COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL

ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO"

INFORME TÉCNICO ENFEN

Año 9 N°2 FEBRERO DE 2023

Programa Presupuestal por Resultados N° 068:

"Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"

Producto: Estudios para la estimación del riesgo de desastres

Modelo Operacional: Generación de información y monitoreo del fenómeno El Niño

Autor: Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN)

Conformación de la Comisión Multisectorial

Presidente:
Calm. (r) Jorge Manuel Paz Acosta
Presidente del Consejo Directivo, Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

Vice-Presidente:
General de Brigada (r) Carlos Manuel Yánez Lazo
Jefe, Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

Calm. Carlos Grover GUERRERO Malpartida
Director de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DIHIDRONAV)

Dr. Hernando Jhonny Tavera Huarache
Presidente Ejecutivo, Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Dr. Guillermo Antonio Baigorria Paz
Presidente Ejecutivo, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

José Carlo Montero Chirito
Jefe, Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Ing. Miguel Yamasaki Koizumi
Jefe del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED

Grupo de Trabajo Científico-Técnico

COORDINACIÓN: Tte. 1° Milagros Lizbeth Aliaga Vidal (DIHIDRONAV)
IMARPE: Dimitri Gutiérrez, Marilú Bouchon, Luis Vásquez, Carlos Quispe, Tony Anculle, Dante Espinoza, Cecilia Peña y Adolfo Chamorro
SENAMHI: Tania Ita, Yury Escajadillo, Andrés Rodríguez, Glicerio Canchari
DIHIDRONAV: Rina Gabriel, Roberto Chauca, Daniel Paredes, Renzo Adrianzen, Biby Tenaud, Gerardo Ramirez
IGP: Kobi Mosquera y Jorge Reupo
ANA: Sigfredo Fonseca, Lucio Vergara y Manuel Collas
INDECI: Jakie Rojas
CENEPRED: Ena Jaimes y Neil Alata

Año: 9

Redacción del informe: Grupo de Trabajo Científico-Técnico de la Comisión Multisectorial del ENFEN
Edición y Producción: Luis Pizarro (Secretaría Técnica del ENFEN)

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

Este documento se puede citar como:
Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN), 2022.
Informe Técnico ENFEN. Año 9, N°2, febrero de 2023, 42 p.

Los Informes Técnicos previos están disponibles en http://enfen.gob.pe/- así como en las páginas web de las instituciones que conforman la Comisión Multisectorial. De tener inconveniente para acceder al informe, contacte a la Secretaría Técnica ENFEN a la dirección electrónica: st_enfen@imarpe.gob.pe.

Fecha de Publicación: 16 de marzo de 2023

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

FEBRERO 2023

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 5
II. MÉTODOS 5
2.1. Variables 5
2.2. Índices 6
2.3. Modelos y Pronósticos 7
III. CONDICIONES OBSERVADAS EN FEBRERO DE 2023 9
3.1. Condiciones océano atmosféricas en el Pacífico tropical 9
3.2. Condiciones oceánicas y atmosféricas locales 17
3.3. Productividad marina y condiciones biológico pesqueras 32
3.4. Condiciones hidrológicas 38
3.5. Condiciones agrometeorológicas 40
IV. PERSPECTIVAS 41
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46
VI. REFERENCIAS 47
VII. ANEXO 50

I. INTRODUCCIÓN

Existen registros que El Niño - Oscilación Sur (ENOS) en sus dos fases, El Niño y La Niña tiene repercusiones distintas, y más intensas en algunas zonas del mundo. En el caso de Perú, el efecto en las precipitaciones puede darse en gran parte del territorio nacional, por ejemplo, en El Niño y en el contexto de El Niño costero las condiciones cálidas sobre el Pacífico oriental, particularmente frente a la costa norte de Perú durante el verano austral, propician lluvias intensas que generan impactos en los sectores socioeconómicos.

En ese sentido, la Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN) mantiene el monitoreo constante y las predicciones del desarrollo de ENOS, reportando periódicamente el análisis del monitoreo de parámetros océano-atmosféricos en el Pacífico ecuatorial, sudoriental, con mayor atención frente a la costa de Perú. Asimismo, el análisis del monitoreo de los impactos en el ecosistema marino, reportando los indicadores de fertilidad y productividad de algunos recursos hidrobiológicos del mar peruano, la respuesta de los principales recursos y de la actividad pesquera. Además, el ENFEN hace un seguimiento constante del impacto hidrológico, asociados a precipitaciones e incrementos súbitos del caudal de los principales ríos del territorio peruano. Finalmente, esta comisión formula la previsión de los principales indicadores asociados al ENOS, con énfasis en el fenómeno El Niño, a corto, mediano y largo plazo.

En este aspecto, el Informe Técnico ENFEN se elabora a partir del análisis colegiado del grupo técnico científico de la Comisión Multisectorial, considerando los informes mensuales de cada entidad integrante de esta comisión que participa en el monitoreo y pronóstico de las condiciones océano-atmosféricas, así como de sus manifestaciones e impactos en el mar peruano y en el territorio nacional.

II. MÉTODOS

2.1. Variables

Las principales variables utilizadas en este informe están clasificadas en los siguientes tipos: atmosféricas, oceanográficas, hidrológicas y biológicas-pesqueras. En el Anexo 1 se detallan las variables monitoreadas y presentadas en este informe, por el grupo de trabajo científico-técnico de la Comisión Multisectorial del ENFEN, indicando la fuente de la información (*in situ*, satelital, re-análisis, modelos), la institución responsable del procesamiento de los datos, así como precisiones u observaciones respecto a la metodología.

Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Para el océano global, el producto de TSM del *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA) proporciona mapas diarios con resolución horizontal de 0,05° x 0,05° (1/20°), utilizando datos *in situ* y satelitales de radiómetros infrarrojos y microondas. Las anomalías de TSM se calculan en base a la climatología de Pathfinder, a una resolución horizontal de 0,25° x 0,25° (1/4°).

Como parte del procedimiento de análisis, se realiza una estimación del sesgo en cada uno de los sensores de satélite contribuyentes. Esto se realiza calculando emparejamientos entre cada sensor de satélite y un conjunto de datos de referencia (actualmente compuesto por los datos *in situ* y un subconjunto de los datos de satélite MetOp AVHRR). Estas diferencias se introducen luego en un procedimiento de Interpolación óptima para producir campos de polarización cuadriculados en cada sensor. OSTIA utiliza datos satelitales proporcionados por el proyecto GHRSST junto con observaciones in situ, para determinar la TSM. Para mayor información: http://ghrsst-pp.metoffice.gov.uk/ostia-website/index.html

Otra fuente relevante para el monitoreo de la TSM es el *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST), es un conjunto de datos de la TSM derivado de *International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset* (ICOADS) con información desde 1854 hasta la actualidad. La versión más reciente de ERSST, versión 5(v5), con una resolución horizontal de 2°x 2°, incorpora información la TSM proveniente de los flotadores Argo, la concentración de hielo Hadley Centre Ice-SST versión 2 (HadISST2) y los datos recientes desde ICOADS. Para mayor información: https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html

En el presente informe se toma en cuenta la TSM del producto ERSSTv5, OSTIA a 1/20°, así como las anomalías de la TSM a 1/4°.

2.2. Índices

Índice Costero El Niño (ICEN)

Es calculado a partir de la media móvil de 3 meses de las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2 con respecto a la climatología de 1981-2010 usando, hasta enero de 2020, los datos de Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v3b *real-time* (Huang et al. 2017), y en la actualidad ERSST v5. Se categoriza las condiciones como frías o cálidas; en el caso de frías con magnitudes de débil, moderada y fuerte, y en el caso de cálidas con magnitudes débil, moderada, fuerte y extraordinaria (ENFEN, 2012; Takahashi, et al., 2014). El valor temporal del ICEN (ICEN-tmp) se calcula utilizando el promedio de los pronósticos de la ATSM de los modelos de North American Multi-Model Ensemble (NMME, Kirtman et al., 2014) de un mes y dos meses para el primer y segundo ICENtmp, respectivamente.

Índice Oceánico El Niño (ONI por sus siglas en inglés)

El ONI es una medida de El Niño-Oscilación del Sur que es calculado a partir de la media móvil de 3 meses de las anomalías de temperatura superficial del mar (ERSST.v5) en la región del Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), basado en períodos base centrados de 30 años actualizados cada 5 años.

Índices reproductivos de anchoveta

La información del proceso reproductivo de la anchoveta proviene de los muestreos biológicos realizados en las diferentes sedes regionales del IMARPE (Paita, Chimbote, Huanchaco, Huacho, Callao, Pisco e Ilo). A partir de esta información se determinan los siguientes índices reproductivos: índice gonadosomático (IGS), que es un indicador de la actividad reproductiva; fracción desovante (FD), que es un indicador directo del proceso de desove; y contenido graso (CG), que es un indicador de la condición somática del recurso, mostrando la reserva energética del mismo (Buitrón et al, 2011). El IGS se calcula mediante la relación del peso de la gónada y el peso eviscerado del pez (Vazzoler, 1982), contándose con información desde 1986. La FD se calcula como el cociente de las hembras que están en condición de desovantes sobre el total de hembras analizadas, expresada en porcentaje; con información disponible desde 1992. El CG se determina mediante la extracción de grasa total por el método de Soxhlet (A.O.A.C., 1990), el cual es expresado en porcentaje con información desde 2002.

2.3. Modelos y Pronósticos

Modelo Oceánico Lineal (LOM-IGP)

El modelo representa la dinámica superior en el Pacífico ecuatorial y se simula con dos tipos de termoclina, constante y variable. Para el diagnóstico, el modelo es forzado con esfuerzo de viento del reanalysis NCEP-CDAS (Kalnay et al. 1996) y vientos observados remotamente de ASCAT (Bentamy et al. 2008), estos últimos obtenidos de ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/cersat/products/gridded/MWF/L3/ASCAT/Daily/. 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 & Menkes (1995). Para el pronóstico, el modelo continúa integrándose numéricamente en el tiempo usando dos artificios: 1) esfuerzo de viento igual a cero y 2) promedio de los últimos 30 días de la anomalía del esfuerzo de viento (Mosquera, 2009 y 2014; Mosquera et al., 2011).

Modelo Oceánico de Complejidad Intermedia

El modelo se utiliza para representar la propagación de la onda Kelvin ecuatorial (OKE) en 3 modos baroclínicos, forzado con anomalías de vientos del *reanalysis*

NCEP-CDAS (Kalnay et al. 1996) y siguiendo la metodología de Illig et al. (2004), Dewitte et al. (2002) y Quispe-Ccalluari et al (2017). El análisis de la OKE se realiza con los modos baroclínicos modo 1 y modo 2, los que se propagan a diferentes velocidades; y a la vez se considera la suma de ambos modos, para una mayor contribución en la anomalía del nivel del mar.

Modelo Oceánico Multimodal (MOMM)

Este modelo, al igual que los anteriores, se utiliza para simular principalmente el desarrollo de las ondas Kelvin en el Pacífico ecuatorial y frente a la costa peruana. Para esto, siguiendo la metodología de Dewitte et al. (1999) se obtienen los coeficientes de proyección y velocidades características de cada modo baroclínico del *reanalysis* de SODA (Carton & Giese. 2008) y GODAS (Behringer & Xue. 2004). El MOMM es forzado con: 1) vientos del *reanalysis* atmosférico de NCEP-CDAS (Kalnay et al. 1996) y 2) vientos del *scatterometer* ASCAT (Bentamy et al. 2008). Para más detalles del modelo se puede ver Urbina & Mosquera (2020).

Modelos Climáticos de Agencias Internacionales

Los resultados de estos modelos numéricos se utilizan como insumo para el análisis de la perspectiva de mediano y largo plazo (8 meses). En este caso particular se utiliza la información del conjunto de modelos denominado North American Multi-Model Ensemble (NMME) (Kirtman et al., 2014).

Pronóstico Probabilístico de Juicio Experto

El cuadro de probabilidades es el resultado del análisis conjunto de la información generada por las propias observaciones del ENFEN, así como la información basada en los Modelos Climáticos Globales (MCG) e información de diversos centros de investigación y agencias internacionales. Debido a las limitaciones comunes de estos modelos, se acude a la interpretación y el conocimiento experto de los científicos de esta comisión multisectorial, quienes además de evaluar los resultados de los MCG aportan con sus modelos conceptuales y estudios retrospectivos que permiten inferir escenarios de pronóstico, que son discutidos, consensuados y plasmados en probabilidades porcentuales de ocurrencia de distintas categorías de las condiciones oceanográficas (frías a cálidas) en las regiones Niño 3.4[1] y Niño 1+2[2], aplicando los mismos umbrales de anomalías de TSM usadas para definir las categorías El Niño y La Niña (ENFEN, 2012).

[1] Null J. El Niño and La Niña Years and Intensities. [(accedido el 2 junio 2021)]; Disponible en línea: https://ggweather.com/enso/oni.htm.

[2] Comité Multisectorial Encargado del Estudio del Fenómeno El Niño. (2012). Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú

III. CONDICIONES OBSERVADAS EN FEBRERO DE 2023

3.1. Condiciones océano atmosféricas en el Pacífico tropical

Entre enero y febrero, la TSM en la mayor parte del Pacífico ecuatorial exhibió una tendencia a la normalización, pero dentro de la región Niño 1+2, el incremento la temperatura alcanzó a generar anomalías positivas (Figura 1 y 2). Es así que en la región Niño 4 la anomalía varió de −0,66 a −0,62°C; en Niño 3.4, de −0,71 a −0,56 °C; en Niño 3, de −0,55 a −0,22 °C y en Niño 1+2, de −0,57 a 0,27 °C (Tabla 1). En los primeros 11 días de marzo, esta tendencia ascendente continuó registrando anomalías semanales hasta 1.5°C. (Tabla 1a)

Tabla 1: Valores promedio de la TSM y sus anomalías en las regiones Niño en los últimos 6 meses. Fuente: ERSSTv5.

TSM-ATSM Mensual 2021-2022 (ERSSTv5)				
R. Niño	**Niño 1+2**	**Niño 3**	**Niño 3.4**	**Niño 4**
Set. 22	19.70 -1.02	23.94 -0.96	25.65 -1.07	27.59 -1.17
Oct.	19.23 -1.79	23.88 -1.10	25.73 -0.98	27.64 -1.12
Nov.	20.52 -1.13	24.16 -0.94	25.80 -0.90	27.71 -0.99
Dic.	22.35 -0.46	24.41 -0.81	25.75 -0.85	27.70 -0.84
Ene. 23	24.00 -0.57	25.10 -0.55	25.83 -0.71	27.66 -0.66
Feb.	26.37 0.27	26.19 -0.22	26.19 -0.56	27.58 -0.62

Tabla 2a: Valores semanales de la TSM y sus anomalías en las regiones Niño. Fuente: OISST.v2

TSM – ATSM Semanal 2022 (OISST.v2)				
R. Niño	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4
1-Feb-23	25.5 0.1	25.6-0.4	26.0-0.5	27.6-0.5
8-Feb-23	26.5 0.7	25.9-0.2	26.1-0.5	27.5-0.6
15-Feb-23	27.0 0.8	26.3-0.1	26.2-0.5	27.4-0.6
22-Feb-23	26.8 0.4	26.6 0.0	26.5-0.3	27.5-0.5
1-Mar-23	27.6 1.1	26.8 0.1	26.7-0.2	27.7-0.4
8-Mar-23	28.0 1.5	27.3 0.4	27.0-0.1	27.9-0.2

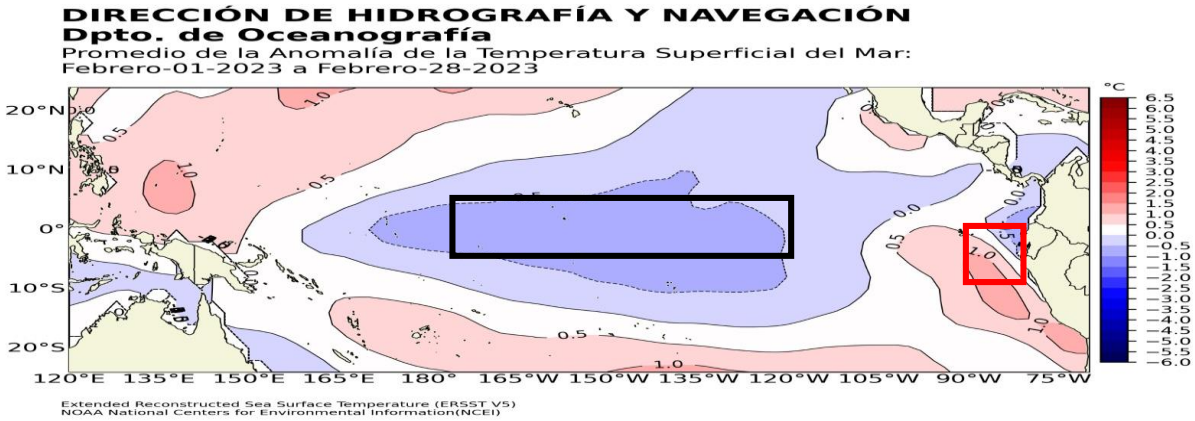

Figura 1: Promedio del mes de febrero 2023 de las anomalías de la TSM en el Pacífico. La región Niño 3.4 está delimitada con el recuadro negro y la región Niño 1+2 está delimitada con el recuadro rojo. Fuente: ERSSTv5.0. Procesamiento: DIHIDRONAV.

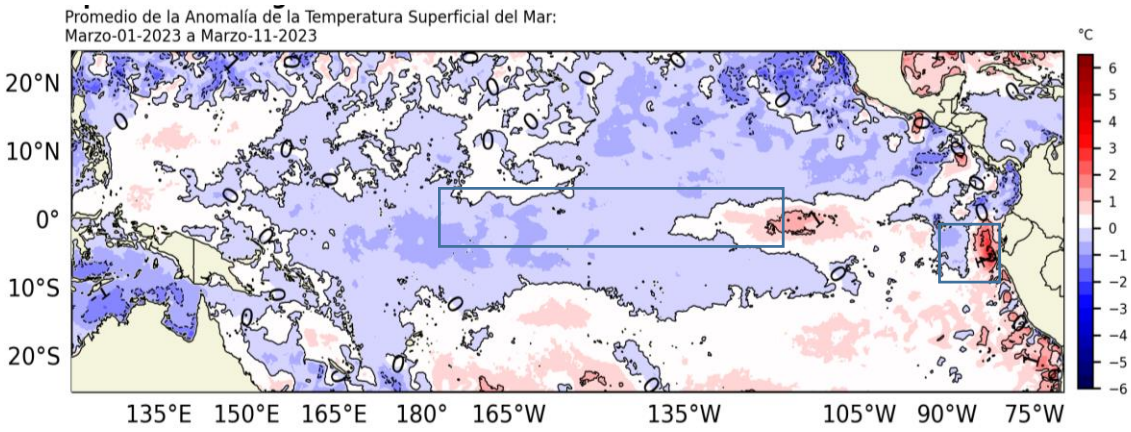

Figura 2: Promedio de las anomalías de TSM en el Pacífico entre 1 y 11 de marzo. Fuente: AVHRR. Elaboración: IGP.

