

COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO “EL NIÑO”



AÑO 9 N°21

INFORME TÉCNICO ENFEN

AL 29 DICIEMBRE 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:

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

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)

Ing. Gabriela Teófila Rosas Benancio
Presidenta Ejecutivo, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Ing. Juan Carlos Castro Vargas
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: Kobi Mosquera (IGP)

IMARPE: Dimitri Gutiérrez, Marilú Bouchon, Luis Vásquez, Carlos Quispe, Tony Anculle, Dante Espinoza, Cecilia Peña y Adolfo Chamorro

SENAMHI: Grinia Ávalos, Karen León, Yury Escajadillo, Nelson Quispe, Lourdes Menis, Glicerio Canchari

DIHIDRONAV: Rina Gabriel, Roberto Chauca, Daniel Paredes, Renzo Adrianzen, Biby Tenaud, Gerardo Ramírez

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), 2023.

Informe Técnico ENFEN. Año 9, N°21, 29 diciembre de 2023, 65 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: 29 de diciembre de 2023



Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú al 29 de diciembre 2023

Índice

<u>I. INTRODUCCIÓN</u>	6
<u>II. MÉTODOS</u>	6
<u>2.1. Variables</u>	6
<u>Temperatura Superficial del Mar (TSM)</u>	7
<u>2.2. Índices</u>	7
<u>Índice Costero El Niño (ICEN)</u>	7
<u>Índice Oceánico El Niño (ONI por sus siglas en inglés)</u>	8
<u>Índices reproductivos de anchoveta</u>	8
<u>2.3. Modelos y Pronósticos</u>	8
<u>Modelo Oceánico Lineal (LOM-IGP)</u>	8
<u>Modelo Oceánico de Complejidad Intermedia</u>	8
<u>Modelo Oceánico Multimodal (MOMM)</u>	9
<u>Modelos Climáticos de Agencias Internacionales</u>	9
<u>Pronóstico Probabilístico de Juicio Experto</u>	9
<u>III. CONDICIONES OBSERVADAS AL 29 DE DICIEMBRE DE 2023</u>	10
<u>3.1. Condiciones océano atmosféricas en el Pacífico tropical</u>	10
<u>3.2. Condiciones oceánicas y atmosféricas locales</u>	18
<u>3.3. Productividad marina y condiciones biológico-pesqueras</u>	32
<u>3.4. Condiciones hidrológicas</u>	42
<u>3.5. Condiciones agrometeorológicas</u>	44
<u>IV. PERSPECTIVAS</u>	45
<u>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	51
<u>VI. REFERENCIAS</u>	52
<u>VII. ANEXO</u>	54

INTRODUCCIÓN

Existen registros que El Niño-Oscilación Sur (ENOS) en su fase cálida y fría, El Niño y La Niña respectivamente, tienen distintos efectos en el sistema tierra, con más repercusión e intensidad en determinadas zonas del mundo (teleconexiones). 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, generan lluvias intensas, causando impactos en los sectores socioeconómicos.

En tal contexto, 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, haciendo énfasis 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.

MÉTODOS

Variables

Las principales variables utilizadas en este informe están clasificadas en: 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 $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ ($1/20^\circ$), 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 $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ($1/4^\circ$).

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 cuadrículados en cada sensor. OSTIA utiliza datos satelitales proporcionados por el proyecto GHRSSST 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 $2^\circ \times 2^\circ$, 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 más 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 $1/20^\circ$, así como las anomalías de la TSM a $1/4^\circ$.

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 (Helrich, 1990), el cual es expresado en porcentaje con información desde 2002.

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, 2014; Mosquera et al., 2010).

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 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, 2003). 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 Vásquez (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 3.4¹ y Niño 1+2², 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 AL 29 DE DICIEMBRE DE 2023

3.1. Condiciones océano atmosféricas en el Pacífico tropical

En la región del Pacífico ecuatorial se mantuvieron las condiciones cálidas, incrementando las anomalías térmicas en la región central y occidental; sin embargo, sobre el Pacífico ecuatorial oriental se continuó registrando una disminución de la ATSM, aunque manteniendo la condición cálida fuerte (Figura 1, Tabla 2). Según los datos semanales del OISST en la región Niño 3.4 para la tercera semana de diciembre se registró una anomalía de 2,0°C; en Niño 3, de 2,1°C y en Niño 1+2, de 1,6°C (Tabla 2).

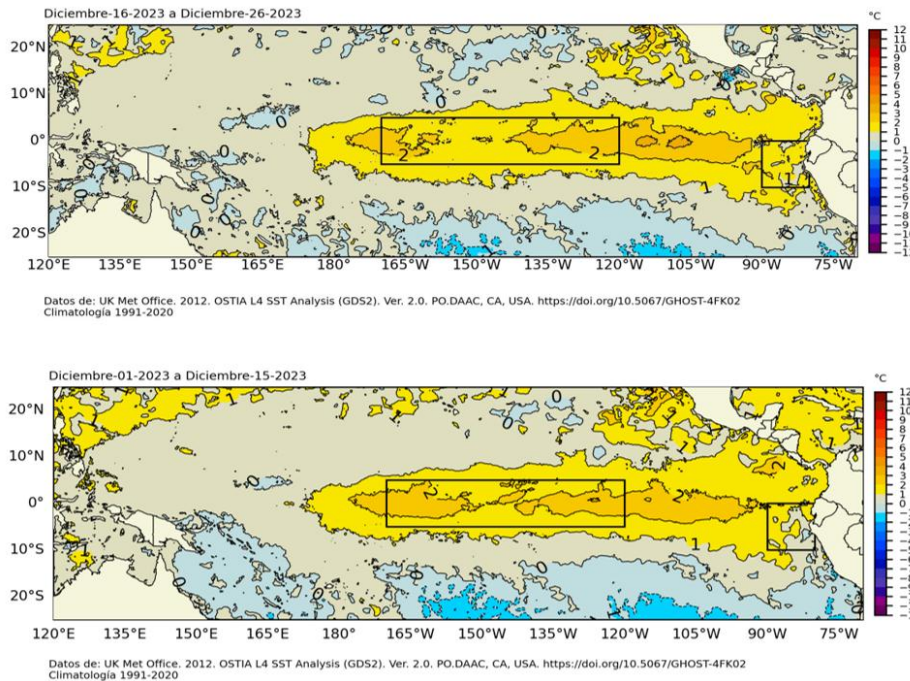


Figura 1. Promedio de las anomalías de la TSM en el Pacífico Tropical: a) del 16 al 26 de diciembre y b) del 01 al 15 de diciembre 2023. Fuente: OSTIA. Procesamiento: DIHIDRONAV. Climatología: 1991-2020

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	
Jun. 23	25.62	2.50	27.88	1.26	28.57	0.84	29.54	0.57
Jul.	24.94	2.98	27.41	1.61	28.32	1.02	29.59	0.69
Ago.	24.29	3.28	27.12	2.00	28.21	1.35	29.72	0.93
Set.	23.14	2.41	27.01	2.11	28.32	1.60	29.88	1.12
Oct.	23.33	2.32	27.13	2.15	28.44	1.72	29.99	1.23
Nov. 23	23.72	2.07	27.21	2.11	28.72	2.02	30.21	1.51

Tabla 2. Valores semanales (centradas en los días miércoles de cada semana) 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	
2-Nov-23	24.0	2.0	27.4	2.3	28.9	2.1	30.1	1.5
19-Nov-23	24.2	2.1	27.2	2.0	28.7	2.0	30.3	1.7
6-Dic-23	23.8	1.3	27.1	2.0	28.6	1.9	29.9	1.4
3-Dic-23	24.3	1.5	27.2	2.1	28.6	2.0	29.9	1.4
20-Dic-23	24.6	1.6	27.3	2.1	28.6	2.0	29.8	1.4

El Índice Costero El Niño (ICEN) de octubre y el ICEN temporal (ICEN- tmp) de noviembre se ubican dentro de la condición cálida fuerte. Por otro lado, el ONI de octubre y el temporal (ONItmp) de noviembre corresponden a las condiciones cálidas fuertes (Tabla 3).

Tabla 3. Valores del ONI e ICEN desde noviembre de 2022 hasta octubre de 2023 y sus valores temporales de noviembre.

Valores del índice Costero El Niño			ONI	
Mes	ICEN	Categoría	ONI	Categoría
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
feb-23	0,42	Cálida Débil	-0,45	Neutro
mar-23	1,51	Cálida Moderada	-0,16	Neutro
abr-23	2,19	Cálida Fuerte	0,14	Neutro
may-23	2,55	Cálida Fuerte	0,47	Neutro
jun-23	2,62	Cálida Fuerte	0,77	Cálida Débil
jul-23	2,94	Cálida Fuerte	1,06	Cálida Moderada
ago-23	2,91	Cálida Fuerte	1,32	Cálida Moderada
set-23	2,70	Cálida Fuerte	1,54	Cálida Fuerte
oct-23	2,27	Cálida Fuerte	1,78	Cálida fuerte
Mes	ICENtmp	Mes	ONItmp	Mes
nov-23	1,94	Cálida Fuerte	1,89	Cálida Fuerte

Fuente: IGP

Según la información de altimetría satelital, la onda de Kelvin cálida (Figura 2), cuyo núcleo debe estar arribando a la costa peruana en los siguientes días, muestra una clara disminución en su intensidad. En esta misma variable, se observa aún el arribo de ondas de Rossby frías al extremo occidental, que se vienen reflejando como ondas de Kelvin en el extremo occidental.

En la termoclina, el núcleo de la onda de Kelvin cálida se localiza en el extremo oriental del Pacífico ecuatorial, mientras que la onda de Kelvin fría se localiza en 140°W.

(2°S to 2°N average)

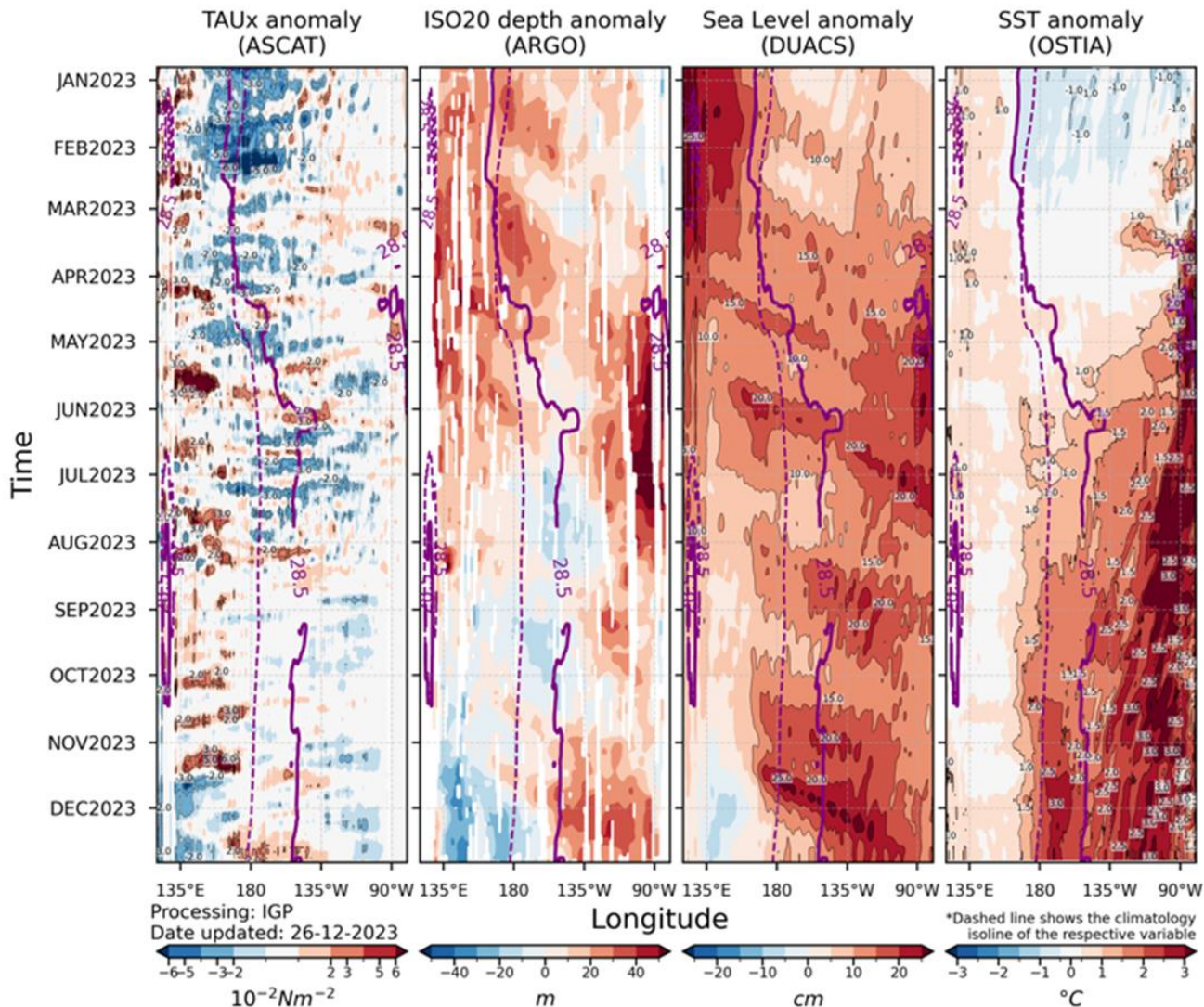


Figura 2. Diagrama Hovmöller: a) anomalía de esfuerzo de viento Fuente: ASCAT, b) anomalía de la profundidad de la isoterma de 20 °C Fuente: ARGO, c) anomalía del nivel del mar diario (cm) Fuente: DUACS, y d) anomalía de temperatura superficial del mar (°C) Fuente: OSTIA. Elaboración: IGP

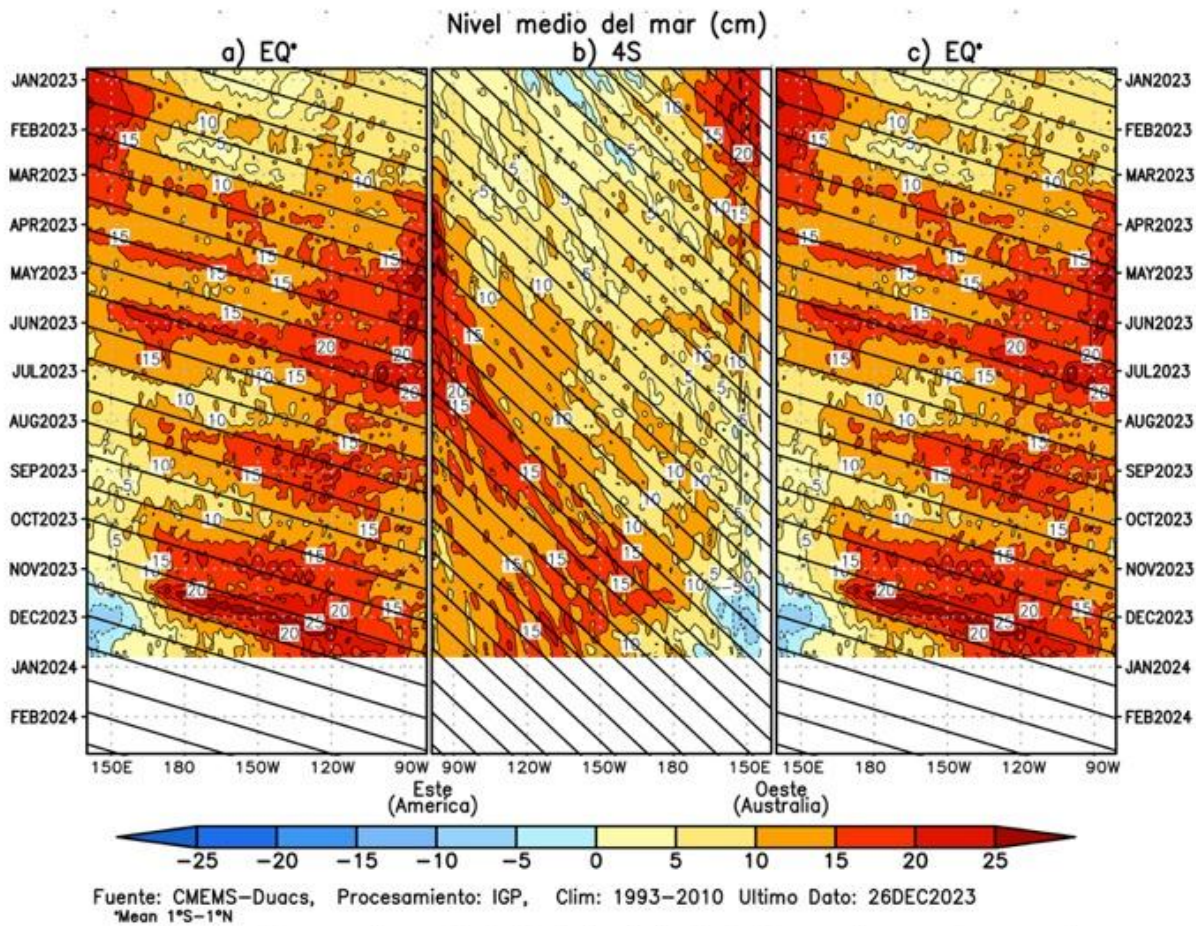


Figura 3. Diagrama Hovmöller de la anomalía del nivel del mar del producto CMEMS-Duacs a lo largo de la línea ecuatorial (a y c) y en 4°N (b). El panel del centro tiene el eje de la longitud invertido para apreciar mejor la secuencia de ondas Kelvin y Rossby producidas por reflexión en las fronteras este y oeste del Pacífico. Las líneas negras inclinadas en cada panel indican la trayectoria teórica de la onda de Kelvin (a y c) y Rossby (b) del primer modo baroclínico. Elaboración: IGP

En el Pacífico ecuatorial, en promedio para diciembre (01-27dic), continuaron observándose anomalías negativas de la presión atmosférica en el Pacífico central, extendiéndose hacia la región oriental y norte. Sobre la franja del mar continental, se mantienen anomalías positivas de presión atmosférica favoreciendo cierta ausencia de precipitaciones sobre la región; sin embargo, cabe mencionar que la subsidencia en continente de la circulación Walker se ha debilitado con respecto a noviembre (Figura 4c y Figura 4d). El gradiente de presión que se muestra desde el mar continental hacia el este favorece que el dominio de flujos de anomalías del oeste desde los 180° a 100°W (Figura 4b y Figura 4d). La media móvil del Índice de Oscilación del Sur (SOI, por sus siglas en inglés) al 24 de diciembre alcanza el valor de -3.1, asociado a las condiciones de presión atmosférica descritas; sin embargo, los valores del SOI ya describen condiciones neutras.

Por otro lado, el ramal subsidente de la circulación de Walker, sobre la franja de los 150°E a 90°E mostró un ligero fortalecimiento respecto a lo observado en noviembre; sin embargo, persiste la fase negativa de la MJO, estando muy activa entre los 170°E a 170°W (Figura 4c) con una convección que se incrementó significativamente; mientras que sobre la región continental (Sudamérica) un cambio importante se dio desde la segunda semana de diciembre, en donde la fase divergente de la célula de Walker estuvo asociada a la fase divergente de la MJO, encontrándose así en una fase activa (a diferencia de noviembre, ver Figura 5c) .

El promedio de los 27 días de diciembre en niveles bajos de la tropósfera (850 hPa) presentó anomalías positivas del oeste entre los 150°E a 110°W; (Figura 4b). En niveles de alta tropósfera de la franja tropical se observaron anomalías de flujos del este en forma predominante desde los 170°W hasta los 90°W; mientras que entre la franja de las latitudes de los 10°S a 30°S domina un patrón de anomalías del oeste, las que hacen su ingreso a la región sur del Perú propiciando eventos de lluvia explosiva con alta frecuencia de descargas eléctricas por la advección de aire seco y frío (que propicia convección), siendo estos eventos en forma localizada en la zona altoandina.

