presentó anomalías de $+2$ hPa y el campo de presiones frente al litoral peruano, presentó en promedio ligeras anomalías negativas (-1 hPa) sobre la región centro y sur (Figura 3.2.1.1).

Frente al litoral peruano, el esfuerzo de viento con componente sur incrementó durante la segunda quincena, incidiendo en el progresivo incremento de vientos del sur frente a la costa sur y central, no así en el litoral norte, donde predominaron vientos débiles con incursión de vientos del norte inclusive (Figura 3.2.1.2 a, b). Asimismo, de acuerdo a los datos de satélite ASCAT, el viento de la franja costera (40 km) a lo largo del litoral incrementó su intensidad desde la segunda quincena del mes con valores de hasta 7 m/s (Figura 3.2.1.3 a). La anomalía de la velocidad del viento costero alcanzó entre $+2$ m/s y $+3$ m/s al sur de los 4°S , en la segunda quincena (Figura 3.2.1.3 b). En el caso de la dirección del viento, entre la primera y tercera semana se continuó registrando anomalías de viento del noroeste frente a la costa norte hasta los 7°S . Frente a la costa sur y centro la dirección del viento fue SE y SSE (Figura 3.2.1.4.a). El incremento del esfuerzo de viento con componente sur se tradujo en una intensificación del afloramiento costero a partir de la tercera semana, abarcando la mayor parte del litoral hacia fines de mes (Figura 3.2.1.4 b).

3.2.2. Temperatura del aire.

Las anomalías de las temperaturas extremas del aire superaron los valores de la segunda quincena de febrero. Durante la primera quincena en la costa norte se registraron anomalías de +1,7°C en la temperatura máxima y +1,1°C en la temperatura mínima.

En la costa central, las anomalías fueron de +2,3°C tanto en la temperatura máxima como en la temperatura mínima; y en la costa sur las anomalías fueron de +1,2°C y +1,1°C, respectivamente. Durante la segunda quincena, en el norte se registraron anomalías de +0,9°C en la temperatura máxima y +1,1°C en la temperatura mínima. En la costa central, las anomalías fueron de +2,5°C en la temperatura máxima y en la mínima. En la costa sur las anomalías fueron de +1,2°C y +1,0°C, respectivamente (Figura 3.2.2.1).

3.2.3. Precipitaciones e hidrología en la vertiente del Pacífico

En marzo, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), se presentó entre los 10°S y 10°N. La banda septentrional de la ZCIT se ubicó en 3°N en el Pacífico Oriental, y de manera intermitente a lo largo del Pacífico en 10°N. La banda meridional de la ZCIT (o banda secundaria) se mostró bien desarrollada alrededor de los 5°S frente a la costa norte del Perú, desplazándose eventualmente hacia el sur (~12°S) (Figura 3.2.3.1). Esta banda en su proyección sobre el continente fue un factor condicionante de inestabilidad atmosférica convectiva, contribuyendo a la continuidad de un alto régimen pluviométrico en las regiones ubicadas al norte y centro de los Andes occidentales (Figura 3.2.1.2. c, d). En el Pacífico Ecuatorial cerca de Sudamérica, se observó que la persistencia de precipitaciones hasta finales de mes estuvo asociado a la presencia de temperaturas promedio mayores a 27°C en la franja de 330 km, que alcanzaron hasta los 10°S en la tercera semana del mes (Figura 3.2.3.1.b).

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”¹ 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).

¹ “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.

En la primera decadiaria de marzo (Figura 3.2.3.2 a), se registraron anomalías de precipitación $>+100\%$ en la costa norte (Tumbes, Piura y Lambayeque), así como en la mayor parte de la vertiente occidental de los Andes de la zona central y sur.

En la segunda decadiaria (Figura 3.2.3.2 b) las anomalías positivas ($>+100\%$) se intensificaron en Piura, Lambayeque y la Libertad así como a lo largo del flanco occidental de los Andes, mientras que se registraron anomalías negativas (-15% a -100%) en la sierra central y sur del país.

Finalmente, en la tercera decadiaria (Figura 3.2.3.2 c), los mayores excesos de precipitación ($>+100\%$) se registraron en la costa norte y sierra norte (Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad y Cajamarca) y de modo más disperso en la sierra de Arequipa, Moquegua y Tacna.

Por efecto de las precipitaciones en la costa norte y centro, los ríos de la vertiente occidental, presentaron promedios diarios que superaron los niveles de alerta y emergencia, llegando a generar en algunas zonas la activación de quebradas con arrastre de sólidos. El río Tumbes, durante la primera quincena de marzo presentó caudales que superaron el nivel de alerta ($900 \text{ m}^3/\text{s}$). El río Chira rebasó en varias ocasiones los $600 \text{ m}^3/\text{s}$, superando los $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ a fines de marzo y la media de los años húmedos. El río Piura alcanzó un caudal máximo de $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ el día 27 y caudales promedios diarios de $2754 \text{ m}^3/\text{s}$ los días 27 y 31, solo inferiores a los registrados en marzo y abril de 1998. Los ríos Jequetepeque y Santa alcanzaron los $600 \text{ m}^3/\text{s}$, duplicando sus umbrales de emergencia ($300 \text{ m}^3/\text{s}$), y manteniéndose por encima de ella durante la segunda mitad del mes. Asimismo los ríos Chillón y Rímac llegaron a superar el umbral de alerta ($25 \text{ m}^3/\text{s}$ y $80 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente). En tanto el río Majes mostró pulsos descendentes entre 500 a $300 \text{ m}^3/\text{s}$, superando ampliamente el promedio histórico. En contraste, en la cuenca del Titicaca, el río Ramis tuvo caudales por debajo del promedio histórico (Figura 3.2.3.3).

Las reservas hídricas hacia finales de mes, mostraron en la costa norte niveles de almacenamiento que llegaron al 100% en Gallito Ciego y San Lorenzo, y superaron el 95% de su capacidad hidráulica útil en Tinajones. En la costa centro el reservorio de Viconga estuvo al 69% , mientras que en la costa sur, los reservorios de Choclococha y El Frayle llegaron a almacenar el 100% , seguidas muy de cerca ($>98\%$) por el Dique Los Españoles y Pillones. El reservorio Condoroma alcanzó a almacenar el 87% , mientras que más al sur Pasto Grande y Aricota llegaron respectivamente al 46% y 75% de su capacidad hidráulica útil (Tabla 3.2.3.1).

3.2.4 Temperatura superficial del mar y nivel medio del mar a lo largo de la costa peruana

En la región Niño 1+2 la TSM osciló entre 28°C y 29°C , de acuerdo a los datos satelitales de sensores infra-rojo (IR) y microondas (MW), así como de la base OSTIA que integra a ambos tipos de sensores más información in situ (Figura 3.1.1.2). Los promedios diarios de las anomalías de TSM basadas en OSTIA, mostraron valores mayores a $+2^\circ\text{C}$, mientras que los basados en IR y MW, estuvieron alrededor de $+3^\circ\text{C}$ (Figura 3.1.1.2 b).

El Índice Costero El Niño basado en interpolación óptima (ICEN-OI) para febrero fue de $+1,60^{\circ}\text{C}$ respectivamente, afirmando la condición cálida moderada instalada desde el mes de enero (Tabla 3.2.4.1 y Figura 3.2.4.1).

Las estimaciones de TSM en base a OSTIA, mostraron que durante marzo se presentaron aguas con temperaturas $>29^{\circ}\text{C}$ entre la línea ecuatorial y los 5°S , desplazándose eventualmente hasta latitudes de 8°S y 9°S .

Excepcionalmente entre el 19 y 21 de marzo las aguas $>29^{\circ}\text{C}$ alcanzaron una mayor expansión y acercamiento hacia la costa, hasta ubicarse dentro de las 60 mn entre Paita y Salaverry, generando la aparición de anomalías térmicas de $>+6^{\circ}\text{C}$ dentro de las 30 mn entre Pimentel y Salaverry. En la primera quincena del mes, las isotermas de 28°C estuvieron expandidas fuera de las 100mn hasta latitudes de 14°S , replegándose hasta los 5°S durante la segunda quincena. Sin embargo, las isotermas de 27°C permanecieron expandidas hasta latitudes próximas a los 14°S , hallándose muy cerca de la costa desde Huarmey hacia el norte (Figura 3.2.4.2 a).

Por otro lado la distribución espacial de las anomalías de TSM en base a OSTIA (climatología 2007 – 2016), mostraron que las anomalías $>+2^{\circ}\text{C}$ predominaron entre la línea ecuatorial y los 10°S , con una mayor expansión hacia el océano hasta alcanzar aproximadamente las 200 mn entre los 0° y 5°S . Durante la primera semana se detectó la mayor expansión latitudinal hasta llegar a los 20°S aunque de manera fragmentada. Al finalizar la tercera semana también se desarrolló otra expansión latitudinal hasta alrededor de los 15°S . Dentro de las 60 mn durante todo el mes se presentaron anomalías $>+4^{\circ}\text{C}$, desde frente a Tumbes hasta frente a Chimbote. Al finalizar la tercera semana se registraron las máximas anomalías positivas llegando a $+6^{\circ}\text{C}$, dentro de las 30 mn entre Pimentel y Salaverry (Figura 3.2.4.2 b). En contraste, cerca al litoral de la costa sur se presentaron anomalías negativas de TSM de -1°C , que hacia fines de mes se expandieron fuera de las 30 mn (Figura 3.2.4.2 b).

En el litoral, desde Talara hasta San Juan la anomalía mensual de la TSM varió entre $+0,9^{\circ}\text{C}$ (San Juan) y $+5,8^{\circ}\text{C}$ (Isla Lobos de Afuera). En Ilo se registraron condiciones neutras, y en Mollendo la anomalía mensual fue $-0,1^{\circ}\text{C}$ (Tabla 3.2.4.2, Figura 3.2.4.3.a). El valor mensual del índice LABCOS, calculado en base a las anomalías de TSM de estaciones ubicadas entre Paita e Ilo (Quispe & Vásquez, 2015) alcanzó $+2,64^{\circ}\text{C}$, superior a cualquiera registrado durante El Niño 2015-2016 (Figura 3.2.4.4 a). Los registros diarios de temperatura mostraron el predominio de anomalías positivas $>+4^{\circ}\text{C}$ entre Talara y Chimbote a lo largo del mes, alcanzando valores superiores a $+6^{\circ}\text{C}$ hacia el 15 – 20 de marzo entre Paita y Salaverry y valores máximos de hasta $+10^{\circ}\text{C}$ entre Chicama y Salaverry. En Callao las anomalías diarias de TSM alcanzaron $+3^{\circ}\text{C}$. En San Juan las anomalías positivas oscilaron alrededor de $+1^{\circ}\text{C}$, mientras que en Mollendo e Ilo, alternaron anomalías negativas y anomalías positivas no mayores 1°C en promedio. A partir de la tercera semana de marzo las anomalías positivas de TSM tendieron a declinar, aunque persistiendo valores entre $+2^{\circ}\text{C}$ y $+3^{\circ}\text{C}$ de Callao hacia el norte del litoral (Figura 3.2.4.3 b).

Las anomalías del Nivel Medio del Mar (NMM), en el litoral peruano presentaron valores mensuales entre +1 cm (Matarani) y +18 cm (Paíta), siendo los más altos (>12 cm) registrados al norte de Chimbote (Tabla 3.2.4.2), superando en general a los valores registrados en febrero.

Durante la primera quincena de marzo se detectaron tres pulsos de incremento de las anomalías (>+16 cm) entre Talara y Paíta. Asimismo, entre Pisco y San Juan se registró un pulso de +16 cm durante la segunda semana de marzo.

Las anomalías se atenuaron hacia la tercera semana de marzo, pero en la cuarta semana se registró un nuevo pulso entre Paíta y Talara, alcanzando valores de +20 cm (Figura 3.2.4.4 a).

Por otro lado, al evaluar las anomalías pentadales de NMM en una mayor extensión frente a la costa (franja de 0 a 100 km), se halló el predominio de anomalías positivas durante todo el mes a lo largo del litoral y especialmente entre los 3°S y 10°S (+10 cm), las que fueron más intensas en la primera semana (Figura 3.2.4.4 b).

3.2.5 Condiciones oceanográficas subsuperficiales frente al litoral peruano

En la sección de Paíta, realizada el 30 y 31 de marzo, la isoterma de 15°C se localizó entre los 100 y 180 m de profundidad, mostrando su mayor profundización cerca a la costa (Figura 3.2.5.1 a). Anomalías térmicas de hasta +7°C se localizaron en los primeros 70 m de profundidad frente a Paíta (Figura 3.2.5.1 b). En cuanto a la salinidad, en los primeros 30 m de profundidad se presentaron valores de 34,8 a 35,0 ups, correspondientes a Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES). También se presentaron valores de salinidad en el rango de 31,0 a 34,0 ups hasta las 30 mn frente a la costa y 20 m de profundidad, debido al aporte de Aguas Tropicales Superficiales (ATS), así como de aguas continentales y precipitación (Figura 3.2.5.1 c), generando anomalías halinas negativas (Figura 3.2.5.1 d). En cuanto a las concentraciones de O₂ disuelto, en la columna de agua por encima de los 150 m se observaron menores concentraciones (~ 3 mL/L cerca de la costa) respecto al mes de febrero y la profundidad de la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO, <0,5 mL/L) se encontró ligeramente más somera dentro de las 40 mn (~ 200 m) (Figura 3.2.5.1 e).

En la sección de Chicama (27 y 28 de marzo), la termoclina se presentó en los primeros 70 m de profundidad, mientras que la isoterma de 15°C se localizó entre los 90 y 160 m, mostrando una profundización en dirección a la costa (Figura 3.2.5.2 a). Esto ocasionó una capa con anomalías térmicas de hasta +7°C en los primeros 60 m de profundidad en toda la sección (Figura 3.2.5.2 b). En cuanto a la salinidad, se presentaron valores de 34,8 a 35,0 ups, correspondientes a Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), en los primeros 15 m de profundidad. Además se presentó un núcleo con salinidades en el rango de 35,1 a 35,4 ups por fuera de las 60 mn frente a la costa entre los 25 y 120 m de profundidad, indicando un acercamiento de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) (Figura 3.2.5.2 c). El borde superior de la ZMO se encontró más profundo (~ 150 m) respecto a febrero, y se observó un núcleo con valores menores a 1 mL/L entre los 20-50 m cerca de la plataforma. Además en superficie se observaron valores mayores a 5 mL/L entre los 10 mn y 60 mn de la costa (Figura 3.2.5.2 e).

En la Estación Fija Paita (7 mn de la costa), se registraron temperaturas entre 17° y 28°C sobre los 100 m de profundidad, con dos eventos abruptos de profundización de las isotermas a inicios y a fines de marzo, siendo este último el más intenso (Figura 3.2.5.3 a).

Las anomalías positivas de temperatura se presentaron en toda la columna de agua, alcanzando hasta +6°C en la superficie y +3°C en sub-superficie a finales del mes (Figura 3.2.5.3 b). La salinidad evidenció la presencia de AES, con valores de salinidad entre 34,0 y 34,8 ups en los primeros 50 m de profundidad. Además se detectaron aguas con valores de salinidad entre 31,0 y 34,0 ups en los primeros 20 m de profundidad, indicando la incursión de ATS, así como el aporte de aguas continentales y de precipitación (Figura 3.2.5.3 c).

Por otro lado, por encima de los 30 m las concentraciones de O₂ se mantuvieron en ~ 4 mL/L y por debajo de los 40 m la iso-oxígenas se profundizaron progresivamente; aguas deficientes en oxígeno (<0,5 mL/L) no se presentaron en la columna de agua.

En la Estación Fija Chicama (10 mn de la costa), se registraron temperaturas entre 16° y 28°C, mostrando la mayor profundización de las isotermas en la segunda quincena del mes (Figura 3.2.5.4 a). La salinidad presentó valores en un rango de 34,8 a 35,1 ups en la columna de agua, indicando la presencia de AES en los primeros 20 m de profundidad a finales del mes, así como ASS en mezcla con aguas costeras frías en el resto de la columna de agua (Figura 3.2.5.4 b). En la capa superficial (0-20 m), en la primera semana las concentraciones de O₂ fueron mayores a 5 mL/L y se mantuvieron ~ 4 mL/L por el resto del mes. Por debajo de los 30 m las iso-oxígenas se profundizaron, presentándose el borde superior de la ZMO a los 40 m durante la primera semana y a los 80 m hacia finales del mes (Figura 3.2.5.4 c).

En la Estación Fija Callao (8 mn de la costa), la temperatura mostró valores en el rango de 16° a 22°C sobre los 90 m de profundidad, con una profundización de las isotermas a inicios y a fines del marzo (Figura 3.2.5.5 a). Las anomalías térmicas fueron positivas en toda la columna de agua, alcanzando valores de hasta +4°C a inicios del mes (Figura 3.2.5.5 b). Asimismo, se observó la intrusión de ASS en la capa sub-superficial, asociado al incremento de las temperaturas (Figura 3.2.5.5 c). Entre los 0 y 10 m se observaron concentraciones de O₂ mayores a 4 mL/L y hacia finales del mes por encima de los 20 m las iso-oxígenas se superficializaron. El borde superior de la ZMO se mantuvo a 25 m durante el mes (Figura 3.2.5.5 d).

3.2.6 Nutrientes y Productividad en la costa peruana

3.2.6.1. Silicatos

La concentración de silicatos presentó una disminución en las estaciones fijas de IMARPE con respecto al mes de febrero. En la estación fija de Paita (Figura 3.2.5.3 e) se observó un núcleo con valores menores a 5 µmol/L entre la superficie y los 20 m durante la primera quincena, el cual se profundizó entre los 10 a 50 m de profundidad a finales del mes. En la estación fija Chicama (Figura 3.2.5.4 d) por encima de los 20 m se mantuvo un núcleo con valores de menores a 5 µmol/L, observado desde la quincena de febrero.

Las isolíneas de silicatos se profundizaron gradualmente por debajo de los 20 m, observándose a la isolínea de 15 $\mu\text{mol/L}$ a los 40 m a inicios del mes y alcanzando los 100 m durante la última semana.

En la estación fija Callao en la capa superficial se observaron valores menores a 5 $\mu\text{mol/L}$ (0-20 m) durante la primera quincena, los cuales se recuperaron hacia fines del mes ($\sim\mu\text{mol/L}$). En profundidad, la isolínea de $\mu\text{mol/L}$ osciló entre los 30 m y las demás isolíneas se profundizaron ligeramente (Figura 3.2.5.5 e).

3.2.6.2. Clorofila-a

La clorofila-a superficial (satelital) presentó, en promedio para el mes, un frente de clorofila (1 mg/m^3) cercano a la costa (50 km) entre los 5°S-10°S. Entre los 13°S y 15°S el frente se presentó hasta los 200 km. Frente a Callao y Pisco se observaron núcleos de clorofila-a > 10 mg/m^3 (Figura 3.2.6.2.1 a, b). La distribución del frente de clorofila-a también se reflejó en la distribución de las anomalías, observándose anomalías negativas en casi toda la costa norte-centro ($\sim 3,5 \text{ mg/m}^3$) y una fuerte anomalía positiva frente a Pisco ($\sim +9,5 \text{ mg/m}^3$) (Figura 3.2.6.2.1 c, e). Las anomalías pentadales de clorofila-a, integradas para la franja costera de 100 km entre los 4°S y 16°S, evidenció una disminución de la clorofila-a entre primera y tercera semana del mes de +2,5 mg/m^3 a -1,8 mg/m^3 , y luego una recuperación hacia finales del mes llegando a valores de +1 mg/m^3 (Figura 3.2.6.2.1 f).