Los valores del Índice Costero El Niño (ICEN) de enero y el ICEN temporal (ICEN-tmp) de febrero de 2023 se ubican dentro de la condición neutra. Por otro lado, los valores del ONI de enero y el temporal (ONItmp) de febrero corresponden a una condición fría débil y neutra, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2: Valores del ONI e ICEN desde febrero de 2022 hasta enero de 2023 y sus valores temporales de febrero. Fuente IGP.

Valores del índice Costero El Niño			ONI	
Mes	**ICEN**	**Categoría**	**ONI**	**Categoría**
feb-22	-1,05	Fría Débil	-0,95	Fría Débil
mar-22	-1,10	Fría Débil	-1,00	Fría Moderada
abr-22	-1,10	Fría Débil	-1,08	Fría Moderada
may-22	-1,36	Fría Moderada	-1,00	Fría Moderada
jun-22	-1,36	Fría Moderada	-0,85	Fría Débil
jul-22	-1,03	Fría Débil	-0,81	Fría Débil
ago-22	-0,93	Neutro	-0,93	Fría Débil
set-22	-1,12	Fría Débil	-1,03	Fría Moderada
oct-22	-1,39	Fría Moderada	-1,00	Fría Moderada
nov-22	-1,24	Fría Moderada	-0.93	Fría Débil
dic-22	-0.81	Neutro	-0.83	Fría Débil
ene-23	-0.27	Neutro	-0.71	Fría Débil
Mes	**ICENtmp**	**Mes**	**ONItmp**	**Mes**
feb-23	0.09	Neutro	-0,46	Neutro

En febrero, en el Pacífico ecuatorial, se observó la presencia de una nueva onda de Kelvin cálida que habría iniciado su arribo al extremo oriental. Por otro lado, la señal de la onda Kelvin fría aún no es tan clara, pero se localiza entre 140°W y 120°W. Finalmente, se observa en la región central y occidental el desarrollo de una anomalía positiva del nivel del mar y de la profundidad de la termoclina, que estaría relacionada con la presencia de una nueva onda Kelvin cálida (Figura 3 y 31).

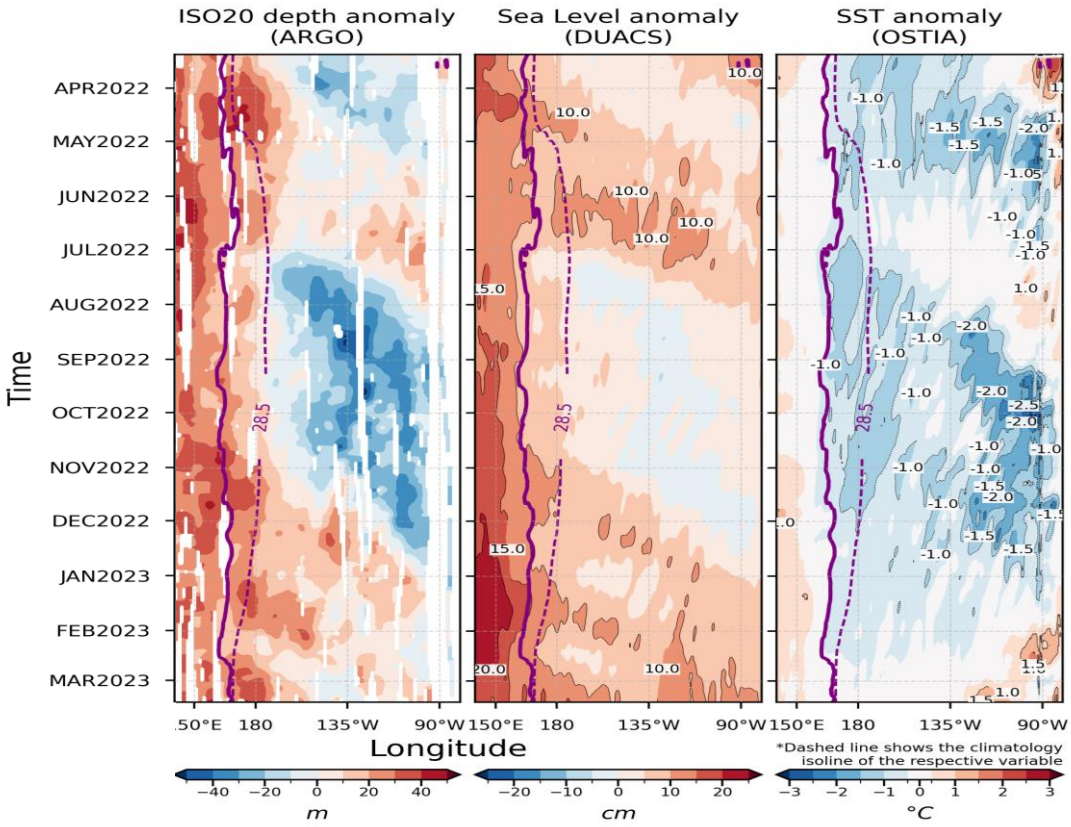

Figura 3: Diagrama Hovmöller: a) anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C Fuente: ARGO, b) anomalía del nivel del mar diario (cm) Fuente: DUACS, y c) anomalía de temperatura superficial del mar (°C) Fuente: OSTIA. Elaboración: IGP.

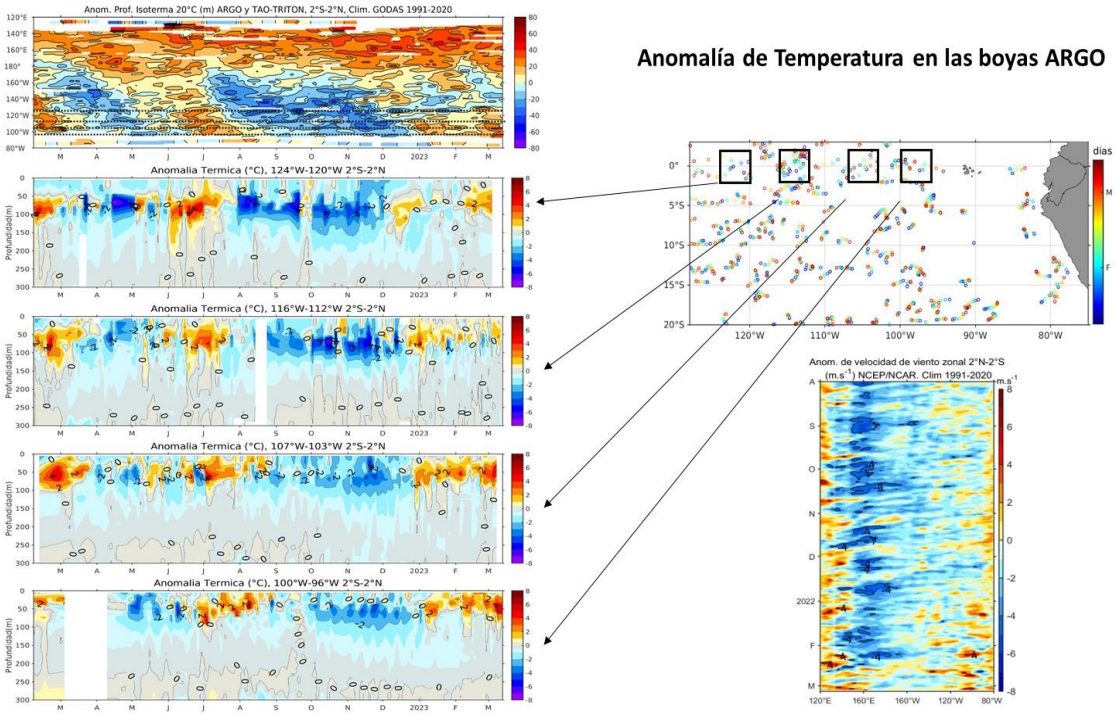

Figura 3a. Diagrama Hovmöller de la evolución de la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C m en el Pacífico Ecuatorial (120°E a 80°W), y evolución de la anomalía de la temperatura del agua de mar en flotadores en el Pacifico Ecuatorial oriental (Figuras de la derecha, de arriba hacia abajo); ubicación de las regiones y posiciones de los perfiladores ARGO utilizados para elaborar los Hovmoller de anomalía de temperatura, para los últimos dos meses (Figura superior derecha), fuente: ARGO, climatología: 1991-2020; Hovmoller de la evolución de la anomalía de la velocidad del viento zonal a 10 m sobre la superficie del mar en el Pacífico Ecuatorial (120°E a 80°W) , fuente: NCEP/NCAR, climatología: 1991-2020 (Figura izquierda inferior). Procesamiento: AFIOQ/DGIOCC/IMARPE.

En febrero, sobre el Pacífico ecuatorial, el patrón subsidente persistió al oeste de la línea de cambio de fecha; además, se presentaron anomalías divergentes más intensas al norte de Sudamérica, indicando un debilitamiento del ramal subsidente de la circulación de Walker (Figura 4c). En la baja tropósfera (850 hPa), sobre el Pacífico occidental, los vientos alisios continuaron intensos, favoreciendo la persistencia de condiciones frías de la TSM en dicha región (Figura 4b). En el Pacífico oriental se observaron vientos anómalos del noreste provenientes desde el canal de Panamá, los cuales habrían favorecido el incremento inicial de la TSM frente a la costa norte y centro de Perú (Figura 5); sin embargo, ocasionaron la posterior disminución de las anomalías cálidas de la TSM al norte de la región Niño 1+2 hacia finales de febrero. Por otro lado, en niveles altos (200 hPa), sobre el Pacífico ecuatorial central, se fortalecieron los vientos anómalos del oeste y restringieron las lluvias al norte de Sudamérica en la primera quincena de febrero;

posteriormente, estos se replegaron al norte, favoreciendo el ingreso de vientos del este y la ocurrencia de precipitaciones, en la zona norte y centro (Figura 4a).

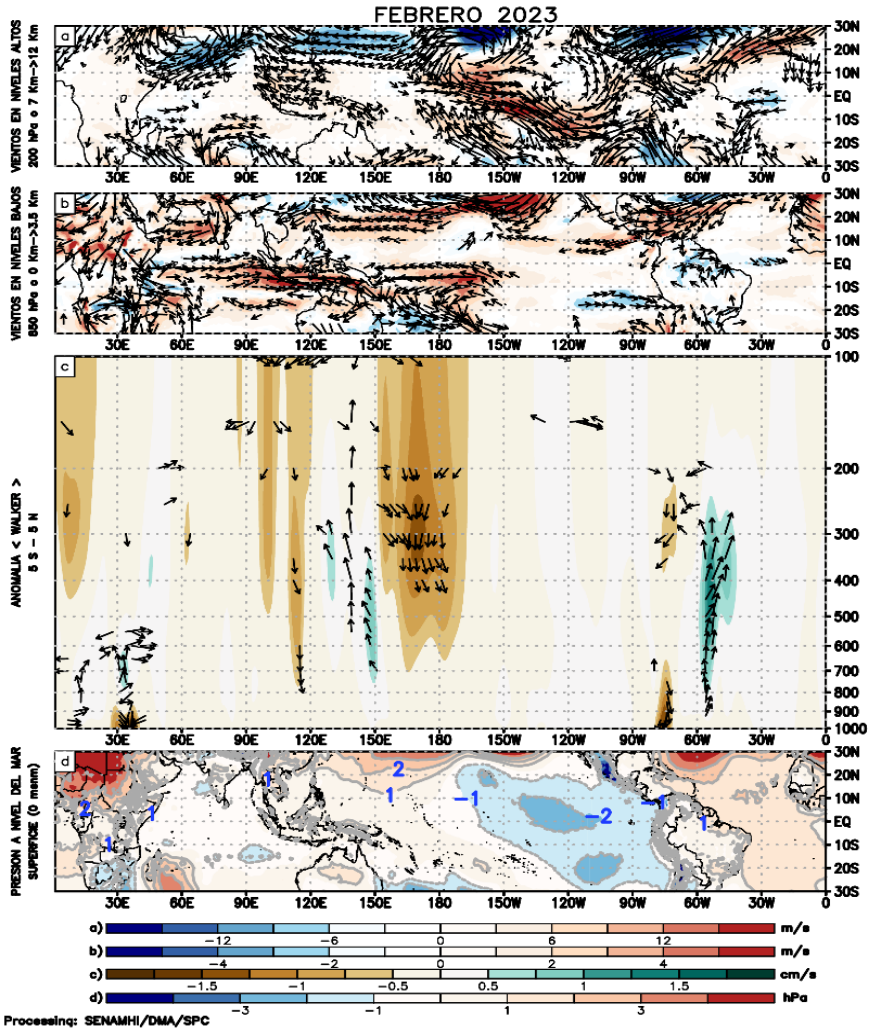

Figura 4: (a) Anomalías de los vientos respecto a su velocidad (colores) y dirección (flechas) en niveles altos (200 hPa) y (b) bajos (850 hPa) y (c) patrón anómalo de la circulación atmosférica ecuatorial (Walker). Periodo: febrero de 2023. Fuente: GFS. Procesamiento: SENAMHI.

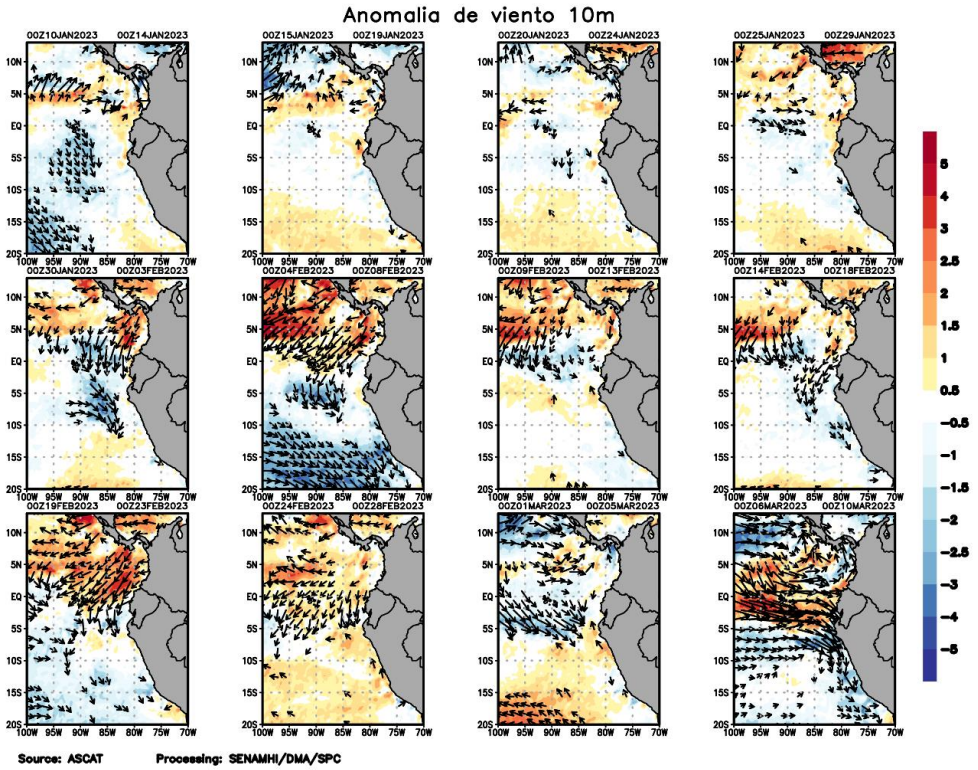

Figura 5. Anomalía pentadal del viento (m/s) a 10 m de altura frente a la costa noroccidental de Sudamérica y Centroamérica. Fuente: ASCAT. Procesamiento: SENAMHI.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS), en promedio para febrero, continuó presentando una configuración zonal y se ubicó ligeramente al sureste de su posición normal, presentando, un núcleo levemente fortalecido con anomalías positivas alrededor de +1 hPa respecto a su climatología (Figura 6). Sin embargo, a escala semanal, el APS se ubicó tanto al oeste como al sur de su posición normal, dichos periodos fueron favorables para la intensificación vientos alisios hacia el Pacífico centro-occidental y el debilitamiento de los vientos del sur y el ingreso de vientos del norte frente a la costa peruana, respectivamente.

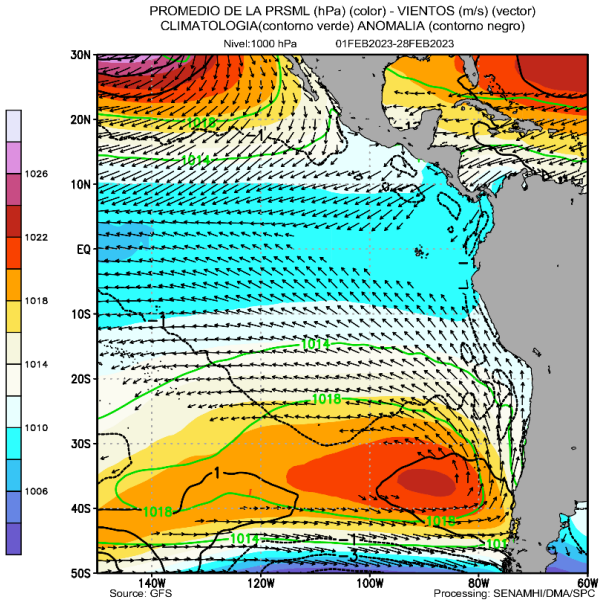

Figura 6. Promedio mensual de la presión reducida a nivel del mar (colores) con su climatología (línea verde), anomalía (línea negra) y vientos (flechas) para febrero de 2023.
Fuente: GFS. Procesamiento: SENAMHI.

En los primeros días de marzo, la migración hacia el este de la señal divergente de la oscilación de Madden Julian (MJO) habría generado pulsos del oeste en el Pacífico oriental, contribuyendo a la formación de dos circulaciones ciclónicas, una en el hemisferio norte y otra en el hemisferio sur. Asimismo, el debilitamiento del APS y su desplazamiento al suroeste de su posición normal favoreció la persistencia de estos vientos anómalos de componente oeste entre los 100 °W y Sudamérica, impulsando además al ingreso vientos anómalos del noroeste en gran parte de la costa peruana (Figura 5, 6 y 7).