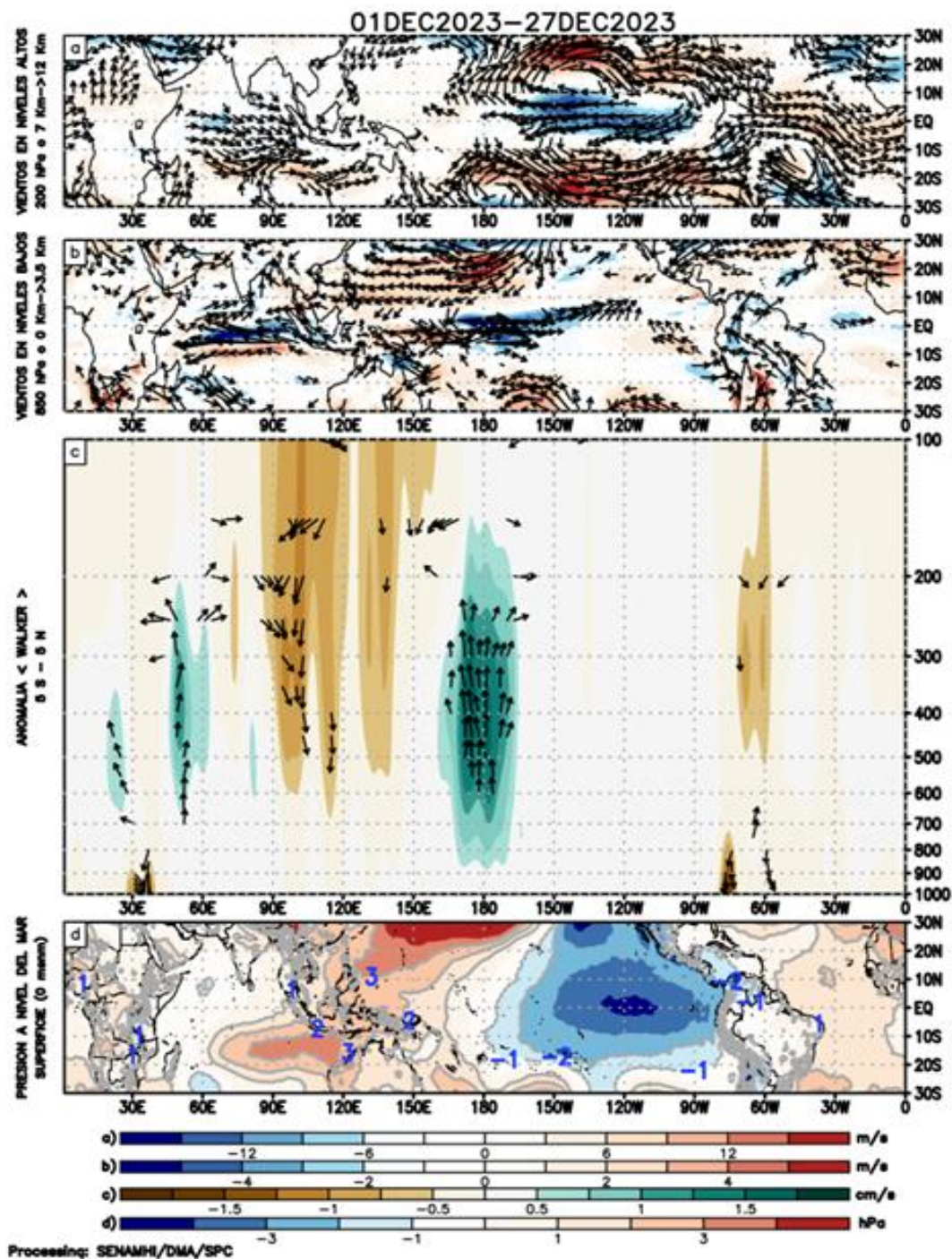


Figura 4. Análisis de la circulación atmosférica (Walker) entre el 1-27 de diciembre de 2023, (a) Anomalías de los vientos (colores) y su dirección (flechas) en niveles altos (200 hPa) y (b) bajos (850 hPa) de la atmósfera; c) Patrón anómalo de la circulación atmosférica ecuatorial (Walker), (d) Anomalías de presión a nivel del mar. Fuente: GFS. Procesamiento: SENAMHI

Entre el 01 al 27 de diciembre, en niveles bajos de la atmósfera (capa de 1000-850 hPa), se observaron anomalías del oeste en el Pacífico occidental (150°E a 120°W) reduciendo su extensión en el tiempo en comparación con el mes de noviembre; las anomalías próximas a superficie (1000 hPa) oscilaron entre 1 a 5 m/s, mientras que en niveles de 850 hPa los valores llegaron hasta los 7 m/s (Figura 5 a y b).

En zonas cercanas a continente, se mostraron anomalías del este, ligeramente superiores a su media climática, condición que fue favorecida por la intensificación del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) ubicado al suroeste de su posición habitual con anomalías de hasta +7 hPa (en su núcleo, ver Figura 6). El gradiente isobárico desde el núcleo del APS hacia la costa peruana favoreció la sostenibilidad del viento costero e incluso con anomalías positivas del sureste hasta aproximadamente el 20 de diciembre, para los posteriores días se observó una ligera caída en la presión atmosférica e inversión de los vientos, lo que favoreció el ingreso de humedad hacia la costa norte del Perú y Ecuador.

Por otro lado, la MJO mostró su fase divergente en la franja ecuatorial desde los 130°E a 120°W y su núcleo más intenso se dio en los 180° concordante con la zona de mayor convección que se observó en la circulación de Walker (Figura 4c y Figura 5). Desde la línea de pronóstico para las próximas dos semanas (Figura 5), la fase divergente (zona divergente en altura) se desplaza desde los 150°W hacia el este, llegando a la zona continental (Sudamérica) hacia finales de diciembre y primera semana de enero del 2024, favoreciendo actividades de convección. Los modelos GFS y CFS concuerdan en el comportamiento del desplazamiento de la MJO hacia continente; sin embargo, presentan ciertas diferencias en su intensidad. Posteriormente para los siguientes días de enero la fase convergente predominará entre los 170°W – 60°W, limitando las convecciones de gran desarrollo vertical.

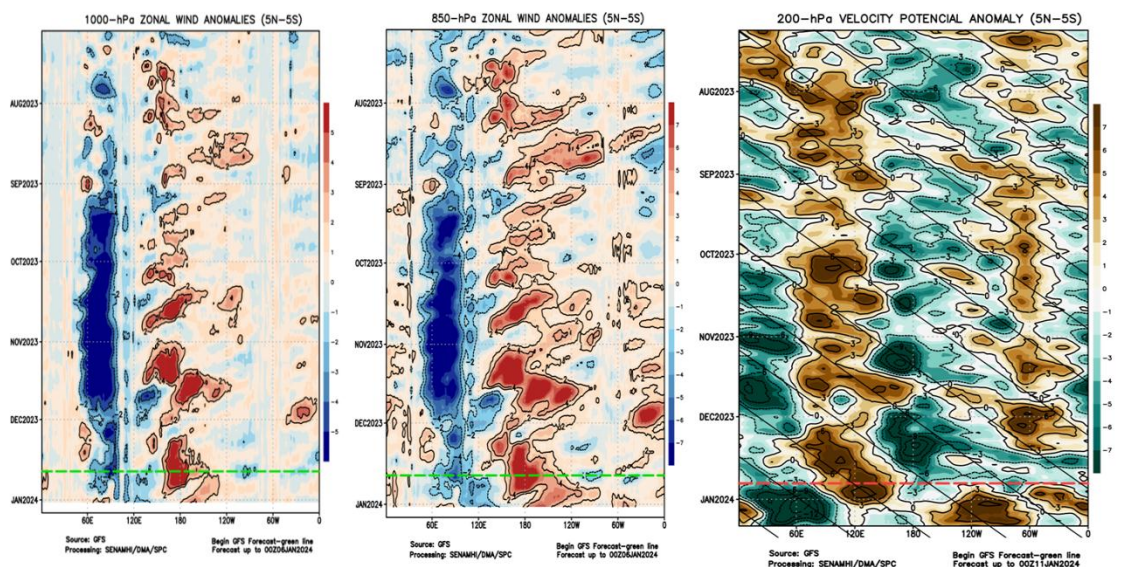


Figura 5. Anomalías promedio, entre los 5°N y 5°S entre julio 2023 a enero del 2024 (a) viento zonal en 1000 hPa y (b) viento zonal en 850 hPa y (c) velocidad potencial en 200 hPa. La línea roja muestra el inicio del periodo de pronóstico. Fuente: GFS. Procesamiento: SENAMHI

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS), en promedio para diciembre, mostró una configuración zonal, con intrusiones de la Zona de convergencia del Pacífico sur (ZCPS) dejando en dos núcleos (occidental – oriental), en donde el más intenso se ubica relegado hacia el suroeste de la costa oeste de Sudamérica con valores de hasta 1030 hPa (40°S-100°W) con anomalías hasta de +7 hPa y el segundo núcleo ubicado al oeste entre (40°S - 150°W, Figura 6).

El pronóstico del GFS indica que los vientos alisios para las próximas dos semanas estarían presentándose debilitados con episodios cortos de anomalías de vientos del norte / oeste cercanos a la costa central y norte del Perú, estos episodios estarán comprendidas entre el 2 a 5 de enero del 2024, favorecerá ingreso de humedad y aire cálido para la zona norte de la costa peruana (Figura 7 y 8).

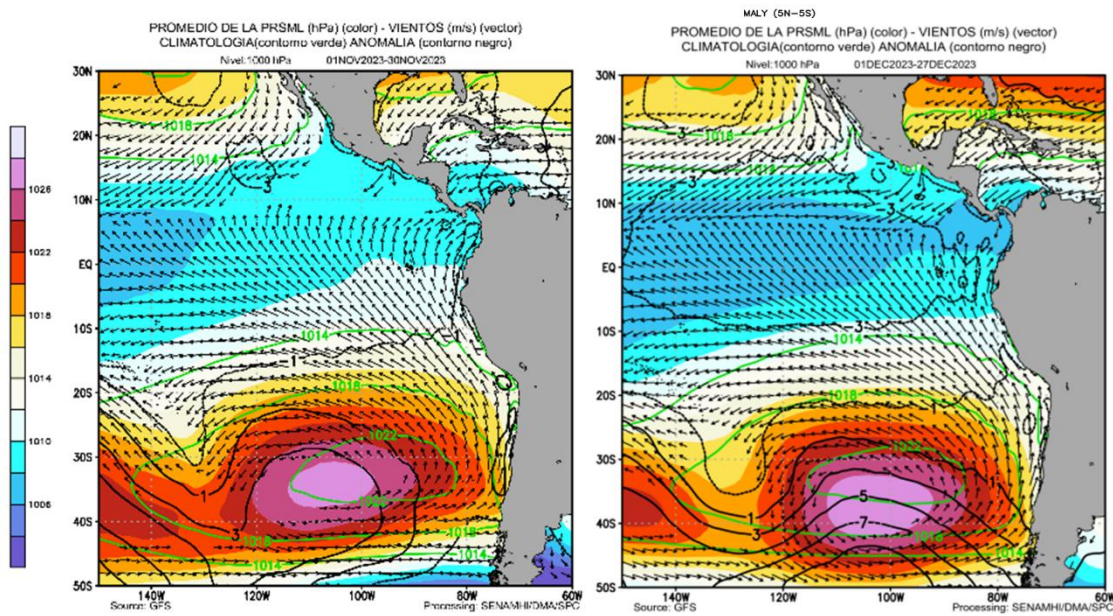


Figura 6. Promedio de la presión atmosférica a nivel del mar (matiz de colores) entre el 1 al 30 de noviembre (izq.) y 01 al 27 de diciembre (der.) de 2023, a) presión atmosférica climática (línea verde) y presión actual en matiz de colores b) Anomalía de viento en 850 hPa (m/s, vectores) y anomalía de presión (línea negra). Fuente: GFS. Procesamiento: SENAMHI.

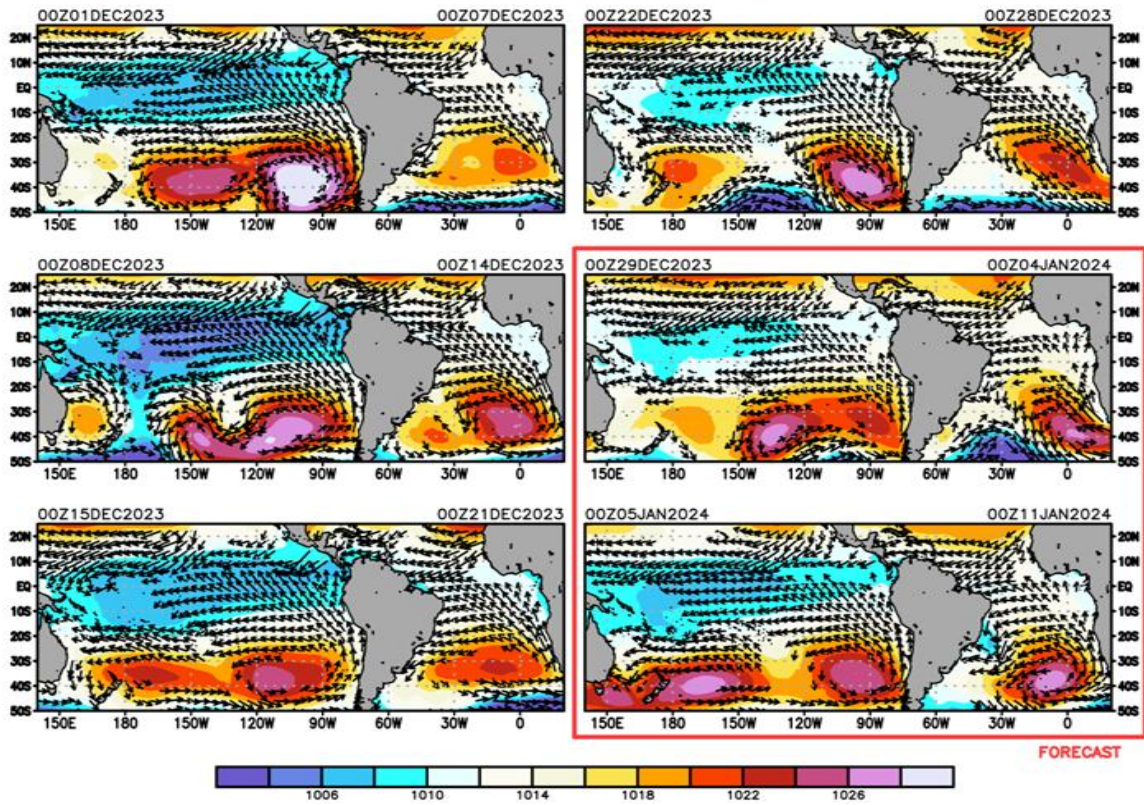


Figura 7. Promedio semanal de la presión atmosférica reducida a nivel del mar (colores) y vientos (flechas). Análisis: 01 de diciembre al 28 de diciembre de 2023. Pronóstico: del 29 de diciembre al 11 de enero del 2024. Fuente: GFS. Procesamiento: SENAMHI

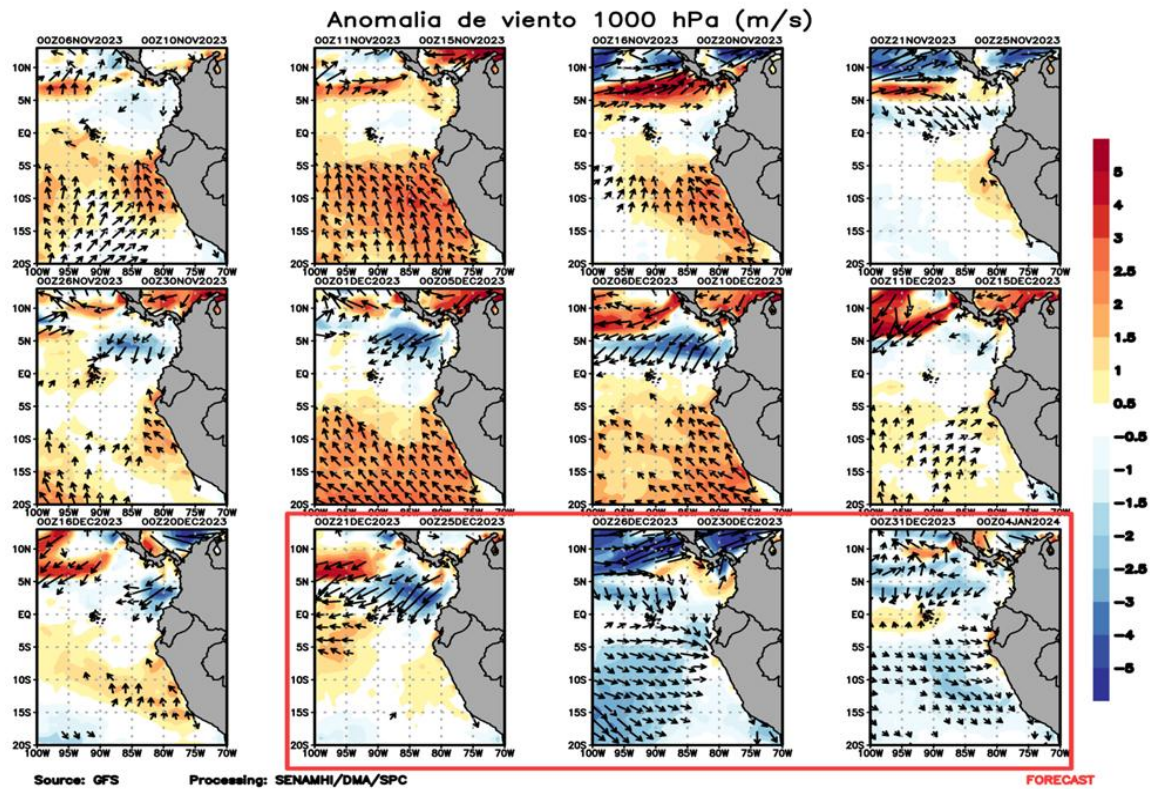


Figura 8. Anomalia pentadal del viento (m/s) a 10 m de altura frente a la costa noroccidental de Sudamérica y Centroamérica. Fuente: GFS. Análisis: 06 de noviembre al 20 de diciembre de 2023. Pronóstico: del 21 de diciembre al 4 de enero del 2024. Procesamiento: SENAMHI.

Para el trimestre OND, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se encontró dentro del rango intenso (+3,6 hPa) y se ubicó al suroeste de lo normal. Con respecto al trimestre SON, hubo un fortalecimiento de la intensidad y un desplazamiento al sureste del APS. En diciembre, el APS se ubicó en promedio en los 102,4° W y 37,5°S, desplazado al suroeste de su posición habitual, alcanzando una intensidad de 1027,5 hPa y una anomalía de +4,0 hPa (Figura 9).

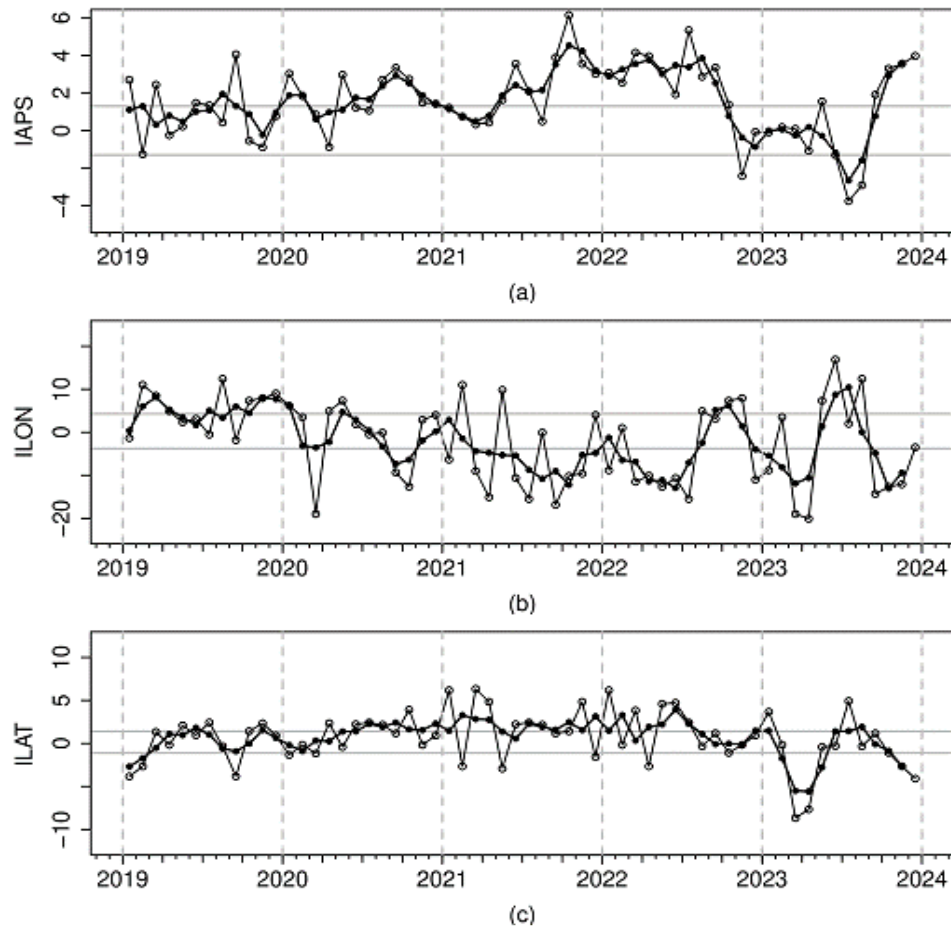


Figura 9. Variación temporal de los índices del APS: a) índice de intensidad (IAPS) e índices de posición b) longitudinal (ILON) y c) latitudinal (ILAT) hasta el trimestre OND 2023 (círculos negros). Los círculos blancos indican las anomalías mensuales en el periodo enero 2019 hasta diciembre 2023. Climatología 1991 – 2020.

3.2. Condiciones oceánicas y atmosféricas locales

A lo largo de la franja adyacente a la costa peruana, dentro de los 40 km predominaron vientos moderados (entre $4,1$ a $6,8 \text{ m s}^{-1}$) a fuertes ($> 6,8 \text{ m s}^{-1}$), con anomalías de velocidades de viento (VV) en el rango positivo ($> +1,0 \text{ m s}^{-1}$). Durante diciembre, hasta el 27 del mes, se registraron vientos fuertes a moderados, predominando anomalías en el rango positivo ($> +1,0 \text{ m s}^{-1}$) a neutral. Entre el 11 y 15 de diciembre se registró un debilitamiento del viento y luego, a partir del 25, se viene registrando un debilitamiento mayor, generando anomalías negativas de la VV (Figura 10). El índice del afloramiento costero exhibió pulsos superiores a $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}$ frente a Talara – Paita, condición que se mantuvo durante gran parte del mes, e igualmente, la anomalía del afloramiento costero se mantuvo entre el rango positivo a neutral, salvo a partir del 25. Respecto al bombeo de Ekman, las anomalías registradas disminuyeron notoriamente en diciembre, manteniendo valores positivos, con una disminución a mediados del mes de diciembre y nuevamente a partir del 25 (Figura 11).