En la zona costera, en la estación fija Paita, las concentraciones de clorofila-a se mantuvieron respecto a febrero, observándose en promedio concentraciones de $\sim 0,15 \text{ mg/m}^3$ en la capa superficial (< 20 m) (Figura 3.2.5.3 f). Frente a Chicama en la capa superficial, la primera semana se observaron valores mayores a 5 mg/m^3 , que disminuyeron hasta los 0,1 mg/m^3 hacia la quincena del mes y se recuperaron ligeramente hasta los 0,5 mg/m^3 en la última semana (Figura 3.2.5.4 e). Frente a Callao las concentraciones ($\sim 2,5 \text{ mg/m}^3$) aumentaron con respecto al mes de febrero, detectándose valores de 2 mg/m^3 a los 10 m a inicios del mes y a los 15 m durante la última semana (Figura 3.2.5.5 f).

3.2.7 Recursos Pesqueros e indicadores biológicos

En la región norte – centro los desembarques de anchoveta correspondieron a la flota artesanal, mientras que en el sur, los desembarques correspondieron a la flota industrial.

En la región norte-centro, la anchoveta se presentó frente a Punta La Negra (6°S), Chimbote (9°S), Callao (12°S) y Pisco (13°S), dentro de las 10 mn de la costa. El mayor porcentaje de juveniles presenció en las capturas realizadas frente a Callao y Pisco con 77% y 48% respectivamente (Figura 3.2.7.1 a). Asimismo en la región Sur, también presentó una distribución muy costera, desde La Planchada (16°S) hasta Ilo (17°S) y un porcentaje de juveniles de 20%. El avance de cuota de captura para la Primera Temporada de Pesca de anchoveta en la región Sur correspondió a un 20% (Figura 3.2.7.1 b).

El índice de la Fracción Desovante (FD) presentó valores por debajo del patrón, indicando la baja actividad de desove del recurso anchoveta del stock norte-centro. El Índice Gonadosomático (IGS) y el Índice de Atresia (IA) presentaron valores cercanos a su patrón normal (Figura 3.2.7.2).

En el norte y centro se mantuvo la presencia de especies asociadas a aguas cálidas como bonito, botellita, barrilete, mientras que en el sur se registró la presencia de munida, especie asociada a aguas frías.

Se registraron varazones en el norte de especies costeras como el cangrejo violáceo, pez borracho, chorito y pulpo, asociado a la descarga de aguas de ríos (Rio Reque) en Santa Rosa. Además se observó una alta mortalidad de aves guaneras debido a la falta de alimento.

4. PRONÓSTICO

A corto plazo, las perspectivas se basan en los resultados de las simulaciones de las Ondas Kelvin ecuatoriales corridas por IGP e IMARPE. La presentación de las perspectivas de mediano y largo plazo se basa en las simulaciones de los modelos de agencias internacionales inicializados en la primera semana de marzo 2017.

4.1 A corto plazo (semanas)

Para el Pacífico Central (región Niño 3.4), el valor estimado del ONI (ONI_{tmp}), basado en datos ERSST4 y del modelo NMME, para abril es 0,34°C, indicando la continuación de la condición neutra (Tabla 3.1.1.1). Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), el valor estimado del ICEN (ICEN_{tmp}) para abril, basado en los datos OI-SST y las salidas del ensamble de modelos NMME, es +1,52°C, indicando la persistencia de la condición calidad moderada (Figura 3.2.4.2 y Tabla 3.2.4.1).

Los datos de ASCAT, muestran un mayor predominio de anomalías de vientos del este y que continúan las anomalías de vientos del norte y la intensa (debilitada) ZCIT al sur (norte) del ecuador, así como el gradiente norte-sur en la ATSM (sur más cálido), lo cual indicaría la continuación del acoplamiento a través del mecanismo “viento-evaporación-TSM” (Xie y Philander, 1994). Sin embargo, estacionalmente la tendencia es la disipación de la banda meridional de la ZCIT durante abril, por lo que el acoplamiento podría desactivarse.

Las simulaciones de la Onda Kelvin Ecuatorial (OK), basado en el modelo oceánico de complejidad intermedia implementado en IMARPE, forzado con anomalías del esfuerzo de viento obtenidos del NCEP, mostró que la onda Kelvin fría con señal de modo 1, habría sido reforzada por la intensificación de los vientos alisios en el Pacífico Ecuatorial Central y llegaría frente a las costas de Sudamérica en abril del 2017, sin embargo la onda Kelvin fría con señal de modo 2 habría disminuido su intensidad (Figuras 4.1.1).

Por otro lado, se espera que la onda Kelvin cálida, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental y ayudada por la anomalía de vientos del oeste en el Pacífico Oriental, se refleje en una onda Rossby cálida que contribuiría al incremento de la profundidad de la termoclina al este de 120°W, al menos hasta abril, según los modelos numéricos de ondas implementados en IGP.

Los datos observacionales de la profundidad de la termoclina muestran una señal positiva en el extremo oriental que podría estar relacionada con la onda Rossby cálida en mención (Figura 4.1.2).

4.2 A mediano plazo (hasta 3 meses)

Para el Pacífico Central (Niño 3.4), 1 de los 7 modelos de NMME inicializados en marzo predijeron condiciones neutras para el mes de abril y 6 modelos predijeron condiciones cálidas débiles. Para el mes de mayo, 6 modelos indican condiciones cálidas débiles y 1 modelo, condiciones cálidas moderadas (Figura 4.2.1; Tabla 4.2.1).

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los modelos climáticos de NMME inicializados en marzo indicaron que para el mes de abril 3 de 7 modelos predicen condiciones cálidas débiles y 4 modelos predicen condiciones cálida moderada. Para el mes de mayo, 1 de 7 modelos indicó condiciones cálidas débiles, mientras que 6 modelos predicen condiciones cálidas moderadas (Figura 4.2.2; Tabla 4.2.2).

4.3 A largo plazo (más de 3 meses)

Para el Pacífico Central (región Niño 3.4), la mayoría de los modelos NMME inicializados en abril pronostican a partir del mes de julio hasta octubre se observa que los modelos incrementan sus anomalías, observándose el modelo GFDL (julio-octubre) y GFDL_FLOR (setiembre-octubre) con condiciones cálidas fuertes; sin embargo, estos resultados deben ser analizados con cuidado debido a la barrera de predictibilidad. Cabe remarcar además la falta de acoplamiento observada entre la atmósfera ecuatorial y las anomalías positivas de TSM, que aumenta la incertidumbre acerca de la dirección de las tendencias en los siguientes meses (Figura 4.2.1 y Tabla 4.2.1).

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), para el mes de junio, 2 de 7 modelos indican condiciones cálidas fuertes, 2 modelos pronostican condiciones moderadas y 3 modelos predicen condiciones cálidas débiles (Figura 4.2.2 y Tabla 4.2.2). En promedio los modelos extienden el evento El Niño costero hasta al menos octubre del 2017, con magnitud moderada hasta setiembre. Para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas débiles (Figura 4.2.2 y Tabla 4.2.2).

5. CONCLUSIONES

Durante el mes de marzo, mientras que en la región Niño 3.4 las condiciones térmicas superficiales del mar fueron normales, en la región Niño 1+2 y frente a la costa del Perú predominaron temperaturas superficiales por encima de 28°C, con anomalías de hasta +2,6°C en la región.

La banda meridional de la ZCIT, se posicionó alrededor de los 5°S, frente a la costa norte del Perú, y de manera variable entre los 3° y 12°S.

La proyección de la anomalía del NMM frente a la costa de Ecuador y a lo largo del mar peruano hasta la zona centro-sur, así como la variación de la temperatura subsuperficial a lo largo de la costa norte y central indicaron el arribo de ondas Kelvin cálidas, tanto a inicios como a finales de marzo.

El acoplamiento local océano-atmósfera frente a la costa norte, asociado a la presencia de la banda meridional de la ZCIT cerca al continente y las incursiones de vientos del norte, la proyección hacia el sur de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) de baja salinidad hasta Chimbote, la aproximación de las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) a la costa de Callao, y el paso de las ondas Kelvin cálidas contribuyeron a la intensificación del calentamiento de las aguas costeras, especialmente frente al litoral centro-norte.

A nivel nacional prevalecieron superávits de precipitación, concentrándose las mayores anomalías asociadas a El Niño Costero (>+100%) en la costa norte y central. La alta precipitación incrementó el caudal de los ríos de la vertiente occidental de la zona centro-norte hasta niveles de alerta y emergencia, provocando además la activación de quebradas con desplazamiento de sedimentos e incremento de las reservas hídricas.

Persistió la reducción anómala de la productividad marina en la costa norte-centro, aunque se registró una recuperación en la zona centro-sur. La anchoveta se distribuyó dentro de las 10 mn a la costa y no tuvo actividad desovante significativa. En el norte y centro se mantuvo la presencia de especies asociadas a aguas cálidas, como bonito, botellita, barrilete; mientras que, en el sur se registró la presencia de munida, especie asociada a aguas frías. Se registraron varazones de especies costeras entre Lambayeque y La Libertad debido posiblemente al aumento de la turbidez asociada al aumento de la descarga de ríos.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis experto del Comité Multisectorial ENFEN; así como, los resultados de los modelos de las agencias internacionales, se prevé la continuación del evento El Niño costero de magnitud moderada, al menos hasta el mes de mayo. Además, de acuerdo con los modelos climáticos de las agencias internacionales, en la región Niño 1+2 continuarían las condiciones cálidas al menos hasta otoño, y en la región Niño 3.4 continuarían las condiciones neutras hasta el mes de junio, para luego evolucionar a condiciones cálidas.

6. REFERENCIAS

Bentamy, Abderrahim and Croize-Fillon, Denis (2012). Gridded surface wind fields from Metop/ASCAT measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 33(6), 1729-1754. doi:10.1080/01431161.2011.600348.

Boulangier, J.-P., and C. Menkes, 1995: Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during the 1992–1993 El Niño, *J. Geophys. Res.*, 100(C12), 25,041–25,059.

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.

ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN. 2p.

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.

Kirtman BP, Min D, Infanti JM, Kinter JL, Paolino DA, Zhang Q, van den Dool H, Saha S, Peña M, Becker E, Peng P, Tripp P, Huang J, DeWitt DG, Tippett MK, Barnston AG, Li S, Rosati A, Schubert SD, Rienecker M, Suarez M, Li ZE, Marshak J, Lim YK, Tribbia J, Pegion K, Merryfield WJ, Denis B, Wood EF, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, 585–601. doi: 10.1175/BAMS-D-12-00050.1

Lindzen, R. S., and Nigam, S., 1987: On the role of sea surface temperature gradients in forcing low-level winds and convergence in the tropics, *J. Atmos. Sci.*, 44, 17, 2418-2436.

Mantua, N.J. and S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, and R.C. Francis 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 1069-1079.

Mosquera, K., 2009: Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para optar el grado de Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos, 2011: Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. *Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.

Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7.

Takahashi, K., K. Mosquera y J. Reupo, 2014: El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Febrero, 1, 2, 8-9.

Xie, S. y S.G.H. Philander, 1994: A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific, Tellus, 46A, 340-350

7. FIGURAS

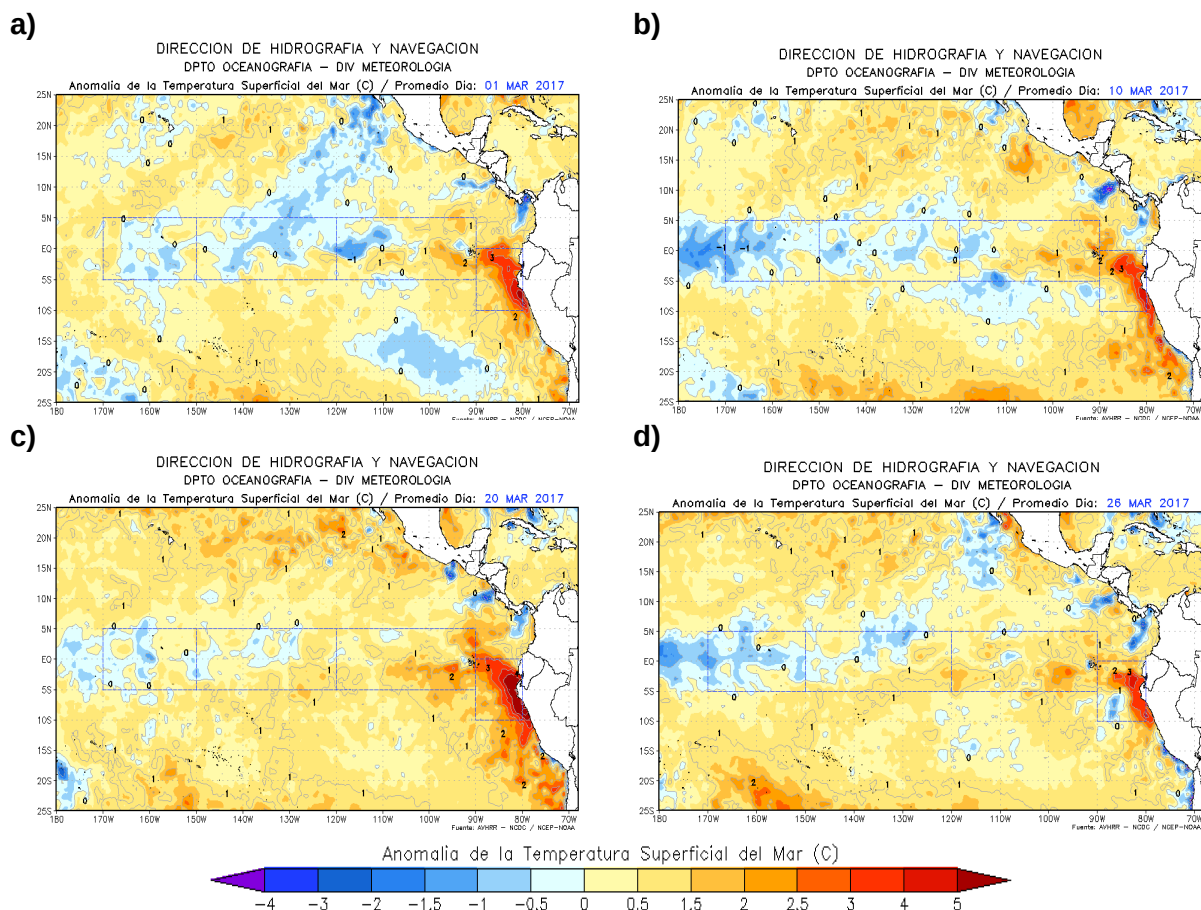


Figura 3.1.1.1. Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) en el océano Pacífico oriental para los días a) 1 de marzo, b) 10 de marzo, c) 20 de marzo, y e) 25 de marzo de 2017. La línea sólida en color azul indica el límite la región Niño 1+2 y Niño 3+4. Datos: NCDC/NCEP/NOAA. Procesamiento: DHN.

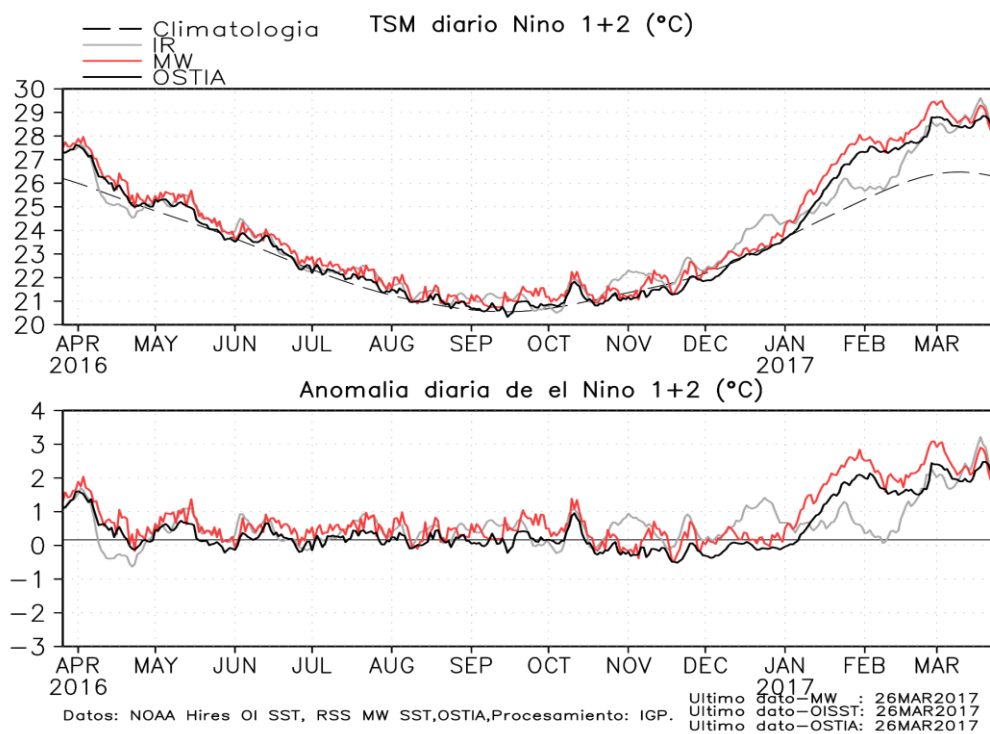


Figura 3.1.1.2 a) TSM absoluta (°C) y b) anomalía de la TSM (°C) desde abril del 2016 hasta marzo del 2017, climatología (línea discontinua), datos infrarrojos (línea gris), microondas (línea roja) y OSTIA (línea negra), en la región 1+2. Procesamiento: IGP.