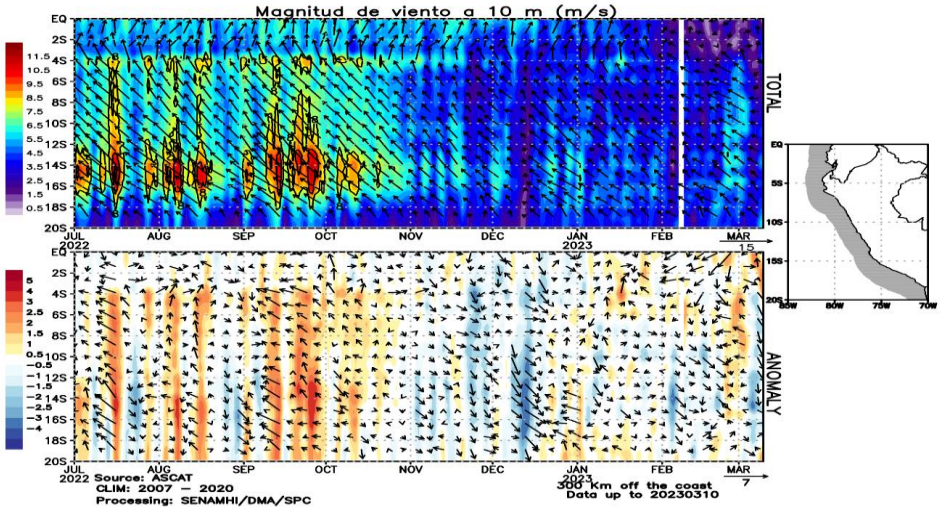

Figura 7. Diagrama Hovmöller de la velocidad del viento dentro de los 300 km frente a la costa, Diagrama Hovmöller de la anomalía del viento frente a la costa de Perú. Fuente: ASCAT, Procesamiento: SENAMHI.

3.2. Condiciones oceánicas y atmosféricas locales

A lo largo de la franja adyacente a la costa peruana, dentro de los 40 km se presentaron vientos débiles (< 4,1 m/s) durante la primera quincena del mes, mientras que para la segunda quincena el viento se incrementó hasta alcanzar valores de 6 m/s, asociados a anomalías positivas en la zona entre Paita y San Juan. En lo que va de marzo se observó un debilitamiento del viento a lo largo de la costa (Figura 8). El afloramiento costero presentó valores menores a 100 m^3/s x 100 m a lo largo de la costa durante la primera quincena, incrementándose a 150 m^3/s x 100 m en la segunda quincena del mes. Con respecto al bombeo de Ekman, éste presentó anomalías negativas en lo que va de marzo, los cuales estarían vinculados al debilitamiento de los vientos costeros y oceánicos, e incluso a su cambio de dirección de suroeste a noroeste frente a la costa norte, en la segunda semana de marzo (Figura 9).

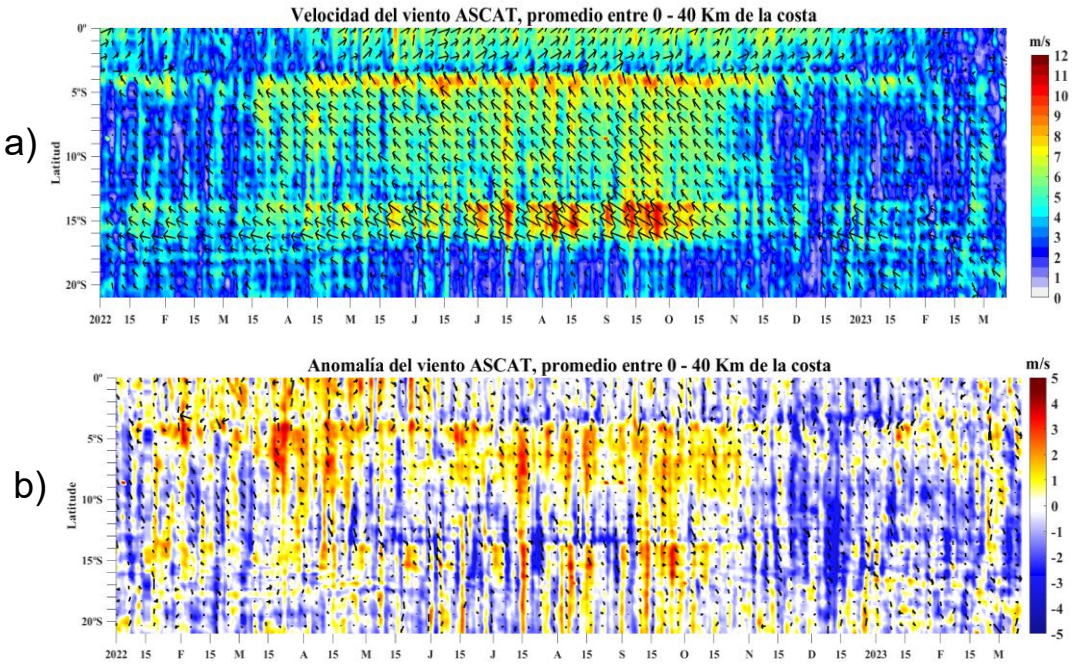

Figura 8. Viento a 40 km frente a la costa de Perú. a) Velocidad del viento (m/s), b) anomalía de la velocidad del viento (m/s). Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: LSR/IMARPE.

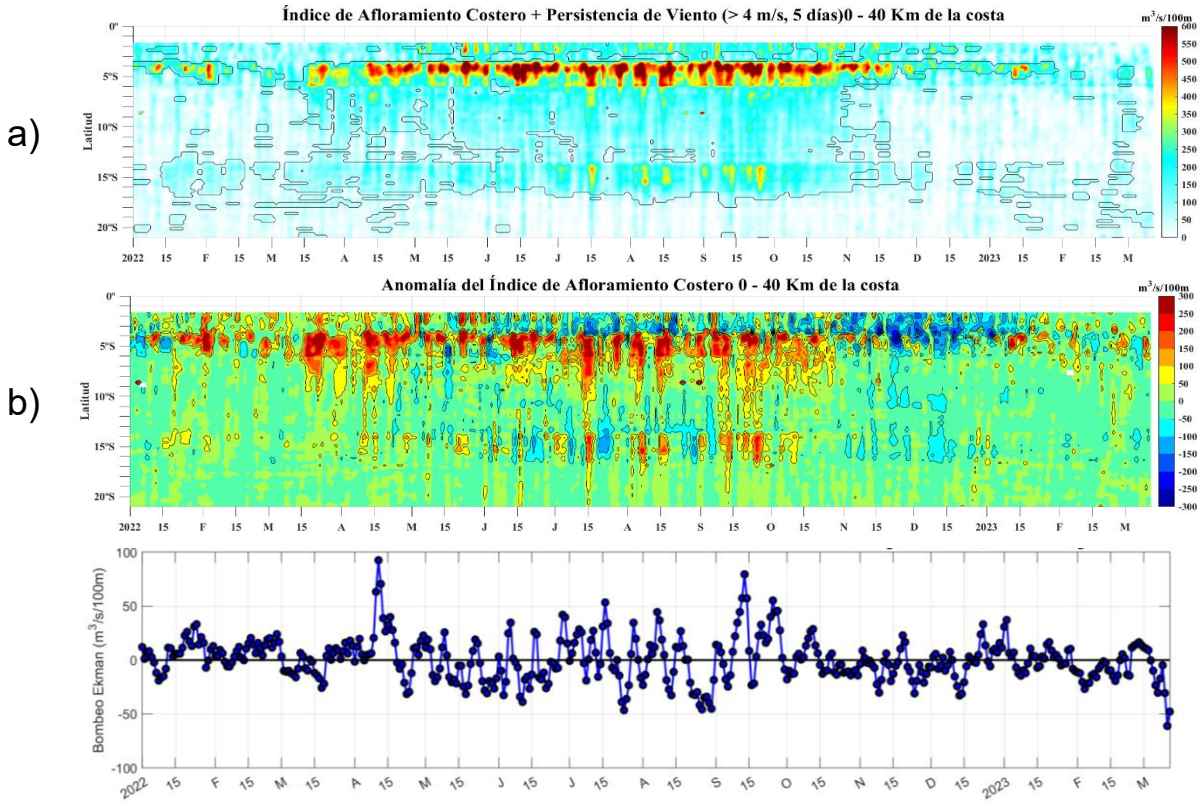

Figura 9. Índice de Afloramiento Costero (IAC), calculado a partir del viento satelital a 40 km frente a la costa del Perú: a) Índice de Afloramiento Costero - IAC ($m^3\ s^{-1}\ 100\ m^{-1}$), b) Anomalía del IAC ($m^3\ s^{-1}$); c) Anomalía del Bombeo Ekman dentro de la franja de 200 Km adyacentes a la costa entre los 5 y 16° S ($m^3\ s^{-1}\ 100\ m^{-1}$). Fuente: Satélite ASCAT, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina y Laboratorio Costero de Santa Rosa, IMARPE.

Durante febrero, las temperaturas extremas del aire presentaron, en promedio, condiciones dentro del rango neutral (±1°C) a lo largo de la costa peruana. No obstante, en la costa norte, estaciones como La Cruz (Tumbes), Bernal (Piura), Chusis (Piura), y Talla Guadalupe (La Libertad), registraron anomalías positivas de 1,3, 1,9, 1,1 y 1 °C, respectivamente. En lo que va de marzo, a lo largo de la costa, las temperaturas extremas han mostrado un incremento en sus valores, principalmente hacia la segunda semana del mes, asociado al ingreso de los vientos anómalos del noroeste y al incremento de la TSM (Figura 10).

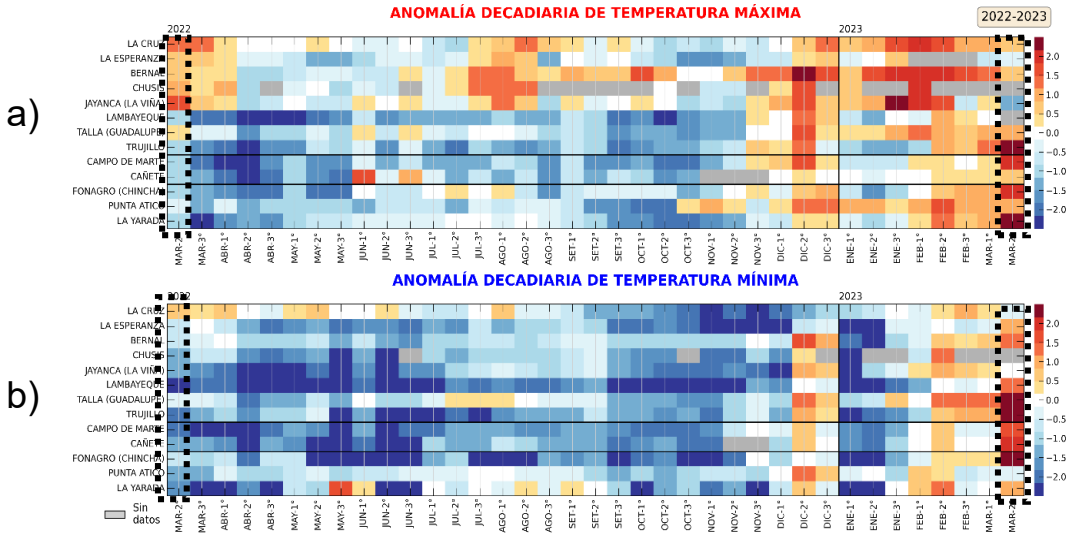

Figura 10. Temperaturas del aire máxima (a) y mínima (b) en las estaciones costeras de SENAMHI de marzo 2022 a marzo 2023. Fuente y procesamiento: SENAMHI.

En febrero, los valores de TSM del mar peruano se incrementaron, presentando, en promedio, valores entre 20°C y 27°C. Las anomalías positivas de la TSM en la zona norte alcanzaron valores de hasta 2°C; mientras que en el sur las anomalías positivas se presentaron por fuera de las 20 millas náuticas. Para lo que va de marzo, la cobertura de las condiciones cálidas disminuyó en la zona norte; no obstante, estas fueron más intensa cerca de la costa debido al acercamiento de la isoterma de 27°C (hasta 3 °C sobre lo normal). En la zona centro y sur las condiciones frías de febrero cambiaron, presentando anomalías positivas de hasta 2°C. En la franja más próxima al litoral, predominaron anomalías positivas mucho más intensas al norte del Callao, alcanzando valores diarios de hasta 3°C sobre lo normal, en tanto que en el sur las condiciones fueron cálidas a partir de la segunda semana de marzo, asimismo el 14 de marzo en Chicama se exhibe una tendencia creciente muy aguda alcanzando +7°C y +7,6°Cel día 15 (Figuras 11,12 y 12a).

a)

b)

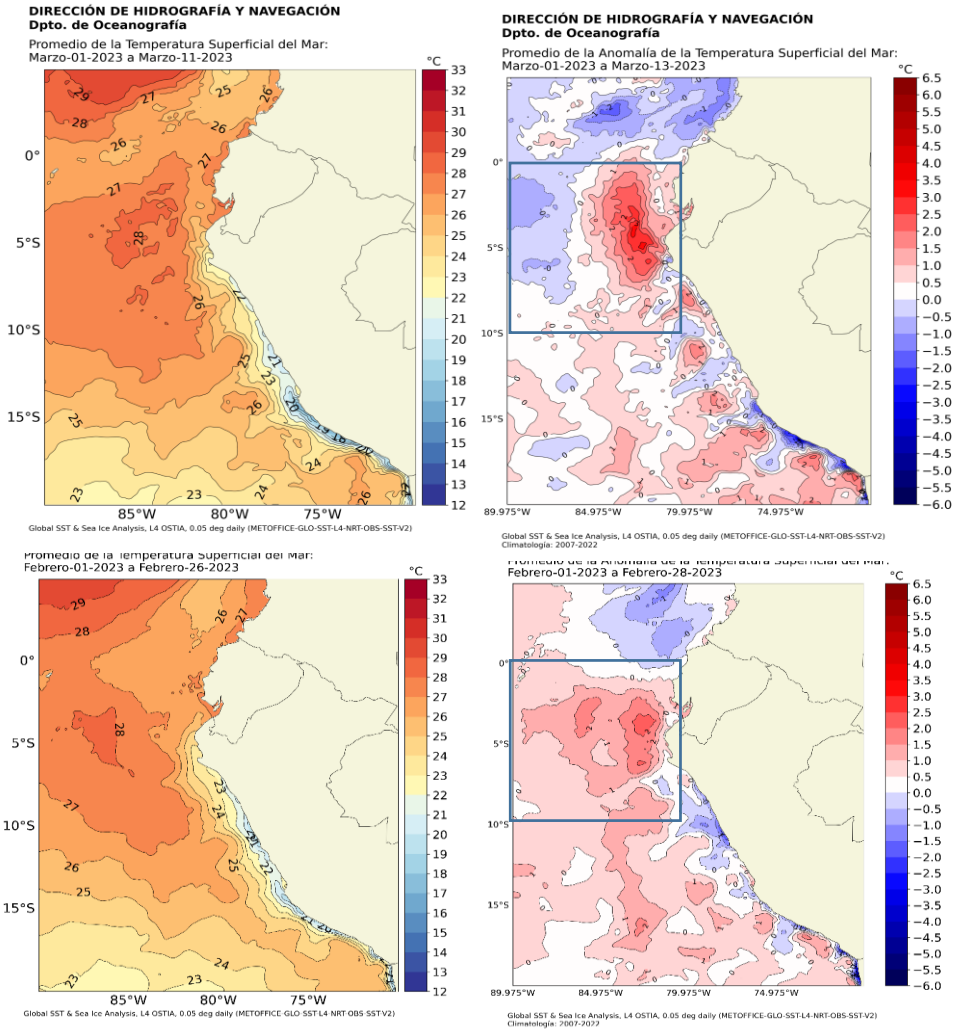

Figura 11. Distribución superficial de la temperatura y su anomalía para el mes de a) 1 al 13 de marzo y b) febrero 2023. Fuente: OSTIA, Climatología: 2007-2022. Elaboración: DIHIDRONAV.

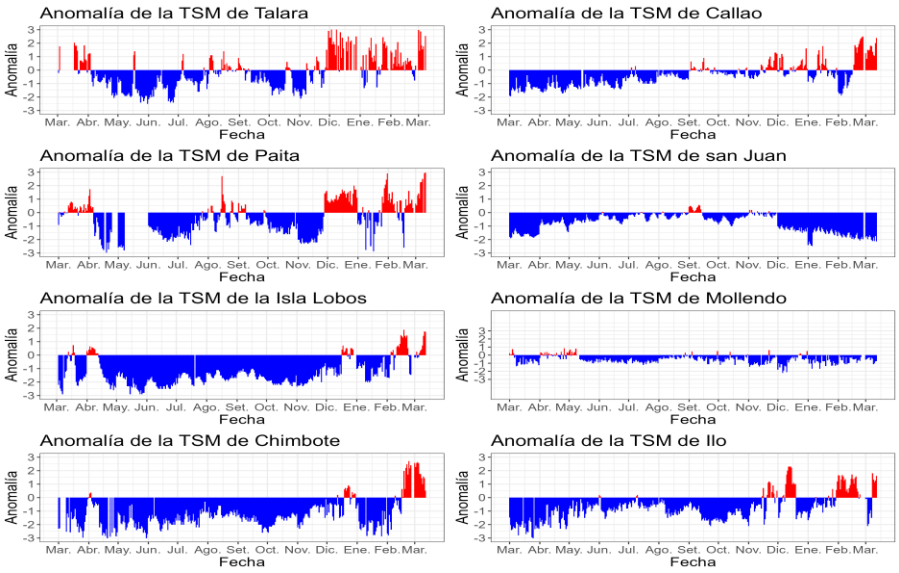

Figura 12. Anomalía de la TSM diaria a lo largo del litoral de Perú de marzo 2022 a marzo 2023. Fuente y procesamiento: DHN.