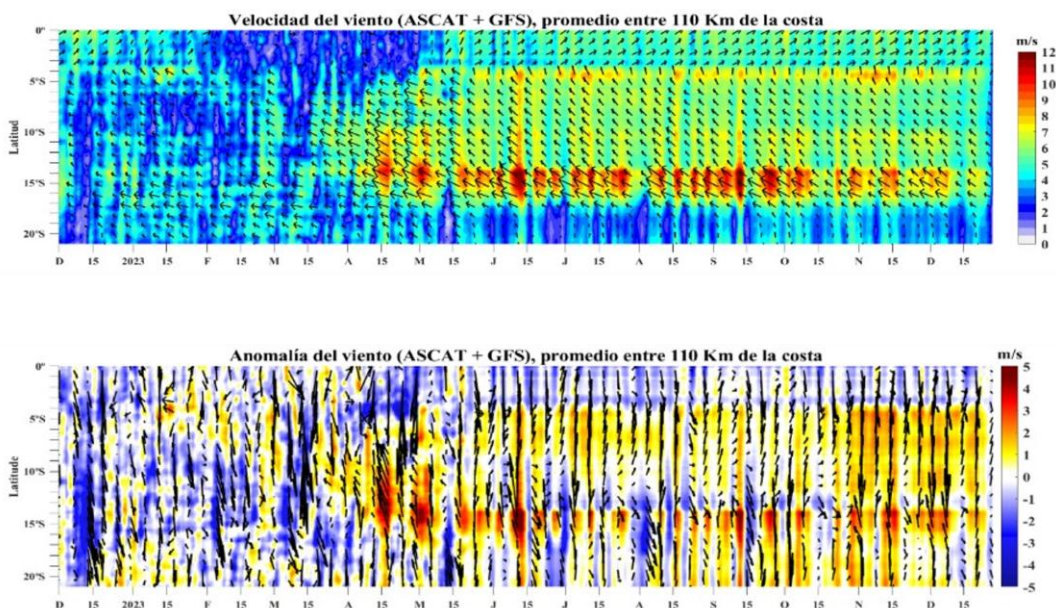


Figura 10. Viento Satelital (40 km frente a la costa del Perú): a) Velocidad del viento (m s⁻¹), b) Anomalia de la velocidad del viento (m s⁻¹). Fuente: Satélite ASCAT + GFS (desde 21 de mayo), Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina y Laboratorio Costero de Santa Rosa, IMARPE. Climatología 2000 – 2014. Actualizado al 11 de diciembre.

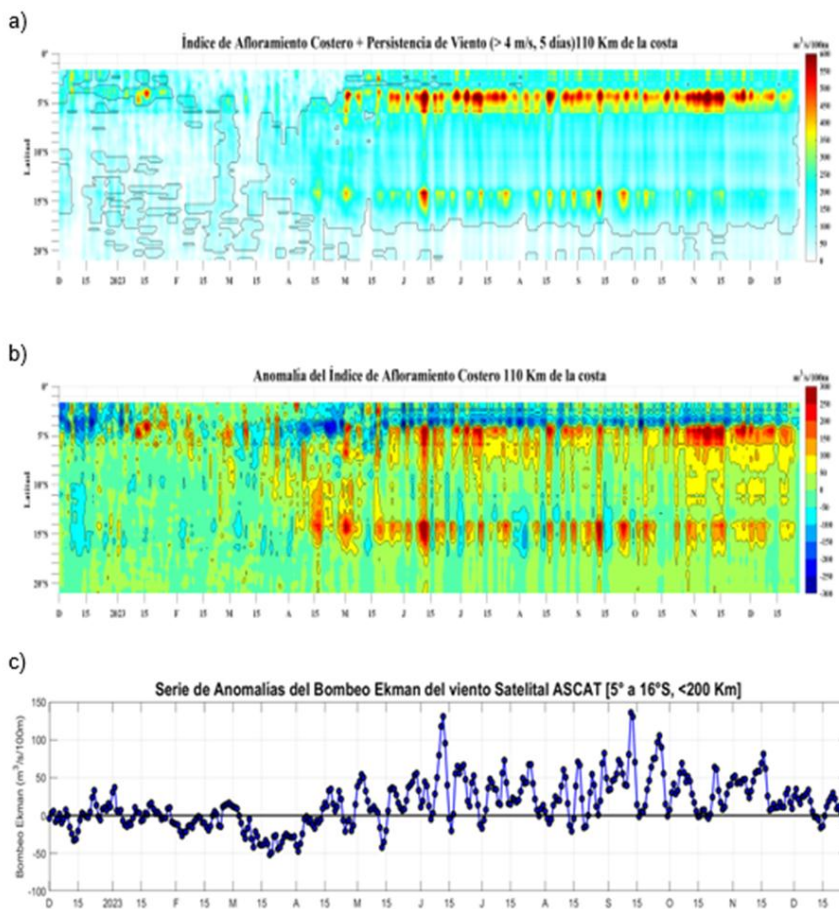


Figura 11. Índice de Afloramiento Costero (IAC), calculado a partir del viento satelital a 40 km frente a la costa del Perú: a) Índice de Afloramiento Costero - IAC (m³ s⁻¹ 100 m⁻¹), b) Anomalia del IAC (m³ s⁻¹ 100 m⁻¹) y c) Anomalías del Índice del Bombeo Ekman dentro de los 200km (m³ s⁻¹). Fuente: Satélite ASCAT + GFS, Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina y Laboratorio Costero de Santa Rosa, IMARPE. Climatología 2000 – 2014. Actualizado al 11 de diciembre

En diciembre, se presenta una constante disminución de la temperatura del aire a lo largo del litoral costero. Este descenso se ve reflejado en las anomalías de la temperatura del aire y se atribuye a la intensificación de los vientos del sur, asociado al fortalecimiento del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) y sistemas de alta tropósfera que incentivan la subsidencia e intensificación del viento y a la presencia de cobertura nubosa. No obstante, esta disminución de las temperaturas a lo largo de la costa norte y central continúan siendo superiores a las condiciones climáticas normales, principalmente debido a la influencia del fenómeno de El Niño Costero.

Las temperaturas máximas (diurnas), en promedio, se ha mantenido por encima de sus valores normales en la costa norte con anomalías en promedio mayores a $1,7^{\circ}\text{C}$, a diferencia de la costa central y sur que presentan valores dentro de su variabilidad climática de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, las temperaturas mínimas presentan en promedio anomalías positivas en la costa norte ($+1,5^{\circ}\text{C}$) y en la costa central ($+1,1^{\circ}\text{C}$), mientras que, la costa sur registra valores cercanos a su normal climática.

Asimismo, se ha observado que los mayores incrementos de las temperaturas máxima y mínima se ha registrado en la costa norte, especialmente en la estación La Cruz – Tumbes con anomalías promedio de $+2,1^{\circ}\text{C}$ y $+2,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. (Figura 12).

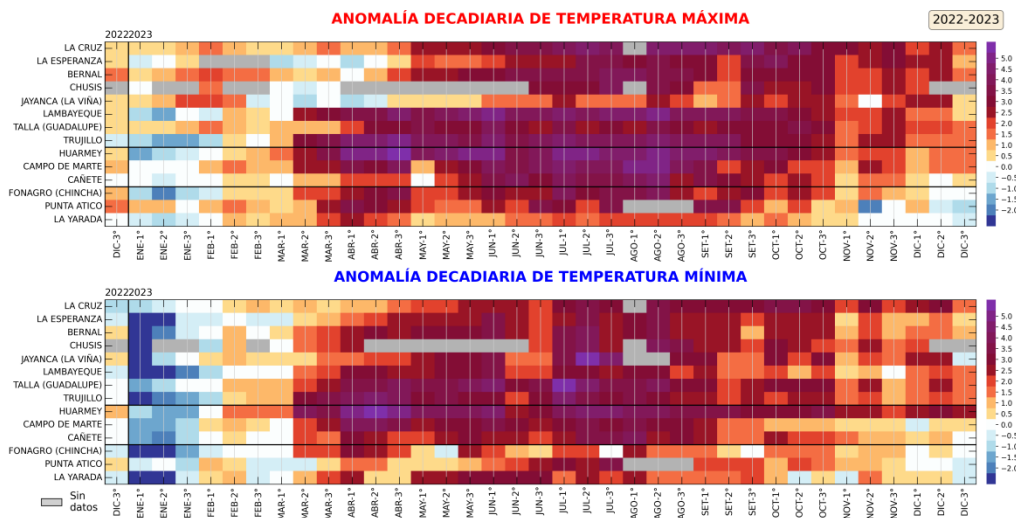


Figura 12. Anomalías decadales ($^{\circ}\text{C}$) de las temperaturas extremas del aire a lo largo de la costa peruana. Climatología: 1991-2020. Fuente: SENAMHI.

La TSM en el mar peruano continuó presentando un ligero calentamiento característico de la estacionalidad frente a toda la costa durante diciembre, incrementando principalmente de forma oceánica frente a la costa norte y sur. Asimismo, estos valores de temperatura, mostraron anomalías cercanas a su normal a ligeramente cálidos, disipándose las anomalías negativas que se habían desarrollado en la costa sur; mientras que, para la cuarta semana de diciembre se acentuó el calentamiento, alcanzando anomalías de 2°C frente a la costa norte y centro (Figura 13).

A otra escala, en el litoral de Perú la TSM no se reflejó el calentamiento, manteniéndose valores positivos entre dentro de lo normal a ligeramente cálidos, solo observándose el incremento en el litoral norte, debilitándose el núcleo de -1°C y estableciéndose condición normal. Para la cuarta semana de diciembre se registra condición normal frente al litoral norte y sur; mientras que solo en el litoral centro se establece condición cálida con anomalías de hasta 2°C . Sin embargo, para los últimos días se viene presentando un intenso calentamiento al norte de Paita, alcanzando hasta 4°C frente a Talara, lo que podría estar relacionado con el arribo de la onda Kelvin cálida esperada (Figura 14).

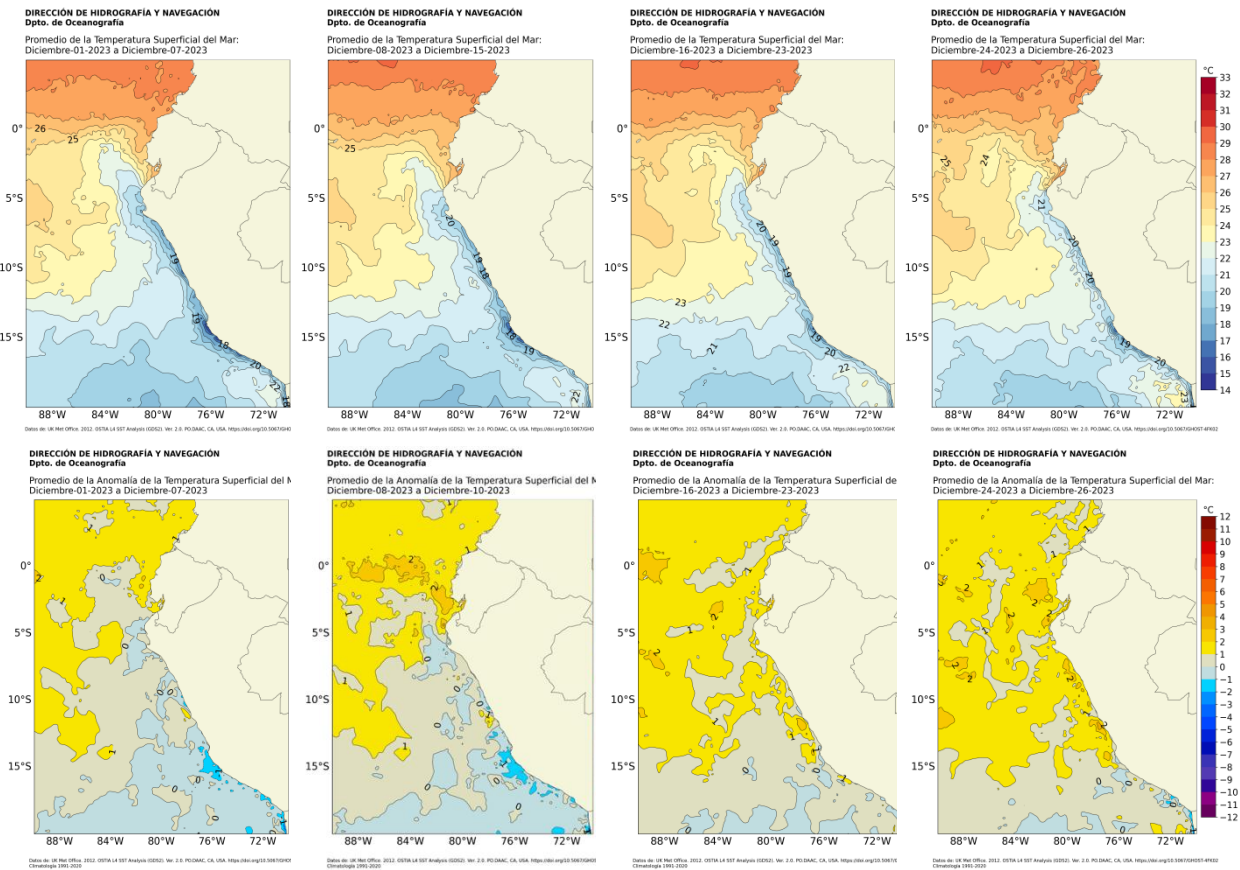


Figura 13. Distribución semanal de la a) temperatura y b) anomalía de la temperatura superficial del mar durante diciembre 2023. Fuente: OSTIA, Climatología: 1991-2020. Elaboración: DIHIDRONAV.

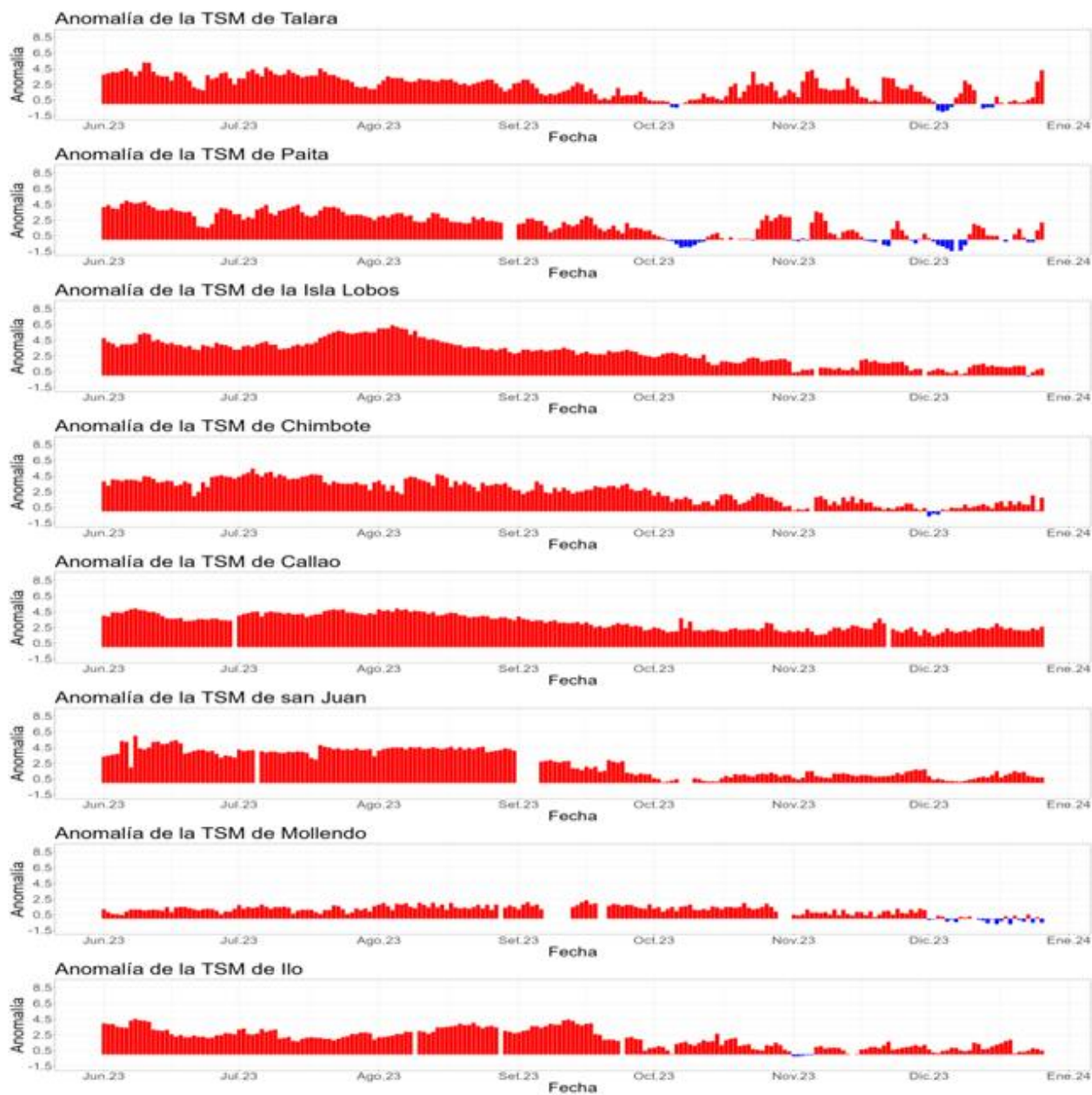


Figura 14. Anomalía de la TSM diaria a lo largo del litoral de Perú de junio 2023 a diciembre 2023. Climatología: 1991-2020. Fuente y procesamiento: DIHIDRONAV.

La ola de calor marina (OCM) continuó replegada fuera de la franja costera (2° S - 15° S y dentro de las 150 mn) entre el 11 de diciembre y 25 de diciembre, aunque continuó una zona remanente al norte de Máncora (Figura 15). El área abarcada por la OCM se mantuvo por debajo del 21 % del área indicada.

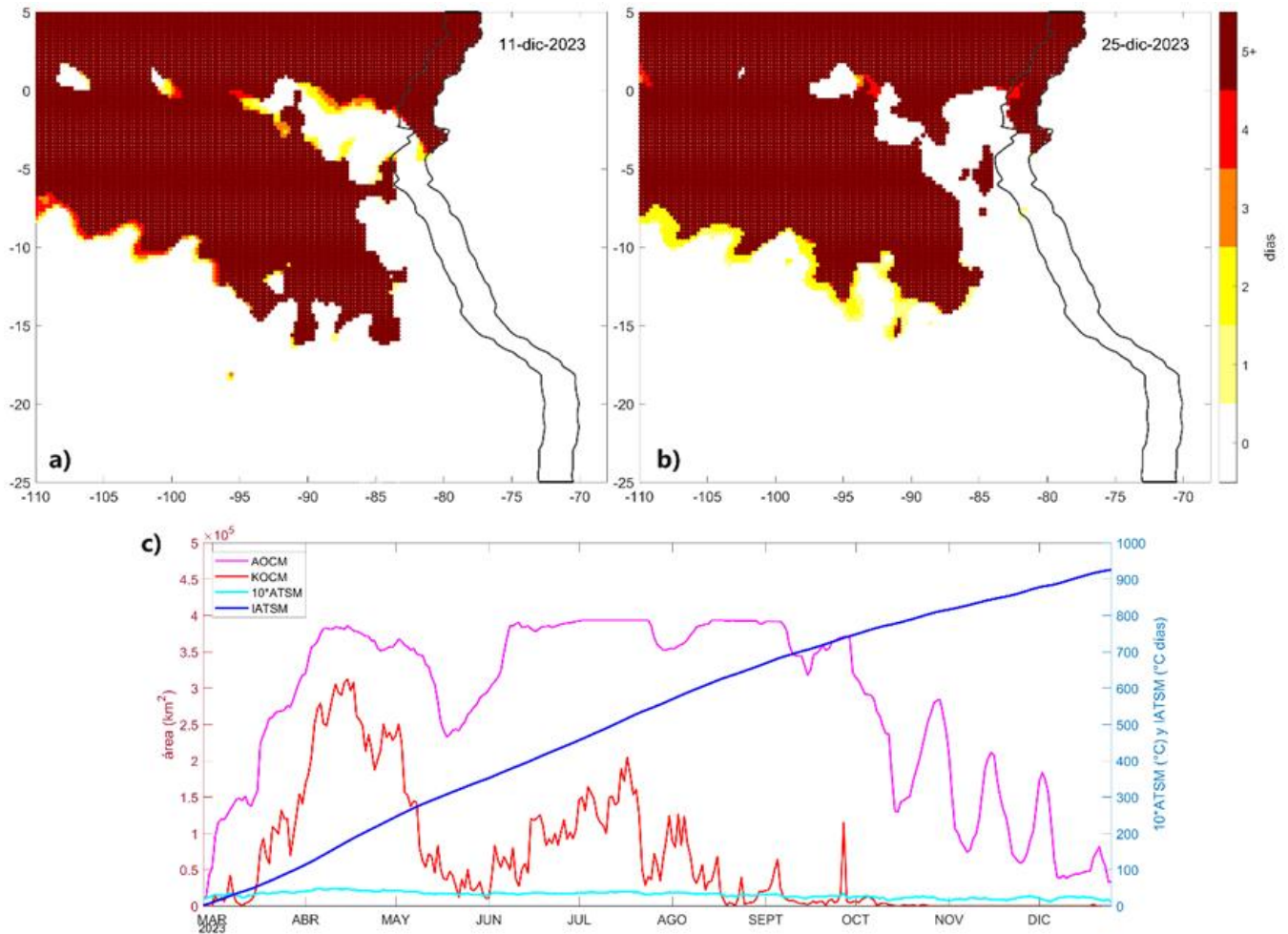


Figura 15. Extensión de la ola de calor marina (OCM) dentro de la franja de 150 millas frente a la costa el 11 de diciembre (a) y el 25 de diciembre del 2023 (b); la escala de color indica el número de días en los cuales la TSM superó el percentil 90 de los datos diarios históricos, usando el período 1982-2011 como referencia (Pietri et al., 2021); c) Series de tiempo de indicadores de la OCM para la zona entre los 2 y 15° S y dentro de las 150 mn: área de la OCM (AOCM, Km²); área de la OCM donde la ATSM > +4 °C (KOCM, Km²); anomalía diaria de la TSM; y anomalía integrada (IATSM; °C x días). Fuente: OISST 2.1; procesamiento: IMARPE.