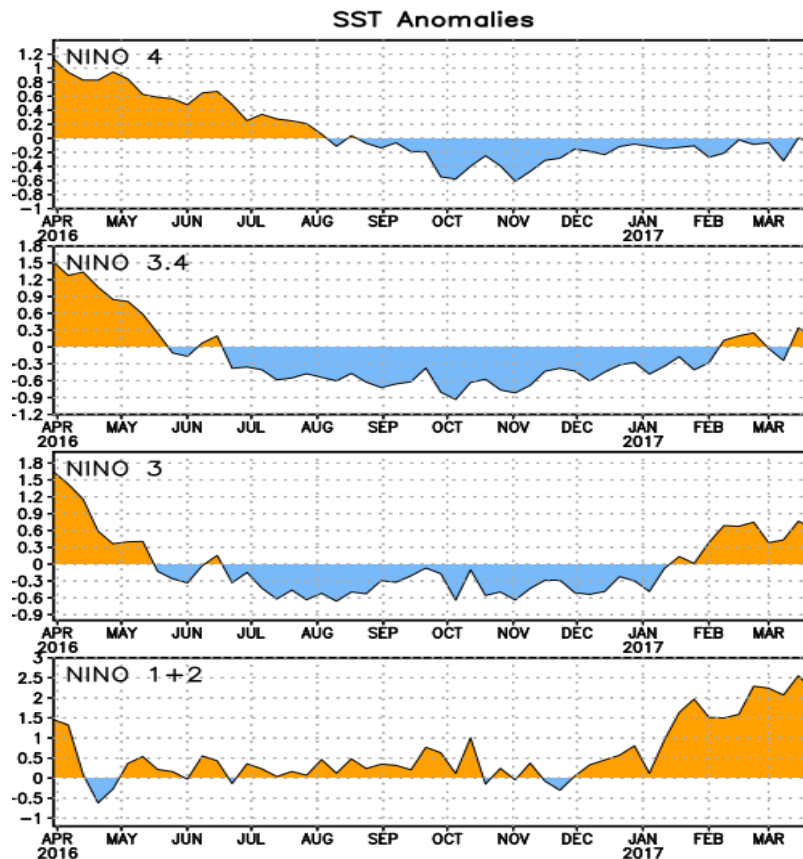


Figura 3.1.1.3 Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) en las regiones Niño de abril del 2016 a marzo del 2017. Fuente: NCEP/NOAA.

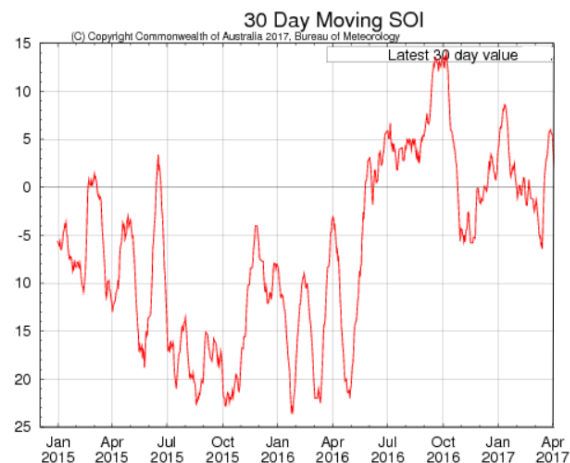


Figura 3.1.1.4 Evolución del Índice de Oscilación Sur (IOS), considerando la media móvil de 30 días. Fuente: Bureau of Meteorology, Australia.

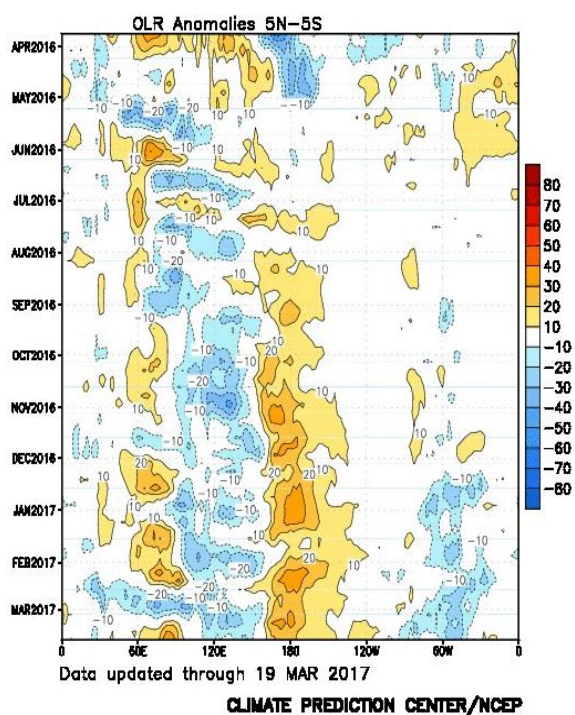
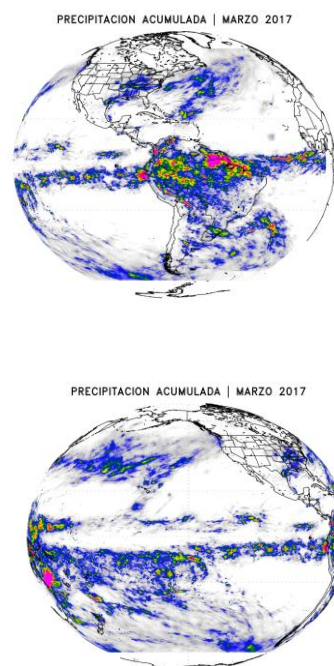


Figura 3.1.1.5. Hovmöller de anomalías de a) Radiación de Onda Larga - OLR (W/m^2) desde el mes de abril de 2106 hasta marzo de 2017. Datos: NCEP b) Precipitaciones en el mes de marzo de 2017. Datos: TRMM. Procesamiento: IGP/SENAMHI.

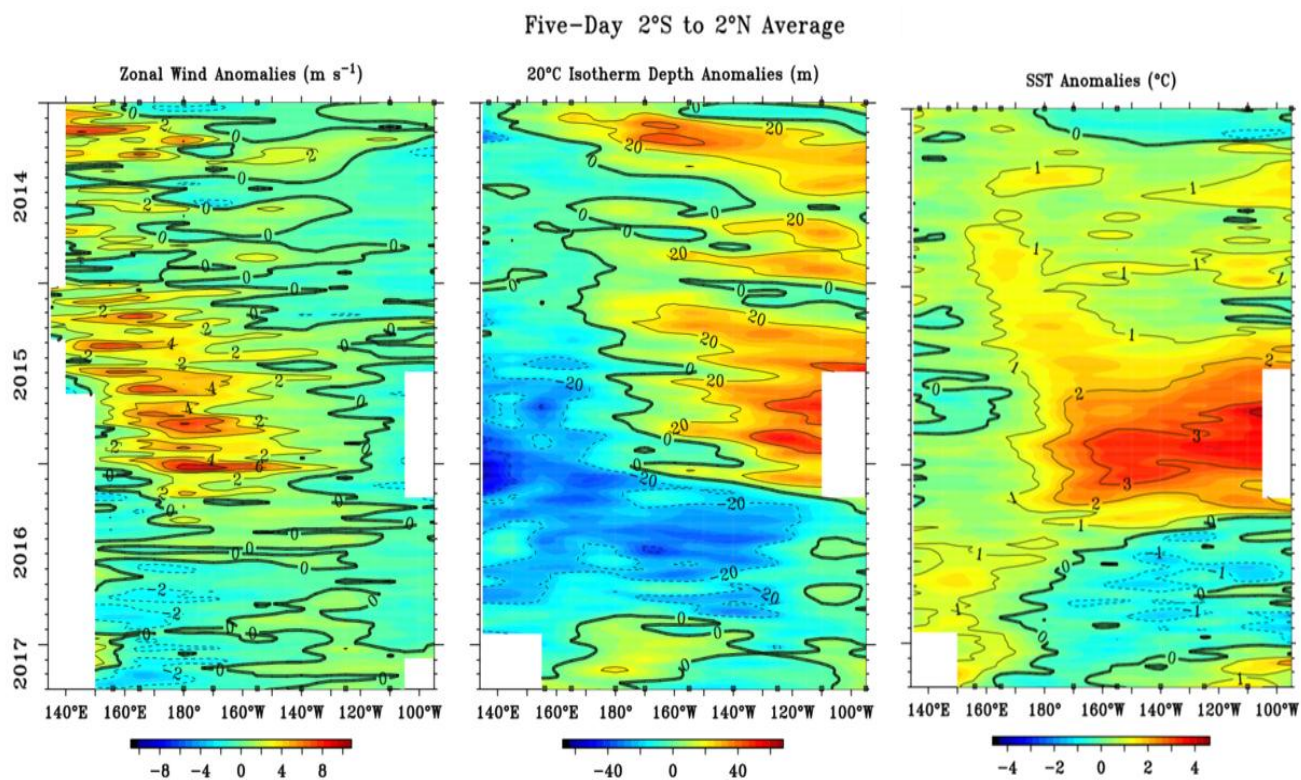


Figura 3.1.1.6. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías del viento a) zonal ecuatorial, b) la profundidad de la isoterma de 20°C y c) la anomalías de la TSM (entre 2°N-2°S) basado en datos de TAO/TRITON, actualizados al 31 de marzo del 2017.

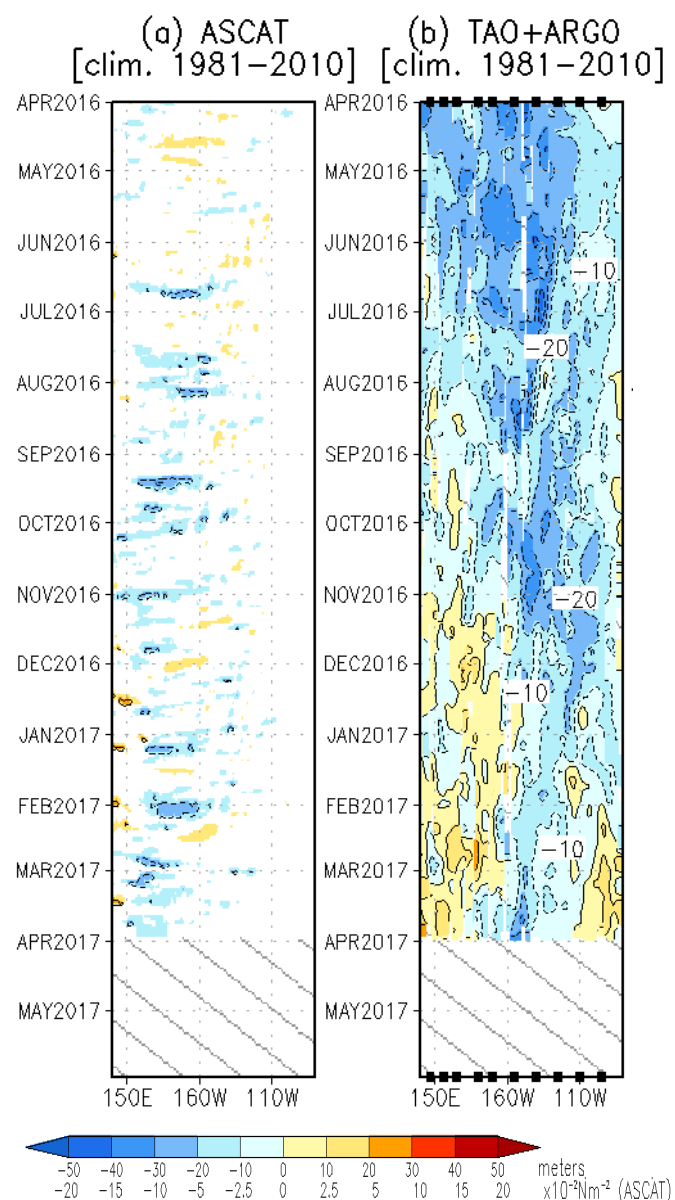


Figura 3.1.1.7. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a) y anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C con datos de los derivadores de Argo (b). Las líneas diagonales plomas representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.7 m/s para la Onda de nivel del mar. Datos: ASCAT, Argo, JASON-2. Procesamiento: IGP.

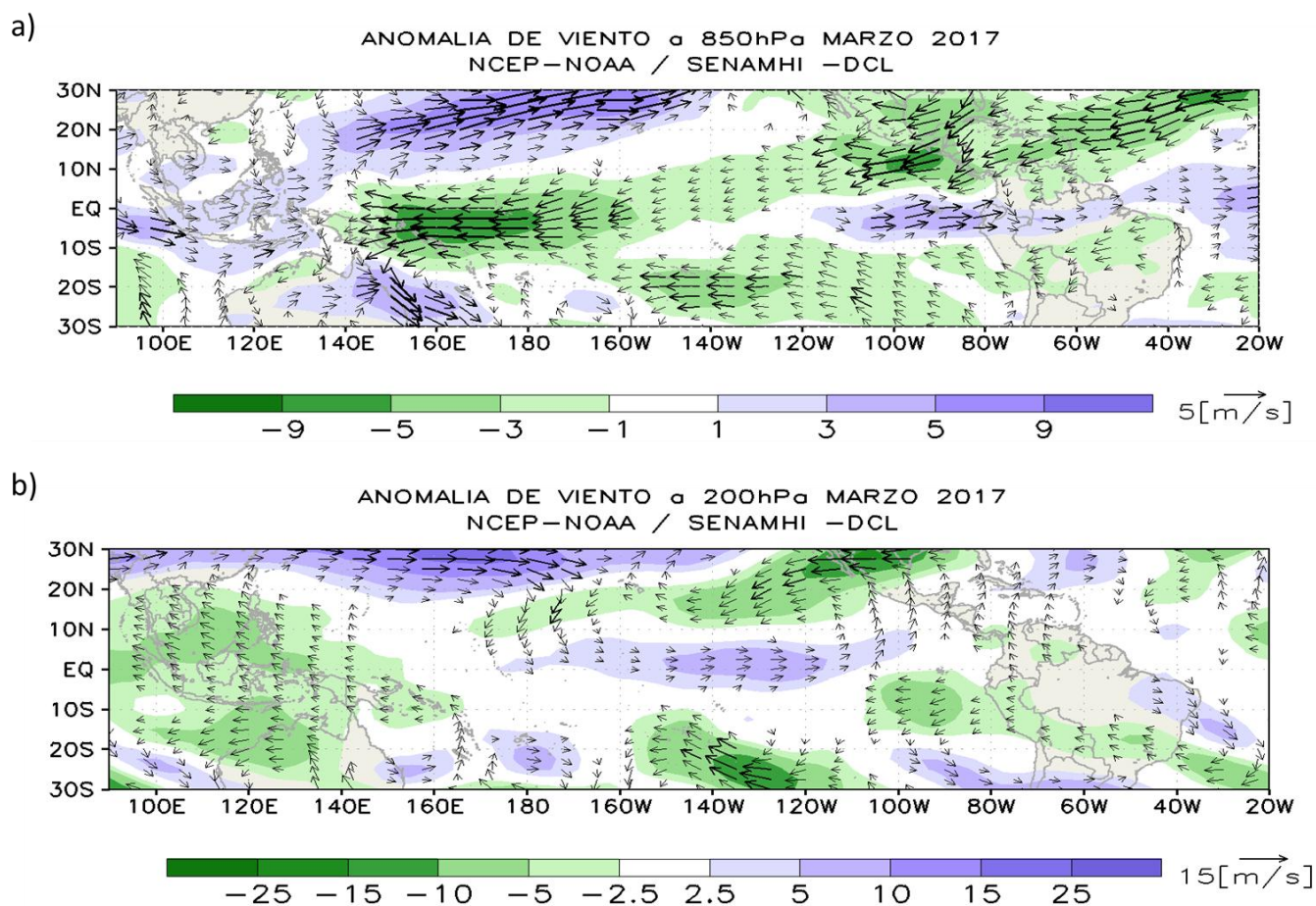


Figura 3.1.1.8. Análisis de anomalías del viento (m/s) en a) 850 hPa y b) 200 hPa para el mes de marzo del 2017. Datos: NCEP/NOAA. Procesamiento: SENAMHI-DCL.

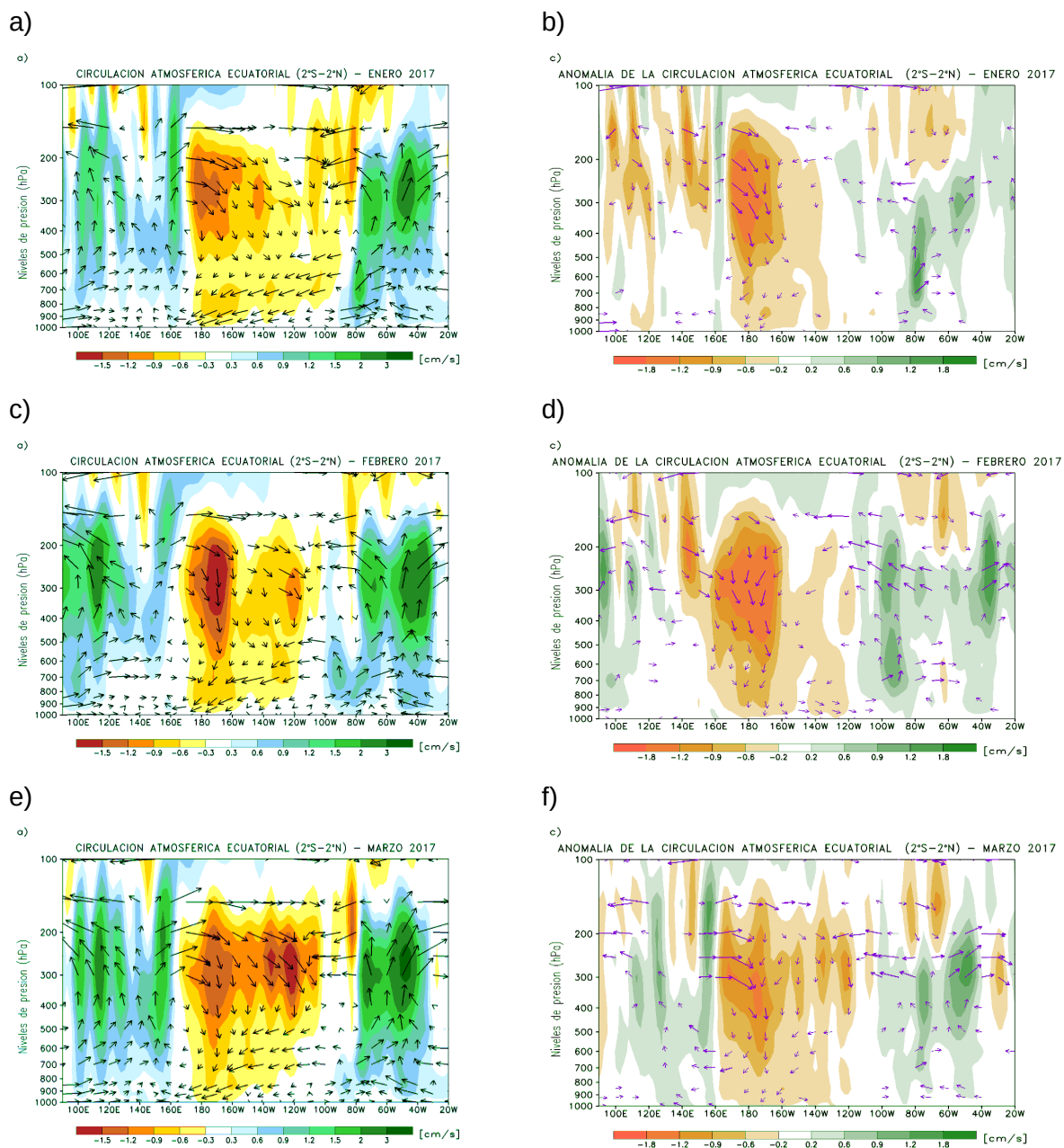


Figura 3.1.1.9. Circulación atmosférica ecuatorial promedio mensual (derecha) y su anomalía (izquierda) para el mes de enero (a y b); febrero (c y d); y marzo (e y f) del 2017, respectivamente. Fuente: SENAMHI con datos de la NCEP-NOAA.