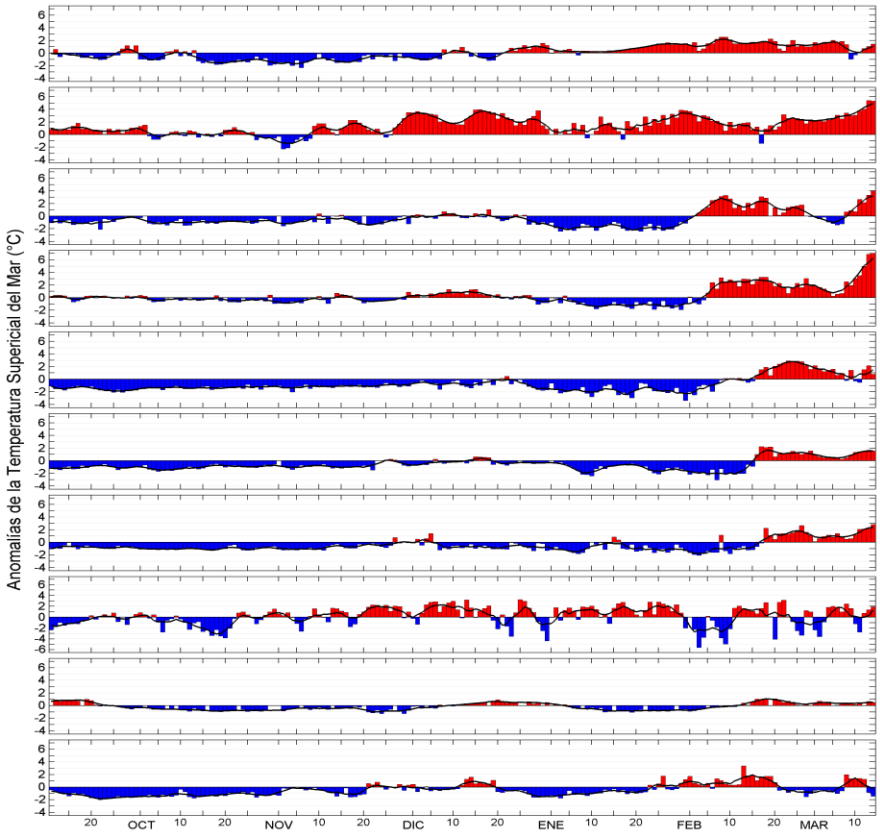

Figura 12a. Variación del promedio diario de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM, °C) en los muelles costeros que administra el IMARPE en el litoral peruano durante el último semestre: a) Tumbes, b) Paita, c) San José, d) Chicama, e) Chimbo-te, f) Huacho, g) Callao, h) Pisco, i) Matarani y j) Ilo. Las anomalías se calcularon respecto del promedio climatológico pentadal (5 días) para el período que se indica en la Tabla 1. La serie de color negro es la media móvil de 5 días. Datos: LHFM/DGIOCC y sedes descentralizadas del IMARPE en el litoral.

El nivel del mar (NM) presentó el incremento de sus valores en la segunda quincena de febrero debido al paso de una onda Kelvin cálida, alcanzando niveles hasta 10 cm sobre su normal al norte de Chimbote. Mientras que para la segunda semana de marzo se registró un mayor incrementó del NM (de hasta 15 cm sobre su patrón climatológico) asociado al inicio del paso de una onda Kelvin cálida (Figura 13 y14). Las anomalías del nivel del mar (ANM) en la franja de las 60 millas náuticas adyacentes a la costa exhibieron la disminución generalizada de sus valores a inicios de febrero, asociada al arribo de la onda Kelvin fría (modo 2). Posteriormente estas anomalías mostraron similar comportamiento a lo mencionado en el litoral. (Figura 14)

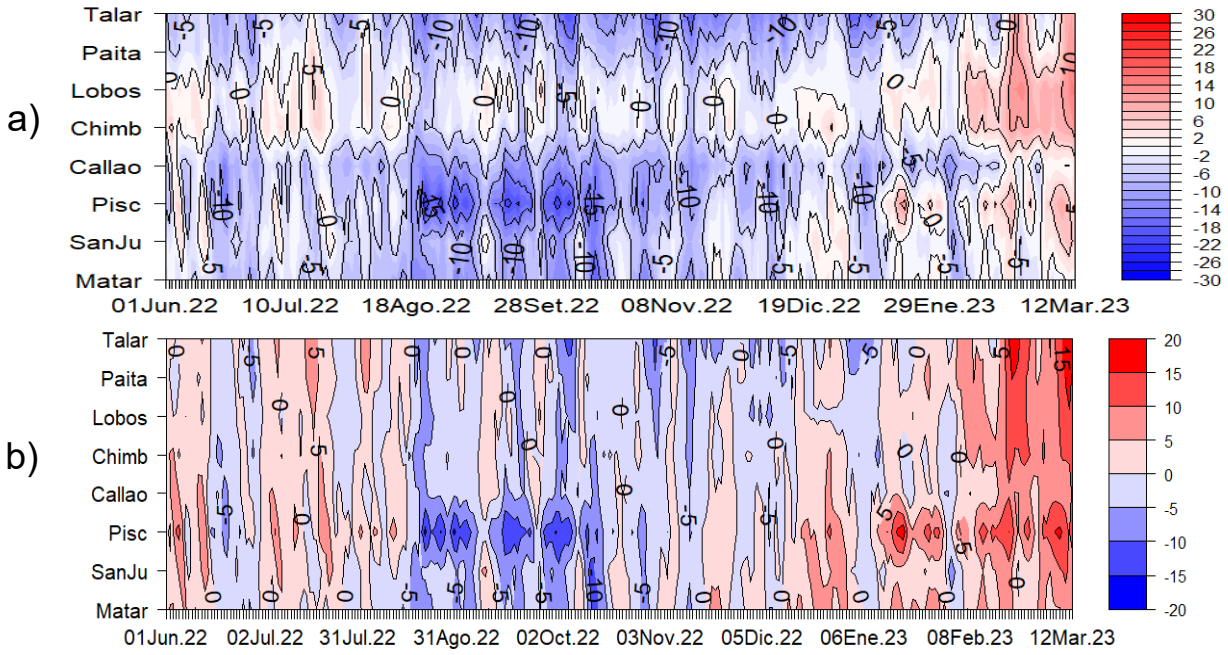

Figura 13. Diagrama Hovmöller de anomalía de NM diaria en el litoral peruano a) sin filtro y b) con filtro móvil anual, del 01 de junio 2022 al 12 de marzo 2023, Climatología: 1981-2010. Procesamiento: DIHIDRONAV.

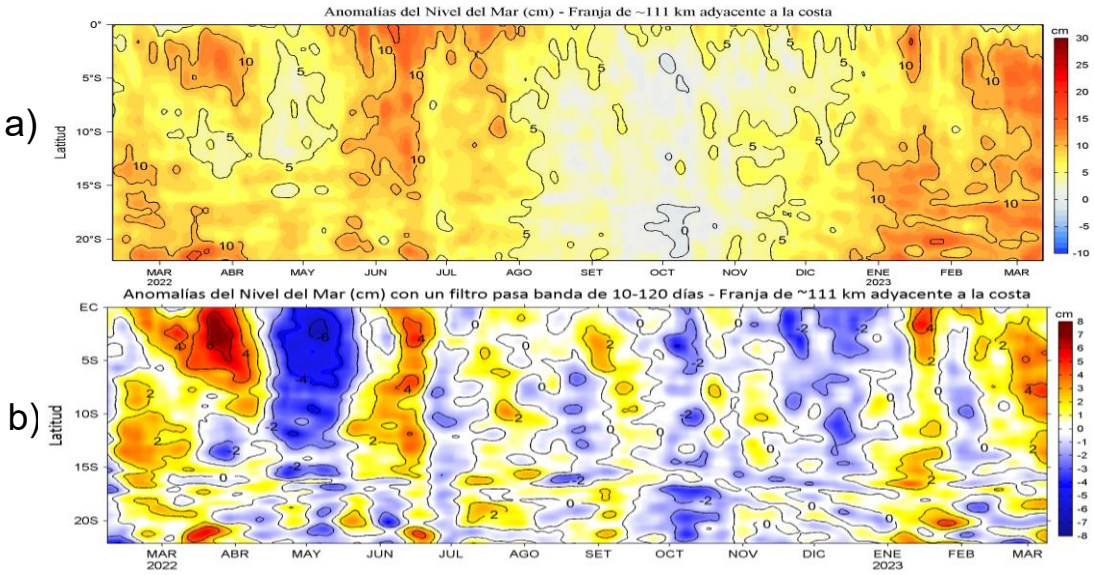

Figura 14. Diagrama Hovmöller de las a) anomalías del Nivel del Mar (cm) y b) anomalías del Nivel del Mar (cm) con un filtro pasa banda de 10-120 días, para una franja de 60 millas náuticas (~111km) adyacente al litoral peruano para los últimos doce meses a inicios de marzo 2023. Fuente: CMEMS v3.0. Climatología: 1993-2012 para (a) y 1993-2010 para (b). Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

En la capa sub-superficial, dentro de las 100 mn frente a la costa norte y centro (Puerto Pizarro, Negritos, Paita, Punta Falsa, Chicama, Chimbote, Bermejo y Callao) entre la segunda quincena de febrero y los primeros días de marzo, las temperaturas mostraron valores entre 17 °C y 27 °C sobre los 50 m de profundidad, en promedio, detectándose anomalías entre +1 °C y +5,0 °C en dicha capa; los mayores valores de temperatura y anomalías térmicas fueron frente a Puerto Pizarro y Paita. Luego, por debajo de esta capa, se observaron anomalías negativas entre -1 °C y -0,5 °C hasta los 100 m de profundidad, en promedio. Dentro de las 60 mn, principalmente, y entre los 300 y 400 m de profundidad se detectaron anomalías de hasta +1 °C, desde Negritos hasta Callao (Figura 16, 17 y 17a).

Entre las 100 y 200 mn frente a Tumbes y Piura se observaron anomalías positivas sobre los 40 m de profundidad, con valores de hasta +4 °C a fines de febrero y lo que va de marzo; y anomalías de hasta +1 °C por debajo de los 300 m de profundidad, a mediados de febrero e inicios de marzo (Figura X9). La profundidad de la isoterma de 15 ºC asociada a la termoclina, se registró hasta 80 metros en la zona norte y 40 m en el centro, continuando más somera que su climatología, aunque con una tendencia a la normalización de su posición (Figura 18 y 18b). En la zona norte se registraron flujos hacia el sur dentro de las 50 millas y sobre los 150 m de profundidad (Figura 16 y 17),

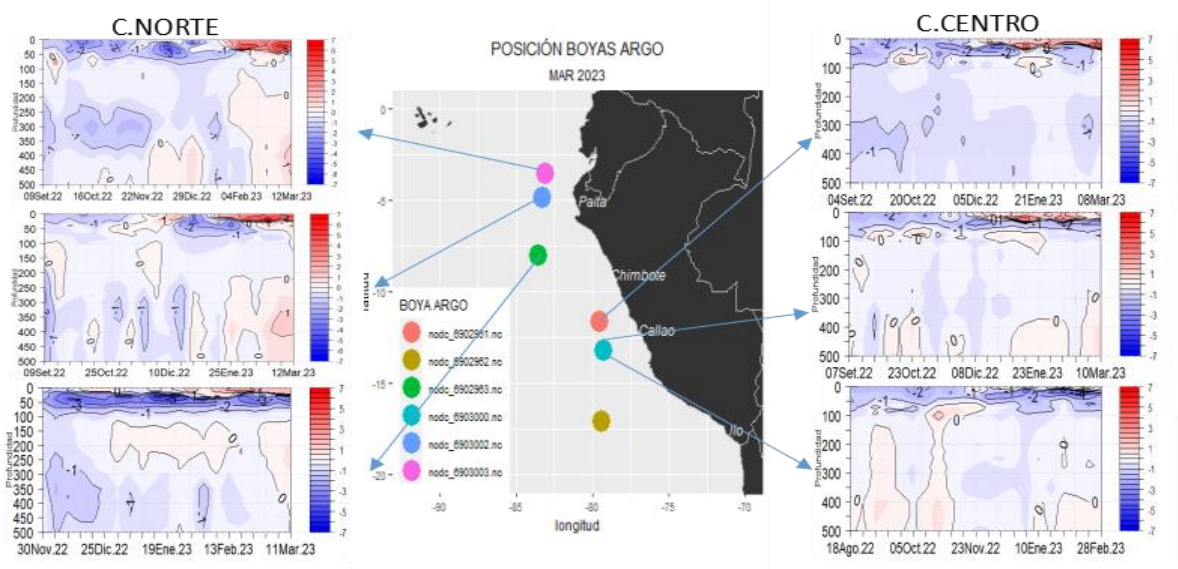

Figura 15. Secciones de anomalías de temperatura del mar de agosto de 2022 a febrero de 2023 hasta los 500 m de profundidad. Fuente: ARGO. Procesamiento: DIHIDRONAV.

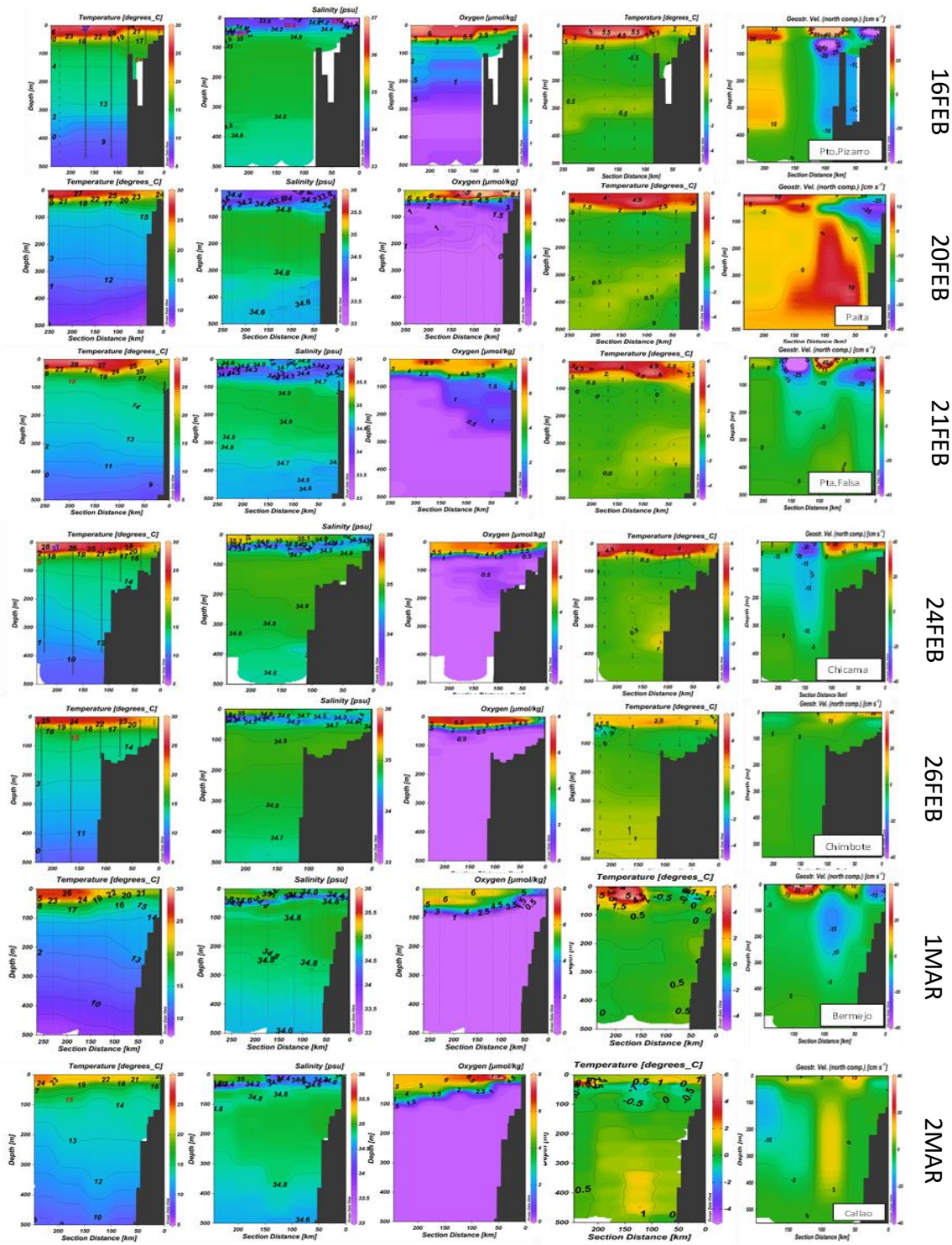

Figura 16. Secciones verticales de temperatura (°C), anomalías térmicas (°C) y salinidad, anomalías halinas (mL L^{-1}) frente a a) Puerto Pizarro (16 febrero), b) Paita (20 febrero), c) Punta

Falsa (21 febrero), d) Chicama (24 febrero), e) Chimbote (26 marzo), f) Bermejo (1 marzo) y Callao (2 marzo) de izquierda a derecha. Fuente y procesamiento: DIHIDRONAV.

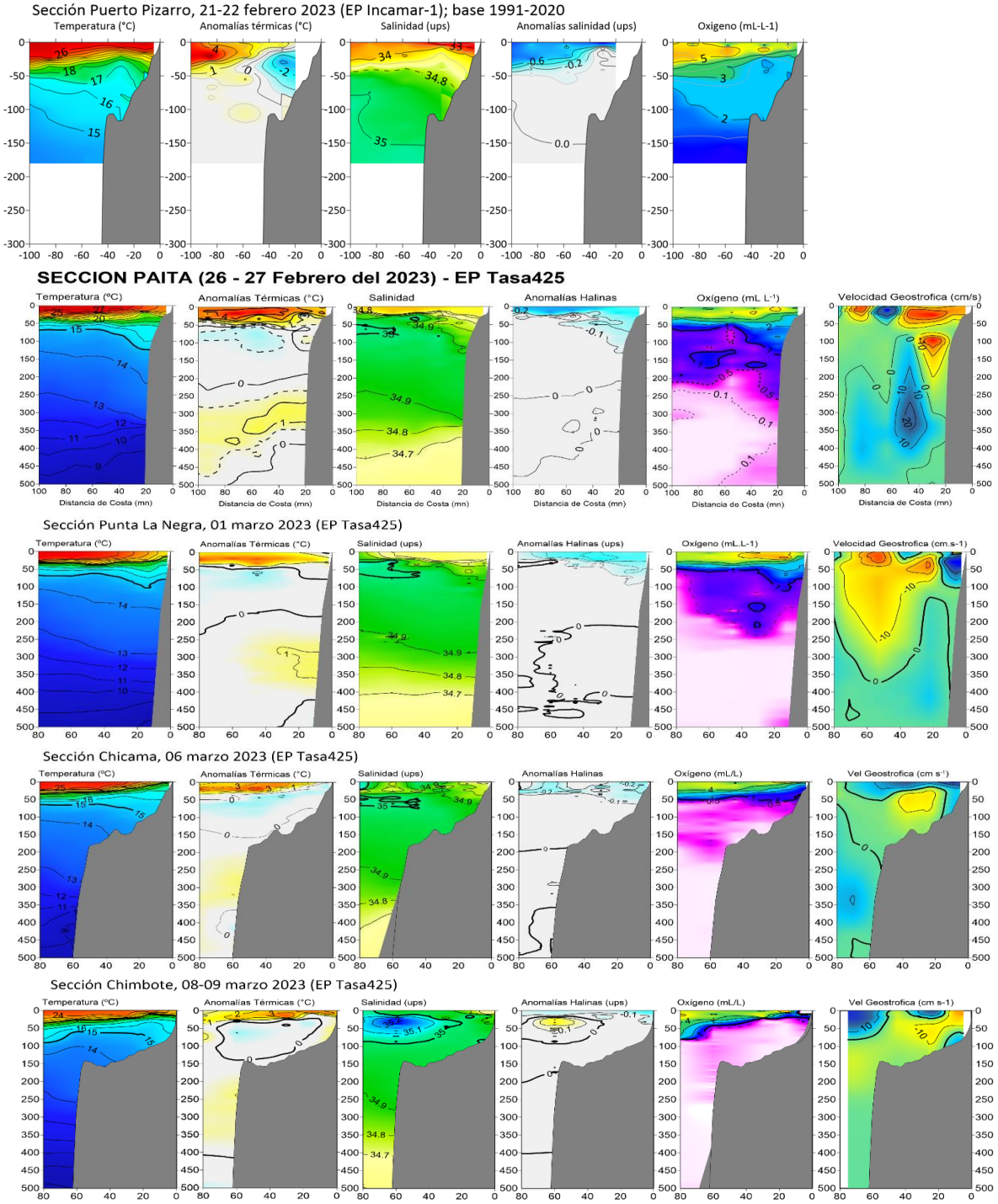

Figura 17. Secciones verticales de temperatura (°C), anomalías térmicas (°C) y salinidad, anomalías halinas (mL L^{-1}) frente a a) Puerto Pizarro (21-22 febrero), b) Paita (26-27 febrero), c) Punta La Negra (1 marzo), d) Chicama (6 marzo) y e) Chimbote (8-9 marzo) de izquierda a derecha. Fuente y procesamiento: IMARPE.