Las anomalías del nivel de mar (ANM) en la franja de 60 mn adyacentes a la costa durante diciembre mostraron un predominio de valores entre +10 cm y +15 cm, con excepción del sector al norte de Talara donde ocurrieron ANM de hasta +22,2 cm (cerca del sector ecuatorial) y +15,2 cm (Tumbes), del mismo modo que entre Huarmey-Pisco, donde las ANM superaron los +15 cm, especialmente frente a Callao, hacia fines de diciembre. En la última semana, se detectó un ligero incremento de la ANM, particularmente en áreas del sector norte como centro, que estaría vinculado al arribo de una onda Kelvin cálida, pero además al acercamiento de aguas cálidas del norte (25 a 26 °C) y del oeste (20 a 21 °C) hacia la costa, respectivamente. En el sector sur las ANM disminuyeron, alcanzando un valor mínimo de +9,8 cm frente a Atico, asociado al afloramiento costero (Figura 16) (Figura 17).

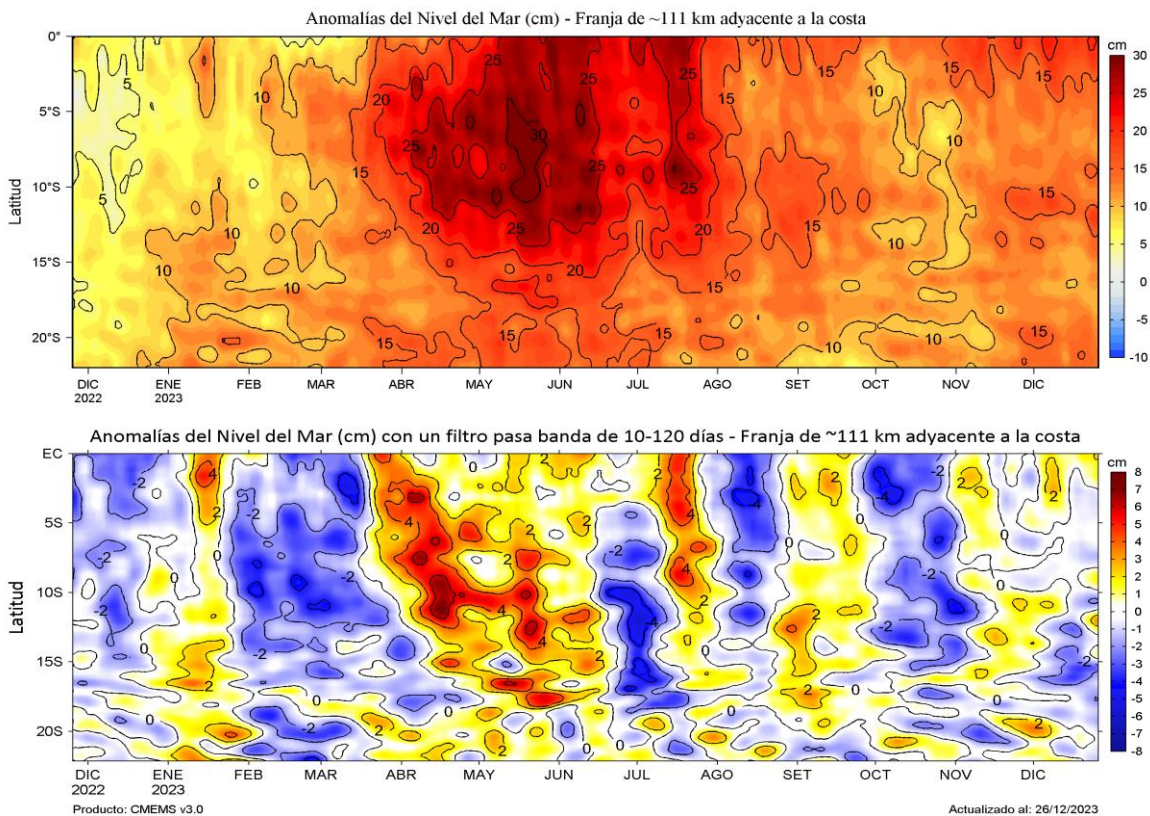


Figura 16. Evolución diaria de las a) Anomalías del Nivel del Mar (cm) y b) Anomalías del Nivel del Mar (cm) con un filtro pasa banda de 10-120 días, para una franja de 60 mn (~111 km) adyacente al litoral peruano para los últimos trece meses, al 11 de diciembre 2023. Fuente: CMEMS v3.0. Climatología: 1993-2012 para (a) y 1993-2010 para (b). Procesamiento: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE.

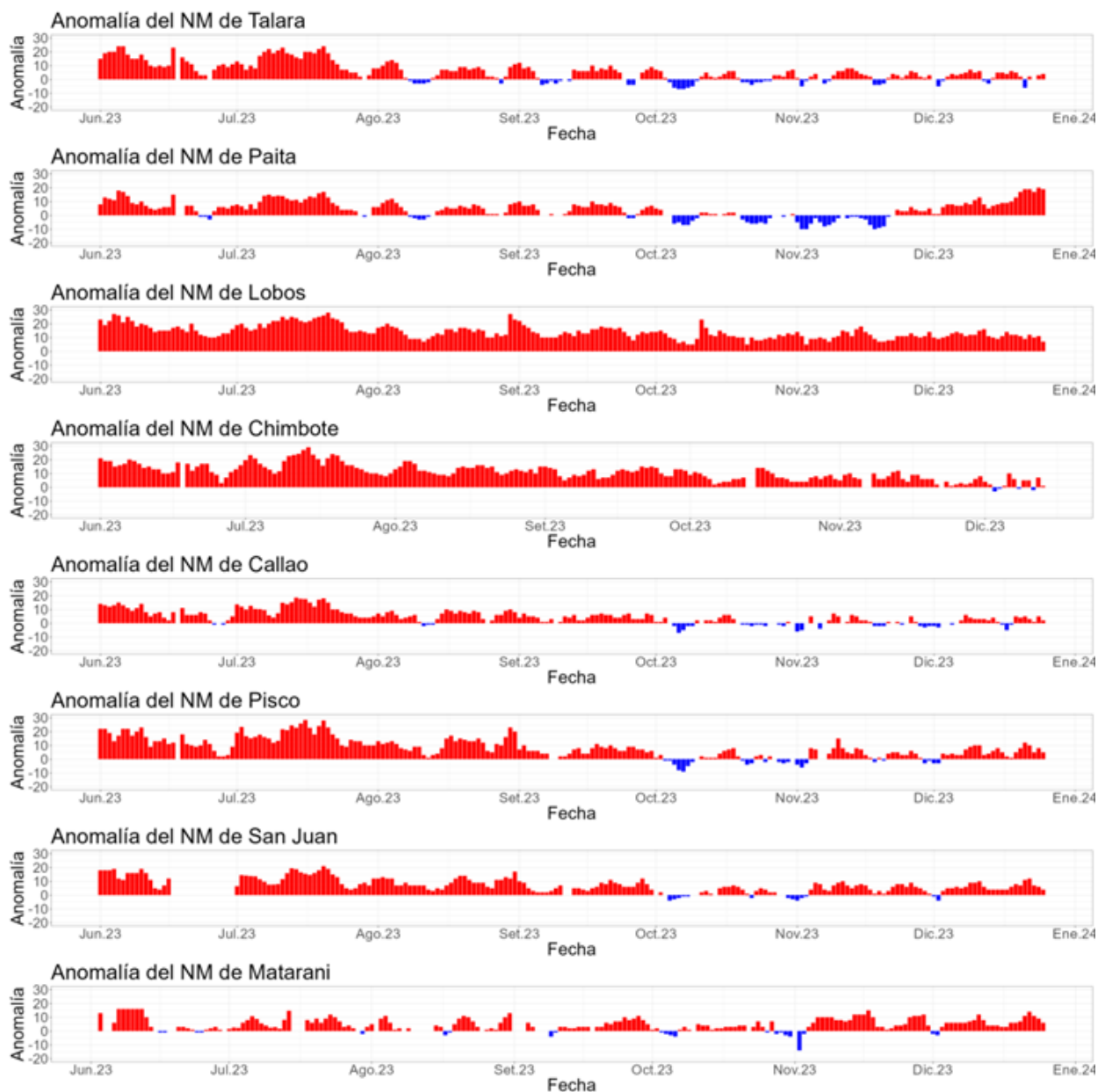


Figura 17. Anomalia del NM diario a lo largo del litoral de Perú de Junio 2023 hasta diciembre 2023. Fuente y procesamiento: DIHIDRONAV.

De acuerdo a información *in situ*, entre los 90 y 130 mn de Puerto Pizarro a Paita, entre el 17 y 20 de diciembre, se presentaron condiciones cálidas frente a Punta Sal de 1,9 °C; mientras que, frente a Talara, predominaron anomalías de TSM de +0,9 °C (Figura 18). Frente a Paita dentro de las 100 mn, la anomalía de TSM varió entre cero y +1,2 °C; mientras que frente a Chicama la anomalía varió entre +1,2 °C y +2,4 (Figura 20). Para la cuarta semana de diciembre se registra condición normal frente al litoral norte y sur; mientras que solo en el litoral centro se establece condición cálida con anomalías de hasta 2°C. Sin embargo, para los últimos días se viene presentando un intenso calentamiento al norte de Paita, alcanzando hasta 4°C frente a Talara, lo que podría estar relacionado con el arribo de la onda Kelvin cálida esperada (Figura 14).

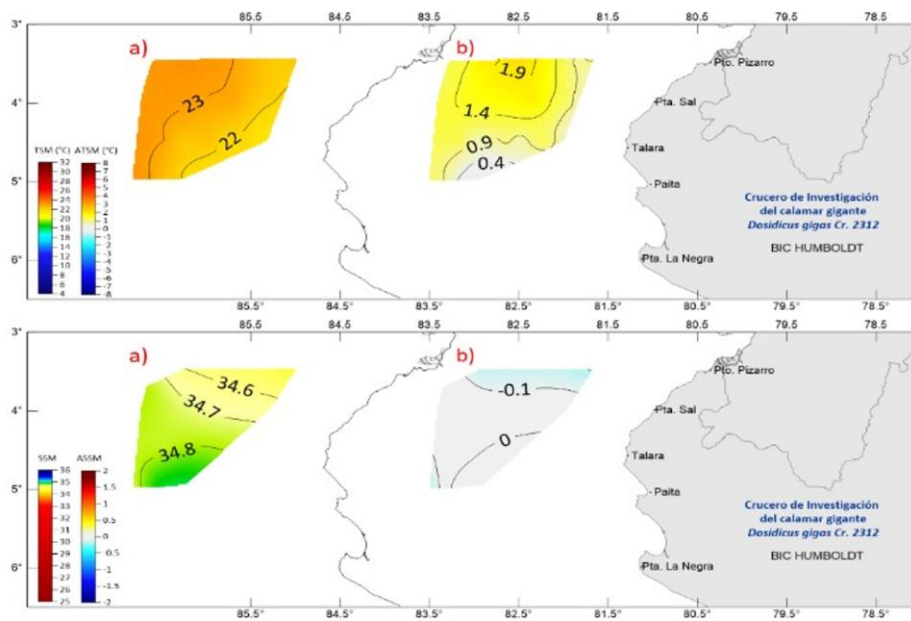
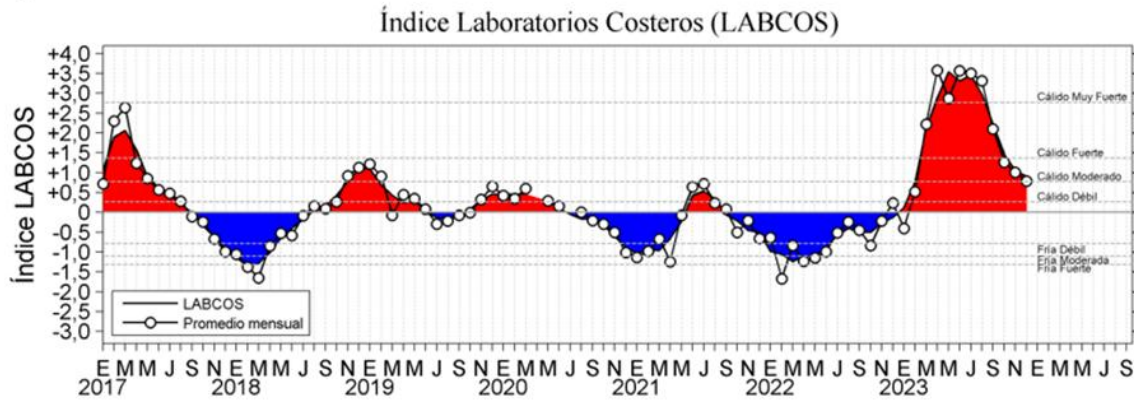


Figura 18. a) TSM (°C) y ATSM (°C), b) SSM y ASSM registrados durante el Crucero de Investigación del Calamar Gigante 2312 Pto. Pizarro – Paita, del 17 al 20 de diciembre del 2023), BIC IMARPE V.

El índice LABCOS (Quispe & Vásquez, 2015), basado en la media móvil de tres anomalías mensuales de TSM registradas en los muelles de IMARPE desde Paita hasta Ilo, mostró un valor temporal de +0,90 °C para diciembre 2023, exhibiendo una disminución persistente durante los últimos meses, aunque aún en una condición cálida moderada. Por su parte, el índice ITCP (Quispe-Ccallauri et al., 2018), basado en las anomalías mensuales de TSM satelitales para la banda de 40 km adyacente a la costa, presentó un valor preliminar de la primera componente de +0,1 para diciembre, indicando una condición en el rango neutro (Figura 19).

a)



b)

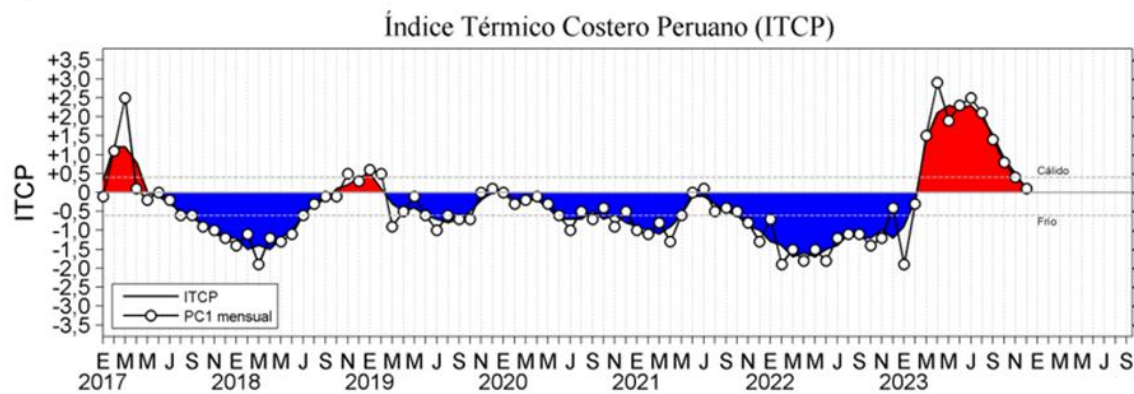
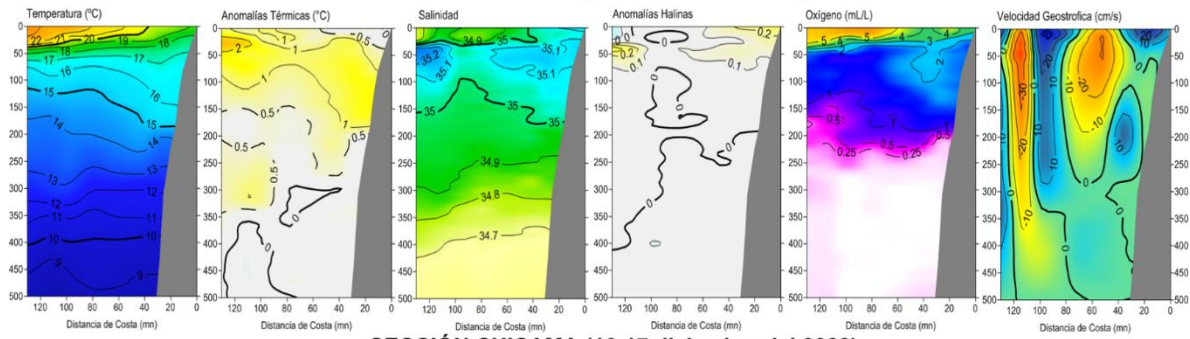


Figura 19. a) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP; Quispe et al., 2016), y b) Índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015) del año 2000 al 2023.

Respecto a la temperatura subsuperficial en lo que va de diciembre, entre Tumbes y Paita dentro de las 100 mn frente a la costa, se observaron anomalías de $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre los 150 m de profundidad principalmente; mientras que, frente a Chicama, dentro de las 100 mn, se observaron anomalías entre $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre los 150 m de profundidad (Figura 20, 21 y 22). En la zona más oceánica, entre las 100 y 200 mn frente a Tumbes, se observó anomalías entre $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre los 150 m de profundidad y anomalías de hasta $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 200 – 350 m de profundidad, detectándose un nuevo pulso de calentamiento sobre los 100 m en la cuarta semana del mes (Figura 22). Por su parte, durante diciembre, entre Chimbote y Pisco se detectaron anomalías de $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre los 130 m de profundidad (Figura 22).

SECCIÓN PAITA (19-20 diciembre del 2023)



SECCIÓN CHICAMA (16-17 diciembre del 2023)

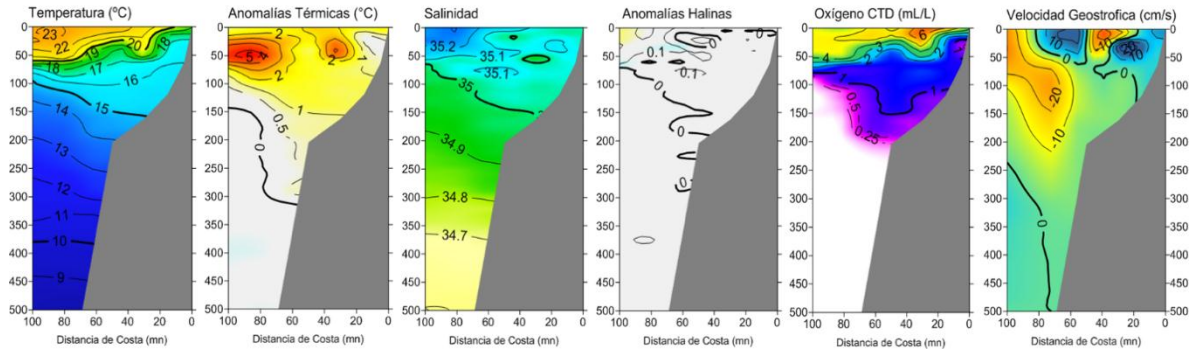


Figura 20. Secciones oceanográficas de temperatura, anomalía térmica, salinidad, anomalía halina, y oxígeno disuelto, realizadas frente a Chicama, Salaverry y Chimbote dentro de las 50 mn, entre el 16 y 20 de diciembre de 2023. Climatología: 1991-2020

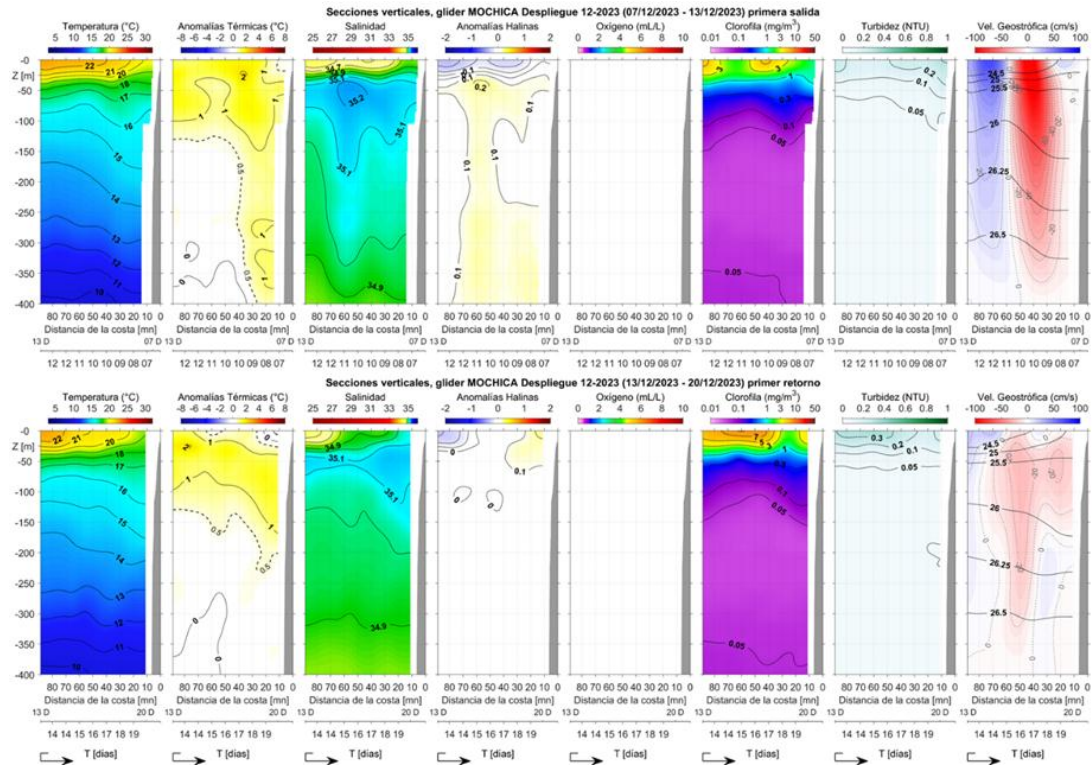


Figura 21. Sección vertical de temperatura (°C), anomalías térmicas (°C), salinidad, anomalías halinas, oxígeno (mL L-1), clorofila (mg m-3) y turbidez (NTU); así como, (b) corrientes marinas (cm s-1) integradas del glider Mochica en su recorrido frente a Negritos – Talara, registrados del 07 al 20 de diciembre.