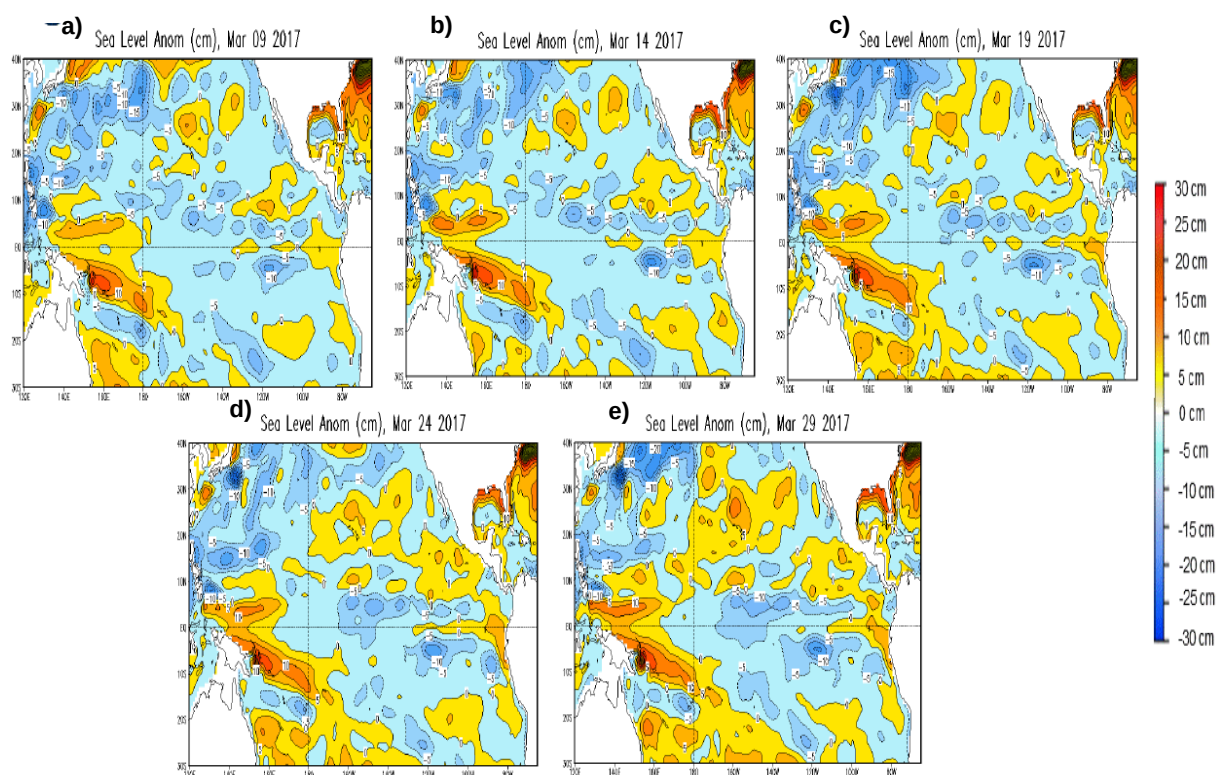


Figura 3.1.2.1. Anomalías del Nivel Medio del Mar, actualizados a febrero del 2017, a) 09 de marzo, b) 14 de marzo, c) 19 de marzo, d) 24 de marzo y e) 29 de marzo; Fuente CPC/NCEP/NOAA – DHN.

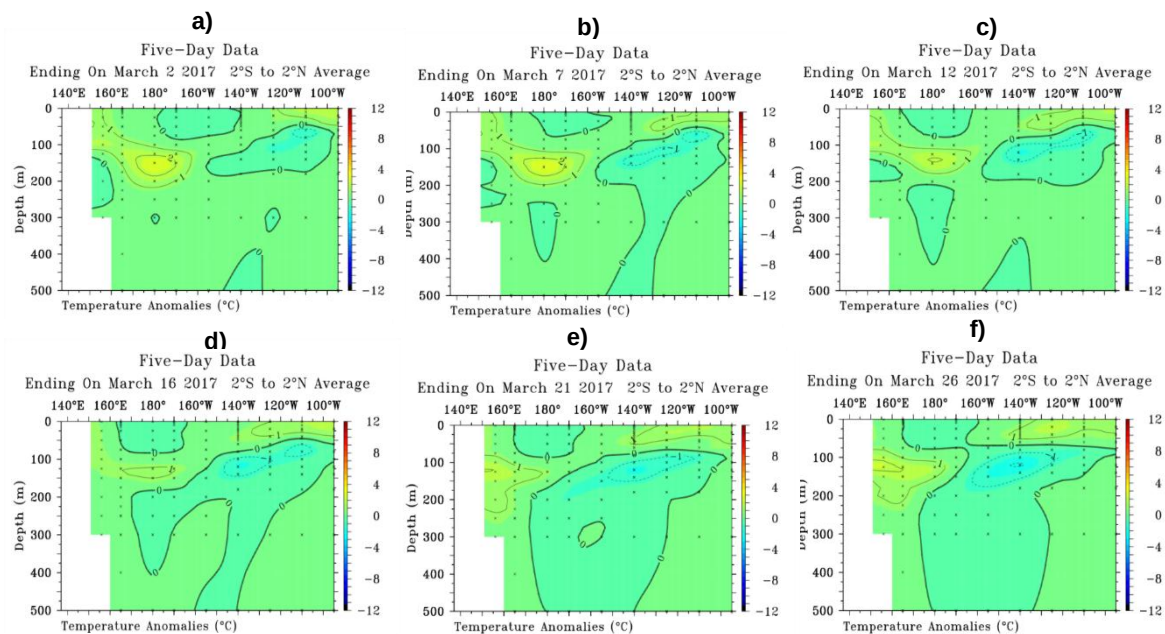


Figura 3.1.2.2. Anomalías de la temperatura sub-superficial del mar (°C) en el océano Pacífico ecuatorial entre los 2°N y 2°S promediadas cada cinco días, finalizando los días: a) 2 de marzo, b) 7 de marzo, c) 12 de marzo, d) 16 de marzo, d) 21 de marzo y e) 26 de marzo de 2017. Fuente: TAO/TRITON, PMEL/NOAA.

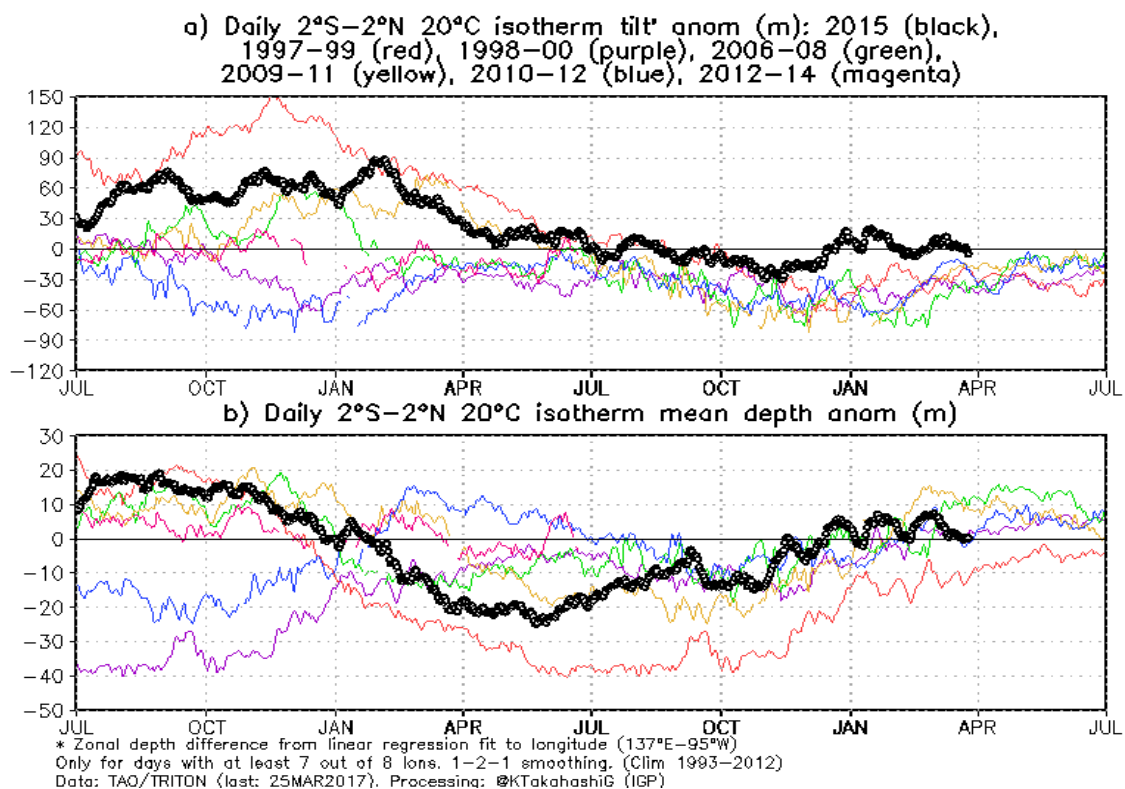
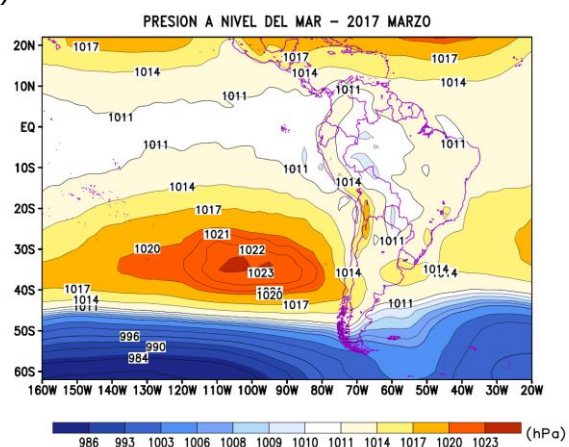


Figura 3.1.2.3. a) Inclinação de la termoclina, diferencia de la profundidad zonal del ajuste de la regresión lineal para la longitud (137°E – 95°W). Climatología 1993-2012 (punteado). b) Contenido de calor en la región ecuatorial entre 2°N y 2°S). Data: TAO/TRITON. Procesamiento: IGP.

a)



b)

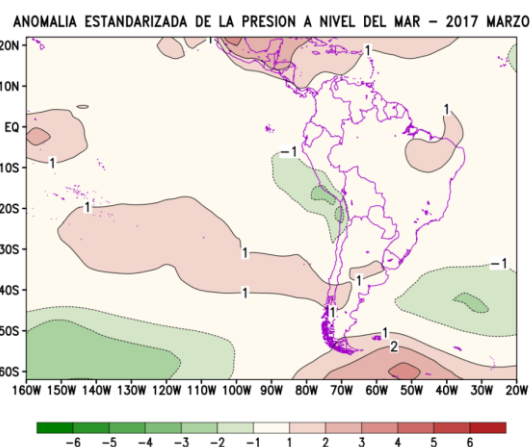


Figura 3.2.1.1 Presión atmosférica (hPa) a nivel medio del mar para marzo del 2017. a) Promedio de la Presión atmosférica (hPa) a nivel del mar, b) Anomalía de la Presión atmosférica (hPa) a nivel del mar. Datos: NCEP/NOAA. Procesamiento: SENAMHI.

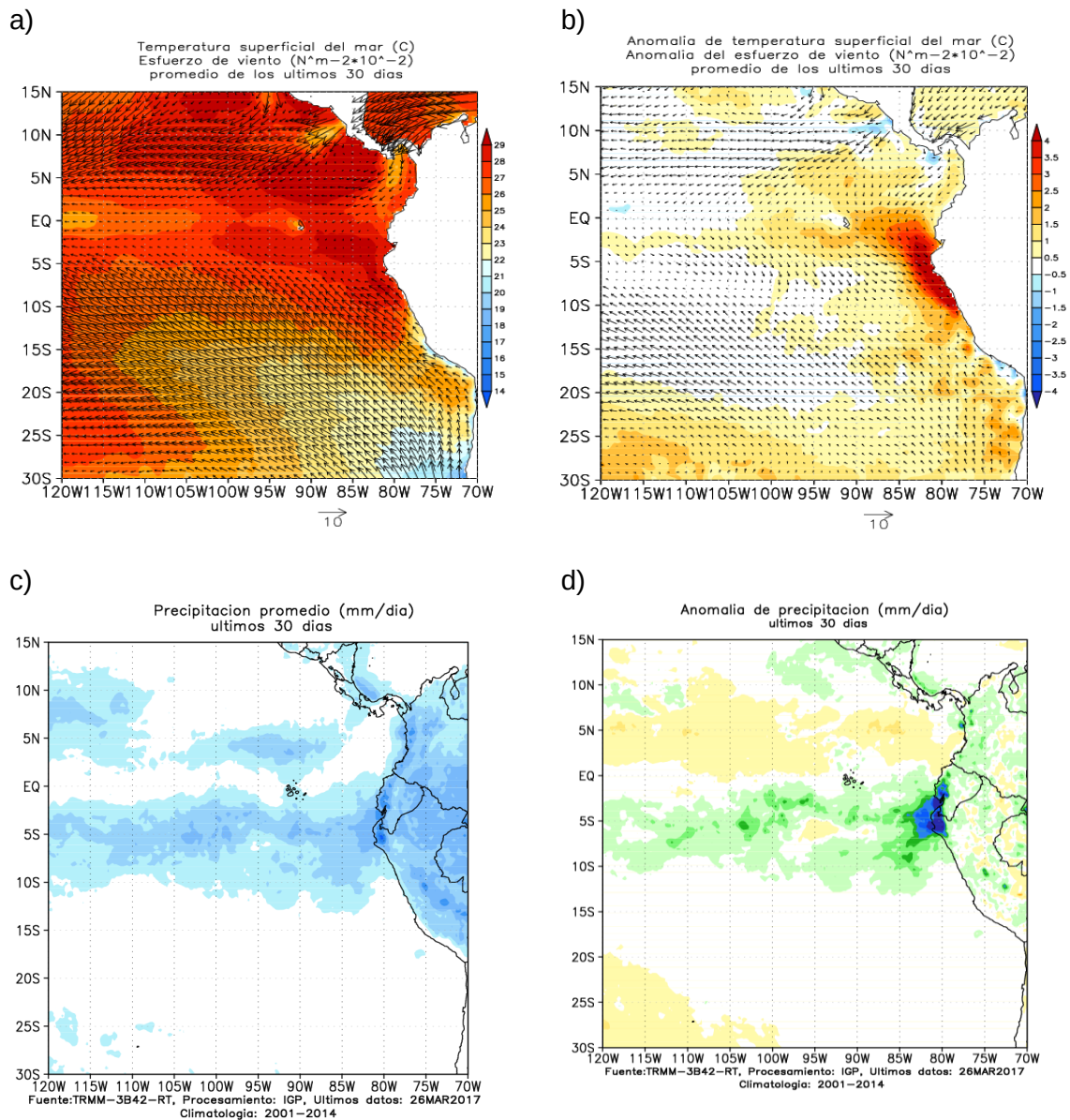


Figura 3.2.1.2. Condiciones promedio de precipitación, temperatura superficial del mar (TSM) y esfuerzo de viento, correspondientes a marzo, (a) valores absolutos de TSM asociados al esfuerzo de vientos, (b) anomalías de TSM, asociados al esfuerzo de vientos, (c) valores absolutos de precipitación, (d) anomalía de precipitación. Fuente TRMM, AVHRR-NCDC-NOAA, ASCAT-IFREMER. Procesamiento: IGP.

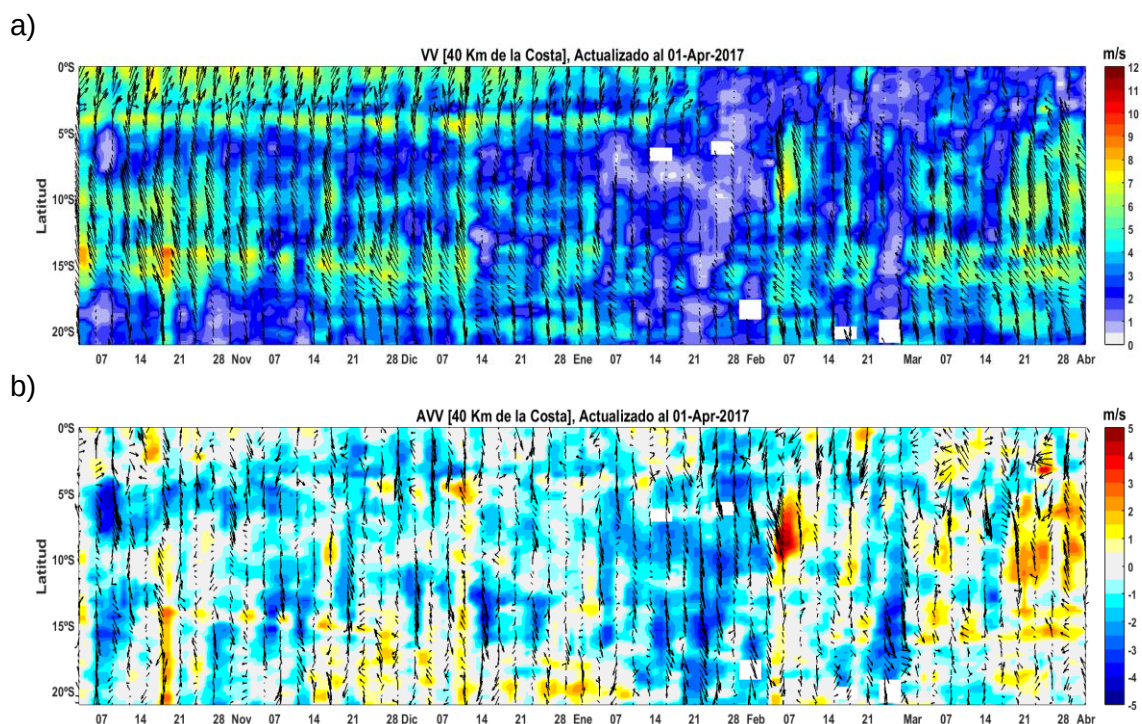
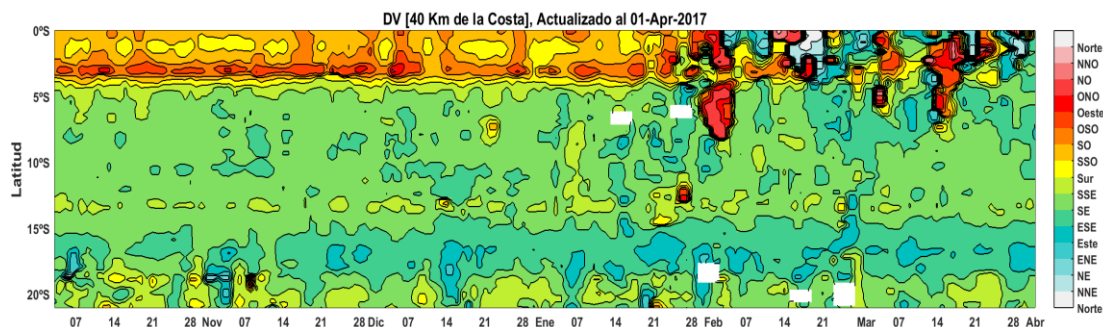