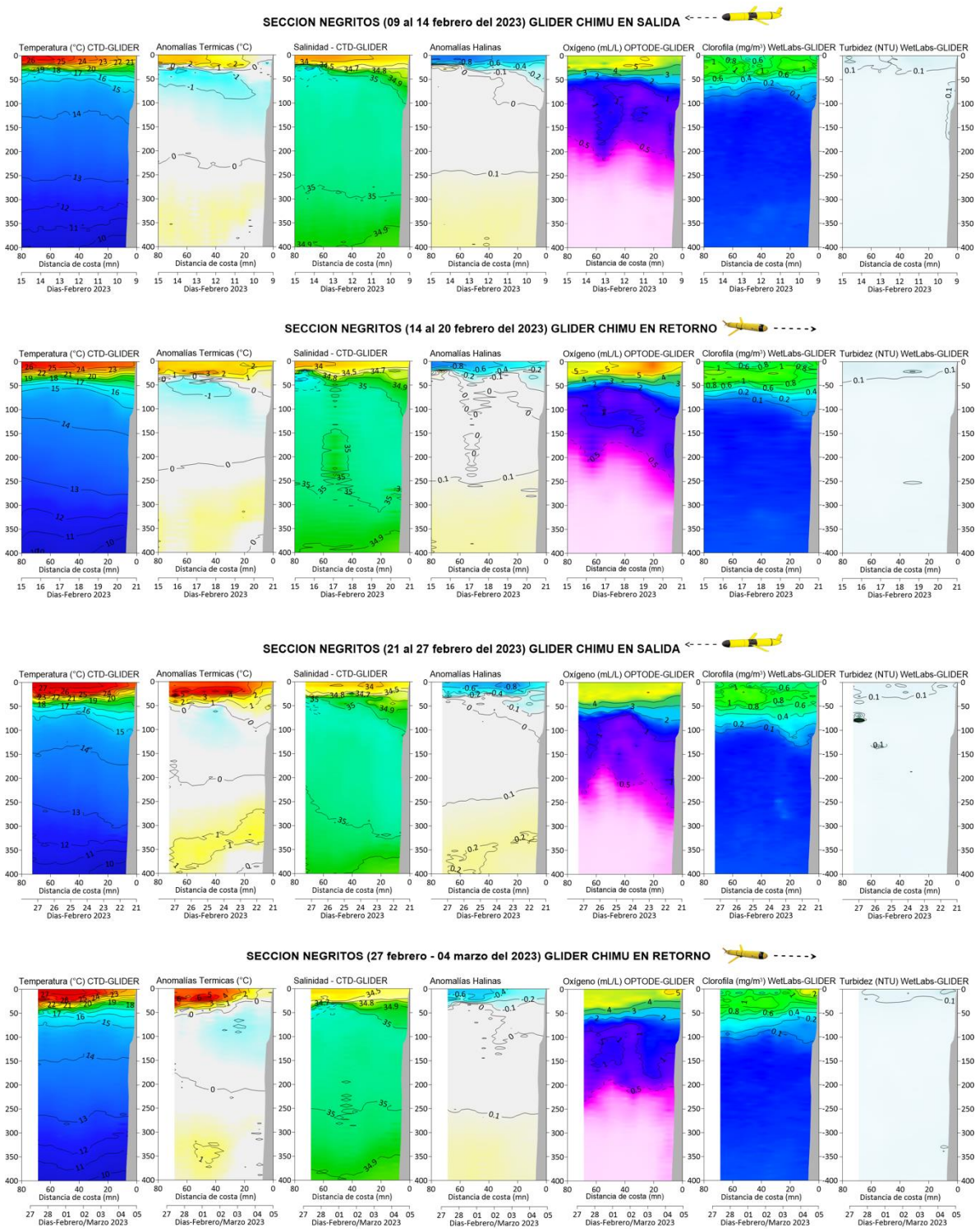

Figura 17a. Sección vertical de temperatura (°C), anomalías térmicas (°C), salinidad, anomalías halinas, oxígeno (mL/L), clorofila (mg/m3) y turbidez (NTU) registrados del 9 de febrero al 4 de marzo (*glider* Chimu) frente a Negritos – Talara.

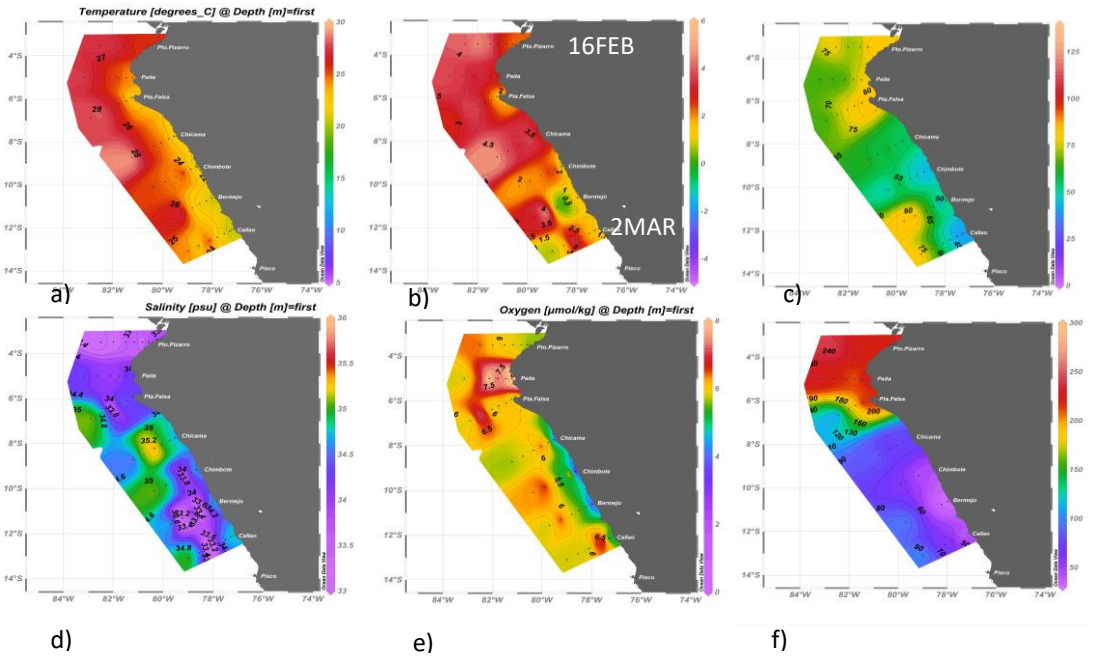

Figura 18. Distribución superficial de la a) temperatura (°C), b) anomalía de la temperatura (°C), c)profundidad de la isoterma de 15°C, d)salinidad, e) oxígeno superficial y f) profundidad de la iso-oxigena 0.5ml/l. Fuente y procesamiento: DIHIDRONAV.

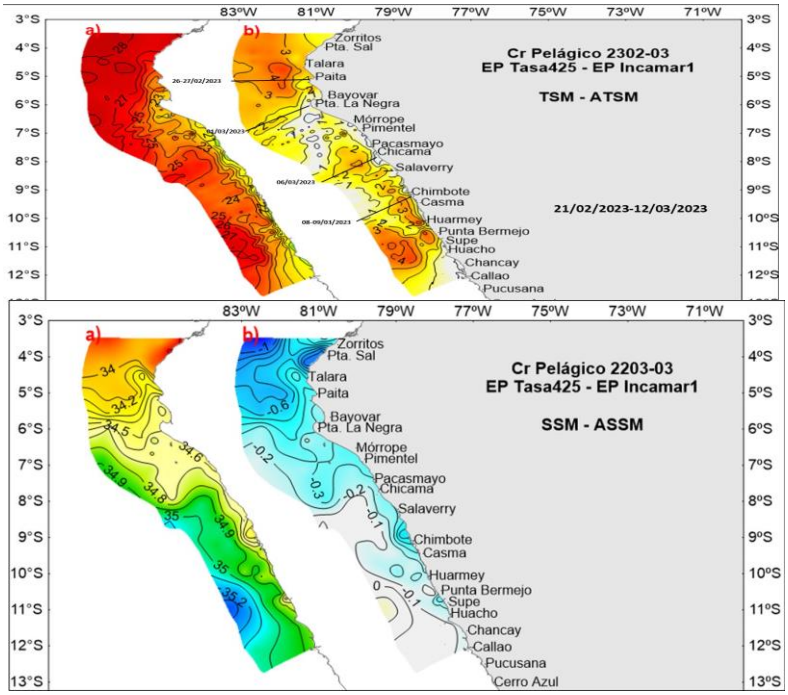

Figura. 18a. a) TSM (°C) y ATSM (°C) y b) SSM y ASSM, registrada por el Crucero Pelágico 2302-03 (EP Tasa425 – EP Incamar1) del 21-02-2023 al 08-03-2023.

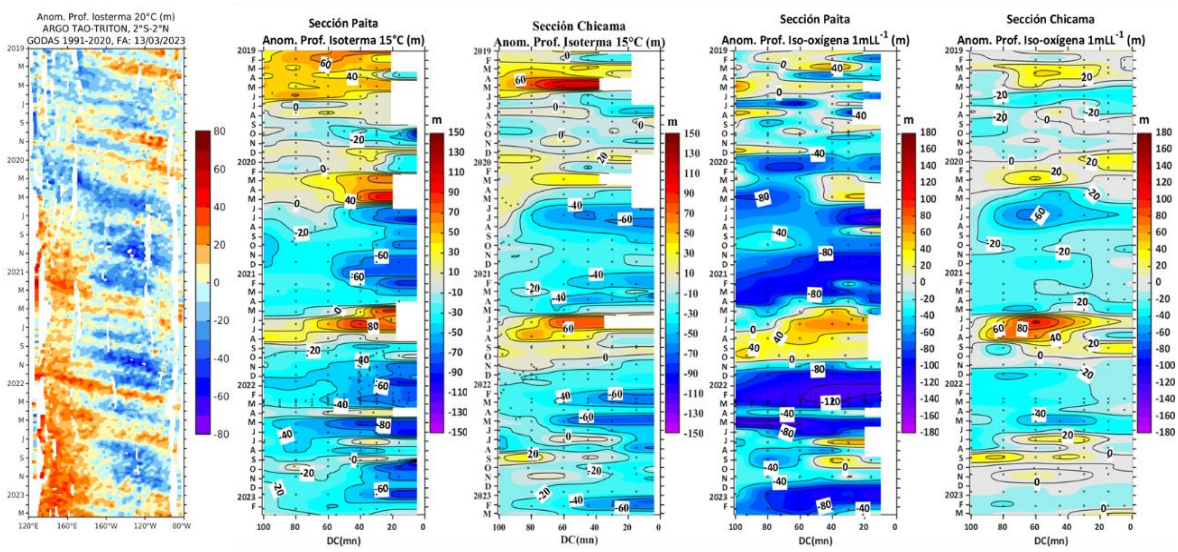

Figura 18b. Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20 en el Pacífico ecuatorial (ARGO/ TAO Triton) y anomalías de la profundidad de la isoterma de 15 ºC y de la iso-oxígena de 1 mL.L-1, indicadores de la termoclina y de la oxiclina, respectivamente, frente a Paita y Chicama, estimadas en base a los monitoreos mensuales realizados por el IMARPE.

En base a la salinidad superficial del mar (SSM), se observó la aproximación de las Aguas Tropicales Superficiales (ATS) hasta Negritos, mientras que las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) se acercaron hasta Chicama durante la segunda quincena de febrero, para luego replegarse al norte. En marzo, las AES alcanzaron la zona de Pimentel hasta las 60 millas náuticas de la costa con anomalías de -0,3 °C (Figuras 16, 17 ,18, 18a y 21).

Al sur de Pimentel y entre febrero y marzo, habrían predominado las aguas costeras frías (ACF), aunque con la presencia intermitente de salinidades de 34,7 dentro de las 20 millas náuticas, posiblemente asociadas a la descarga de los ríos. En la zona oceánica se observaron a las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) (Figura 17, 17a, 18a y 21).

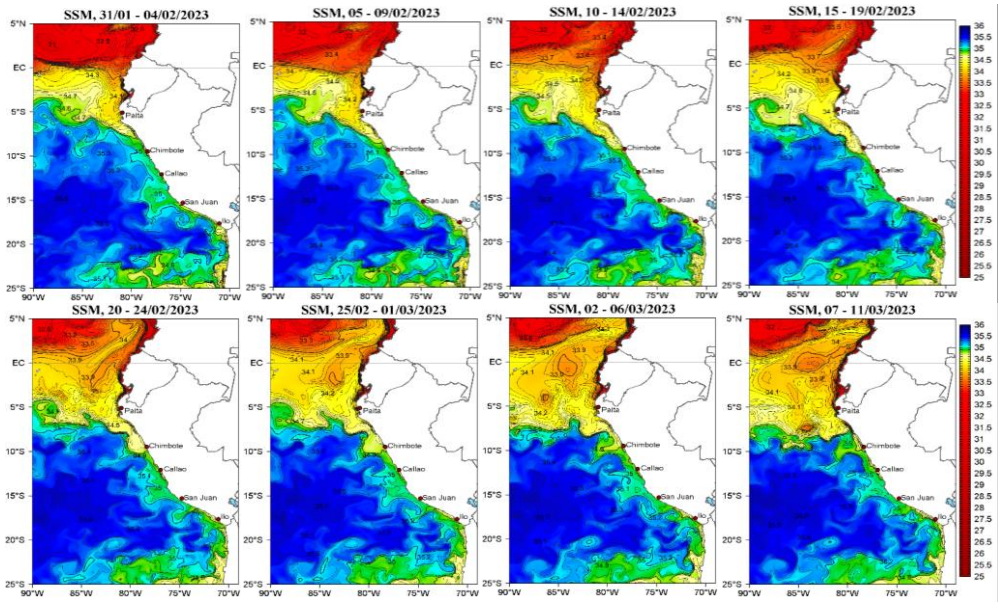

Figura 19. Distribución espacial promedio pentadal de la salinidad superficial en el océano Pacífico tropical oriental, de febrero a marzo de 2023. Fuente: MERCATOR. Procesamiento: AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

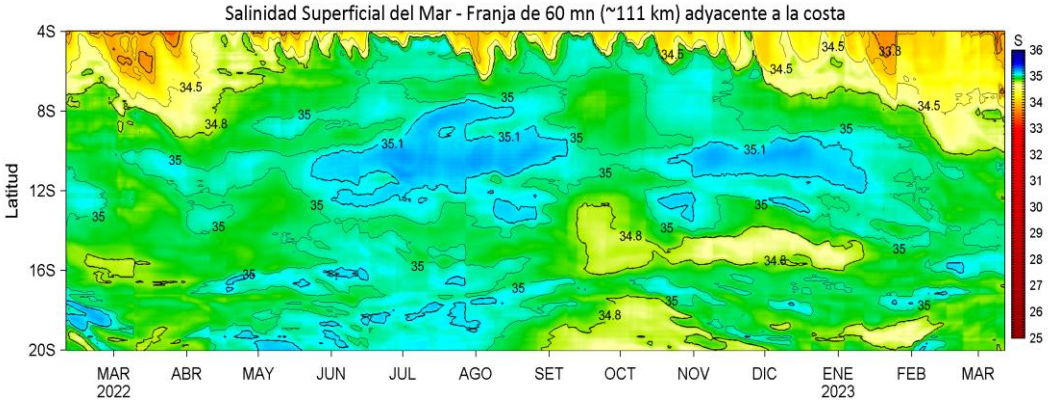

Figura 20. Diagrama Hovmöller de la SSM en la franja de las 60 millas, de febrero 2022 a marzo 2023. Fuente: Global Analysis Forecast PHY 001_024. Procesamiento: IMARPE.