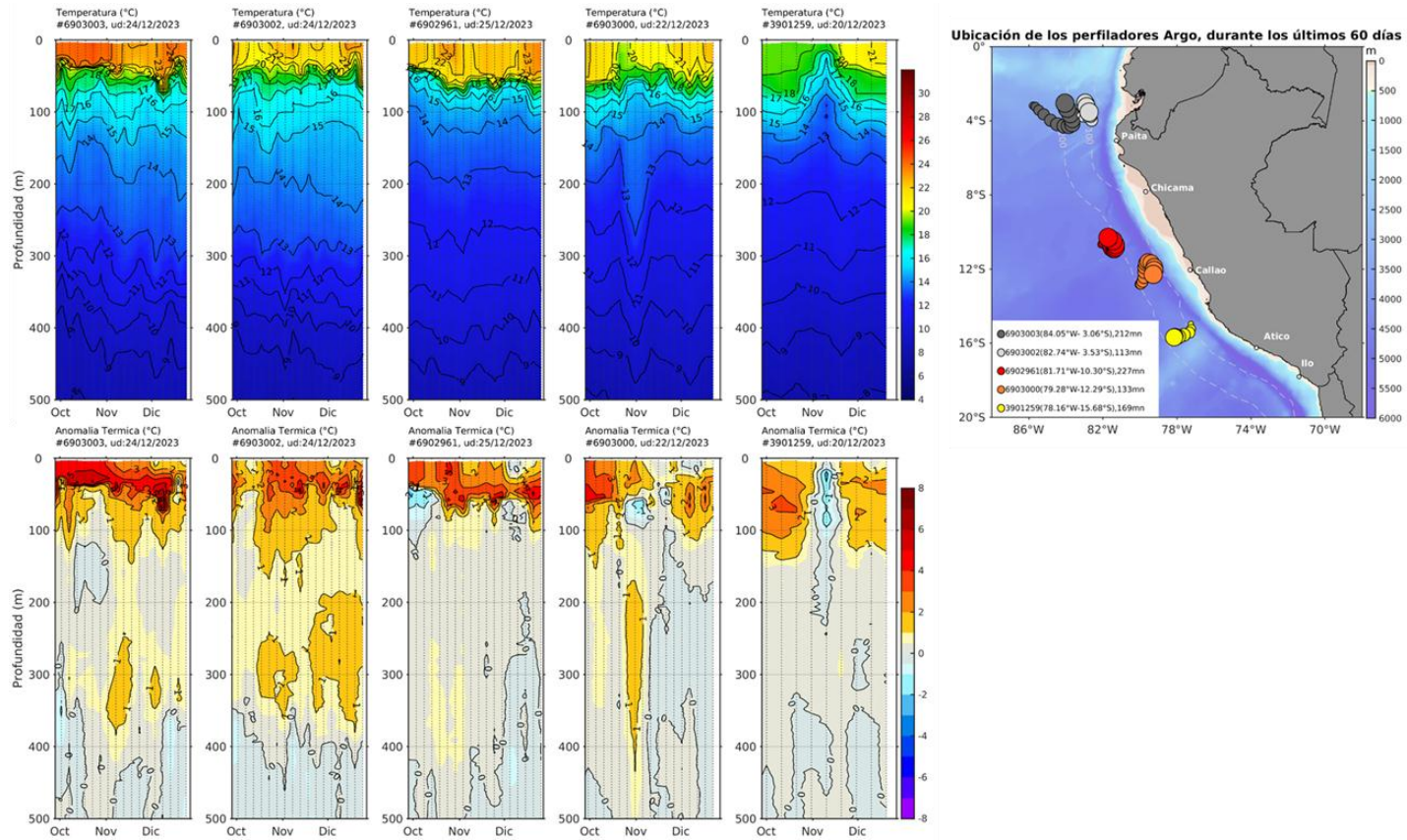


Figura 22. Evolución de la anomalía de la temperatura del agua de mar en flotadores Argo en la zona costera (dentro de las 200 mn) y ubicación de sus últimas posiciones (julio-agosto). Climatología: 1991-2020. Procesamiento: AFIOQ/DGIOCC/IMARPE.

La termoclina se encontró entre 60 y 80 m por debajo de su posición climatológica en la tercera semana de diciembre frente a Paita y Chicama, evidenciando una ligera profundización respecto a noviembre en Chicama dentro de las 60 mn (Figura 23). Cabe indicar que, considerando los registros de boyas Argo frente a la costa norte, en lo que va de diciembre se ha observado sobre los 80 m de profundidad anomalías térmicas superiores a +2 °C, similar al de noviembre y superior al de octubre. La anomalía térmica acumulada en lo que va de El Niño 2023-24 supera a la observada en la capa superficial y sobre los 70 m en El Niño 2015-16 y es similar en la capa de 0 – 400 m (Figura 24).

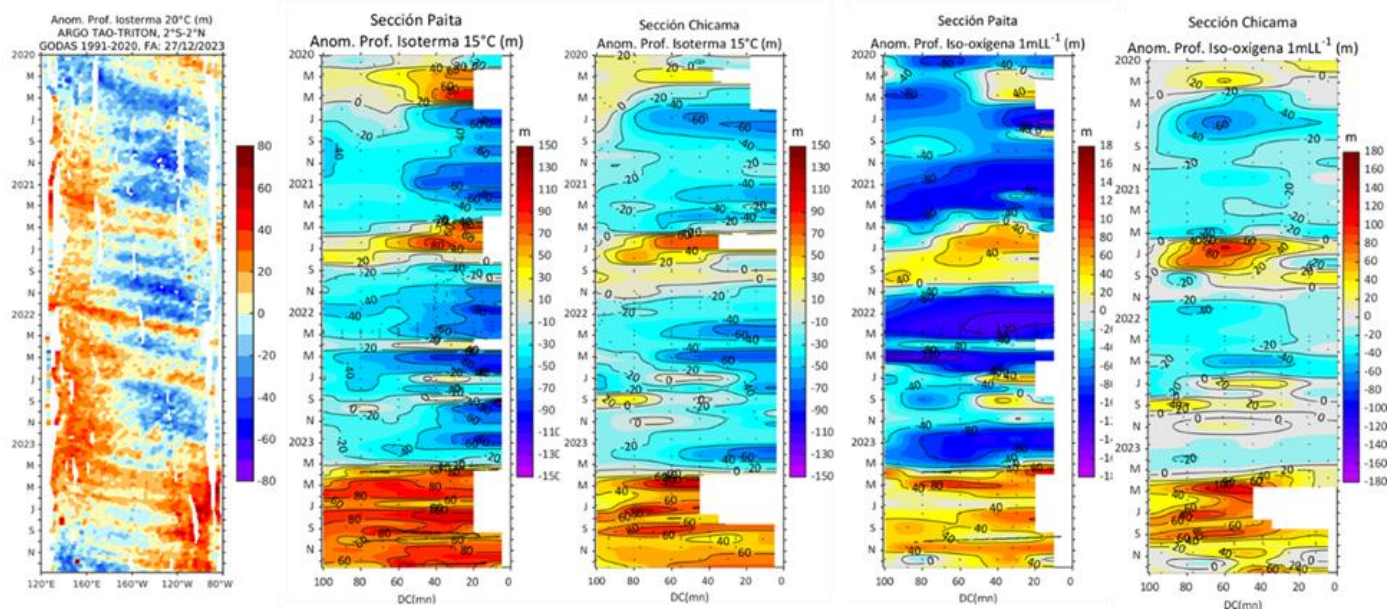


Figura 23. Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20 en el Pacífico ecuatorial (ARGO/ TAO Triton) y anomalías de la profundidad de la isoterma de 15 °C y de la iso-oxigena de 1 mL L⁻¹, indicadores de la termoclina y de la oxiclina, respectivamente, frente a Paita y Chicama, estimadas en base a los monitoreos mensuales realizados por el IMARPE. Procesamiento: AFIOQG/DGIOCC/IMARPE.

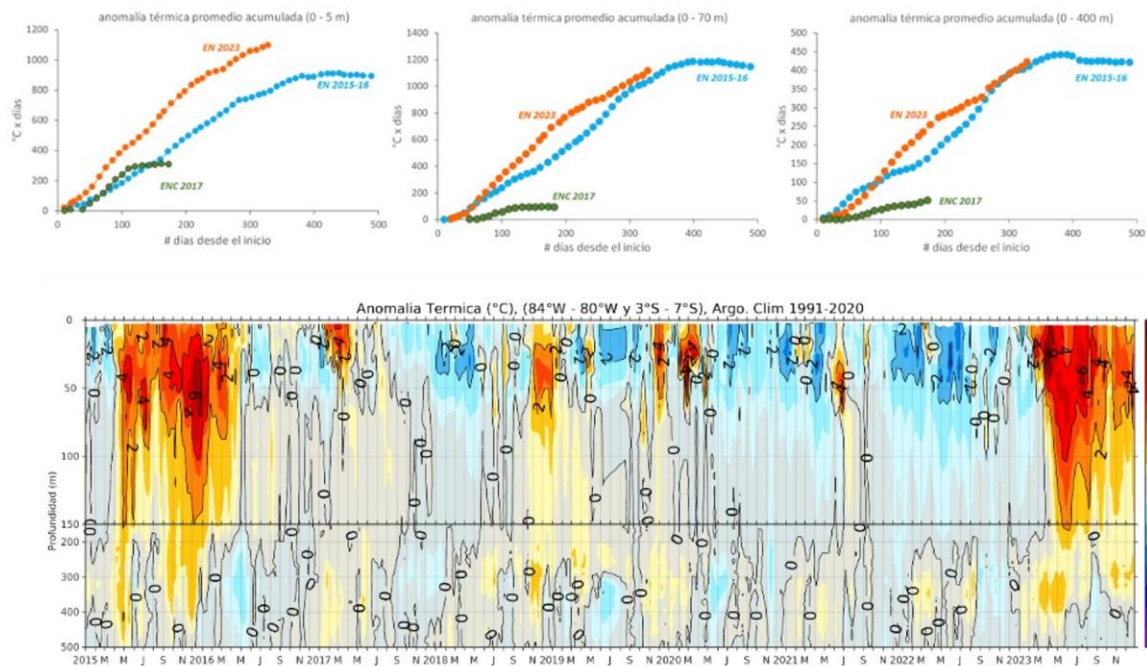


Figura 24. Arriba: anomalías acumuladas desde el inicio del evento en las capas de 0-5 m, 0-70 m y 0-400 m, para los eventos El Niño 2015-2016, El Niño Costero 2017 y el evento actual (2023 hasta la fecha) en base a registros de perfiladores Argo entre los 84° W – 80° W y 03° S – 07° S. Abajo: Anomalía térmica en base a los perfiladores ARGO, frente al zona norte; climatología: 1991- 2020. Procesamiento: AFIOQG/DGIOCC/IMARPE

En la capa sub-superficial, durante diciembre se observó el incremento de la temperatura de forma oceánica sobre los 50 m de profundidad frente a toda la costa de Perú, mostrando una ligera profundización de las isotermas frente a la costa centro y sur, incrementando las anomalías positivas hasta valores entre 2°C sobre los 100 m para fines de diciembre; mientras que, en la zona norte se presentó disminución de alcance vertical de las anomalías. Por otro lado, en la zona centro se mantienen anomalías negativas por debajo de los 50m de hasta -2°C (Figura 25).

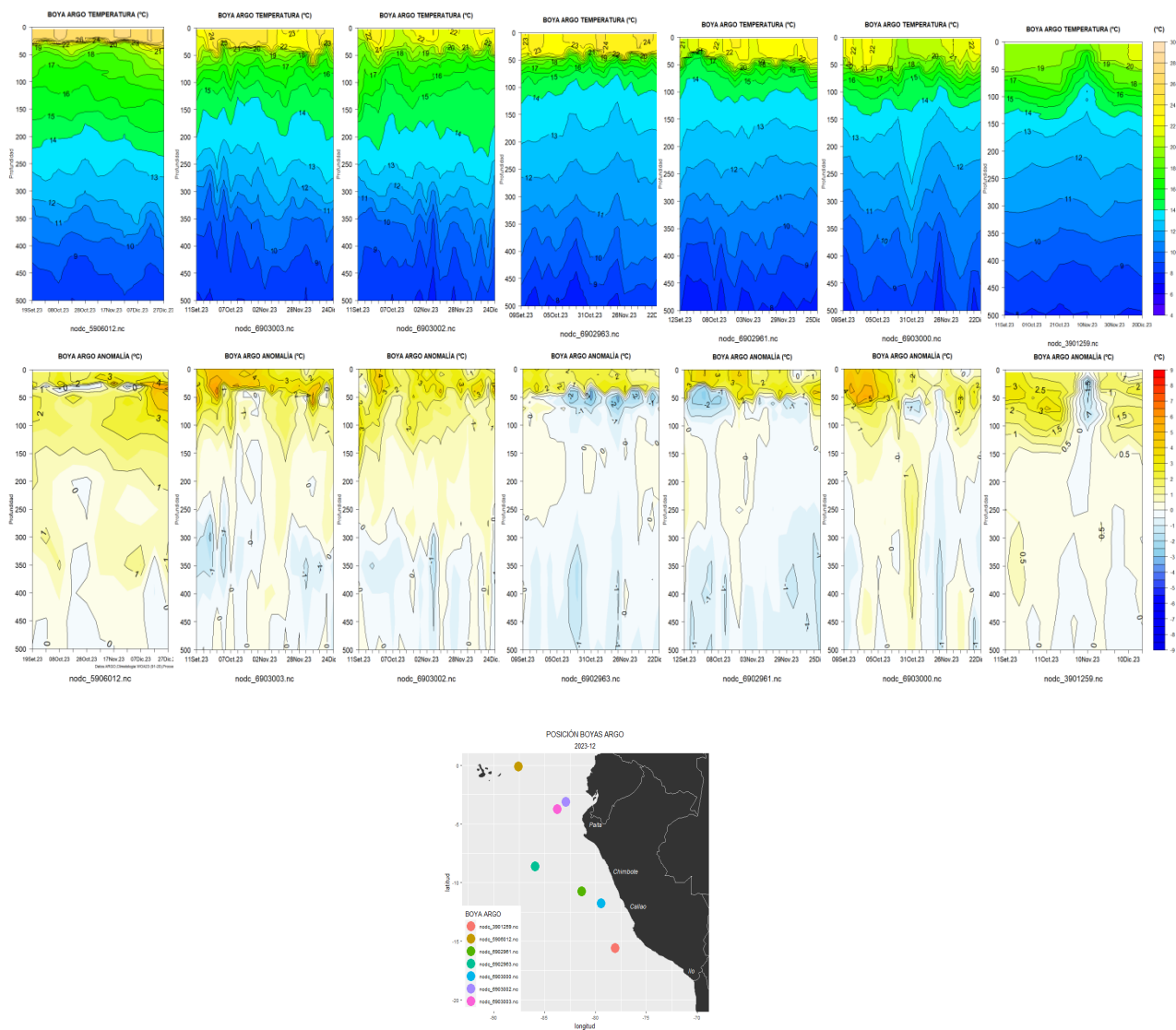


Figura 25. Secciones de anomalías de temperatura del mar de agosto a diciembre 2023 hasta los 500 m de profundidad. Fuente: ARGO Fuente y procesamiento: DIHIDRONAV.

A 180 millas de Puerto Pizarro la temperatura incrementó para la segunda quincena de diciembre, profundizándose las isotermas sobre los 180m, extendiéndose anomalías de 1°C hasta los 130 m de profundidad, registrándose la entrada de agua proveniente del norte y replegándose a la costa, confirmando el ingreso de las AES.

En tanto que, a 100 millas de Paita el incremento de la temperatura ocurrió sobre los primeros 30m de profundidad; sin embargo, las anomalías continuaron disminuyendo a valores cercanos a su normal sobre los 40 m y una anomalía de $+1^{\circ}\text{C}$ entre 40 m y 130 m (Figura 26).

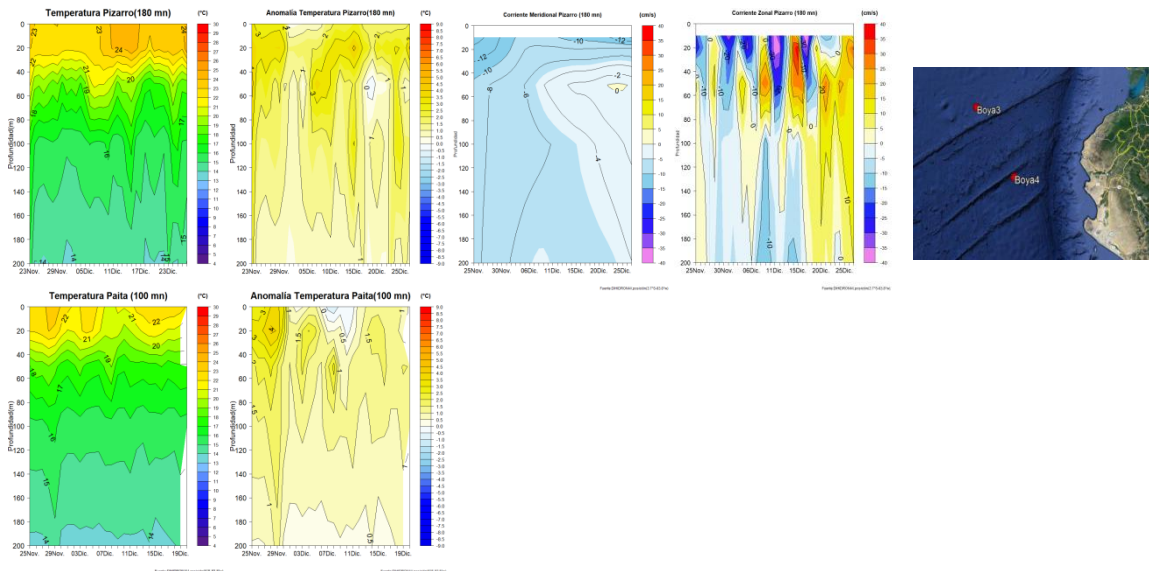


Figura 26. Secciones de la temperatura del mar, anomalía de la temperatura, salinidad del mar y anomalía de la salinidad frente a la costa de Perú en Boya NAYLAMP 3 (fila superior) y Boya NAYLAMP 4 (fila inferior). Periodo: 23 de noviembre 2023 a 25 de diciembre 2023. Fuente y Procesamiento: DIHIDRONAV.

El pronóstico de TSM a 30 millas frente a la costa norte en el mar peruano (Paita) indica un enfriamiento para la próxima semana sobre los primeros 70 m de profundidad, elevándose las isotermas y decayendo las anomalías positivas a valores cercanos a su normal. Mientras que, a 100 millas de Paita se espera que la temperatura presente un calentamiento con anomalías de hasta 3°C sobre los 70 m de profundidad; por otro lado, por debajo de los 120m de profundidad se desarrollarían anomalías ligeramente negativas (Figura 27).