Figura 3.2.1.3. a) Velocidad del viento (m/s) y b) Anomalía del viento (m/s), desde los 0° hasta 20°S en el periodo de octubre del 2016 al 1 de abril del 2017. Los vectores representan la dirección del viento y anomalía de la dirección del viento, respectivamente. Datos: ASCAT. Procesamiento: IMARPE.

a)



b)

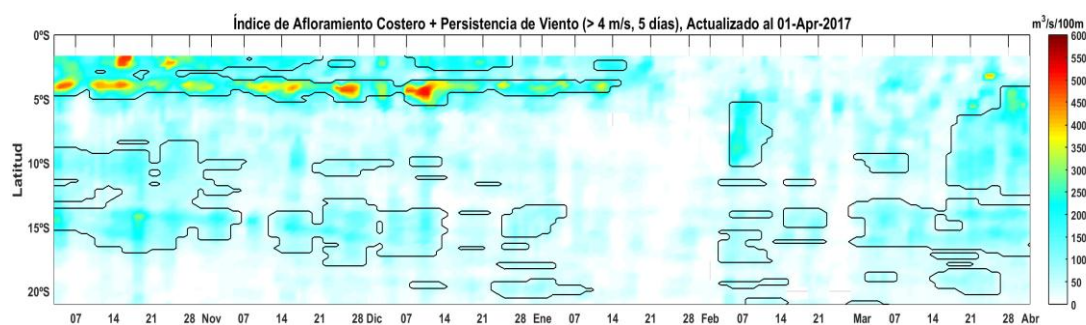


Figura 3.2.1.4. a) Dirección del Viento; b) Índice de Afloramiento Costero (a partir del viento diario satelital a 40 Km frente a la costa del Perú). Las líneas encierran los períodos en los cuales persistió viento con componente sur ($vv > 4$ m/s) al menos 05 días consecutivos. Datos: ASCAT, Procesamiento: IMARPE

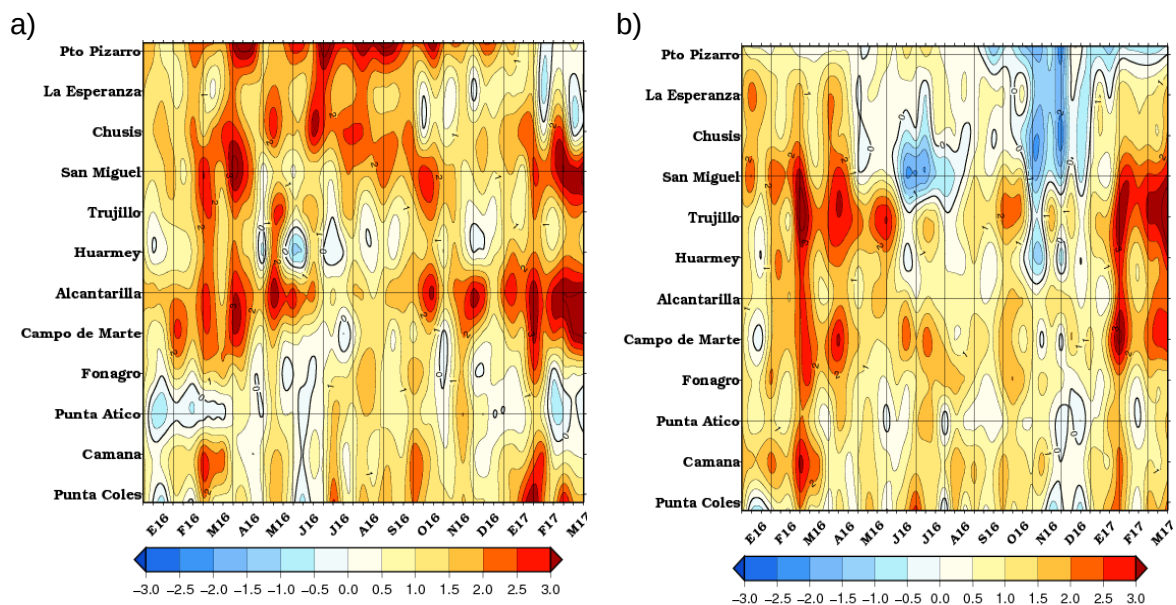
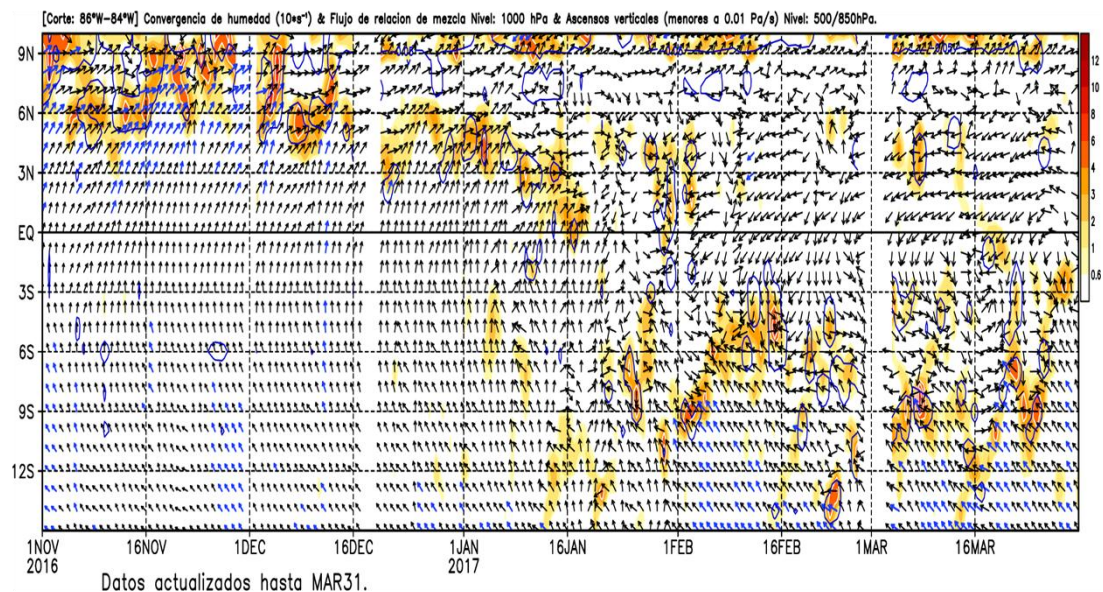


Figura 3.2.2.1. Anomalías de las temperaturas extremas del aire (°C) en la costa peruana desde enero 2016 a marzo del 2017. a) Temperatura máxima y b) Temperatura mínima. Fuente: SENAMHI.

a)



b)

Lluvia (costa hasta 1000m) – Temperatura Superficial del mar hasta 330Km de la costa

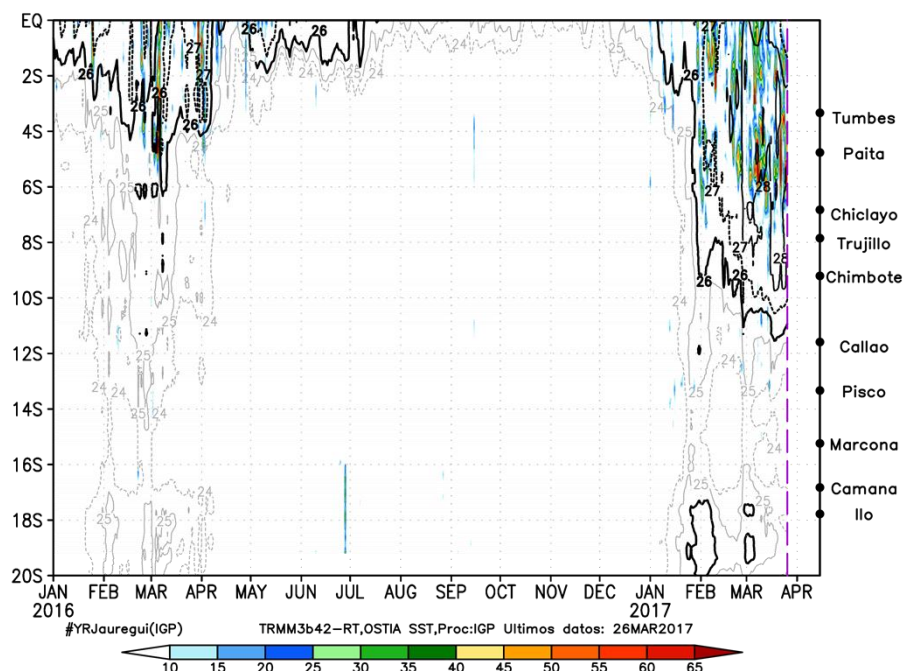


Figura 3.2.3.1. Variaciones de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), precipitación y temperatura superficial del mar (TSM), en el pacífico ecuatorial cerca a Sudamérica. a) Evolución de la ZCIT entre los 84 a 86°W, evidenciada a partir de la convergencia de humedad relativa. Fuente SENAMHI, b) Hovmoller de isotermas de 26°C y 27°C (líneas negras) entre costa y los 330 km, asociados a la precipitación (gradientes de color). Fuente TRMM / IGP.

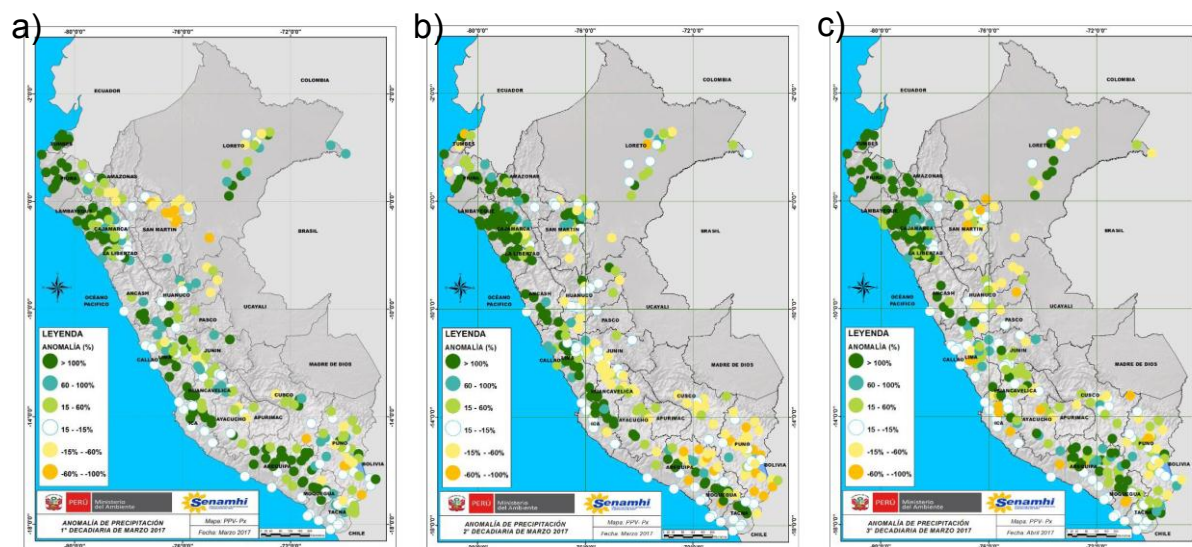


Figura 3.2.3.2. Mapa de anomalías de precipitación acumulada (%), durante la a) primera, b) segunda y c) tercera decadiaria de marzo del 2017, registradas en las estaciones meteorológicas del SENAMHI.

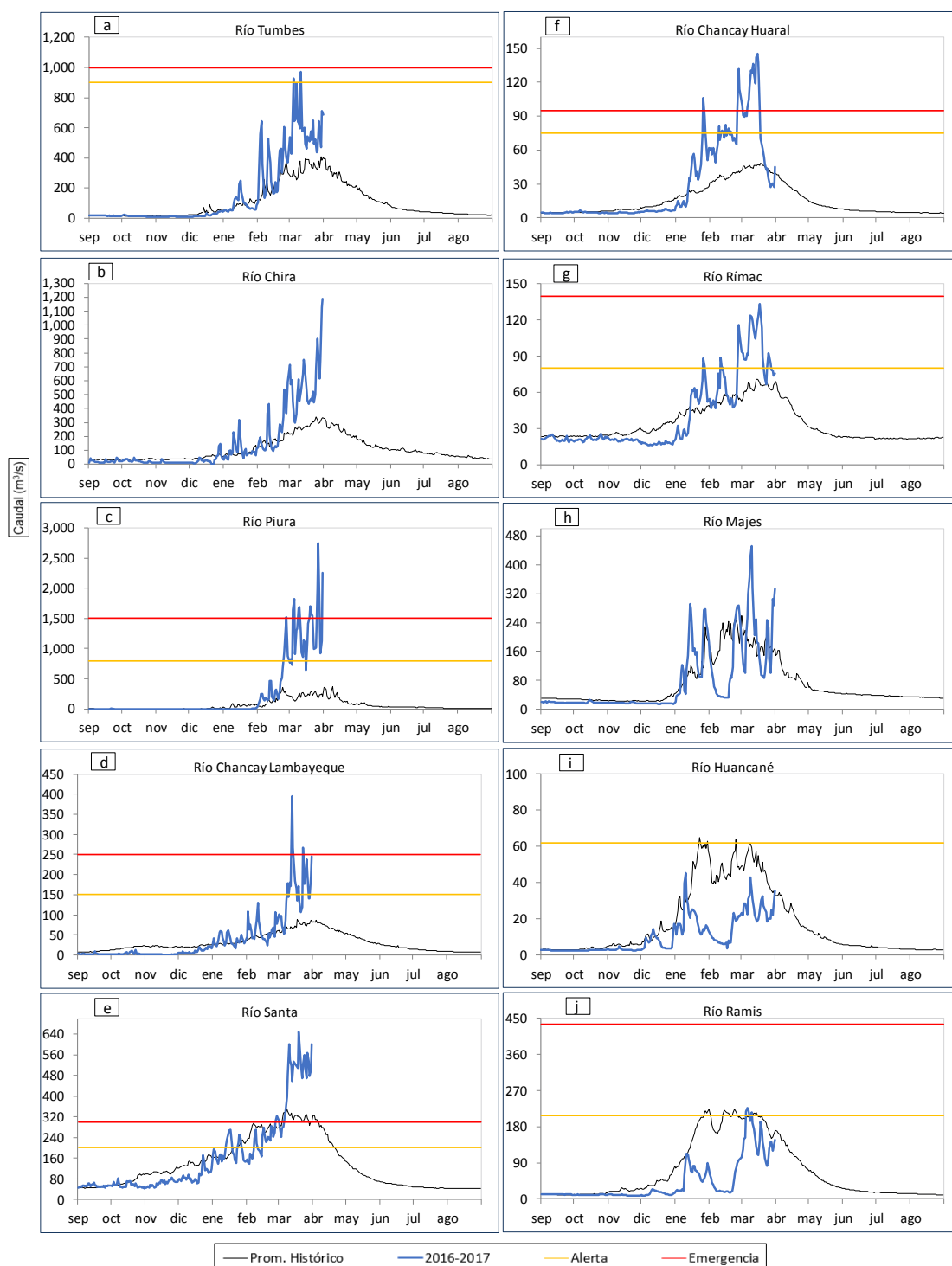


Figura 3.2.3.3. Series de tiempo actualizados a fines de febrero, de los caudales diarios (m^3/s) de los principales ríos del Perú, entre los meses de setiembre a agosto: a) Tumbes, b) Chira, c) Piura, d) Chancay Lambayeque, e) Santa, f) Chancay Huaral, g) Rímac, h) Majes, de la vertiente del pacífico; i) Huancané y j) Ramis, de la cuenca del Titicaca. Líneas azules: caudales de años 2016-2017, negras: Promedio histórico, amarillas: nivel de alerta, y rojas: nivel de emergencia. Fuente: ANA.

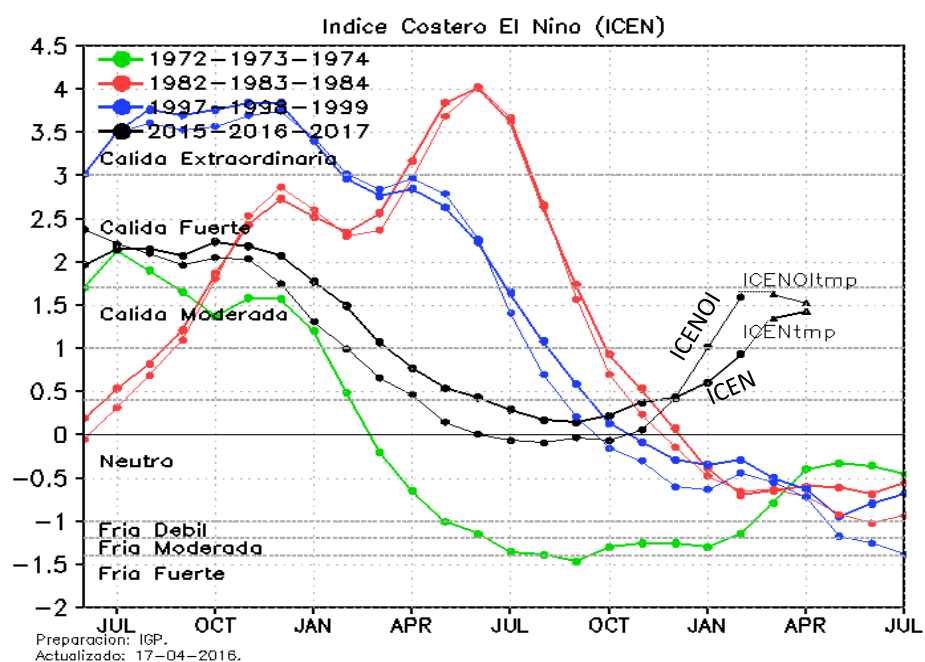


Figura 3.2.4.1. Índice Costero El Niño para los años 1972-1974 (verde), 1982-1984 (rojo), 1997-1999 (azul) y 2016-2017 (negro). Las líneas delgadas representan el ICEN con datos de OISST. Fuente IGP.