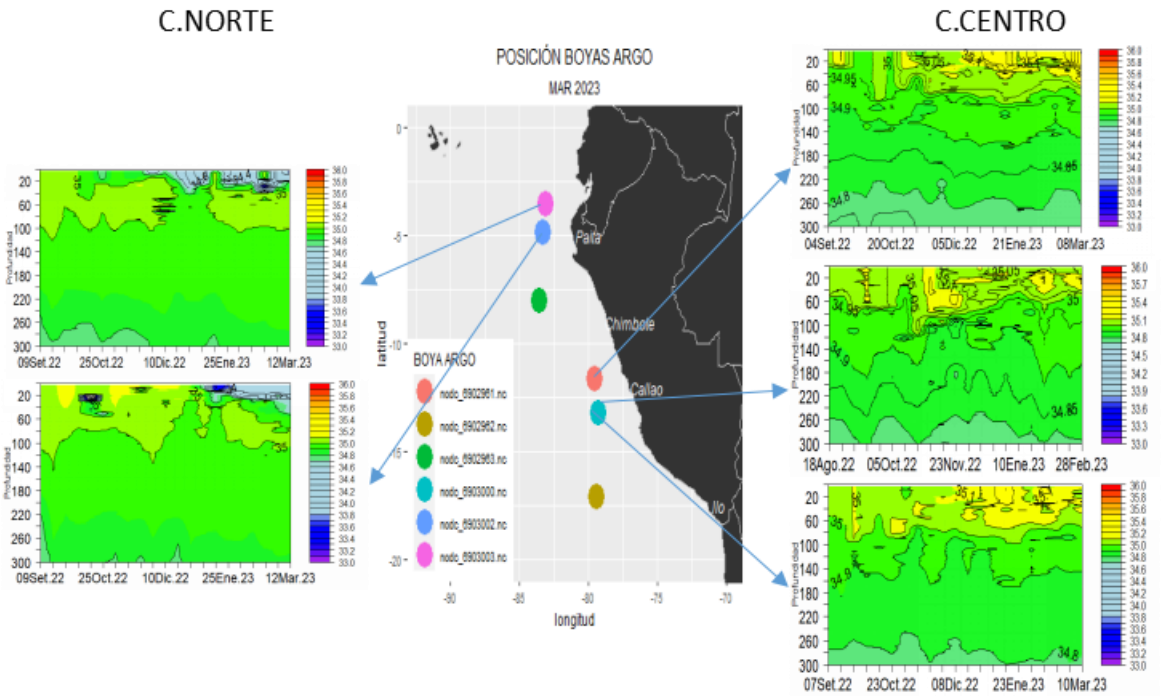

Figura 21. Sección de la salinidad del mar frente a la costa de Perú de agosto 2022 a marzo 2023. Fuente: ARGO. Procesamiento: DIHIDRONAV.

En cuanto a las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), para fines de febrero e inicios de marzo, la iso-oxígena de 1,0 $mL.L^{-1}$, indicador de la oxiclina, se ubicó entre los 60 y 140 m frente a Paita. Frente a Chicama se localizó entre los 40 m a 50 m. El borde superior de la zona de mínima de oxígeno (ZMO, OD < 0,5 $mL.L^{-1}$) se ubicó a 180 m de profundidad en el extremo norte, y a 60 m frente a Chicama (Figura X7). La anomalía negativa de la profundidad de la oxiclina exhibió una tendencia a reducirse en la zona costera frente a Paita y a Chicama (Figura 18b).

3.3. Productividad marina y condiciones biológico pesqueras

De acuerdo a la información satelital, la clorofila-a, presentó mayormente concentraciones entre 1,0 a 5,0 µg L^{-1} en la franja de 40 millas náuticas adyacente a la costa peruana, con los mayores valores en las zonas entre Chicama a Pisco y una franja muy costera entre San Juan e Ilo. Las anomalías de la clorofila-a variaron entre -1,0 µg L^{-1} a +8,0 µg L^{-1}; las anomalías positivas se registraron en una franja costera entre Chimbote a Ilo. En la primera semana de marzo, las concentraciones de clorofila-a superficial se incrementaron relativamente desde Chimbote a Pisco, aunque en general continuaron predominando las anomalías negativas. Destacaron las más bajas concentraciones al norte de Chicama, asociadas a la intromisión de aguas cálidas (Figura 22).

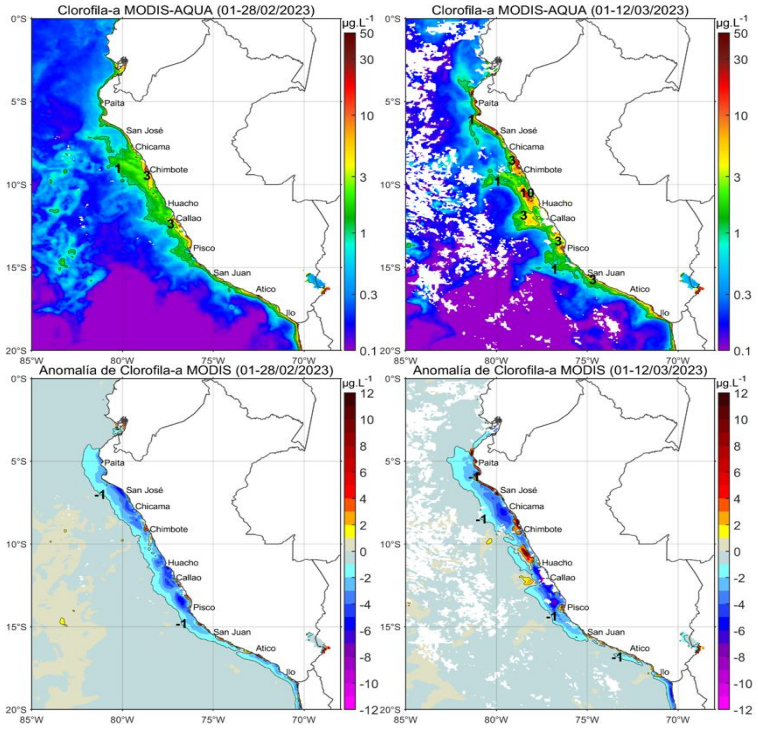

Figura 22. Distribución de la clorofila-a superficial (µg L^{-1}) (superior) y anomalía (inferior) de febrero a marzo 2023 (de izquierda a derecha). Fuente: MODIS-AQUA. Procesamiento: AFIOQG/DGIOCC/IMARPE.

Durante febrero, la pesca industrial de cerco dirigida al recurso anchoveta presentó en la región norte–centro una distribución latitudinal, desde Paita hasta Pisco, con un acercamiento hacia la costa, dentro de las 30 millas náuticas, asociada a aguas de mezcla (AES, ACF y ASS). En la región sur, se distribuyó de Mollendo a Morro Sama, dentro de las 10 millas náuticas de la costa; asociada a ACF, en ambas regiones se asoció a anomalías térmicas entre 0 y -1 °C (Figura 23).

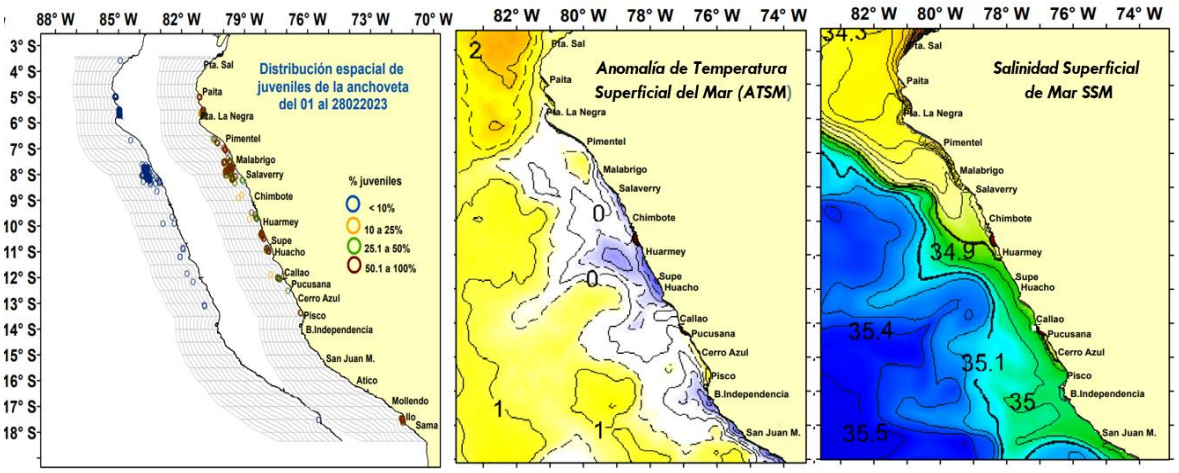

Figura 23. Distribución espacial de lances de a) la pesca artesanal de anchoveta durante febrero 2023 con relación a: b) Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) y c) Salinidad Superficial del Mar (SSM). Fuente: IMARPE.

En la región norte–centro se registró un porcentaje de juveniles de 18,91% manteniendo la sobreposición de adultos y juveniles. En la región sur se registró la mayor incidencia de juveniles con 68 % (Figura 24).

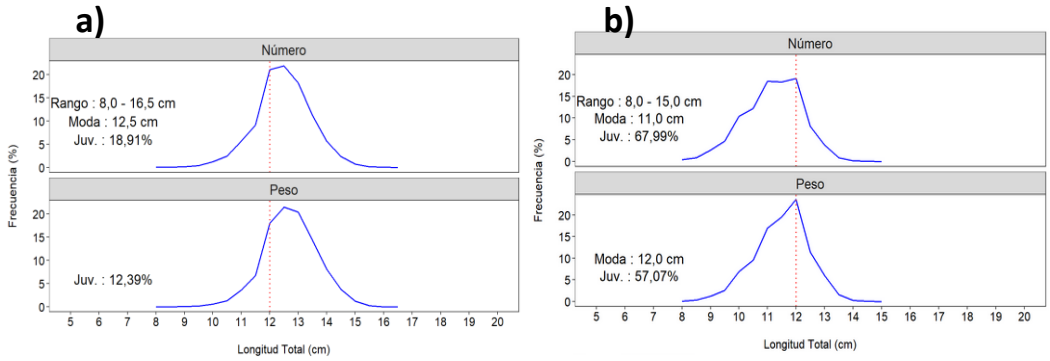

Figura 24. Estructura de tallas de la anchoveta en número y peso en la región a) Norte-centro durante la segunda temporada de pesca del norte - centro de 2022 y b) durante la primera de pesca del sur 2023. Fuente: IMARPE.

Los indicadores reproductivos de la anchoveta peruana del *stock* norte-centro, mostraron un aumento en la actividad desovante y la disminución en los procesos de reabsorción. El valor del contenido graso (CG) fue similar al mes anterior, evidenciando el gasto energético producto de su condición reproductiva (Figura 25).

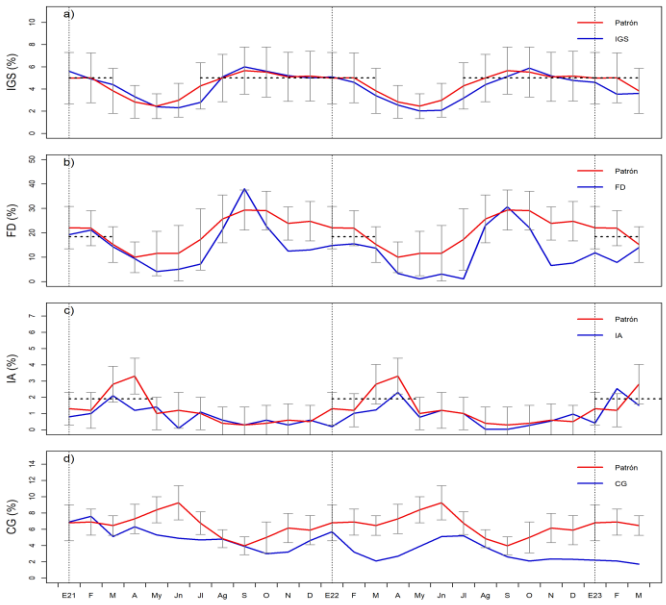

Figura 25. Serie mensual de los indicadores de la condición reproductiva de la anchoveta: a) Índice gonadosomático (IGS), b) Fracción desovante (FD) y c) Índice de atresia (IA) y de la condición somática: d) contenido graso (CG). De enero 2020 – enero 2023. Fuente: IMARPE.

Las capturas de las especies transzonales jurel y caballa se registraron principalmente desde Chimbote hasta San Juan de Marcona, dentro de las 120 millas náuticas de la costa, asociadas a aguas de mezcla entre ASS y ACF, con una gran disponibilidad; mientras que el bonito presentó una amplia distribución desde Talara hasta Morro Sama asociado a la mezcla entre AES, ASS y ACF en el norte y ASS con ACF en el sur dentro de las 60 millas náuticas, con una mayor accesibilidad (Figura 26).

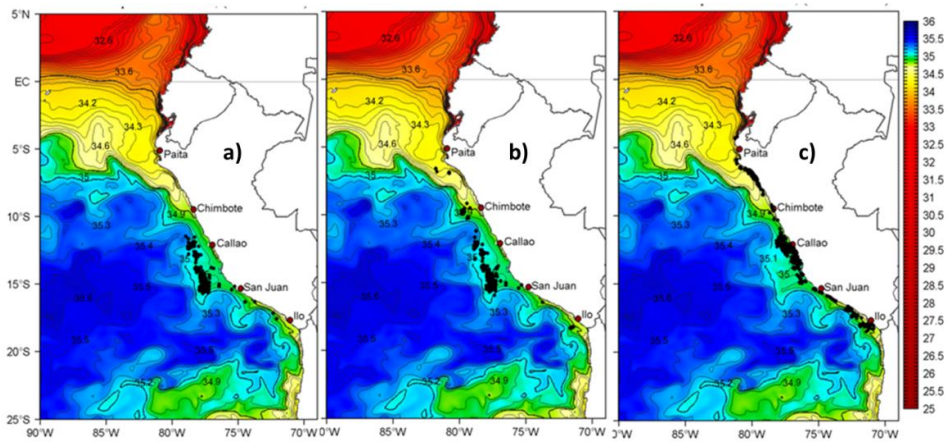

Figura 26. Distribución de lances, realizados por embarcaciones dirigidas a especies transzonales a) jurel b) caballa y c) bonito en relación a la salinidad superficial del mar (SSM). Periodo: febrero 2023. Fuente: IMARPE.

El índice gonadosomático (IGS) de la caballa aumentó respecto a enero, indicando importantes procesos de maduración gonadal y desove, continuando con su periodo reproductivo. El IGS de jurel en lo que va del mes de marzo mostró la disminución en su actividad reproductiva, indicándonos el fin de su periodo importante de reproducción. El recurso bonito mostró una ligera disminución en el valor de IGS, indicando la disminución de los procesos de maduración gonadal y desove (Figura 27)

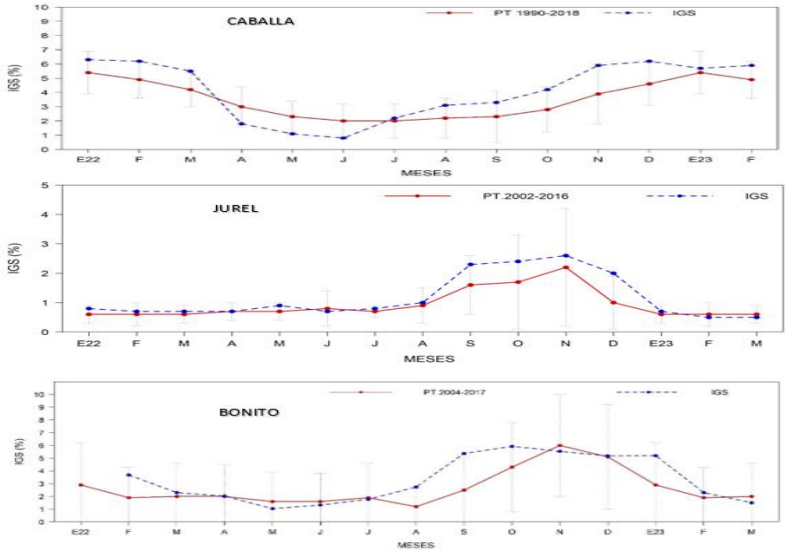

Figura 27. Índice gonadosomatico (IGS) de a) jurel, b) caballa y c) bonito. Periodo enero 2021 a febrero 2023 respecto al patrón histórico 2002-2016. Fuente: IMARPE.

La merluza se distribuyó frente a la zona comprendida entre Puerto Pizarro y Punta La Negra y, las principales capturas de la flota industrial se registraron al norte de Punta Sal (Figura 28a). Además, durante febrero, la estructura de tallas total del recurso fluctuó entre 18 y 66 cm de longitud total (LT), con una moda principal en 32 cm LT, la que fue mayor respecto al mes anterior (Figura 28b).

a)

b)

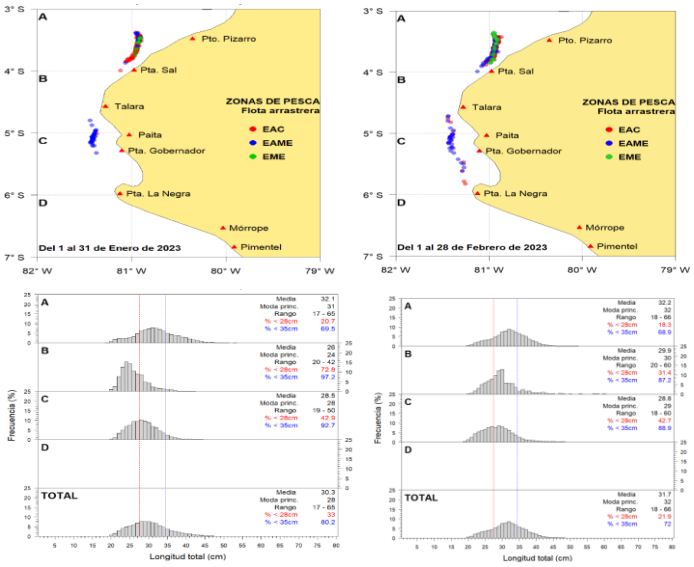

Figura 28. a) Distribución mensual de merluza de febrero y marzo 2023 y b) estructura de tallas de merluza. Fuente: IMARPE.

El calamar gigante, pulpo y concha de abanico mostraron incrementos de sus desembarques, a diferencia del recurso calamar común que disminuyó respecto a enero 2023 (Figura 29).

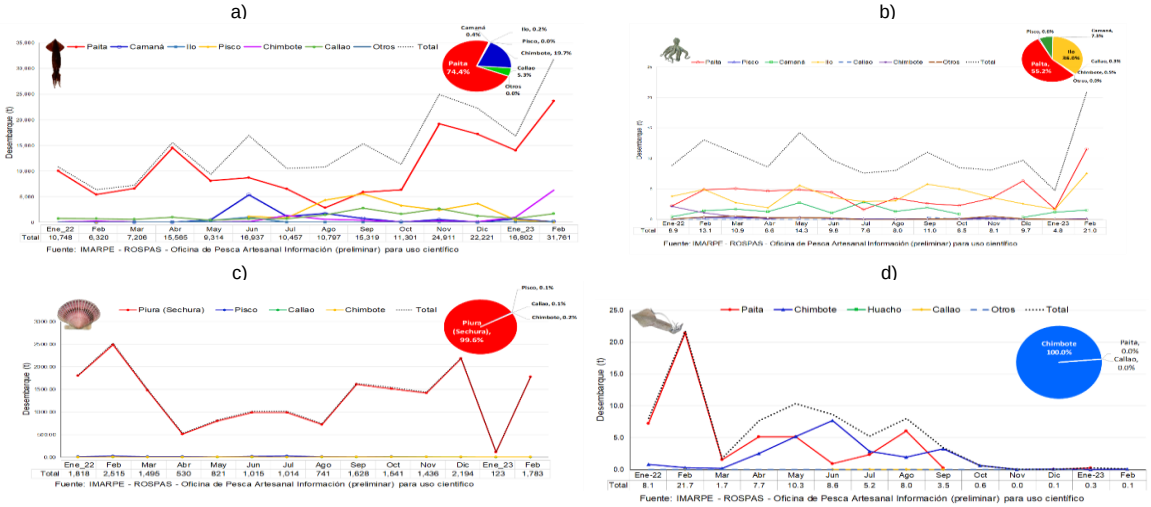

Figura 29. a) Desembarques entre enero 2022 a febrero 2023 de a) calamar gigante Dosidicus gigas, b) pulpo Octopus mimus, c) concha de abanico Argopecten purpuratus, y d) calamar común Doryteuthis gahi. Fuente: IMARPE.