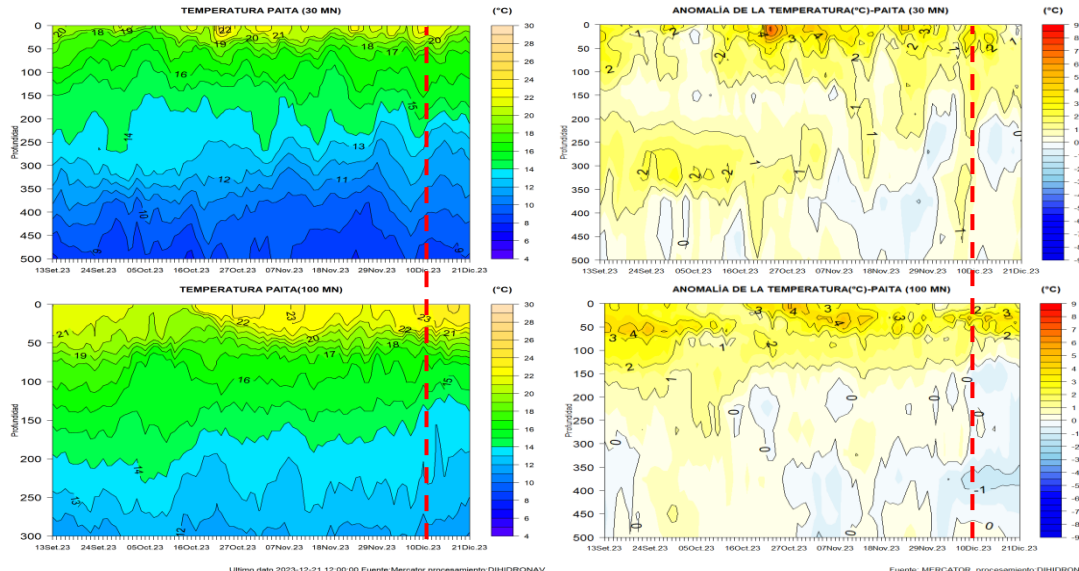


Figura 27. Pronóstico de temperatura subsuperficial del mar y su anomalía hasta los 500 m de profundidad frente a Paita a a) 30 mn y b) 100 mn. Fuente: Mercator. Procesamiento: DIHIDRONAV.

La salinidad superficial del mar (SSM) en diciembre mostró el repliegue paulatino de las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES, $33,8 < S < 34,8$) hacia el norte, ubicándose por fuera de las 60 mn sobre los 35 m frente a Negritos en la tercera semana de diciembre, aunque a 113 mn de Tumbes se detectó una ampliación del volumen de AES hasta los 50 m en la cuarta semana (Figura 28, Figura 21 y Figura 18). Por fuera de las 150 mn de Tumbes continuaron predominando las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS, $S > 35,1$) con valores de 35,2 sobre los 70 m de profundidad (Figura 28 y Figura 29). Entre Paita y Chicama, el afloramiento costero aunado al acercamiento de las ASS hacia la costa, generó mezcla entre las ASS y las aguas costeras frías (ACF) cerca de la costa, así como aguas de 35,2 por fuera de las 60 mn de Chicama (Figura 28 y Figura 20). Entre Chicama y Huarmey, prevaleció el mayor acercamiento de las ASS hacia la costa. Entre Huarmey y San Juan de Marcona continuaron predominando amplias zonas de mezcla entre las ASS y ACF, mientras que al sur de San Juan de Marcona prevalecieron las ACF, de acuerdo al modelo MERCATOR (Figura 28).

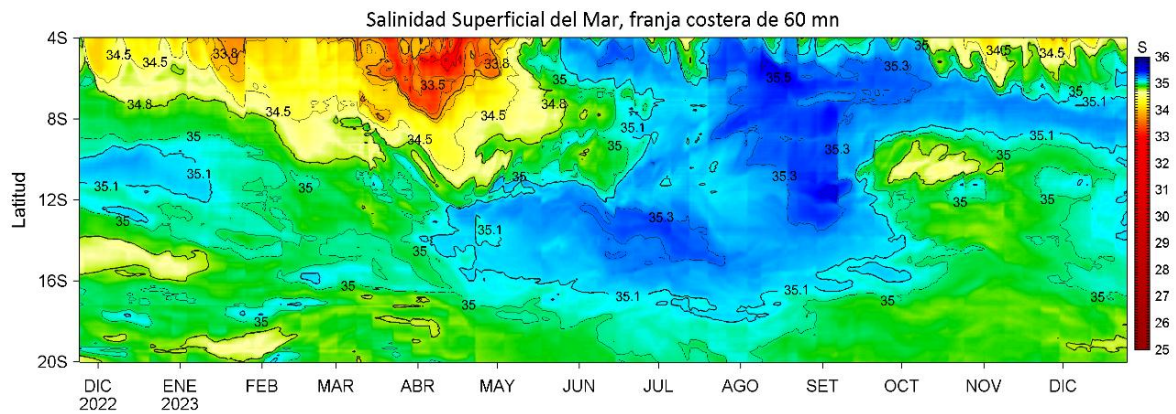
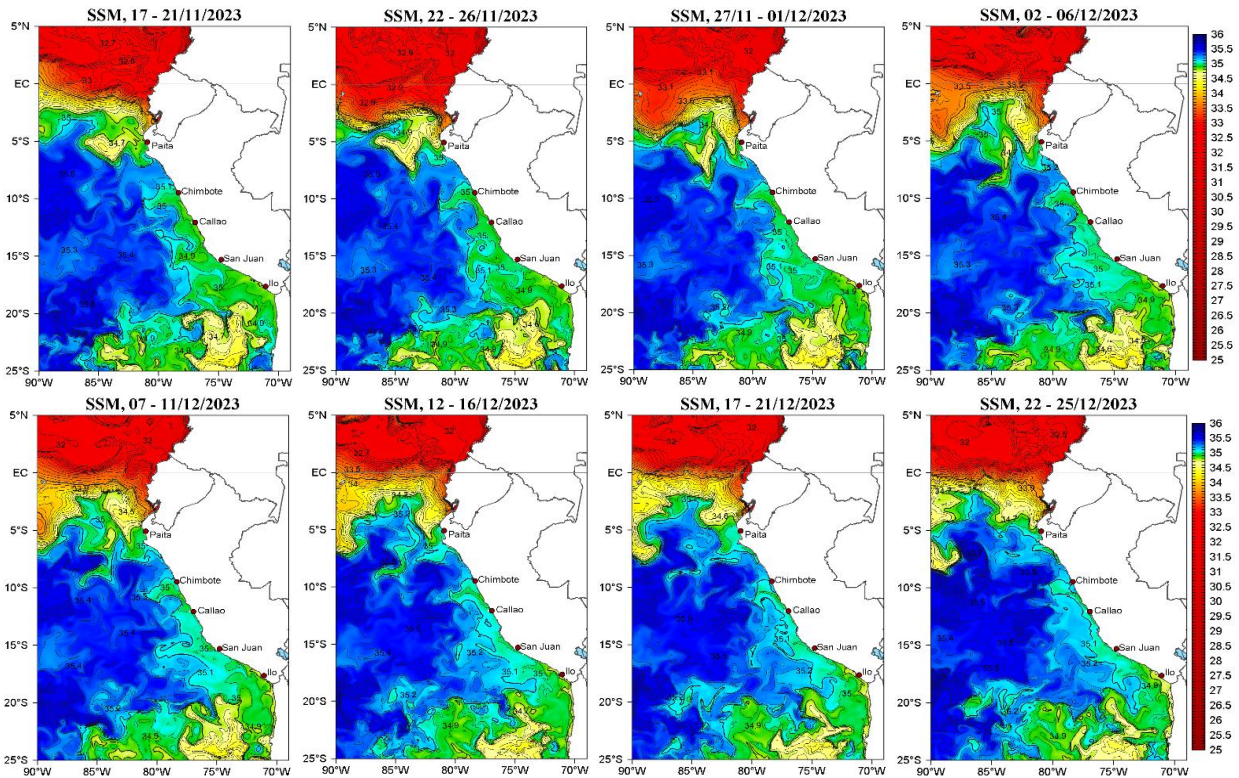


Figura 28. (a) Distribución pentadal de la Salinidad Superficial del Mar (SSM) en el Pacífico Sudeste, durante el 17 de noviembre y 25 de diciembre 2023. (b) Diagrama Hovmöller de la SSM en la franja de las 60 millas costeras, al 25 de diciembre de 2023. Datos: GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024 (Lellouche, J.-M. et al, 2013) disponible en http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024. Procesamiento: LHFH/AFIOF/DGIOCC/IMARPE

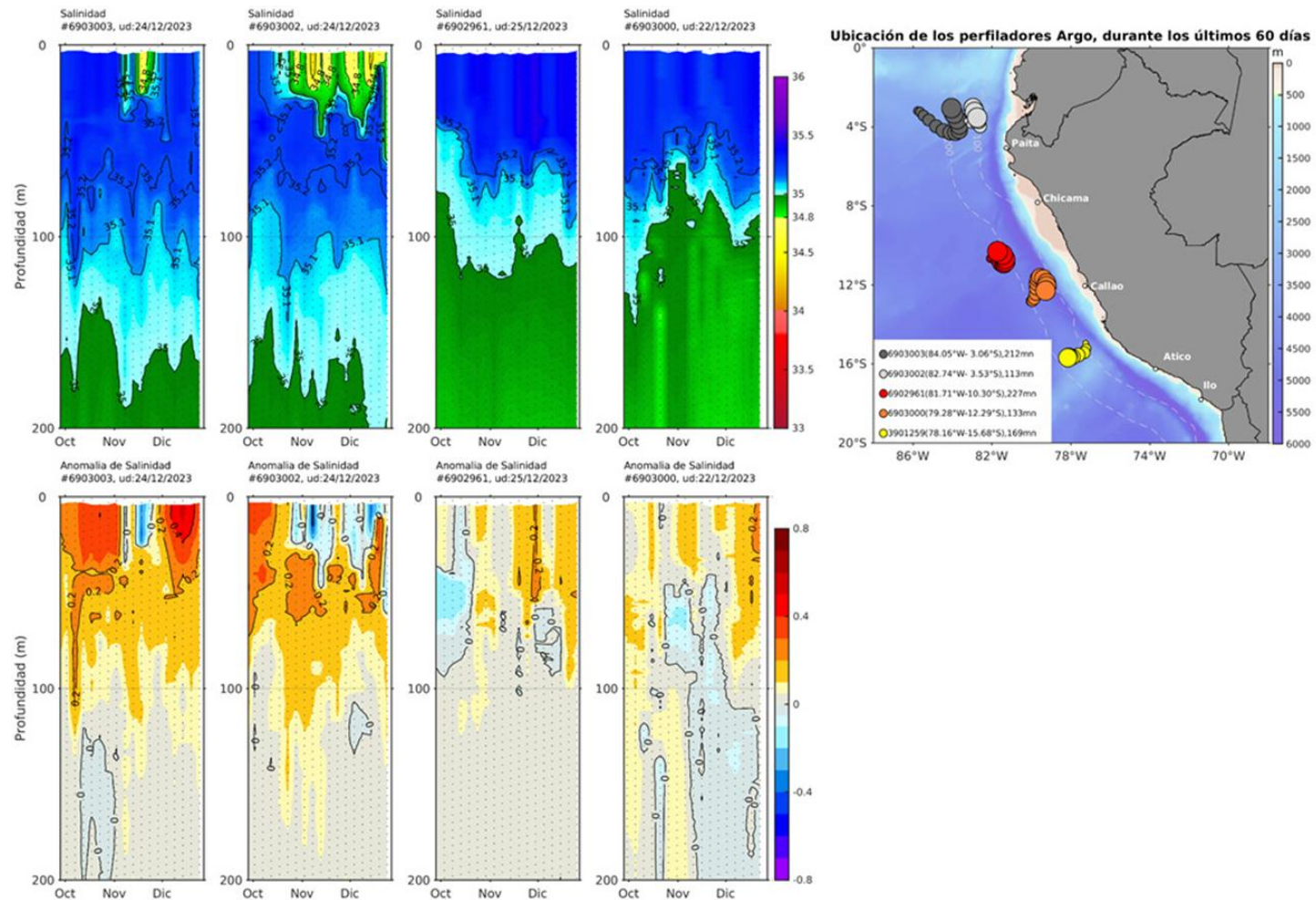


Figura 29. Evolución de la salinidad del agua de mar y sus anomalías en perfiladores ARGO en la zona costera (dentro de las 100 mn) y ubicación de las últimas posiciones y coordenadas geográficas donde brindaron información. Fuente: ARGO, climatología: 1991- 2020 (Domínguez et al., 2023). Procesamiento: AFIOQ/DGIOCC/IMARPE

Respecto al oxígeno disuelto (OD), sobre la segunda quincena de diciembre 2023, la profundidad de la iso-oxígena de 1 mL L^{-1} , considerada como indicador de la oxiclina, se ubicó entre los 120 m a 180 m frente a Paita, y entre los 25 m a 150 m de profundidad frente a Chicama, dentro de las 100 mn (Figura 20). Asimismo, el límite superior de la zona de mínimo de oxígeno (ZMO, $\text{OD} < 0,5 \text{ mL L}^{-1}$) se ubicó por debajo de los 175 m frente a Paita y a 90 m frente a Chicama, en promedio. En comparación a noviembre 2023 se observó una mayor expansión del sector conformado por las iso-oxígenas entre $1,0$ a $2,0 \text{ mL L}^{-1}$. Asimismo, la profundidad de la oxiclina aumentó ligeramente respecto a noviembre, en promedio, aunque muy próxima a su climatología, frente a Paita y a Chicama (Figura 23).

3.3. Productividad marina y condiciones biológico-pesqueras

La clorofila-a, indicador de la producción de fitoplancton, de acuerdo con la información satelital, durante diciembre presentó predominantemente concentraciones de $3 \mu\text{g L}^{-1}$ dentro de las 40 mn al norte de Chimbote; mientras que, al sur de Callao presentó concentraciones de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ hasta las 60 mn, las cuales fueron replegándose a la costa, al sur de San Juan. Esto significó una disminución de las concentraciones respecto a noviembre. Se observaron anomalías positivas al norte de Chimbote ($+4 \mu\text{g L}^{-1}$) y de Callao a Ilo ($+8 \mu\text{g L}^{-1}$) desde las 40-60 mn a la costa; sin embargo, entre Chimbote a Huacho, dentro de las 50 mn a la costa, y frente a Chicama entre las 40 a 60 mn, predominaron anomalías negativas ($-1 \mu\text{g L}^{-1}$) (Figura 30). En promedio, la disminución de la concentración de clorofila-a desde noviembre a lo que va de diciembre alcanzó valores cercanos a su climatología, posiblemente en respuesta a la profundización de la estructura vertical de la columna de agua (Figura 23 y Figura 31).

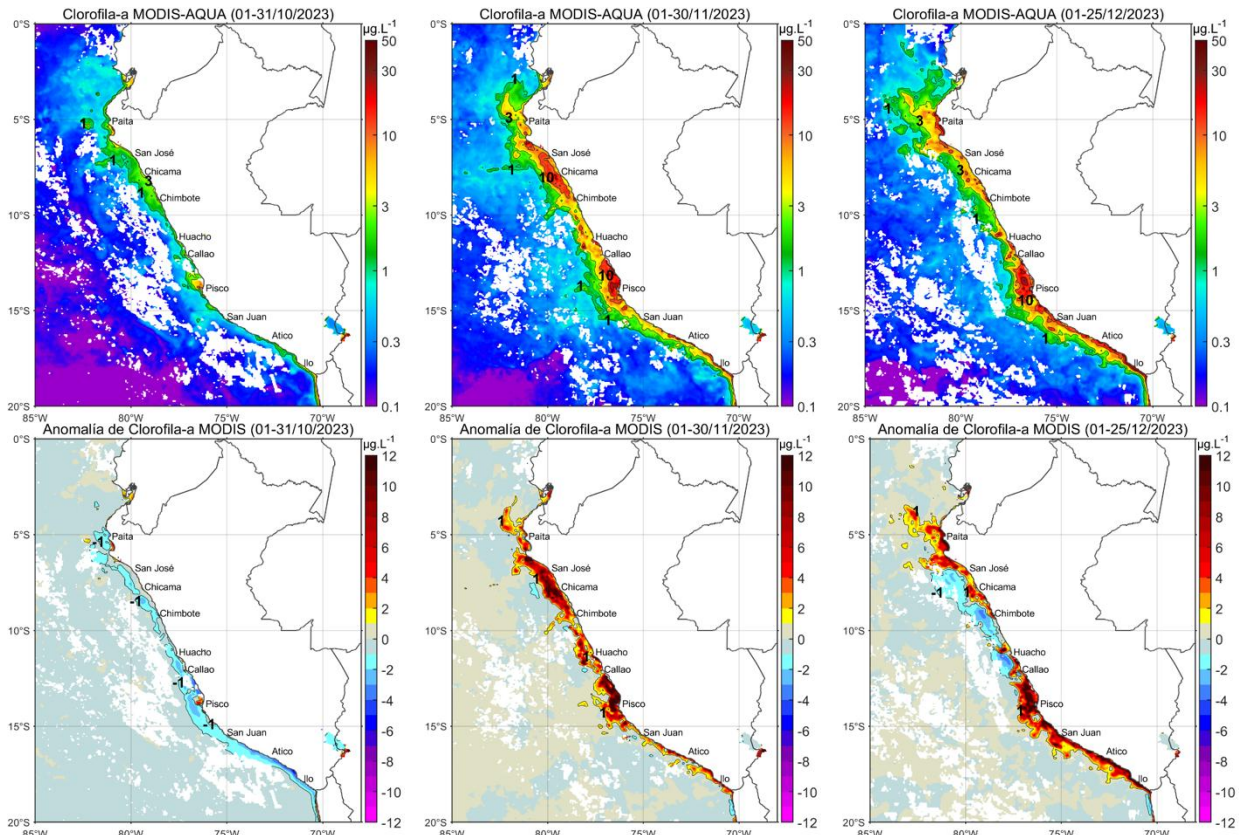


Figura 30. Distribución de la concentración de clorofila-a superficial satelital ($\mu\text{g L}^{-1}$, panel superior) y su anomalía ($\mu\text{g L}^{-1}$, panel inferior), durante octubre, noviembre y lo que va de diciembre de 2023 (de izquierda a derecha), proveniente de MODIS-AQUA. Fuente: Fuente: Satélite MODIS. Procesamiento: LHQ/AFIOQG/DGIOCC/IMARPE.

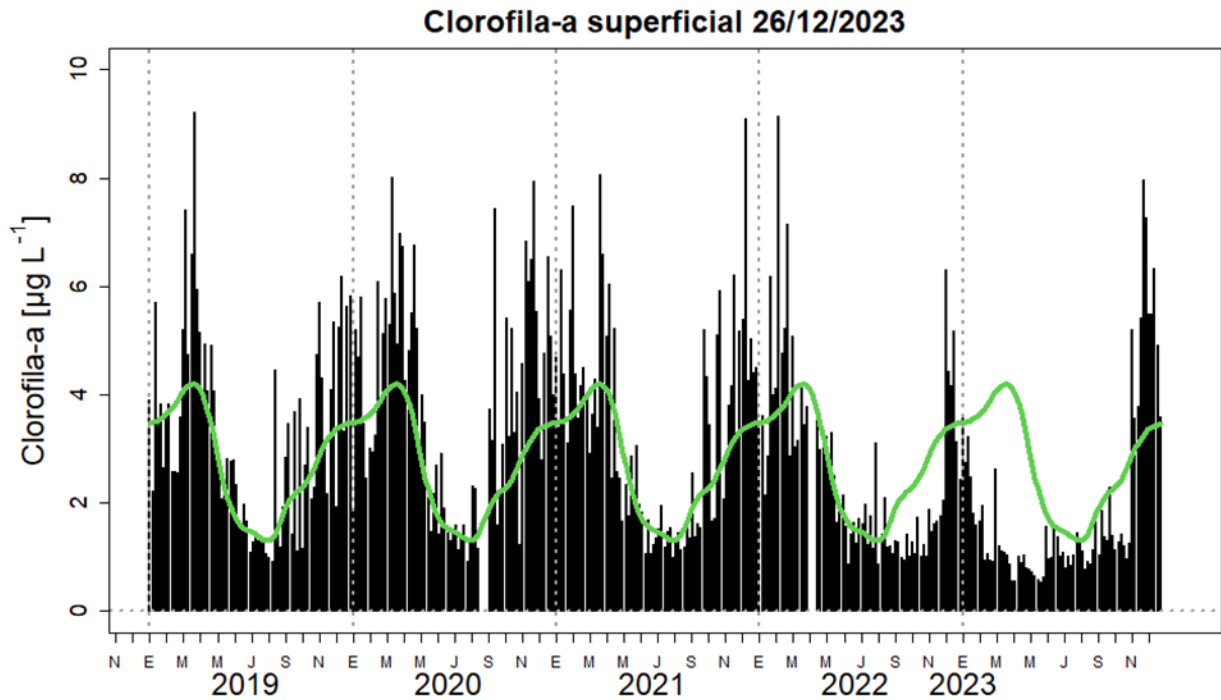


Figura 31. Serie de tiempo de las concentraciones de clorofila-a satelital (barra negra) y su climatología (línea verde) proveniente de SeaWIFS-MODIS ($\mu\text{g L}^{-1}$) entre 4° S-16° S y dentro de los 100 km de la costa. Fuente: IMARPE.

Respecto a los recursos pelágicos pesqueros, durante la segunda temporada de pesca de anchoveta 2023 en la región norte – centro, el recurso se distribuyó desde Punta La Negra (5°30' S) hasta San Juan de Marcona (14° S). En diciembre, con el continuo repliegue de las condiciones cálidas, se distribuyó dentro de las 30 mn de la costa, ampliando su distribución hacia el sur, registrándose hasta las 70 mn de costa frente a San Juan de Marcona (Figura 32). Las mayores capturas de anchoveta según grado latitudinal se registraron de Huarmey (10° S) a Callao (12° S) con el 73 % del total. Según distancia a la costa, dentro de las 10 mn se capturó el 30 %, principalmente por la flota industrial de madera y de 30 a 50 mn se capturó el 50 % correspondiente a la flota industrial mayoritariamente (Figura 33).