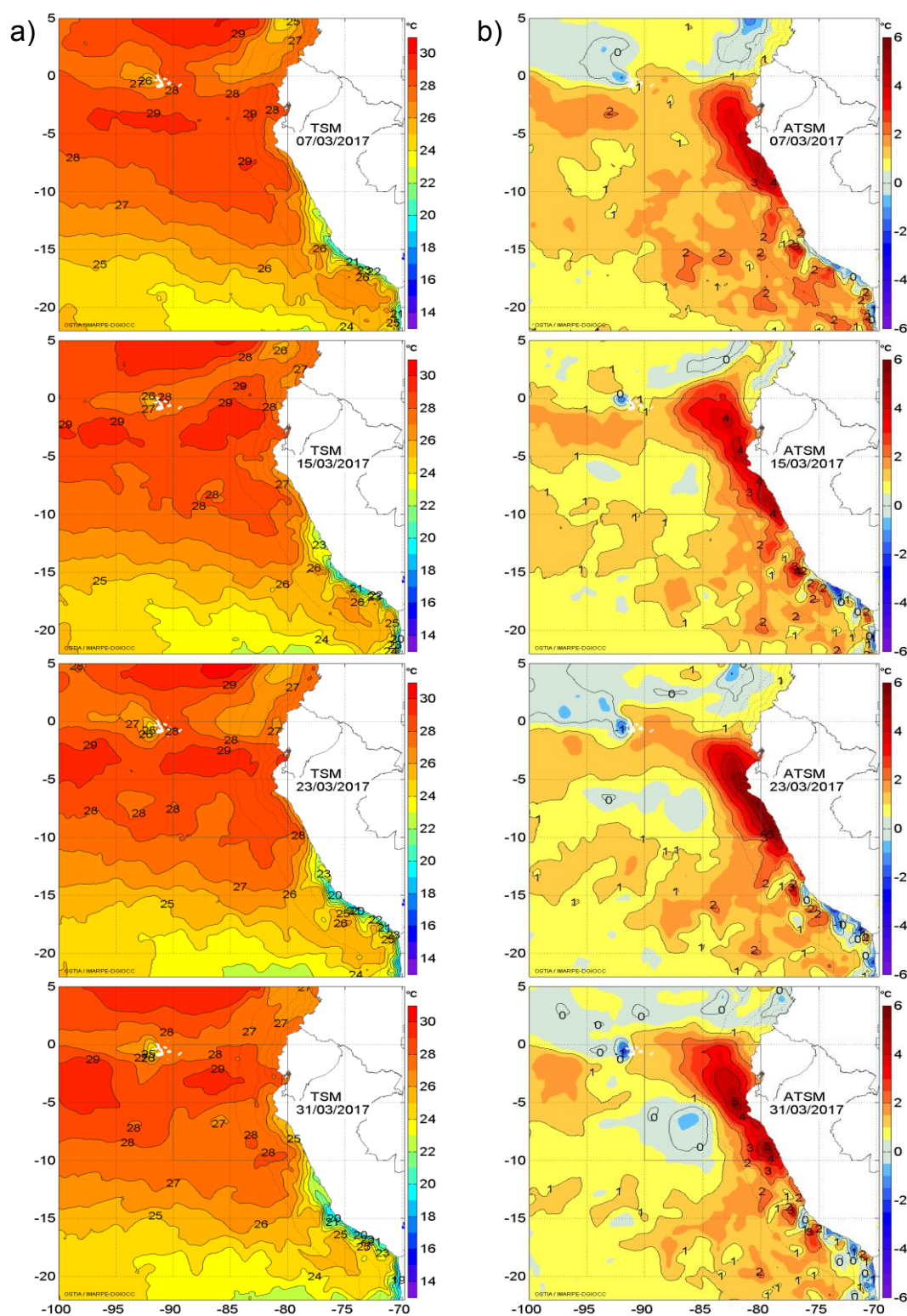


Figura 3.2.4.2. Condiciones térmicas del océano frente a Perú, a) Temperatura Superficial del Mar (TSM) y b) Anomalías de la TSM (°C), durante los días 07, 15, 23 y 31 de marzo del 2017. El cuadrante indica el límite de la región Niño 1+2. Fuente: OSTIA. Procesamiento IMARPE-DGIOCC (climatología 2007 – 2016).

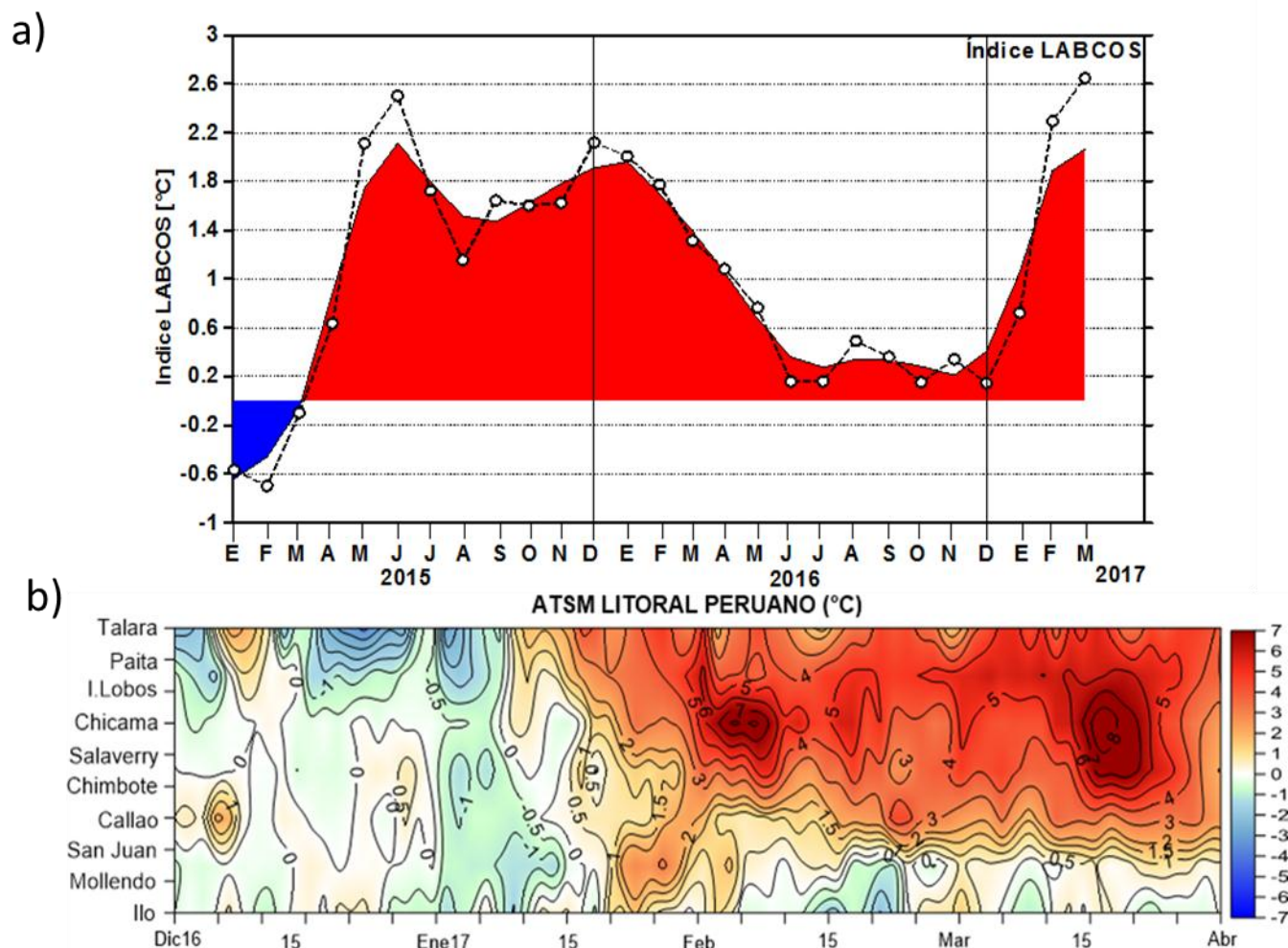


Figura 3.2.4.3. a) Variación del índice LABCOS y su valor mensual (línea punteada con símbolos), basado en las anomalías de la TSM registradas en estaciones del litoral ubicadas de Paita a Ilo (Quispe & Vásquez, 2015); b) Diagrama Hovmöller de la anomalía de la TSM a lo largo del litoral durante el último trimestre, en estaciones de la DHN e IMARPE (Chicama).

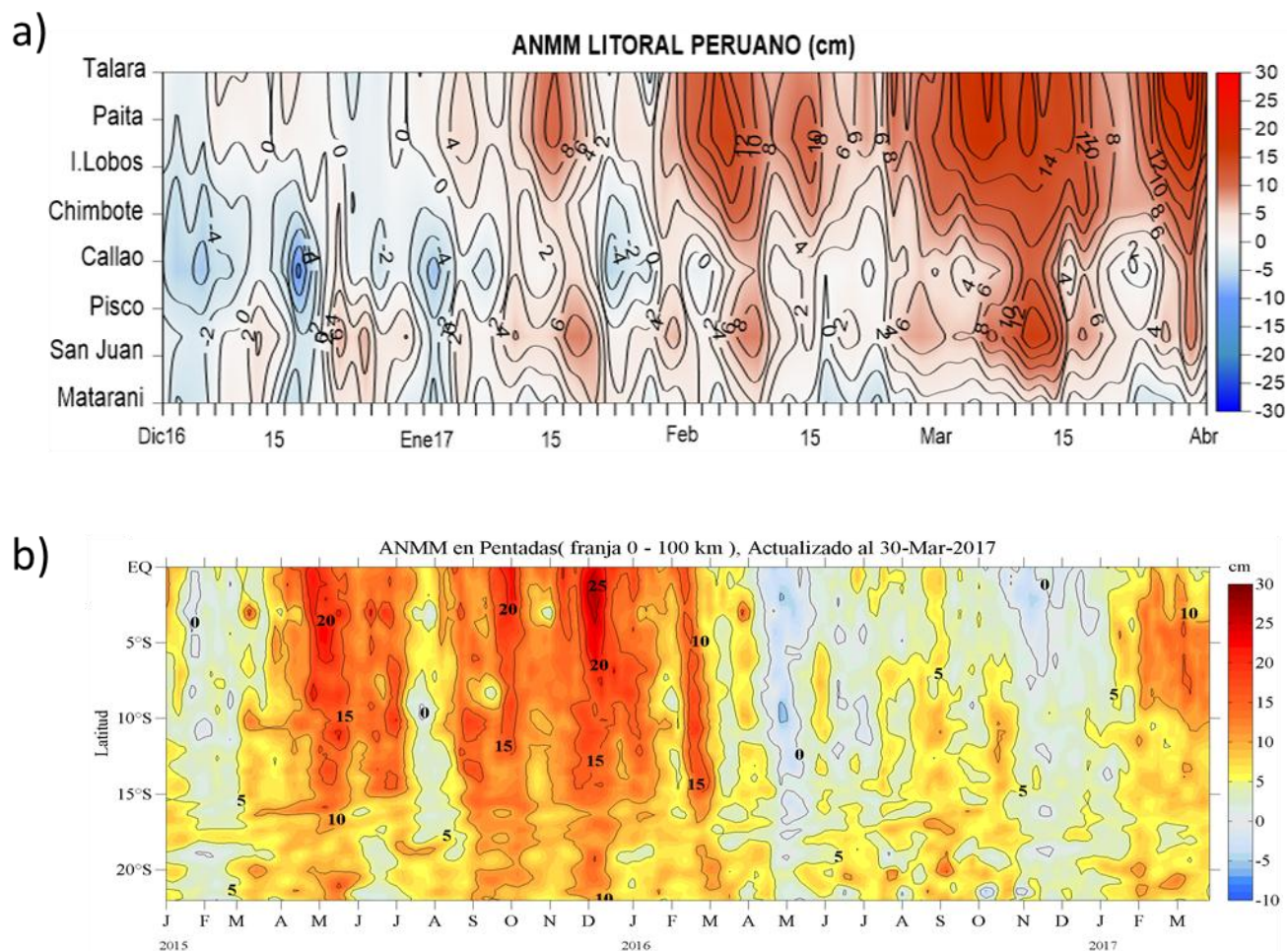


Figura 3.2.4.4. Anomalías del Nivel Medio del Mar, actualizados a marzo del 2017, a) Hovmöller durante el último bimestre en estaciones costeras de la DHN, b) Hovmöller en la franja costera de 0-100 km, entre 2015-2017; Fuente AVISO – IMARPE.

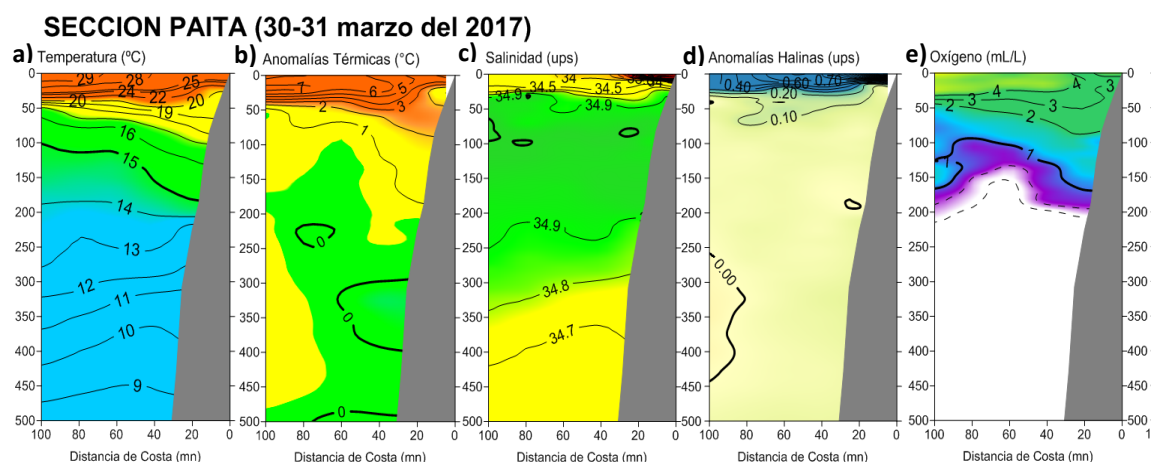


Figura 3.2.5.2 Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups) y d) anomalía de salinidad (ups) frente a Paita, realizada durante el 30 y 31 de marzo de 2017. Fuente: IMARPE.

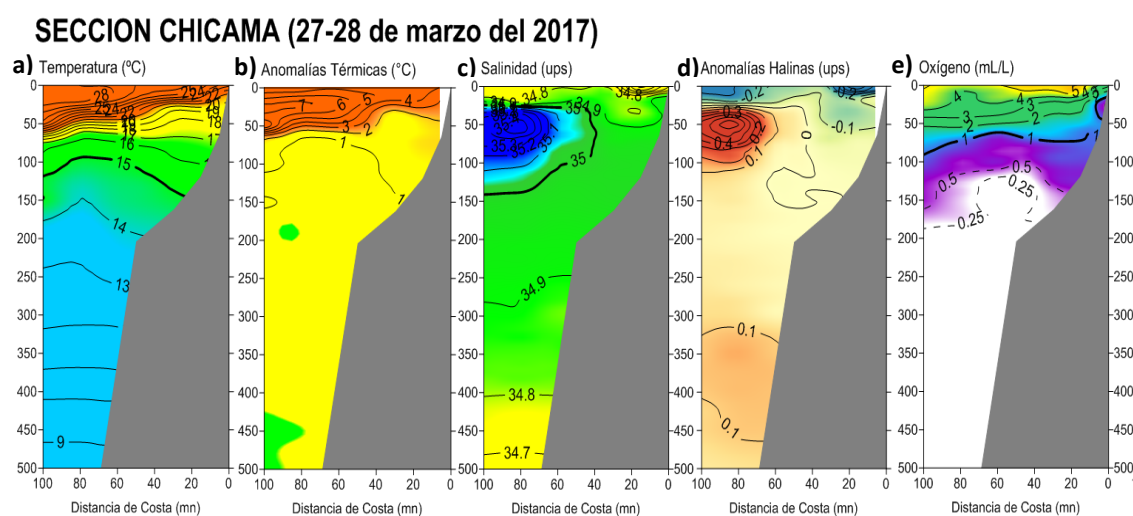


Figura 3.2.5.2 Distribución vertical de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (ups) y d) anomalía de salinidad (ups) frente a Chicama, realizada durante el 27 y 28 de marzo de 2017. Fuente: IMARPE.

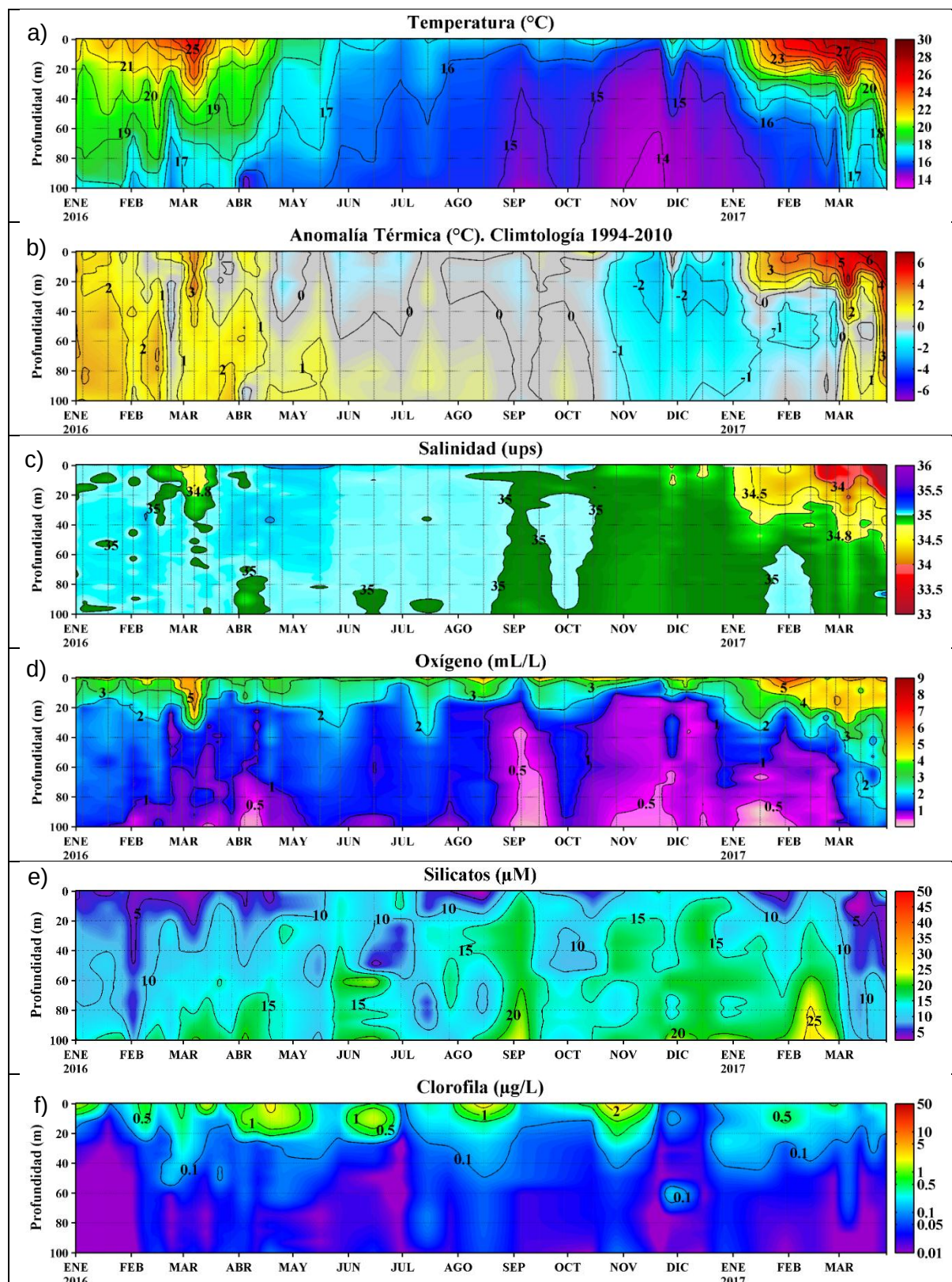


Figura 3.2.5.3 Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Paita (punto fijo Paita) de: a) temperatura (°C), b) anomalía de la temperatura (°C), c) Salinidad (ups), c) Oxígeno (mL/L), d) Silicatos (μM) y e) Clorofila (μg/L), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 27 de marzo de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: IMARPE.