El calamar gigante estuvo distribuido entre Paita y Morro Sama, mostrando las mayores concentraciones en las zonas norte y centro (Figura 30)

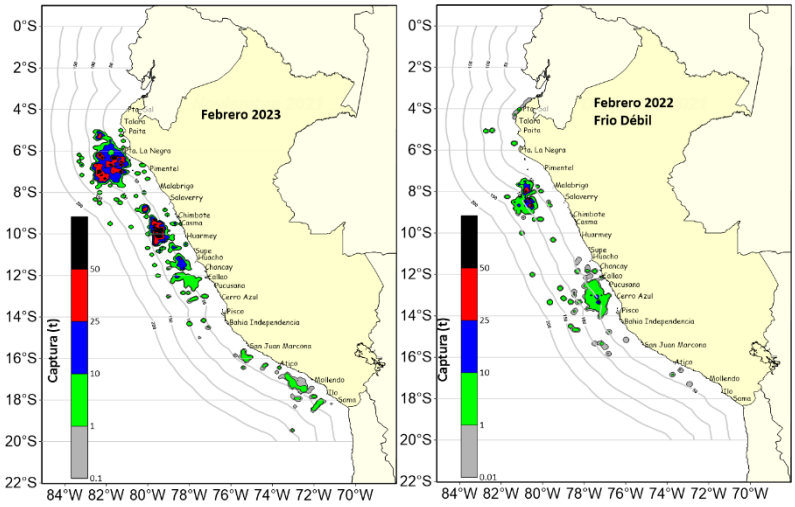

Figura 30. Distribución de la flota artesanal del calamar gigante Dosidicus gigas para febrero 2023. Fuente: IMARPE.

3.4. Condiciones hidrológicas

En febrero, en los principales ríos del país se presentaron caudales sobre lo normal. En los ríos del norte, en las dos primeras semanas de marzo, se presentaron picos de avenidas cercanos a valores de caudales extraordinarios (en los ríos de Motupe y La Leche). Mientras que, en los ríos del Pacífico central y sur, registraron anomalías dentro del rango normal a ligueramente positivos. En contraste, los ríos de la vertiente del Titicaca continúan desde, el mes de octubre de 2022, hasta los primeros 10 días de marzo de 2023 muy por debajo de normal (Tabla 3).

Tabla 3: Caudales de los principales ríos del país febrero - marzo 2023

Zona	Ríos	Pentadiarios (m3/s)									Promedio (m3/s)	Anomalía (%)
		Feb-23						Mar-23				
Pacifico Norte	Tumbes	116.1	83.0	107.1	237.9	317.1	208.1	148.3	572.3	626.3	268.5	40.5
	Chira	53.2	57.0	72.9	90.1	368.2	97.9	85.6	843.6	966.5	292.8	157.4
	Motupe	0.8	0.9	1.2	2.1	3.4	2.0	2.2	13.3	16.7	4.7	224.5
	La Leche	1.9	8.2	12.5	10.4	24.7	9.3	10.0	75.3	83.0	26.1	220.5
	Chancay Lambayeque	26.9	28.4	68.8	79.7	109.9	71.1	46.5	214.3	301.6	105.2	129.9
	Zaña	4.6	4.0	7.8	8.5	26.7	31.3	14.6	56.8	S/D	19.3	158.9
	Jequetepeque	20.1	15.4	25.6	45.8	139.5	84.6	52.1	115.3	S/D	62.3	19.3
	Chicama	18.7	13.6	37.6	64.7	100.6	87.8	40.7	211.7	272.6	94.2	79.2
	Santa	167.8	147.4	219.6	325.5	339.0	450.7	332.9	539.6	1024.9	394.1	57.0
Pacifico Centro	Pativilca	44.1	41.3	52.1	92.5	98.9	95.7	72.4	67.4	93.2	73.0	-2.3
	Huaral	33.5	36.1	30.1	70.5	76.1	47.9	23.0	22.2	71.0	45.6	45.5
	Chillon	6.0	8.9	6.4	17.3	18.8	12.3	7.3	8.4	12.1	10.8	4.9
	Rímac	36.8	41.2	38.5	57.3	66.8	53.4	39.9	37.4	54.5	47.3	-12.4
	Mala	65.0	53.0	42.3	69.2	75.0	52.7	31.2	42.6	52.5	53.7	34.6
	Cañete	136.4	136.4	142.0	171.6	177.2	149.7	101.0	134.4	158.0	145.2	24.0
	Pisco	413.2	129.3	166.1	203.4	63.3	16.2	-16.0	9.2	29.8	112.7	89.7
Pacifico Sur	Ica	99.0	37.2	56.1	43.4	48.8	25.8	31.0	45.8	61.9	49.9	124.4
	Ocoña	373.3	386.4	410.3	394.3	167.8	131.5	97.9	147.8	224.6	259.3	21.8
	Huatiapa	163.9	276.8	293.0	179.9	102.2	83.0	47.9	52.5	S/D	149.9	-15.9
	Sama	9.0	7.8	6.7	3.9	2.1	1.5	1.2	S/D	S/D	4.6	12.4
	Caplina	0.4	0.7	0.6	0.9	0.7	S/D	S/D	S/D	S/D	0.7	-26.7
Titicaca	Huancane	4.4	17.2	16.3	20.9	8.9	7.0	5.3	4.0	S/D	10.5	-76.0
	Ramis	7.0	44.3	107.5	85.2	34.6	18.2	15.0	10.2	S/D	40.2	-79.7
	Coata	29.8	135.7	117.1	43.8	18.7	14.3	8.7	8.0	S/D	47.0	-54.7
	Ilave	9.4	34.2	32.4	24.4		18.9	19.1	19.1	S/D	22.5	-69.4

Fuente: SENAMHI, Juntas de Usuarios y Proyectos Especiales. Elaborado: ANA

Los principales embalses del país, al 13/03/2023 se encuentran almacenando agua a un 56,55 % de la capacidad hidráulica nacional, aproximadamente 20% más en relación al mes anterior. Cabe mencionar que para la misma fecha del año se tenía un almacenamiento del 84,2 % de la capacidad nacional. Los cuatro embalses de la costa norte, han aumentado notoriamente sus volúmenes almacenados, mientras que en el centro existe una tendencia ligera al aumento, y en el sur prácticamente las variaciones son imperceptibles (Tabla 4).

Tabla 4: Estado situacional de los reservorios al 13 de marzo de 2023. Fuente: Proyectos Especiales y operadores hidráulicos. Elaboración: ANA.

Zona	Reservorio	Fecha	Departamento de Influencia	Capacidad Hidráulica (hm3)		Capacidad Hidráulica Almacenada (%)
				Útil	Almacenada	
Costa - Norte	Poechos	13-Mar	Piura	445.5	287.3	64.5
Costa - Norte	San Lorenzo	13-Mar	Piura	195.6	140.3	71.7
Costa - Norte	Tinajones	13-Mar	Lambayeque	331.6	150.9	45.5
Costa - Norte	Gallito Ciego	13-Mar	La Libertad	366.1	205.6	56.2
Costa - Centro	Viconga	23-Mar	Lima	30.0	13.9	46.3
Costa - Centro	Sistema Rímac	23-Mar	Lima, Junín	282.4	165.5	58.6
Costa - Centro	Choclococha	23-Mar	Ica	131.1	77.1	58.8
Costa - Sur	Ccaracocha	23-Mar	Ica	40.0	19.3	48.3
Costa - Sur	Condoroma	13-Mar	Arequipa	259.0	129.1	49.8
Costa - Sur	El Pañe	13-Mar	Arequipa	99.6	66.5	66.8
Costa - Sur	Dique Los Españoles	13-Mar	Arequipa	9.1	3.5	38.5
Costa - Sur	Pillones	13-Mar	Arequipa	78.5	33.3	42.4
Costa - Sur	El Frayle	13-Mar	Arequipa	127.2	81.3	63.9
Costa - Sur	Aguada Blanca	13-Mar	Arequipa	30.4	22.1	72.6
Costa - Sur	Chalhuanca	13-Mar	Arequipa	25.0	12.9	51.6
Costa - Sur	Bamputañe	13-Mar	Arequipa	40.0	13.2	33.0
Costa - Sur	Pasto Grande	13-Mar	Moquegua	200.0	150.6	75.3
Costa - Sur	Paucarani	13-Mar	Tacna	10.5	3.7	35.2
Costa - Sur	Laguna Aricota	13-Mar	Tacna	280.0	192.8	68.9
Sierra - Centro	Jarumas	13-Mar	Tacna	13.0	12.2	93.8
Sierra - Centro	Cuchoquesera	13-Mar	Ayacucho	80.0	49.3	61.6
Sierra - Sur	Lago Junin	13-Mar	Junín	441.0	123.4	28.0
Sierra - Sur	Lagunillas	13-Mar	Puno	585.1	387.0	66.1
Sierra - Sur	Sibinacocha	13-Mar	Cusco	110.0	40.5	36.8
Situación Nacional				4210.69	2381.28	56.55

3.5. Condiciones agrometeorológicas

En zonas frutícolas de Lambayeque, las condiciones térmicas entre ligeramente cálidas y normales favorecieron la fructificación y cosecha del mango; sin embargo, se observó una caída de la fruta por la maduración acelerada, especialmente en los pequeños productores. En cuanto al cultivo de arroz, estas condiciones cálidas promovieron el crecimiento vegetativo y macollaje; no obstante, el incremento de lluvias ocasionó inundaciones por desborde, especialmente en la parte alta de Valle Chancay y Bernal en el bajo Piura. En la costa sur, La Yarada (Tacna), las temperaturas diurnas ligeramente superiores a su promedio climático vienen favoreciendo la maduración del olivo acorde a su estacionalidad (Figura 31).

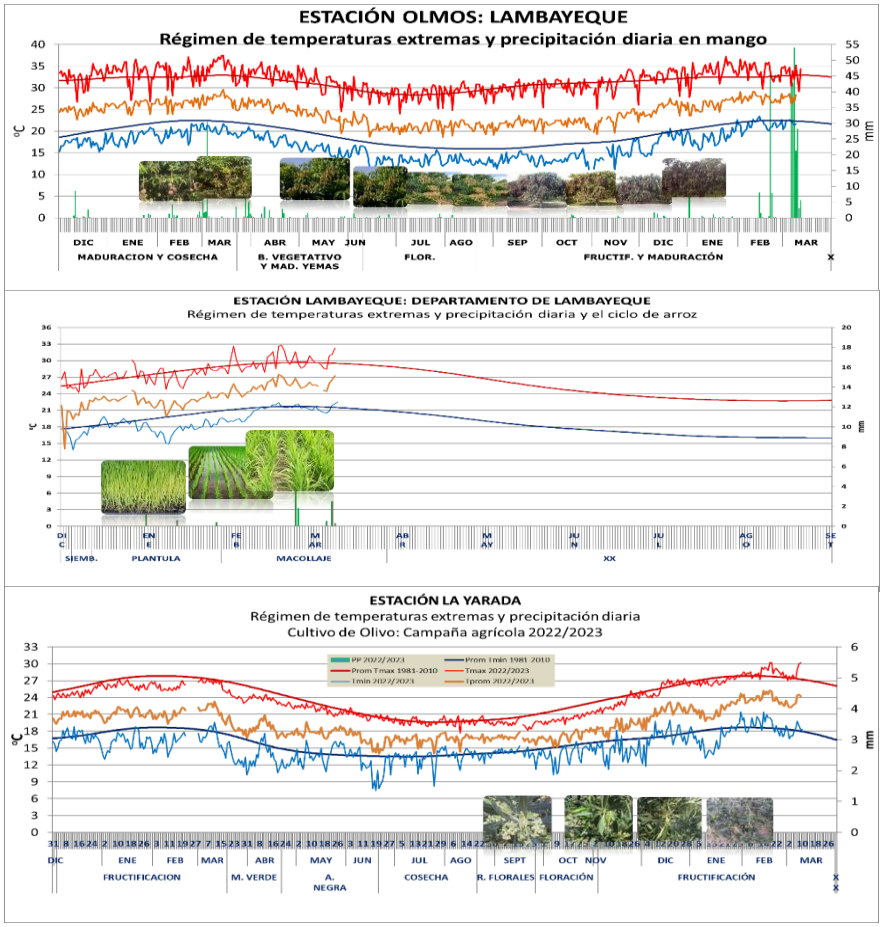

Figura 31. Monitoreo agrometeorológico del mango, arroz y olivo campañas agrícolas 2022/2023 en las estaciones de Olmos, Puchaca y La Yarada. Fuente y procesamiento: SENAMHI.

IV. PERSPECTIVAS

El promedio de los pronósticos de los modelos climáticos del NMME continúan indicando condición neutra en el Pacifico central (Niño 3.4) hasta mayo; entre junio y setiembre se esperarían condiciones cálidas débiles y para octubre se espera una condición cálida moderada (Tabla 5).

Tabla 3: Pronóstico del ONI por los modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4). Fuente: IGP.

Modelo	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	-0.14	0.17	0.37	0.58	0.79	0.97	1.12	1.25
CanCM4i	-0.23	0.02	0.25	0.59	0.92	1.11	1.17	1.16
GEM5_NEMO	-0.30	-0.07	0.15	0.37	0.53	0.60	0.57	0.55
NASA	-0.11	0.23	0.42	0.61	0.73	0.83	0.91	1.01
GFDL_SPEARE	-0.14	0.20	0.51	0.85	1.10	1.21	1.21	1.27
NCAR_CCSM4	-0.12	0.14	0.29	0.49	0.71	0.88	0.95	0.99
Promedio								
NMME	-0.17	0.12	0.33	0.58	0.80	0.93	0.99	1.04

Con respecto a la región Niño 1+2, los pronósticos del ICEN muestran condiciones cálidas débiles en marzo y abril; posteriormente, entre los meses de mayo y octubre, se esperarían condiciones cálidas moderadas (Tabla 6).

Tabla 4: Pronóstico del ICEN por los modelos de NMME (promedios trimestrales de los pronósticos de las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2). Fuente: IGP.

Modelo	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	0.45	0.71	1.09	1.31	1.39	1.34	1.24	1.17
CanCM4i	0.37	0.61	1.05	1.50	1.62	1.46	1.19	0.96
GEM5_NEMO	0.68	0.95	0.92	0.69	0.46	0.38	0.41	0.36
NASA	0.75	1.27	1.82	2.22	2.28	2.05	1.71	1.43
GFDL_SPEARE	0.99	1.55	1.97	2.07	2.10	2.06	1.92	1.70
NCAR_CCSM4	0.53	0.87	1.22	1.38	1.37	1.25	1.03	0.83
Promedio								
NMME	0.63	0.99	1.35	1.53	1.54	1.42	1.25	1.08

Las proyecciones basadas en los datos observados y los resultados de los modelos de ondas indican que el núcleo de la onda Kelvin cálida arribaría en los siguientes días. Posterior a ello, se espera que arribe una onda Kelvin fría. El nuevo paquete de ondas Kelvin cálidas que se aprecia en la zona central y occidental del Pacífico arribaría entre los últimos días de abril e inicios de mayo (Figura 32, 33 y 34).

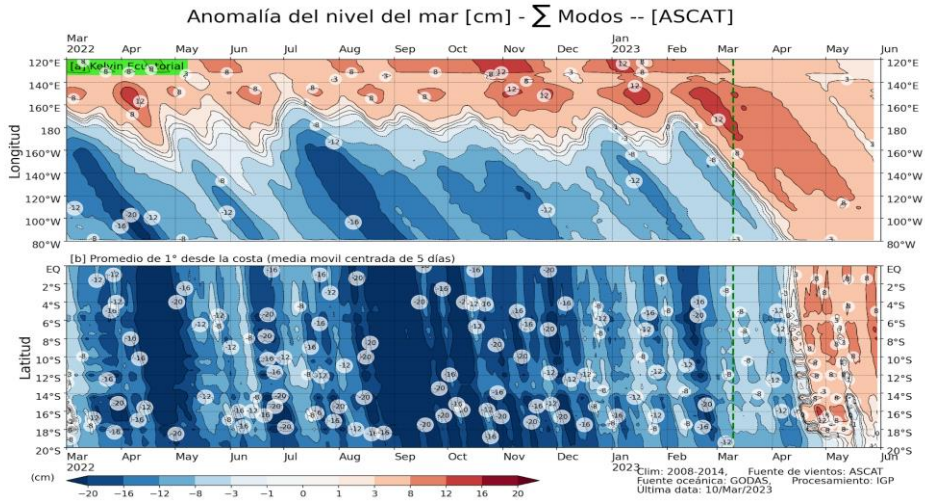

Figura 32. Anomalía del nivel del mar (en cm) para la sumatoria de los modos (modo 1, 2 y 3) simulado a partir del Modelo Oceánico Multimodal (MOMM-IGP; Urbina y Mosquera, 2020) en la franja ecuatorial (superior) y costera (inferior), La línea verde representa el inicio del pronóstico, el modelo fue forzado con la fuente de datos de viento denominada ASCAT. Fuente: IGP.