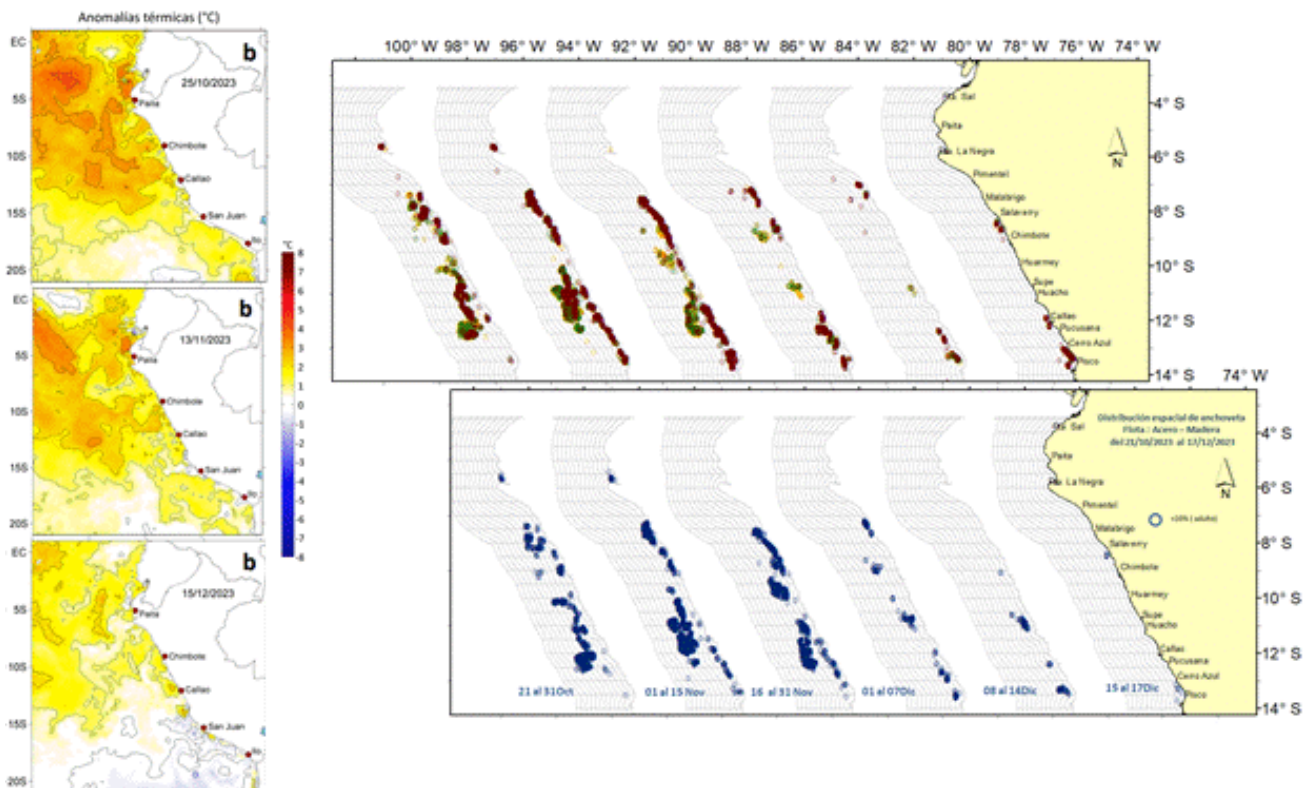


Figura 32. a) Variación de las condiciones ambientales y su relación con la b) distribución de anchoveta durante la segunda temporada de pesca de la región Norte – Centro 2023 (gráfico superior distribución de juveniles de anchoveta, gráfico inferior distribución de adultos de anchoveta).

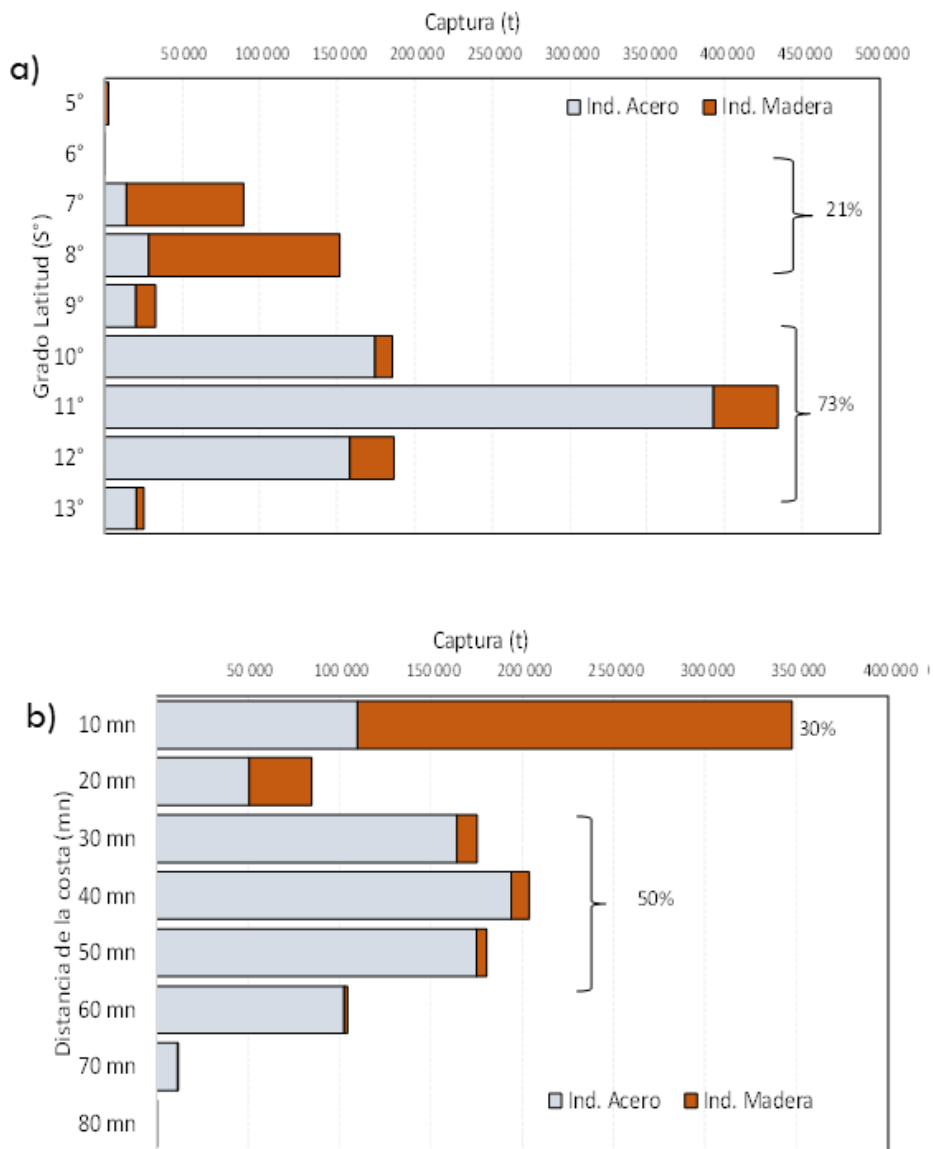


Figura 33. Captura de anchoveta según a) grado latitudinal (°S) y b) distancia a la costa (mn) durante la segunda temporada de pesca de la región Norte – Centro 2023.

La estructura de tallas de la anchoveta varió entre 7,0 a 16,5 cm longitud total (LT), con moda en 12,0 cm de longitud total (LT) y porcentaje de juveniles fue de 41,8 %. La mayor presencia de juveniles (78 %) se registró frente a Bayóvar y la menor (10,0 %) en San Juan de Marcona (Figura 34). Los indicadores reproductivos de anchoveta del stock norte-centro, tanto el índice gonadosomático (IGS), como la fracción desovante (FD), incrementaron sus valores respecto a la quincena anterior de diciembre, lo que señala el incremento del desove.

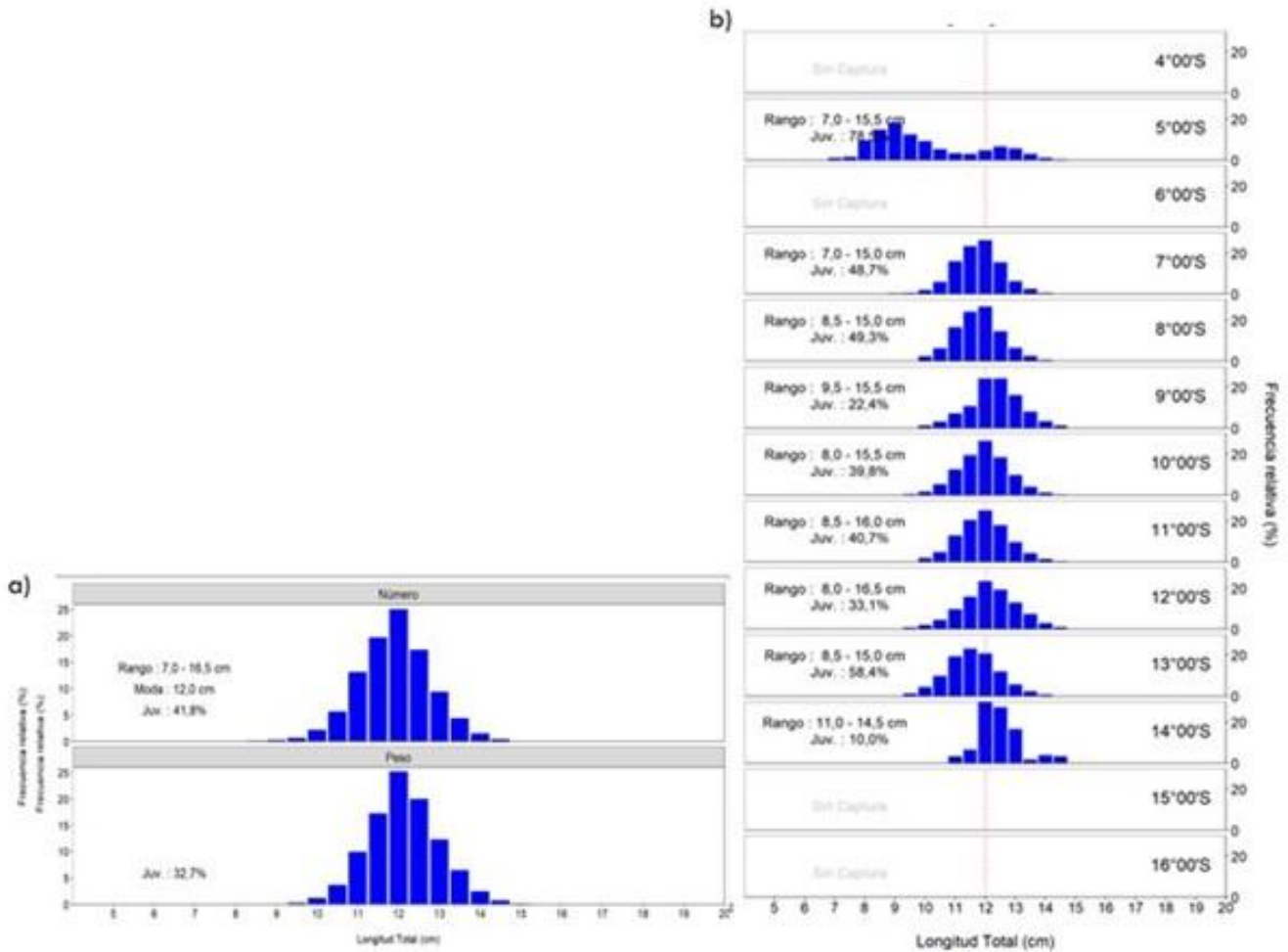


Figura 34. Estructura de tallas de anchoveta a) total y b) según grado latitudinal durante la segunda temporada de pesca de la región Norte – Centro 2023.

En el caso de las especies transzonales, el jurel (*Trachurus murphyi*) se registró hasta las 140 mn al sur de Mollendo, mientras que el bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*) mantuvo su disponibilidad desde Punta Sal (Piura) a Morro Sama (sur de Ilo) dentro de las 60 mn de costa. La captura de caballa (*Scomber japonicus peruanus*), formó parte de la captura incidental de jurel, bonito y anchoveta (Figura 35). En cuanto a la condición reproductiva, la caballa presentó un incremento en los procesos de maduración gonadal. Sin embargo, para el jurel y bonito, los indicadores reproductivos disminuyeron notoriamente, indicando que los procesos de maduración gonadal y desove han finalizado.

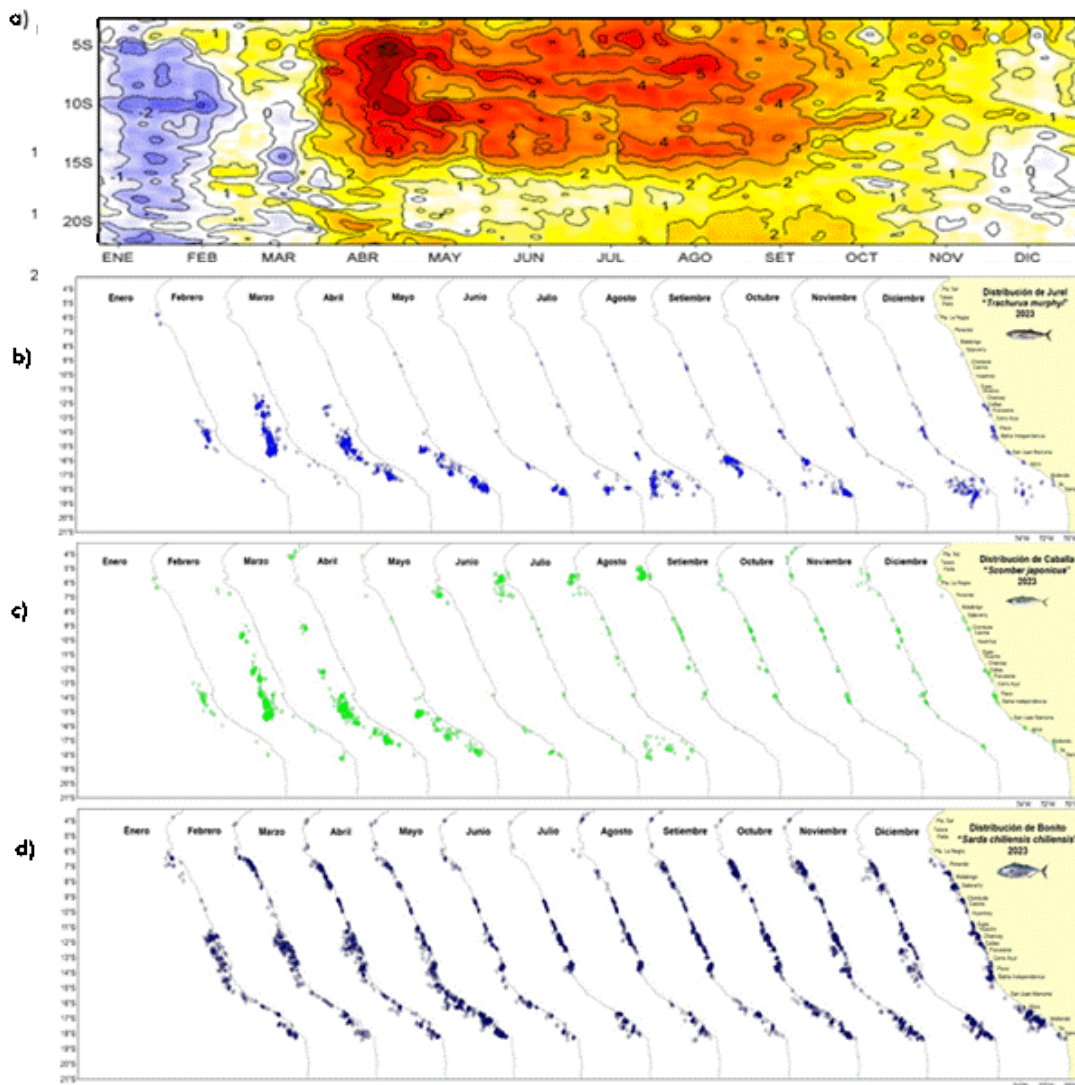


Figura 35. Distribución mensual de recursos transzonales con relación a las condiciones ambientales a) anomalías térmicas, b) jurel, c) caballa y d) bonito durante enero – noviembre 2023.

El pez oceánico perico (*Coryphaena hippurus*) se distribuyó dentro de las 300 mn posiblemente debido al ingreso de las ASS en la zona central, presentando mayor concentración en el sur. La especie norteña sierra (*Scomberomorus sierra*) presentó una distribución accesible a la flota artesanal dentro de las 10 mn, condición que se viene observando desde mayo (Figura 36).

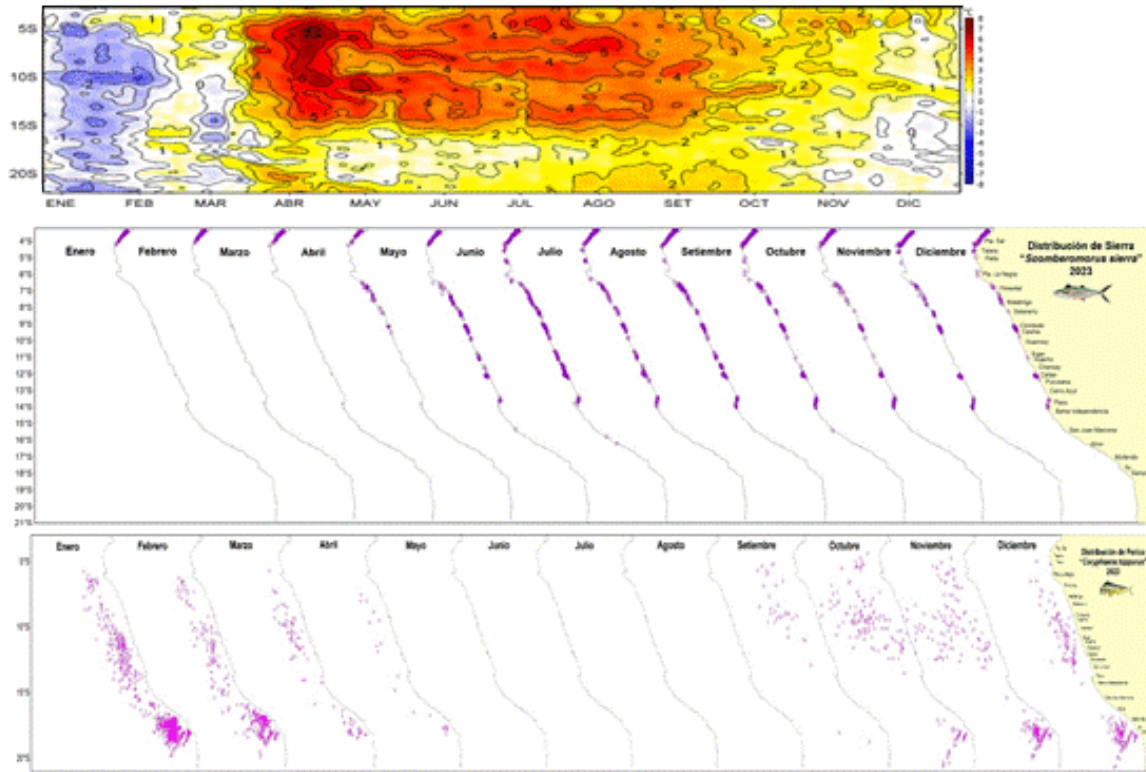


Figura 36. Distribución mensual de recursos transzonales con relación a las condiciones ambientales a) anomalías térmicas, b) perico y c) sierra durante enero – noviembre 2023.

Respecto a los recursos demersales, del 12 al 26 de diciembre, la actividad de la flota industrial arrastrera se desarrolló principalmente en el área comprendida desde el extremo norte del litoral peruano hasta Parachique. Los valores más altos de Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de la merluza se encontraron frente a Puerto Pizarro y Punta Sal, por lo que se podría inferir una mayor concentración del recurso en esas latitudes (Figura 37). En general, los valores de CPUE siguen considerándose bajos para esta pesquería, lo cual podría deberse a cambios en la distribución espacial del recurso, ya que este se ubicaría a mayores profundidades y distante de las zonas tradicionales de pesca de la flota industrial (Figura 38). Se observó que se mantuvo la presencia de los ejemplares de menor tamaño, los cuales han permanecido desde el extremo norte hasta los 5° S (Figura 39).

Se observó el incremento de los desembarques del calamar gigante, comportamiento distinto a lo registrado para el calamar común (*Doryteuthis gahi*), pulpo (*Octopus mimus*), concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) y langostino (*Penaeus californiensis*), los cuales presentaron una disminución de sus desembarques. El calamar gigante se encontró distribuido entre extremo norte del litoral hasta Punta La Negra, desde 10 hasta 120 mn de la costa, registrando la mayor concentración frente a Punta Sal y Talara (Figura 40). Entre Punta San Juan (15° S) y Punta Coles (17° S) se registró el mayor número de individuos registrados de lobo fino (*Arctocephalus australis*) durante 2023. Se observó la disminución de abundancia y cambios de distribución de las colonias de lobo fino a comparación del año 2022, situación que podría estar relacionada a los eventos anómalos cálidos presentes.