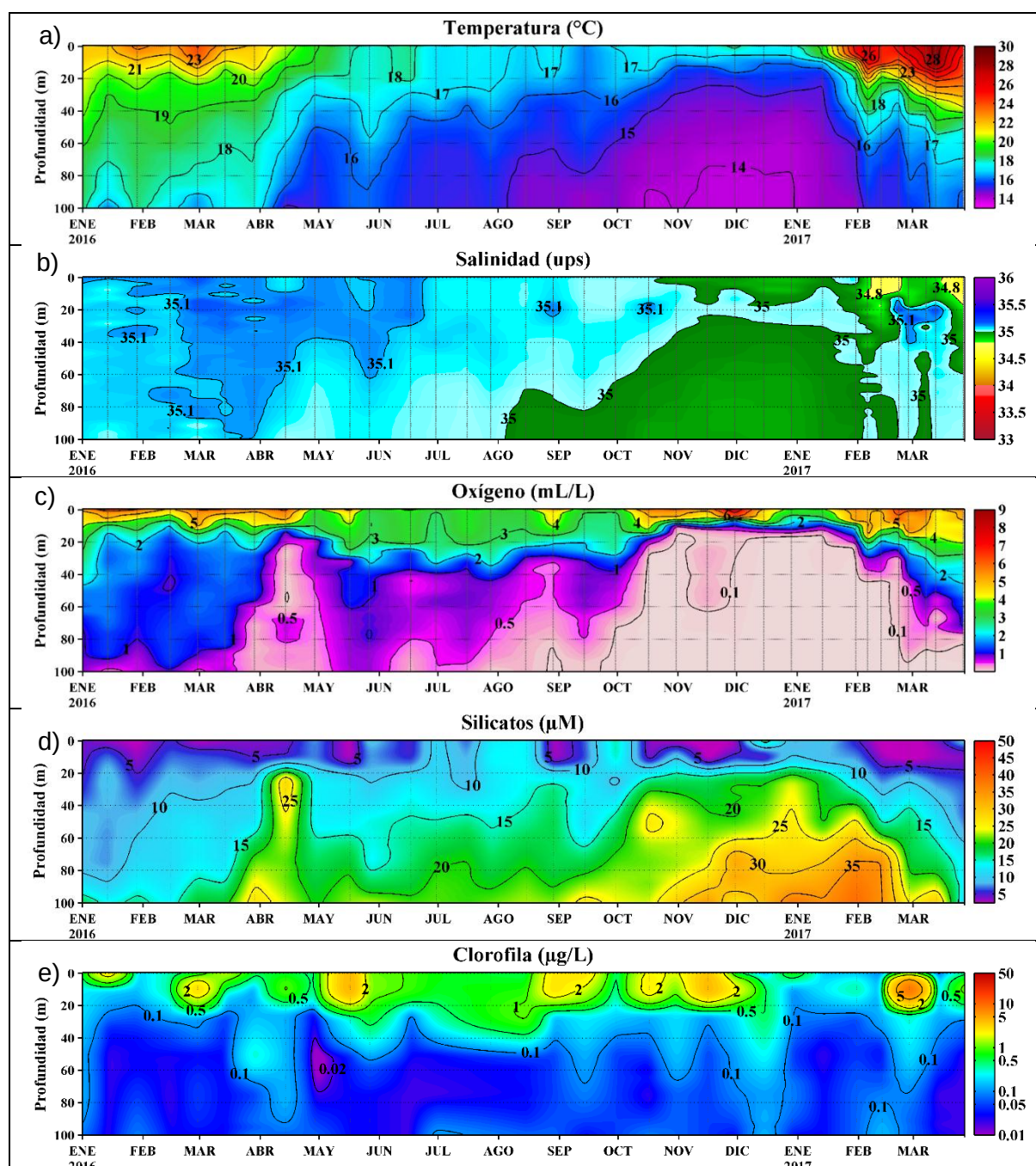


Figura 3.2.5.4. Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Chicama (punto fijo Chicama) de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad (ups) y c) Oxígeno (mL/L), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 27 de marzo de 2017. Fuente: IMARPE.

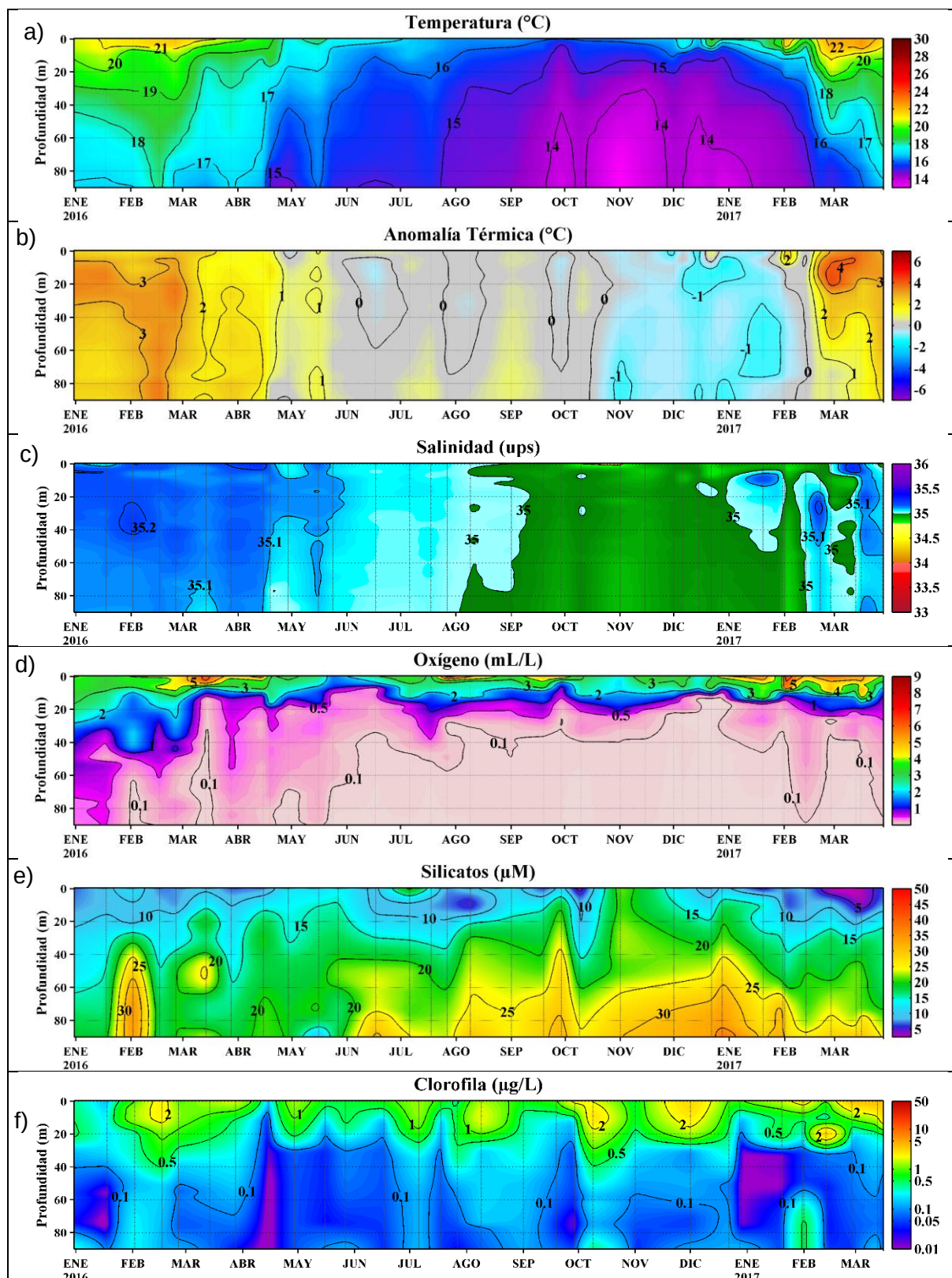


Figura 3.2.5.5. Series de tiempo para la estación oceanográfica fija frente a Callao (punto fijo Callao) de: a) temperatura (°C), b) anomalía de la temperatura (°C), c) Salinidad (ups), d) oxígeno (mL/L), e) Silicatos (μM) y f) Clorofila (μg/L), para el periodo del 01 de enero de 2016 al 28 de marzo de 2017. Climatología: 1994-2010. Fuente: IMARPE.

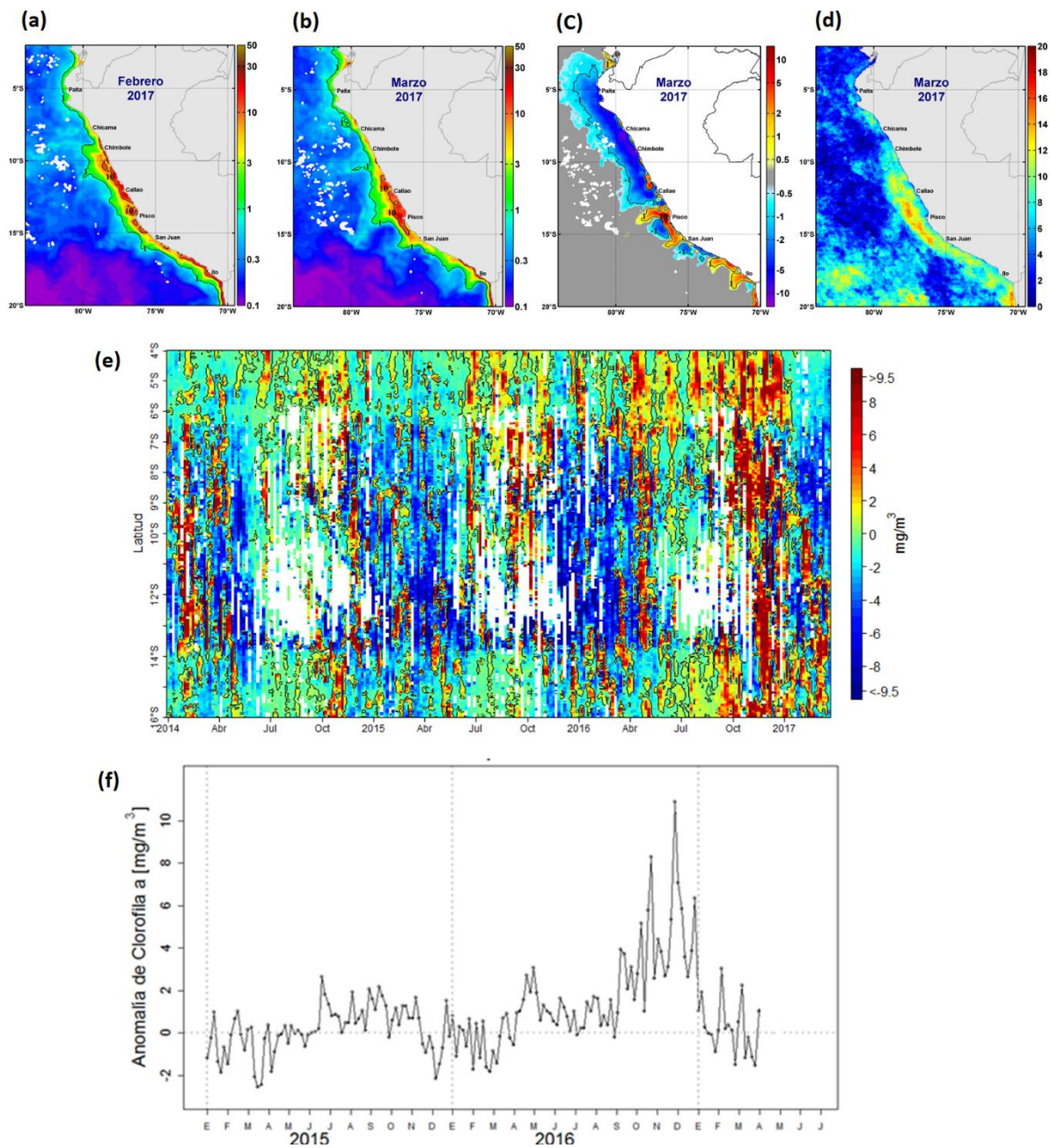
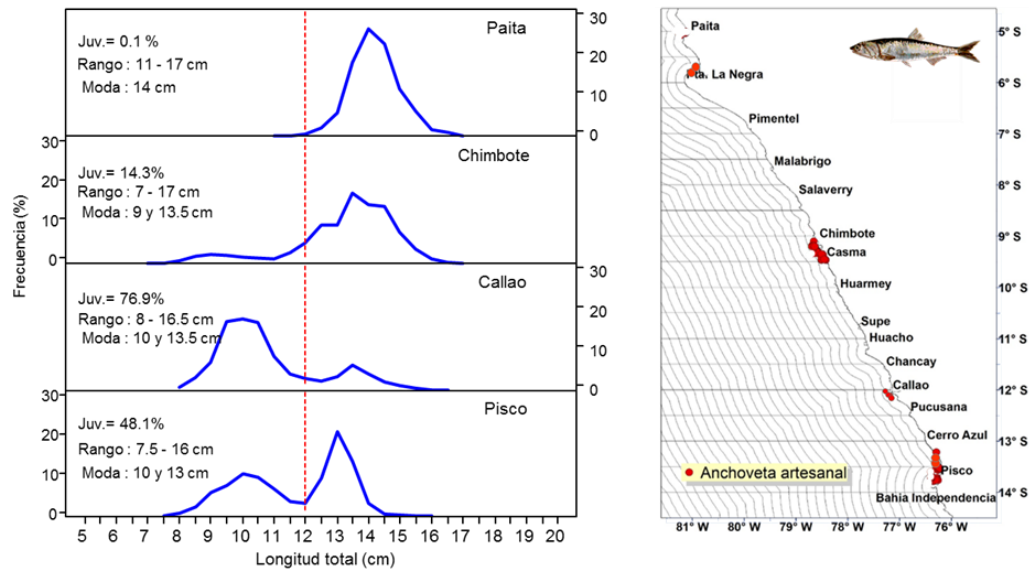


Figura 3.2.6.2.1. Clorofila satelital promedio para el mes de (a) febrero y (b) marzo del satélite MODIS frente a Perú. (c) Mapa de anomalía promedio mensual de clorofila-a satelital y (d) número de datos por pixel proveniente del satélite MODIS. Además, (e) Hovmöller latitud vs. Tiempo y (f) serie de tiempo de anomalías de clorofila superficial satelital promedio provenientes del satélite MODIS entre enero del 2014 a marzo del 2017. En (e) se tomó un promedio entre los 0-100km de la costa y en (f) entre los 4°S-16°S y 0-100km de la costa.

a) Región Norte-centro



b) Región Sur

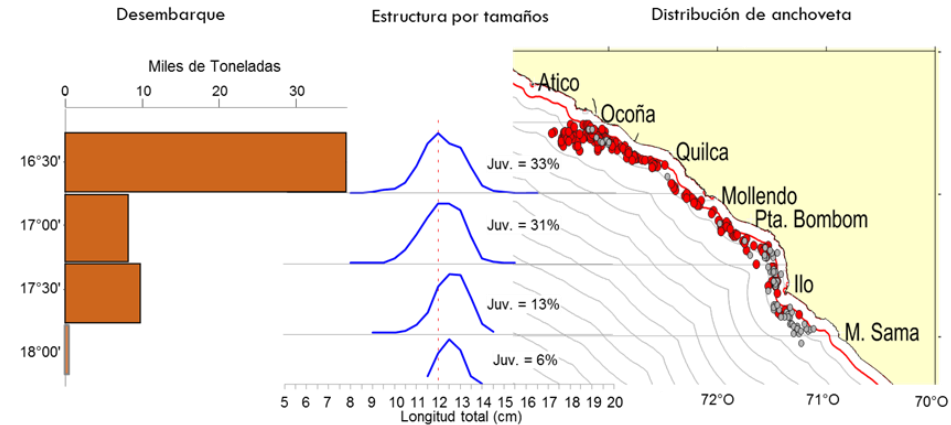


Figura 3.2.7.1. Estructura de tallas por puerto y distribución espacial de las capturas de anchoveta de la flota artesanal en la región norte-centro (a). Además, el desembarque y a estructura de tallas por puerto y la distribución espacial de las capturas de las capturas de anchoveta de la flota industrial en la región sur (b) durante marzo 2017. **Fuente:** LBR/IMARPE

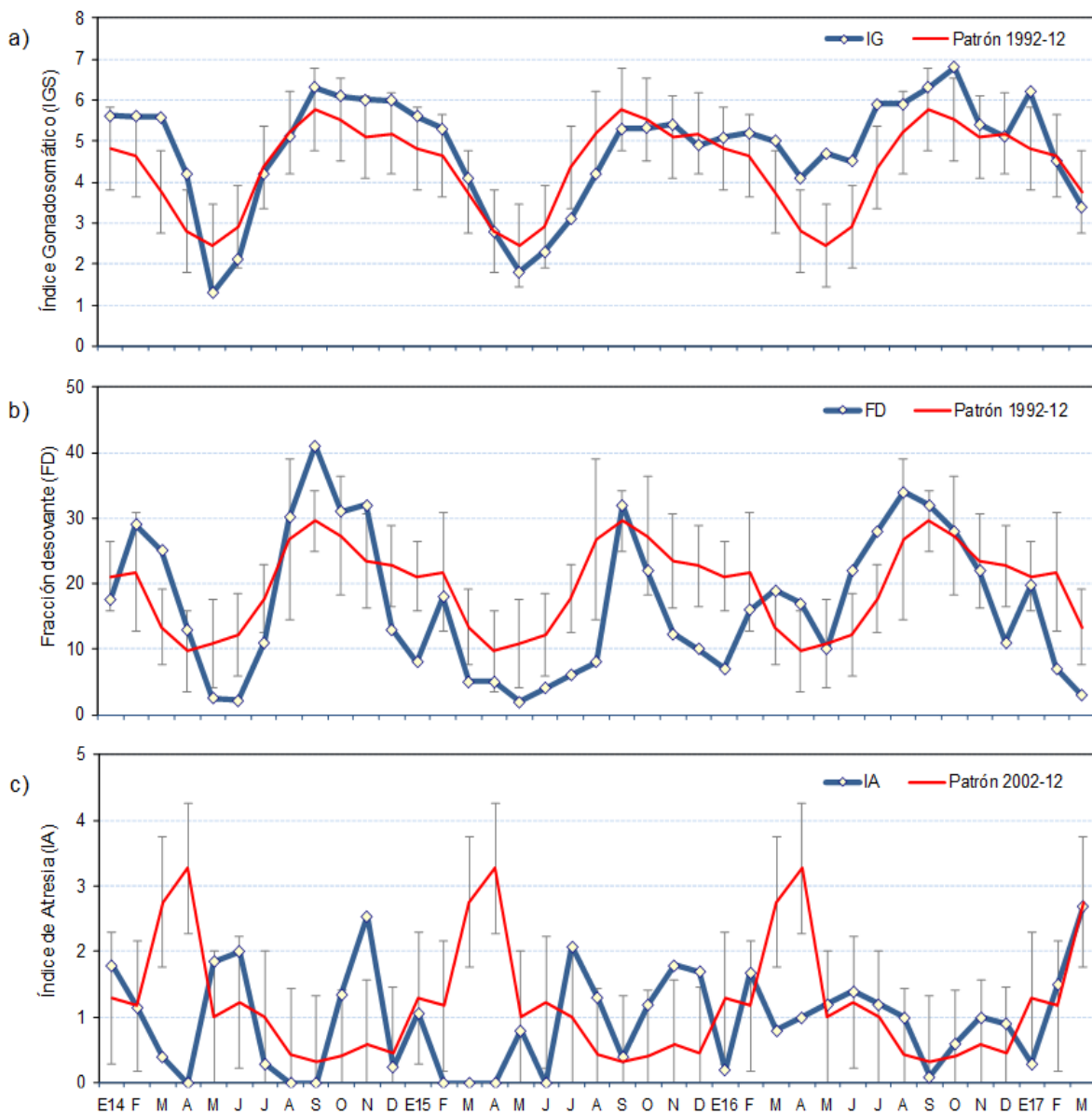


Figura 3.2.7.2. Indicadores reproductivos, a) Índice Gonadosomático (IGS), b) Fracción Desovante (FD), y c) Índice de atresia del stock norte – centro de anchoveta. Serie mensual: enero 2014 – marzo 2017. **Fuente:** LBR/IMARPE