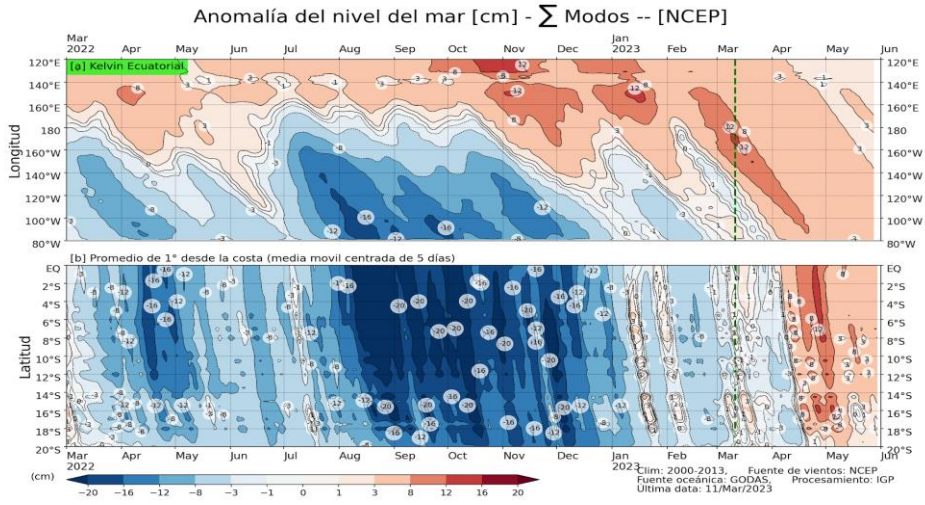

Figura 33. Anomalía del nivel del mar (en cm) para la sumatoria de los modos (modo 1, 2 y 3) simulado a partir del Modelo Oceánico Multimodal (MOMM-IGP; Urbina y Mosquera, 2020) en la franja ecuatorial (superior) y costera (inferior), La línea verde representa el inicio del pronóstico, el modelo fue forzado con la fuente de datos de viento denominada NCEP. Fuente: IGP.

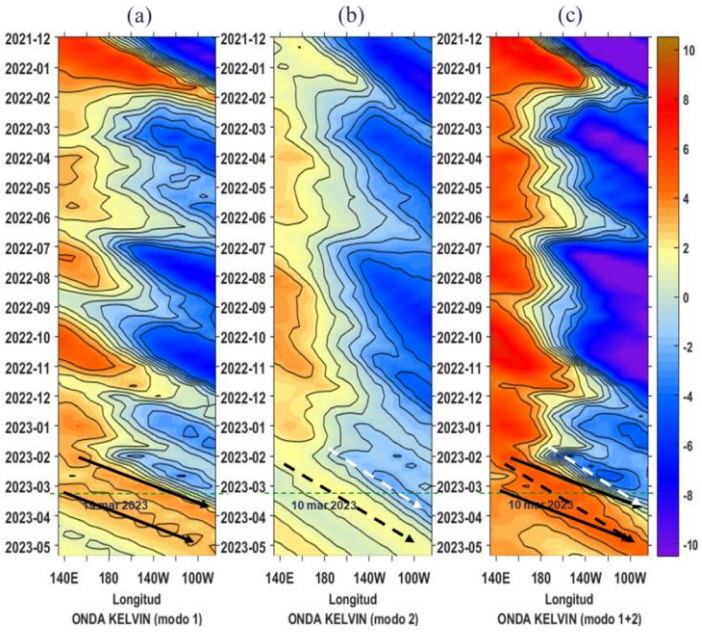

Figura 34. Diagrama Hovmöller (longitud-tiempo) de las ondas Kelvin en el océano Pacífico ecuatorial (0°N): (a) Modo 1 (flechas con líneas continuas), (b) Modo 2 (flechas con líneas discontinuas), (c) Modos 1+2. Se presentan las ondas de hundimiento “cálidas” (flechas negras), y las ondas de afloramiento “frías” (flechas blancas). La línea discontinua horizontal, en verde, indica el inicio del pronóstico con el forzante de vientos climatológico. Fuente: IMARPE, forzado con anomalías del esfuerzo de vientos de NCEP. Procesamiento: LMOECC/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

En base a lo expuesto, considerando el análisis de los datos observados, los resultados de los modelos de pronóstico y el juicio experto de la Comisión Multisectorial del ENFEN, se estima una mayor probabilidad de que en el Pacífico central se mantengan valores dentro de lo normal hasta mayo de 2023 y que posteriormente ocurra la transición hacia condiciones El Niño (Tabla 7 y Figura 35) (Tabla 9).

Tabla 5: Probabilidades mensuales estimadas de las condiciones cálidas y frías anómalas en el Pacífico central (región 3,4) entre marzo y agosto 2023.

Pacífico central	Marzo (%)	Abril (%)	Mayo (%)	Junio (%)	Julio (%)	Agosto (%)
Fría fuerte	0	0	0	0	0	0
Fría moderada	0	0	0	0	0	0
Fría débil	4	1	0	0	0	0
Neutro	90	88	79	60	45	35
Cálida débil	6	11	20	38	50	53
Cálida moderado	0	0	1	2	5	12
Cálida fuerte	0	0	0	0	0	0
Cálida extremo	0	0	0	0	0	0

Para la región Niño 1+2, se estima una mayor probabilidad de condiciones cálidas a partir de marzo hasta al menos agosto de 2023 (Tabla 8 y Figura 35). Cabe indicar que la probabilidad de las condiciones cálidas alcanzaría 100% y 99% en marzo y abril, respectivamente. Considerando que el ICEN se calcula como la media móvil de las anomalías mensuales de TSM en la región Niño 1+2 y las TSM/ATSM esperadas entre marzo y abril indicadas anteriormente, la distribución de las probabilidades mensuales se reflejaría en un valor del ICEN superior al umbral de las condiciones cálidas débiles entre marzo y julio, por lo pronto.

Tabla 8: Probabilidades mensuales estimadas de las condiciones cálidas y frías anómalas en el Pacífico oriental (región Niño 1+2) entre marzo y agosto 2023.

Pacífico oriental	Marzo (%)	Abril (%)	Mayo (%)	Junio (%)	Julio (%)	Agosto (%)
Fría fuerte	0	0	0	0	0	0
Fría moderada	0	0	0	0	0	0
Fría débil	0	0	0	0	0	0
Neutro	0	1	8	12	15	9
Cálida débil	56	60	62	63	61	61
Cálida moderado	44	39	30	25	24	30
Cálida fuerte	0	0	0	0	0	0
Cálida extremo	0	0	0	0	0	0

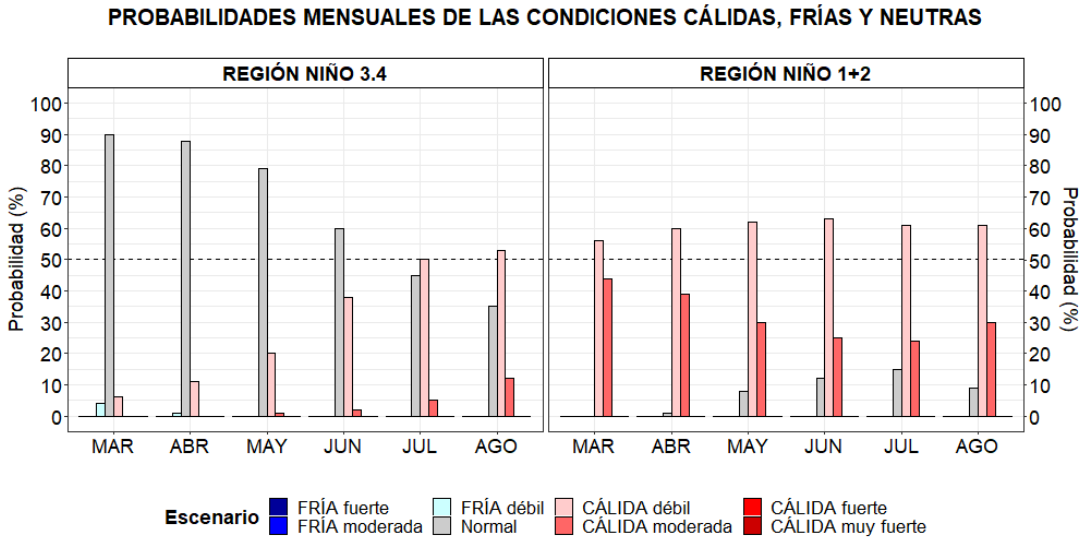

Figura 35. Probabilidades mensuales estimadas para condiciones cálidas, neutras y frías en el Pacífico central (región Niño 3.4, izquierda) y en el extremo del Pacífico oriental (región Niño 1+2, frente a la costa de Perú, derecha) entre marzo y agosto 2023.

Las temperaturas superficiales del mar en la región Niño 1+2, podrían ser superiores de 27 °C y 26 °C en marzo y abril, respectivamente, alcanzando valores entre 0,4 °C a 1,0 °C por encima de su valor normal, en promedio. Asociado a este calentamiento y de acuerdo al pronóstico estacional de precipitación vigente para el trimestre abril-junio de 2023[3], se prevén precipitaciones superiores a lo normal, determinadas principalmente por las lluvias en abril, en la costa norte y centro, así como en la sierra norte y centro occidental del país. Para lo que resta de marzo, se mantienen las condiciones favorables para la ocurrencia de lluvias de moderada a fuerte intensidad en la costa norte y en la sierra noroccidental. Para el mismo trimestre, las temperaturas máximas y mínimas se mantendrían sobre sus valores normales en la costa norte y centro el país, principalmente.

En cuanto a los recursos pesqueros, de continuar las condiciones cálidas anómalas, se prevé que la anchoveta se repliegue a la costa y finalice el proceso de desove de verano del stock norte-centro. Por otro lado, los recursos transzonales (jurel, caballa y bonito) presentarían mayor disponibilidad y accesibilidad a la pesquería. La merluza mostraría un desplazamiento latitudinal de su población al sur de la zona tradicional de pesca. Estos cambios dependerán de la intensidad y duración de las condiciones cálidas.

Por otro lado, en lo que resta de marzo se espera que los ríos desde Tumbes a Ica sigan manteniendo caudales con niveles de alerta ante posibles desbordes e inundaciones y los ríos de las cuencas del Apurímac, Urubamba y de la vertiente del Titicaca seguirían permaneciendo caudales por muy debajo de sus valores normales.

[3]

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Comisión Multisectorial ENFEN cambia el Estado del sistema de Alerta “Vigilancia de El Niño costero” a “Alerta de El Niño costero”, debido a que cambios inusuales en el acoplamiento océano atmósfera en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, han propiciado que el calentamiento esperado para marzo probablemente se extienda hasta julio, por lo pronto, con magnitud débil. Entre los factores que contribuyen al desarrollo del evento destacan, por un lado, la ocurrencia de anomalías de vientos del oeste en el Pacífico oriental asociados a la alteración de los patrones de circulación atmosférica en el Pacífico Tropical oriental, y, por el otro, el arribo esperado de un paquete de ondas Kelvin cálidas entre marzo y mayo, que mantendrían las temperaturas por encima de sus valores normales.

Para la región del Pacífico central, los modelos internacionales estiman que las condiciones neutras se mantengan hasta mayo y que luego podría generar una transición a condiciones El Niño. Cabe recalcar que los pronósticos para más allá de otoño muestran una incertidumbre alta debido a la barrera de predictibilidad.

Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los posibles escenarios de riesgo de acuerdo con el pronóstico estacional vigente para fines de reducción del riesgo de desastres

La Comisión Multisectorial del ENFEN continúa monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. En vista de las condiciones presentes, el ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el 30 de marzo de 2023.

VI. REFERENCIAS

A.O.A.C. 1990. Official Methods of analysis. 15 th Edition, USA.

Behringer, D.W., and Y. Xue, 2004: Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific Ocean. Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface, AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, 11-15. Derber, J.C., and A. Rosati, 1989: A global oceanic data assimilation system. J. Phys. Oceanogr., 19, 1333-1347.

Bentamy A., Croize-Fillon D., Perigaud C. 2008. Characterization of ASCAT measurements based on buoy and QuikSCAT wind vector observations. Ocean Science, 4(4), 265-274. https://doi.org/10.5194/os-4-265-2008Bentamy A. S. A.Grodsk,A. Elyouncha, B. Chapron, F. Desbiolle, 2016. Homogenization of Scatterometer Wind Retrievals, Int. J. Climatol. doi:10.1002/joc.

Boulanger, J.-P., & 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.

Buitrón B., A. Perea, J. Mori, J. Sánchez, C. Roque. 2011. Protocolo para estudios sobre el proceso reproductivo de peces pelágicos y demersales. Protocol for studies on the reproductive process of pelagic and demersal fishes. Boletín Instituto del Mar Perú, 38: 373-384

Carton, J. A., and B. S. Giese (2008), A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA), Mon. Weather Rev., 136, 2999– 3017.

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.

Dewitte, B., Reverdin, G., & Maes, C. (1999). Vertical structure of an OGCM simulation of the equatorial Pacific Ocean in 1985-94. Journal of Physical Oceanography, 29(7), 1542–1570. https://doi.org/10.1175/1520-0485(1999)029<1542:VSOAOS>2.0.CO;2

Duan, W. and Wei, C. 2013. The ‘spring predictability barrier’ for ENSO predictions and its possible mechanism: results from a fully coupled model. Int. J. Climatol., 33: 1280-1292. https://doi.org/10.1002/joc.3513

ENFEN, 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus

magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN. 2 pp.

ENFEN, 2015. Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN. 7 pp.

Huang, B., Peter W. Thorne, et.al. 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. J. Climate, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1

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

Lavado-Casimiro, Waldo y Espinoza, Jhan Carlo. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). Revista Brasileira de Meteorologia [online]. 2014, v. 29, n. 2 [Accedido 1 Setiembre 2021], pp. 171-182. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>. Epub 04 Jul 2014. ISSN 1982-4351. https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003.

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, 55 pp.

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.

Okumura, Y. M., DiNezio, P., & Deser, C. (2017). Evolving impacts of multiyear La Niña events on atmospheric circulation and U.S. drought. Geophysical Research Letters, 44, 11,614– 11,623. https://doi.org/10.1002/2017GL075034

Quispe-Ccalluari C, Tam J, Arellano C, Chamorro A, Espinoza-Morriberón D, Romero C y J Ramos. 2017: Desarrollo y aplicación de índices y simulaciones para la vigilancia y el pronóstico a mediano plazo del impacto del ENOS frente a la costa peruana. Inf Int. Mar Perú, 44(1): 28-34.

SENAMHI. 2021. INFORME TÉCNICO N°08-2021/SENAMHI-DMA-SPC. “ESCENARIO PROBABILÍSTICO DE LLUVIAS PARA EL VERANO 2022”. Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02261SENA-2.pdf

Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.-C., Vuille, M. and Lavado-Casimiro, W. (2018), Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. Int. J. Climatol, 38: 420-435. https://doi.org/10.1002/joc.5185

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.

Tokinaga, H., Richter, I., and Kosaka, Y. (2019). ENSO Influence on the Atlantic Niño, Revisited: Multi-Year versus Single-Year ENSO Events. Journal of Climate 32, 14, 4585-4600, available from: https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0683.1

Urbina, B. y K. Mosquera, 2020. Implementación y validación de un modelo océanico multimodal para la región ecuatorial del océano Pacífico. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 Nº 01, pag. 13-20.

Vazzoler A E.1982. Manual y métodos para estudios biológicos de populacoes de Peixes. Reproducción y Crecimiento. CNP/PN2, 108 pp.

Wentz, F.J., L.Ricciardulli, C.Gentemann, T. Meissner, K.A. Hilburn, J. Scott, 2013: Remote Sensing Systems Coriolis WindSat [indicate whether you used Daily, 3-Day, Weekly, or Monthly] Environmental Suite on 0.25 deg grid, Version 7.0.1, [indicate subset if used]. Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA. Available online at www.remss.com/missions/windsat.

VII. ANEXO

Anexo 1: Principales variables y bases de datos utilizados en el presente informe

VARIABLE	FUENTE																			PROCESAMIENTO	OBSERVACIONES
	Observaciones *in situ*										Satélite/Reanálisis								Modelos		
	Estaciones costeras	Secciones verticales	Estaciones fijas	Cruceros	Boyas TAO/TRITON	Programa Bitácoras de Pesca (PBP)	Seguimiento de Pesquerías	Monitoreo de islas, puntas, playas, estuarios, etc,	Alerta de fauna marina varada	Estaciones de observación fenológica/Cultivo	ESRL/NOAA	GPM	Reanálisis NCEP/NOAA	QuickScat + ASCAT	Producto OSTIA	Producto CMEMS	TRMM-3B42	SeaWIFS + MODIS	GFS	MERCATOR Ocean		
VARIABLES ATMOSFÉRICAS																					
Radiación de Onda Larga											X										IGP	*http://www,met,igp,gob,pe/variabclim/yakifigs/olr170E_140W,gif http://www,met,igp,gob,pe/variabclim/yakifigs/olr170W_100W,gif
Presión Atmosférica													X								SENAMHI	
Vientos													X	X					X		IGP/IMARPE	
Temperatura del Aire	X		X																		SENAMHI	
Precipitación	X											X									SENAMHI	
Precipitación estimada																	X				SENAMHI/IGP	
VARIABLES OCEANOGRÁFICAS																					
Temperatura del Mar	X	X	X	X	X								X		X						DIHIDRONAV/IMARPE	*Información de IMARPE (estaciones costeras, secciones verticales y Cruceros) disponible desde los 60s, Periodo climatológico: 1981-2010, *Anomalías de OSTIA, son calculadas en base a una climatología de 30 años, proveniente de datos de Pathfinder,
Nivel medio del Mar	X															X					DIHIDRONAV/IMARPE	*Disponible desde 1993 a la actualidad, Periodo climatológico: 1993-2012, Frecuencia diaria,
Salinidad		X	X	X																X	DIHIDRONAV/IMARP	*Información de IMARPE (estaciones costeras, secciones

																					E	verticales y Cruceros) disponible desde los 60s, Periodo climatológico: 1981-2010,
Corrientes Marinas		**X**																			IMARPE	*Disponible desde los 60s, Frecuencia mensual,
Oxígeno y Nutrientes		**X**	**X**	**X**																	IMARPE	*Cruceros disponibles desde los 60s, otras observaciones disponibles desde 2015, Periodo climatológico: 1981-2010,
Clorofila																		**X**			IMARPE	* Promedio mensual y pentadal corresponden a MODIS y SeaWIFS+MODIS corregido, respectivamente, *Cobertura nubosa de MODIS,
VARIABLES BIOLOGICO-PESQUERAS																						
Desembarques pesqueros							**X**														IMARPE	*Disponible desde 1959 con frecuencia diaria y mensual,
Distribución espacial de recursos				**X**		**X**															IMARPE	*El muestreo del PBP representa 1% de los viajes de pesca de la flota de cerco de anchoveta peruana,
Biometría e indicadores				**X**		**X**															IMARPE	*Información par anchoveta disponible desde 1959 con frecuencia variable (diaria, mensual, semestral),
VARIABLES DE RECURSOS HIDRICOS Y AGROMETEOROLÓGICAS																						
Caudal de ríos			**X**																		ANA	
Reservorios y embalses			**X**																		ANA	
Desarrollo de cultivos										**X**											SENAMHI	