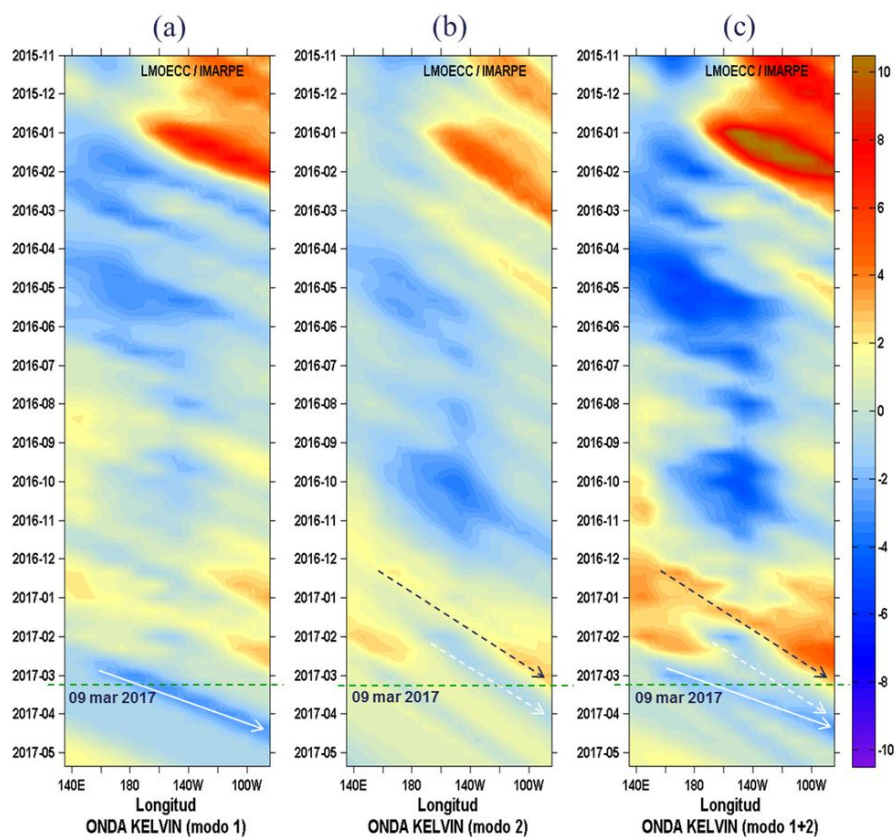


Figura 4.1.1. Diagramas Hovmöller longitud-tiempo mostrando las simulaciones de las ondas Kelvin en el Océano Pacífico ecuatorial. Modelo oceánico de complejidad intermedia: Modo 1 (a), Modo 2 (b), Modos 1+2 (c) de la isoterma de 20°C, en metros. La línea discontinua horizontal indica el inicio del pronóstico.

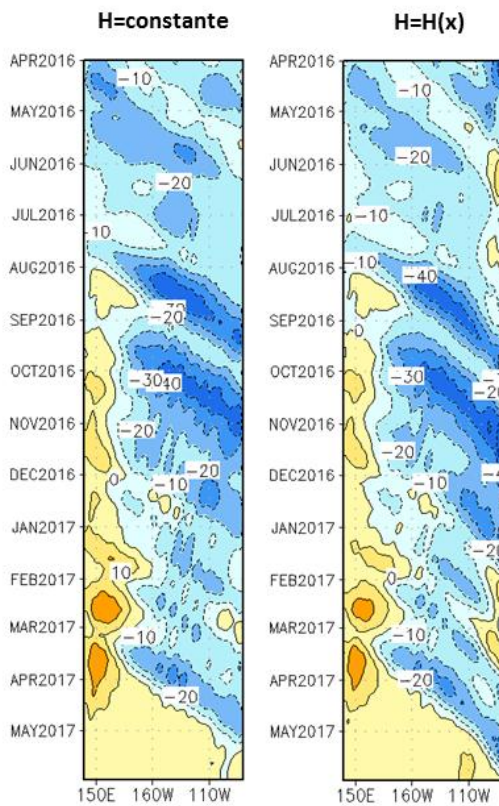
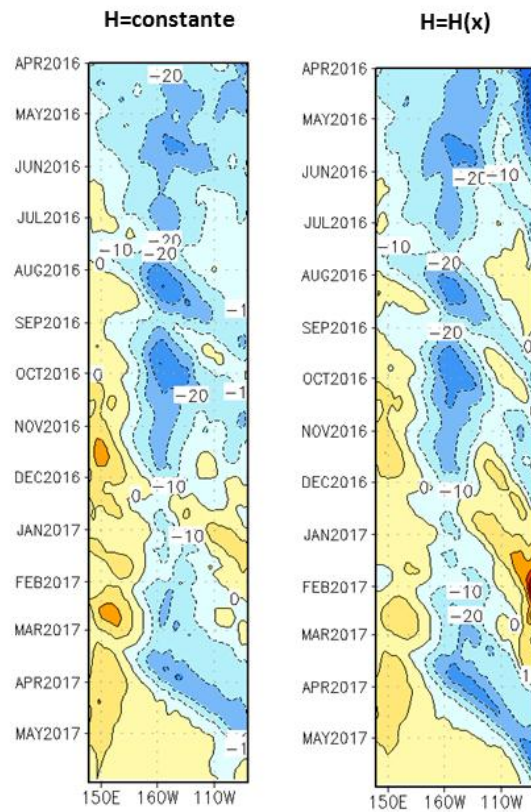
(a) ASCAT**(b) NCEP**

Figura 4.1.2. Diagrama Hovmöller longitud-tiempo mostrando las simulaciones de las ondas Kelvin en el Océano Pacífico ecuatorial. Modelo oceánico lineal (LOM-IGP, suma de componentes Kelvin y Rossby) con termoclina constante y termoclina variable utilizando como forzantes del modelo la base de datos de ASCAT (a) y NCEP (b). FUENTE: IGP.

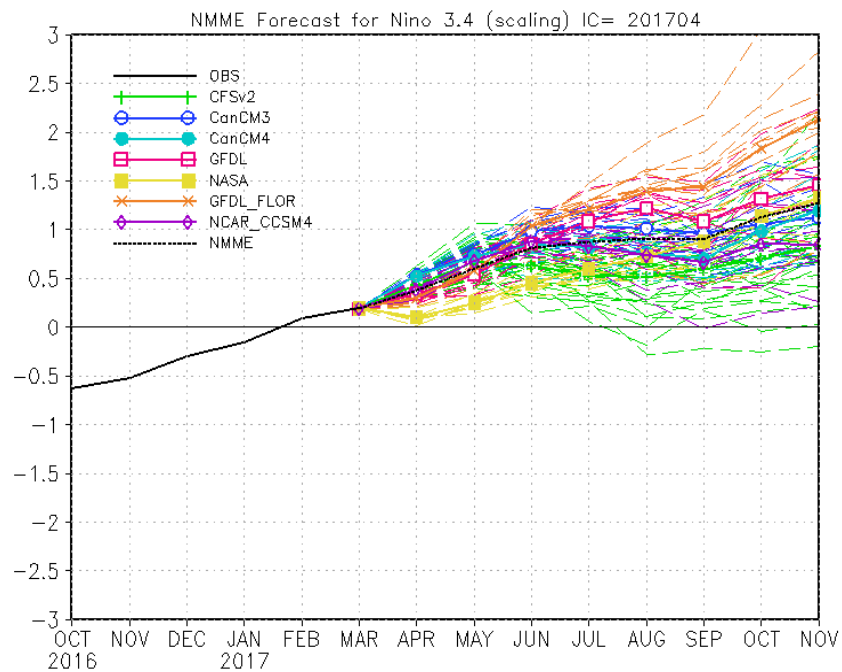


Figura 4.2.1. Índice Niño 3.4 mensual observado y pronosticado por los modelos de NMME. Fuente: CPC/NCEP/NOAA.

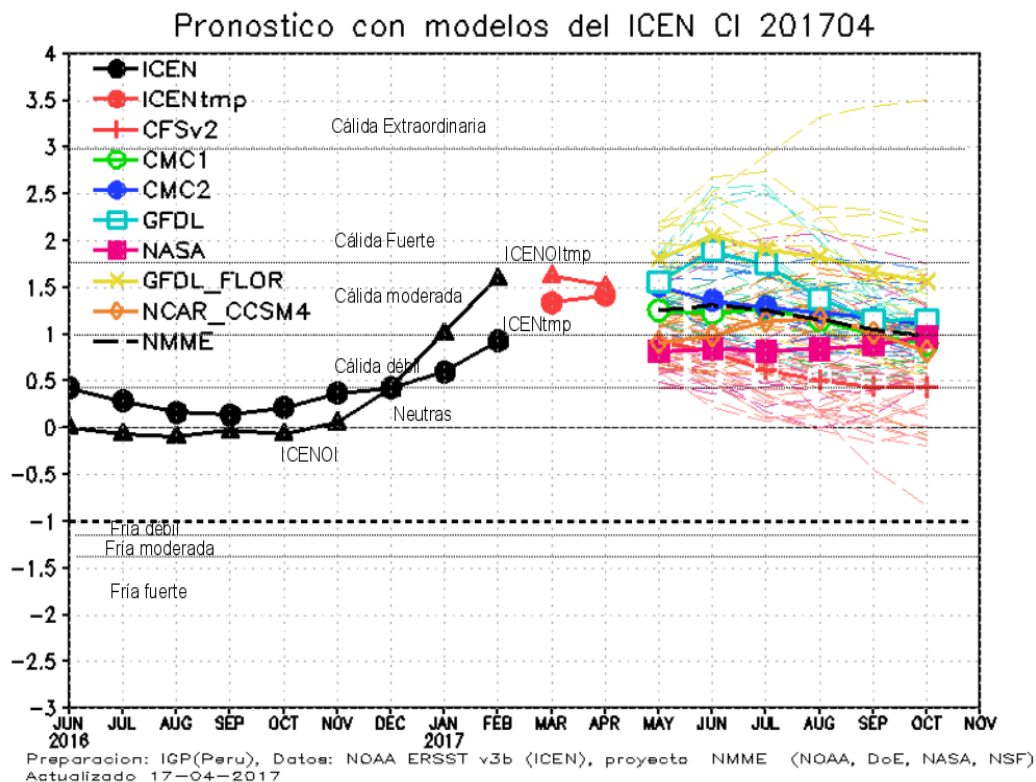


Figura 4.2.2. Índice Costero El Niño (ICEN, círculos llenos en color negro) y sus valor temporal (ICENTmp, círculo lleno en color rojo). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en la región Niño1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, NCAR y el modelo ECMWF tienen como condición inicial el mes de abril de 2016. Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMW.

8. TABLAS

Tabla 3.1.1.1 Valores del Oceanic Niño Index (ONI) de junio 2016 a febrero del 2017. Además el ONItmp para marzo y abril del 2017. Fuente IGP.

Valores del Oceanic Niño Index (ONI)

Mes	ONI	Categoría
06/2016	0.10	Neutra
07/2016	-0.32	Neutra
08/2016	-0.58	Fría Débil
09/2016	-0.75	Fría Débil
10/2016	-0.84	Fría Débil
11/2016	-0.84	Fría Débil
12/2016	-0.73	Fría Débil
01/2017	-0.41	Neutra
02/2017	-0.18	Neutra

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>

Mes	ONItmp	Categoría
03/2017	0.07*	Neutra
04/2017	0.34**	Neutra

* Se usaron los datos de Feb y Mar. 2017 (ERSST4) y Abr 2017 (NMME) .

** Se usaron los datos de Mar. 2017 (ERSST4), y Abr. y May. 2017 (NMME)

Tabla 3.2.3.1 Volumen de agua almacenado en los reservorios principales para el mes de marzo del 2017. Fuente ANA.

Zona	Reservorio	Fecha Reporte	Departamento de Influencia	Capacidad Hidráulica (hm ³)		Capacidad Hidráulica Almacenada (%)
				Útil	Almacenada	
Costa - Norte	Poechos	27-mar	Piura	396.1	218.0	55.0
	San Lorenzo	27-mar	Piura	193.0	195.6	100.0
	Tinajones	27-mar	Lambayeque	319.0	303.3	95.1
	Gallito Ciego	27-mar	La Libertad	366.0	366.6	100.0
Costa - Centro	Viconga	26-mar	Lima	30.0	20.7	68.9
Costa - Sur	Choclococha	26-mar	Ica	131.1	131.1	100.0
	Condorama	27-mar	Arequipa	259.0	224.4	86.6
	El Pañe	27-mar	Arequipa	99.6	70.6	70.9
	Dique Los Españoles	27-mar	Arequipa	9.1	9.1	99.6
	Pillones	27-mar	Arequipa	78.5	76.9	97.9
	El Frayle	27-mar	Arequipa	127.2	127.3	100.0
	Aguada Blanca	27-mar	Arequipa	30.4	20.0	65.9
	Chalhuanca	27-mar	Arequipa	25.0	16.8	67.3
	Bamputañe	27-mar	Arequipa	40.0	30.7	76.7
	Pasto Grande	27-mar	Moquegua	175.0	80.9	46.2
	Paucarani	21-mar	Tacna	10.5	4.9	46.3
	Laguna Aricota	27-mar	Tacna	260.0	194.7	74.9
	Jarumas	16-mar	Tacna	12.5	10.5	84.2
Sierra - Centro	Cuchoquesera	26-mar	Ayacucho	60.0	70.9	100.0
Sierra - Sur	Lagunillas	27-mar	Puno	500.0	432.0	86.4
	Sibinacocha	27-mar	Cusco	110.0	83.5	75.9

Tabla 3.2.4.1 Valores del Índice Costero El Niño (ICEN) de junio de 2016 a febrero de 2017. Además del ICEN Oltmp de marzo y abril del 2017. Fuente IGP.

Valores del **ICEN OI**

Mes	ICENOI	Categoría
06/2016	0.01	Neutra
07/2016	-0.06	Neutra
08/2016	-0.09	Neutra
09/2016	-0.03	Neutra
10/2016	-0.06	Neutra
11/2016	0.06	Neutra
12/2016	0.42	Cálida Débil
01/2017	1.02	Cálida Moderada
02/2017	1.60	Cálida Moderada

Mes	ICENOItmp	Categoría
03/2017	1.63*/1.48(OIwk)	Cálida Moderada
04/2017	1.52**/1.37(OIwk)	Cálida Moderada

* Se usaron los datos de Feb. y Mar (SST-OI) y Abr. (NMME)

** Se usaron los datos de Mar. 2017 (SST-OI), Abr. y May. 2017 (NMME)
NMME CI 2017 03

Tabla 3.2.4.2 Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (°C) y nivel medio del mar (cm) en el semestre octubre de 2016 – marzo de 2017. Fuente: Estaciones costeras – DHN.

Estación	Anomalías de la TSM (°C)						Anomalías del NMM (cm)					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Talara	-1.7	-2.3	-1.3	1.0	3.0	4.3	3	-1	0	4	8	16
Paíta	-0.2	-0.1	-0.1	2.4	4.6	5.7	3	1	1	6	11	18
Isla Lobos de Afuera	0.4	-0.5	-1	0.7	4.2	5.8	0	-4	-3	3	7	13
Chimbote	1.1	0.6	-0.2	-0.2	2.6	4.4	1	-2	-2	1	7	12
Callao	1.0	0.6	0.4	0.2	1.9	2.9	-1	-4	-4	-1	1	6
San Juan	0.4	0.4	0	0.5	0.6	0.9	5	-5	3	5	3	9
Mollendo	0.4	0.4	-0.2	-0.2	-1.2	-0.1	-	-	-	-	-	-
Matarani	-	-	-	-	-	-	1	-1	-1	1	-1	1
Ilo	1.0	0.5	-0.1	0.1	-0.6	0	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.2.1 Pronósticos de ONI por modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías en Niño 3.4). Para los trimestres EFM los meses de febrero y marzo son datos observados.

Modelo	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2		0.38	0.84	0.83	0.78	0.76	0.78	0.90
CMC1		0.38	0.62	0.71	0.84	0.94	0.96	0.97
CMC2		0.41	0.73	0.93	1.10	1.18	1.24	1.39
GFDL		0.36	0.74	1.15	1.52	1.64	1.55	1.45
NASA		0.12	0.29	0.52	0.79	1.05	1.23	1.39
GFDL_FLOR		0.34	0.68	0.98	1.26	1.46	1.62	1.77
NCAR_CCSM4		0.35	0.63	0.80	0.87	0.89	0.90	0.91
NMME		0.33	0.65	0.85	1.02	1.13	1.18	1.25
ONItmp	0.07							

Tabla 4.2.2 Pronósticos de ICEN por modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías en Niño 1+2). Para los trimestres EFM los meses de febrero y marzo son datos observados.

Modelo	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2		1.45	0.93	0.82	0.62	0.51	0.44	0.44
CMC1		1.41	1.26	1.22	1.28	1.15	0.99	0.89
CMC2		1.65	1.51	1.36	1.29	1.23	1.17	1.10
GFDL		1.44	1.57	1.89	1.75	1.38	1.15	1.16
NASA		1.14	0.82	0.84	0.82	0.84	0.89	0.98
GFDL_FLOR		1.79	1.80	2.05	1.91	1.83	1.66	1.56
NCAR_CCSM4		1.19	0.91	0.98	1.14	1.17	1.02	0.82
NMME		1.44	1.26	1.31	1.26	1.16	1.05	0.99
ICENtmp	1.34							