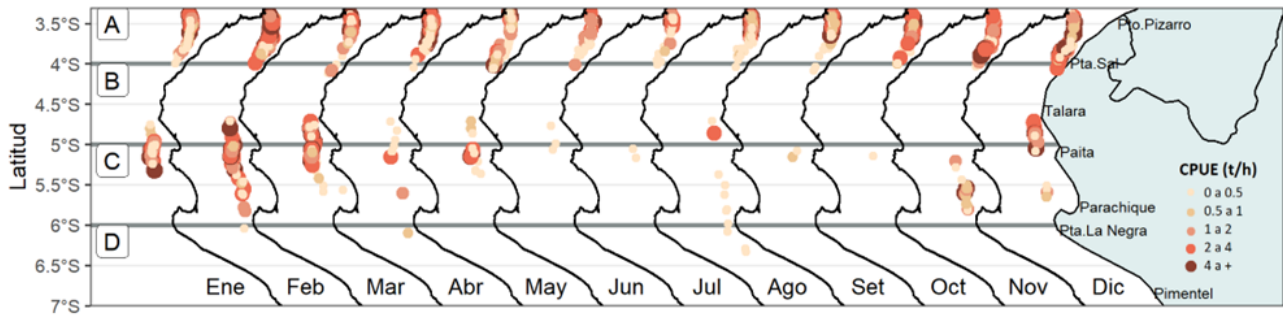


Figura 37. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE en th-1) por lance de pesca entre los meses de enero al 10 de diciembre de 2023 (de izquierda a derecha) de la flota industrial de arrastre de merluza.

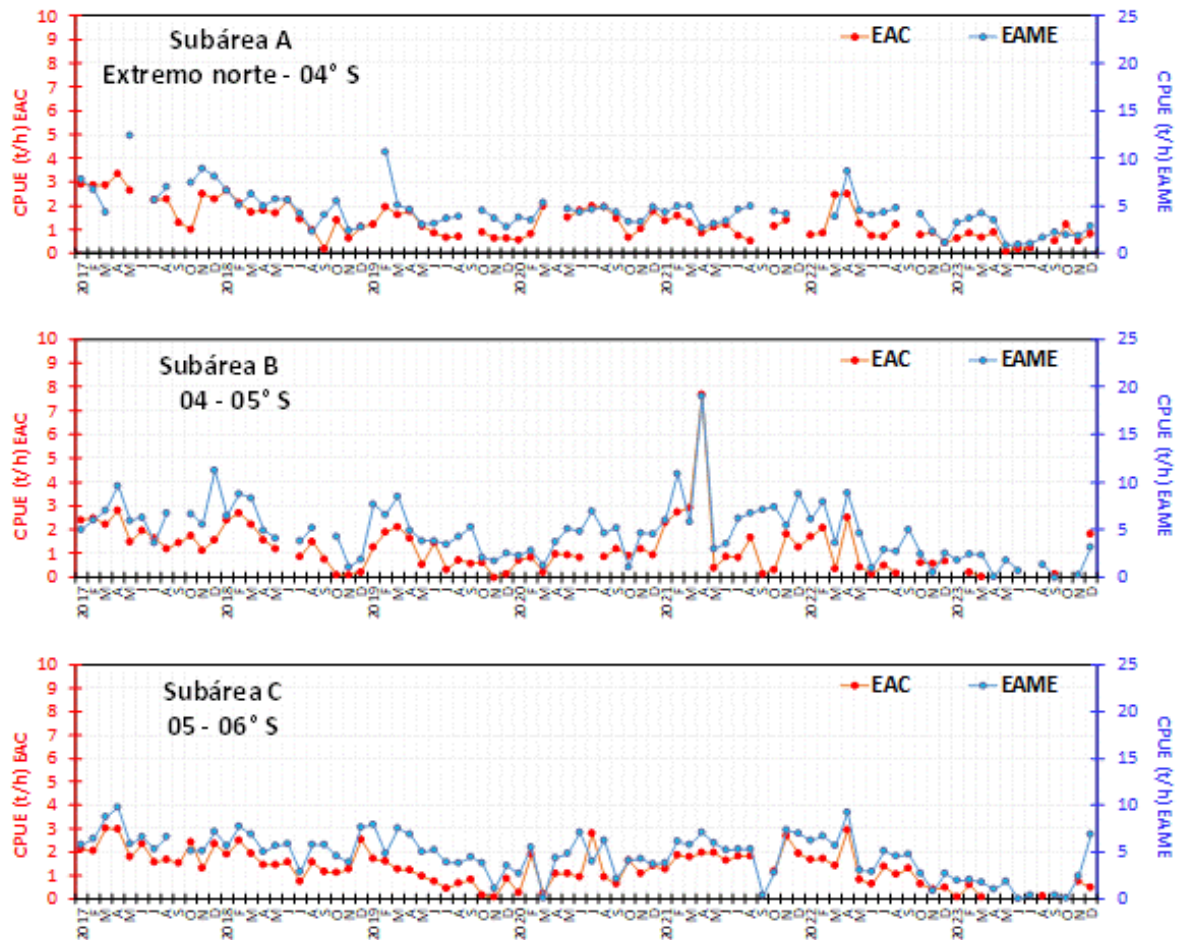


Figura 38. CPUE mensual (t/h) por subárea de pesca y tipo de embarcación de la flota industrial de arrastre de merluza.

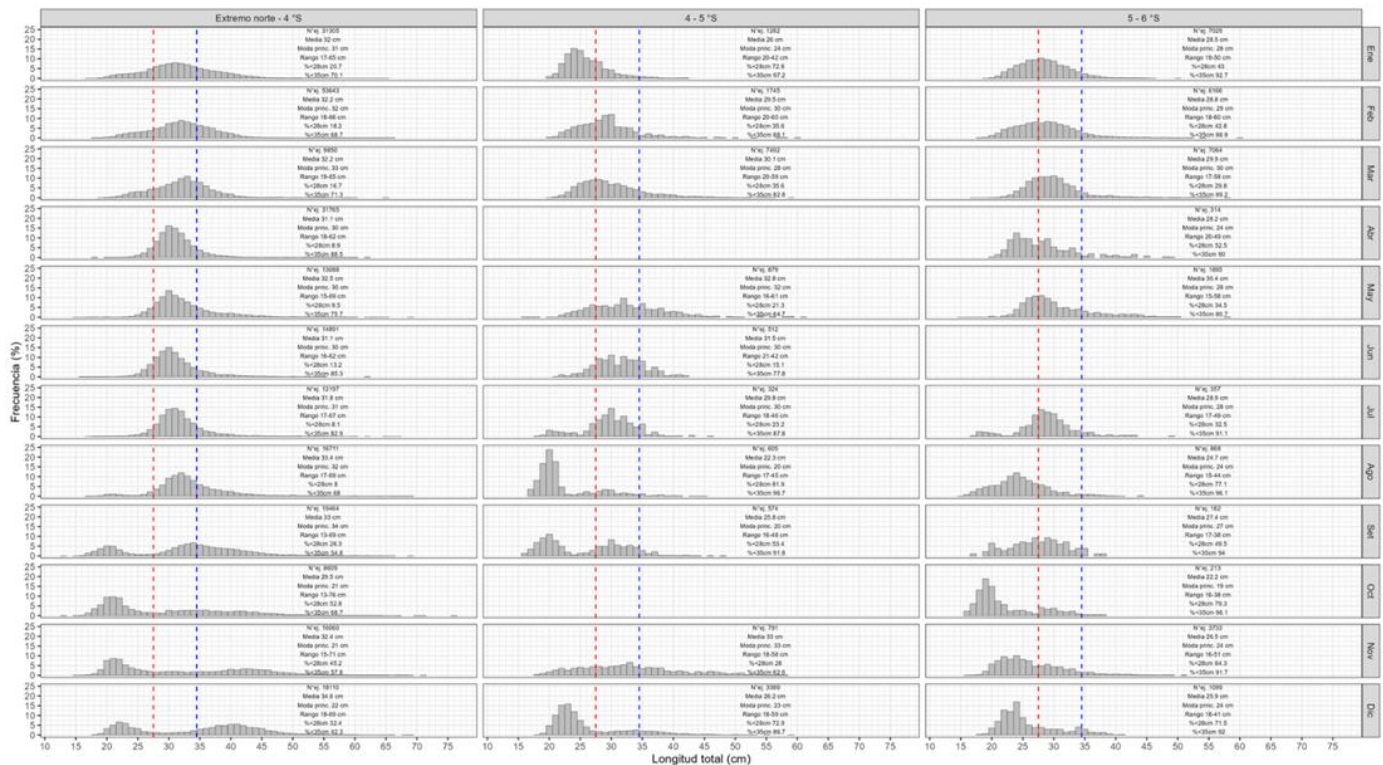


Figura 39. Distribución de tallas de merluza por subárea (latitud) entre los meses de enero a octubre y del 1 al 10 de diciembre 2023 (de izquierda a derecha), capturada por la flota industrial de arrastre.

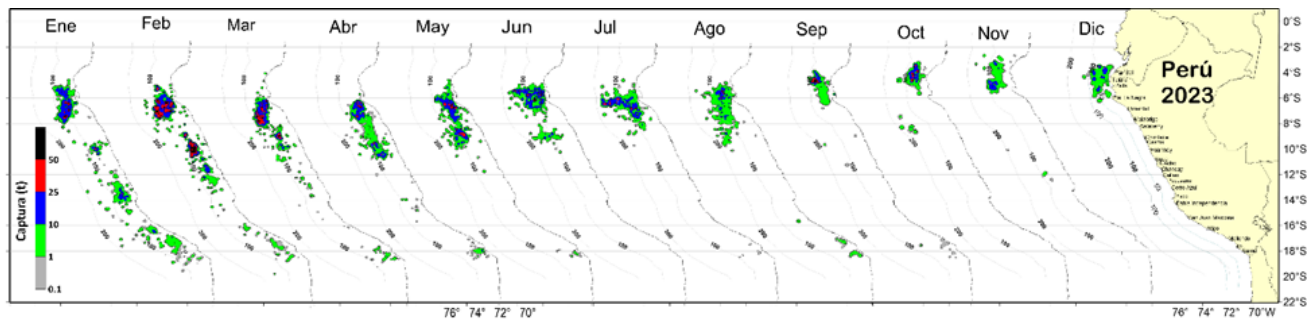


Figura 40. Distribución de la flota artesanal del calamar gigante *Dosidicus gigas*, enero a noviembre 2023.

3.4. Condiciones hidrológicas

Para el mes diciembre del 2023, los principales ríos de la vertiente del Pacífico, Titicaca y del Amazonas se encuentra con valores de caudales sobre lo normal, a excepción de los ríos del Pacífico sur que en su mayoría vienen registrando valores de caudales dentro de lo normal, al igual que los ríos navegables (Marañón, Amazonas, Ucayali y Napo), se encuentran en condiciones hidrológicas dentro de lo normal (**Tabla 4**).

Tabla 4. Caudales de los principales ríos del país al 27 de diciembre del 2023

Zona	Ríos	Pentadarios (m3/s)						Prom (m3/s)	Anom (%)	Condición
		Dic								
Pacífico Norte	Tumbes Cabo Inga	21.2	25.3	20.2	46.5	39.6	134.9	47.9	105.2	Significativamente sobre lo normal
	Tumbes El Tigre	23.4	27.0	22.7	49.7	41.8	61.5	37.7	70.1	Significativamente sobre lo normal
	Chira (ardilla)	28.2	25.8	41.5	93.0	57.1	28.6	45.7	32.0	Ligeramente sobre lo normal
	Chira (Puente Sullana)	4.4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	-2.4	Normal
	Piura	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.0	Normal
	Quiroz	11.4	16.0	13.3	39.4	32.6	13.6	21.0	34.1	Ligeramente sobre lo normal
	Motupe	0.8	0.7	0.7	1.3	0.9	1.0	0.9	62.0	Significativamente sobre lo normal
	La Leche	6.0	2.2	5.8	9.4	3.5	7.5	5.7	141.0	Significativamente sobre lo normal
	Chancay Lambayeque	19.9	15.8	15.0	86.1	75.3	198.1	68.4	217.7	Significativamente sobre lo normal
	Zaña	6.5	6.8	8.2	10.6	11.9	14.1	9.7	148.7	Significativamente sobre lo normal
	Jequetepeque	19.5	37.8	19.9	69.7	44.5	82.0	45.6	216.5	Significativamente sobre lo normal
	Chicama (Salinar)	12.8	20.7	19.0	50.9	50.3	89.1	40.5	176.3	Significativamente sobre lo normal
	Chicama (Tambo)	12.3	19.2	17.6	35.6	41.5	53.5	29.9	517.6	Significativamente sobre lo normal
	Moche	7.7	13.4	7.1	18.9	17.1	15.0	13.2	536.1	Significativamente sobre lo normal
	Santa	234.7	258.1	246.3	387.6	400.2	474.7	333.6	168.8	Significativamente sobre lo normal
Pacífico Centro	Pativilca	36.0	34.2	38.1	54.3	37.4	47.1	41.2	0.1	Normal
	Huaura	47.5	36.0	34.4	41.1	38.8	38.9	39.4	131.6	Significativamente sobre lo normal
	Huaral	39.1	34.6	38.8	34.9	30.5	36.2	35.7	208.8	Significativamente sobre lo normal
	Chillón	8.4	6.5	7.0	8.0	6.8	6.2	7.2	47.9	Ligeramente sobre lo normal
	Rimac	29.6	25.1	30.4	32.3	30.7	34.6	30.5	38.8	Ligeramente sobre lo normal
	Lurín	6.1	4.5	4.7	4.1	4.7	7.2	5.2	160.8	Significativamente sobre lo normal
	Mala	25.7	19.6	22.9	22.3	26.5	28.3	24.2	283.0	Significativamente sobre lo normal
	Cañete	58.1	35.9	32.8	38.4	43.0	43.8	42.0	33.1	Ligeramente sobre lo normal
	San Juan	14.7	11.0	14.7	17.0	14.0		14.3	506.9	
	Pisco	18.8	7.4	26.4	22.9	18.3	9.2	17.2	144.0	Significativamente sobre lo normal
Pacífico Sur	Ica	8.8	8.5	13.9	9.6	8.4	11.7	10.2	26.1	Ligeramente sobre lo normal
	Acarí	0.3	0.3	4.9	4.6	2.6	4.5	2.9	-15.5	Normal
	Yauca	0.1	0.3	0.9	0.3	0.2	0.2	0.3	57.1	Significativamente sobre lo normal
	Ocoña	34.4	33.0	42.5	40.8	33.4	33.7	36.3	-19.1	Ligeramente por debajo de lo normal
	Camaná	18.1	17.5	25.5	26.1	20.1		21.4	-7.6	Normal
	Chili	7.3	6.5	7.3	6.9	6.8	7.4	7.0	-9.2	Normal
	Socabaya	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-43.6	Ligeramente por debajo de lo normal
	Tambo	8.3	7.1	11.6	12.7	7.9	8.5	9.3	15.8	Ligeramente sobre lo normal
	Huaracane	0.3	0.3	0.3	0.7	0.6		0.5	-4.3	Normal
	Torata	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2		1.3	9.7	Normal
	Tumilaca	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6		0.5	22.9	Ligeramente sobre lo normal
	Locumba	2.2	2.2	2.2	2.2			2.2	2.6	Normal
	Sama	0.6	0.6	1.0	1.6	1.0	1.0	1.0	39.7	Ligeramente sobre lo normal
Caplina	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	-12.7	Normal	
Títicaca	Huancane	8.1	2.5	24.0	43.5	12.3	3.9	15.7	100.7	Significativamente sobre lo normal
	Ramis	25.2	24.3	27.5	117.0	85.7	60.5	56.7	87.8	Significativamente sobre lo normal
	Ilave	15.3	9.4	12.0	13.9	7.6	6.5	10.8	47.6	Ligeramente sobre lo normal
	Coata	16.6	9.9	15.9	39.8	19.6	7.6	18.2	-39.3	Ligeramente por debajo de lo normal
Marañón	Marañón (Coral Quemado)	467.0	382.4	428.8	864.3	781.0	967.7	648.5	-18.1	Ligeramente por debajo de lo normal
	Marañón (Cumba)	564.7	512.1	496.2	838.2	891.4	1075.8	729.7	47.0	Ligeramente sobre lo normal

Zona	Ríos	Pentadiarios (m3/s)						Prom	Anom	Condición
	Crisnejas (Puente)	28.8	44.3	36.3	90.7	88.1	147.7	72.7	188.7	Significativamente sobre lo normal
	Crisnejas (Jesús Túnel)	4.0	4.3	2.8	6.9	12.3	15.1	7.6	45.3	Ligeramente sobre lo normal
Huallaga	Sisa	7.2	5.9	7.5	5.6	11.8	155.0	32.1	49.3	Ligeramente sobre lo normal
	Huallaga (Huayabamba)	1614.3	1686.2	1797.5	2070.6	2043.2	2003.2	1869.2	83.1	Significativamente sobre lo normal
	Tocache	3928.0	3166.9	3586.3	4395.4	4356.8	3256.0	3781.6	55.8	Significativamente sobre lo normal
	Huallaga (Tingo María)	797.7	665.0	767.9	890.4	826.1	710.0	776.2	16.5	Ligeramente sobre lo normal
	Huallaga (Taruca)	103.0	77.0	98.8	135.7	140.2	159.1	119.0	54.4	Significativamente sobre lo normal
Mantaro	Mantaro (Pongor)	299.4	224.1	216.6	305.8	261.7	232.2	256.6	67.0	Significativamente sobre lo normal
	Mantaro (La Mejorada)	224.9	168.6	164.1	212.3	182.5	143.3	182.6	78.0	Significativamente sobre lo normal
	Mantaro (Stuart)	79.8	62.8	59.0	65.5	55.6	59.9	63.8	17.2	Ligeramente sobre lo normal
	Mantaro (Chulec)	62.7	59.4	53.0	57.2	59.6	35.7	54.6	72.1	Significativamente sobre lo normal
Pampas	Pampas	100.3	86.0	101.0	117.5	98.9	90.0	98.9	28.3	Ligeramente sobre lo normal
Apurímac	Apurímac	221.7	196.4	289.6	350.5	258.1	178.5	249.1	26.3	Ligeramente sobre lo normal
Urubamba	Urubamba (Km 105)	163.0	115.1	194.9	282.8	203.2	98.3	176.2	72.2	Significativamente sobre lo normal
	Paucartambo	58.5	57.4	60.9	55.3	45.4	39.5	52.8	11.5	Normal
	Pisac	114.3	73.4	116.9	192.3	110.1	71.4	113.0	18.1	Ligeramente sobre lo normal
Ríos Navegables	Madre de Dios	6929.5	9534.0	7603.5	8045.1	6842.3	6827.2	7630.3	8.7	Normal
	Ucayali (msnm)	144.6	145.0	144.9	145.2	145.3	144.9	145.0	-1.2	Normal
	Napo	17556.7	19476.8	19563.4	20039.5	22719.4	23271.6	20437.9	17.9	Ligeramente sobre lo normal
	Marañón (San Regis)	4754.7	5457.9	5209.9	5702.4	7100.8	6374.6	5766.7	-1.9	Normal
	Amazonas (Tanshiyacu)	24764.5	28619.1	28981.1	29842.8	32651.6	33940.8	29800.0	1.1	Normal

Fuente: SENAMHI, Juntas de Usuarios y Proyectos Especiales

Elaborado: ANA

Los principales embalses del país (Tabla 5) al 27/12/2023 se encuentran al 46.5 % de la capacidad hidráulica nacional, cabe mencionar que los embalses del Pacífico norte, centro y algunos de la sierra (Choquesera y Sibinicocha) en su mayoría han incrementado sus volúmenes almacenados, mientras que del Pacífico sur siguen con su tendencia decreciente, de otro lado el lago Junín vuelve a mostrar niveles más bajos históricos.

Tabla 5. Estado situacional de los reservorios al 27 diciembre del 2023

Zona	Reservorio	Fecha Reporte	Departamento de Influencia	Capacidad Hidráulica (hm ³)		Capacidad Hidráulica Almacenada (%)
				Útil	Almacenada	
Costa - Norte	Poecho	27-Dic	Piura	445.5	141.3	31.7
	San Lorenzo	27-Dic	Piura	195.6	65.2	33.3
	Tinajones	27-Dic	Lambayeque	331.6	243.3	73.4
	Gallito Ciego	27-Dic	La Libertad	366.1	243.3	66.5
	SUB TOTAL				1338.7	693.1
Costa - Centro	Viconga	27-Dic	Lima	30.0	3.9	13.0
	Sistema Rímac	15-Dic	Lima, Junin	282.4	155.5	55.1
	Choclococha	27-Dic	Ica	131.1	43.0	32.8
	Ccaracocha	27-Dic	Ica	40.0	18.7	46.8
	SUB TOTAL				483.5	221.1
Costa - Sur	Condorama	27-Dic	Arequipa	259.0	82.8	32.0
	El Pañe	27-Dic	Arequipa	99.6	33.2	33.3
	Dique Los Españoles	27-Dic	Arequipa	9.1	4.9	53.9
	Pillones	27-Dic	Arequipa	78.5	13.4	17.1
	El Frayle	27-Dic	Arequipa	127.2	48.6	38.2

Zona	Reservorio	Fecha Reporte	Departamento de	Capacidad Hidráulica (hm ³)		Capacidad
	Aguada Blanca	27-Dic	Arequipa	30.4	11.8	38.8
	Chalhuanca	27-Dic	Arequipa	25.0	13.5	54.0
	Bamputañe	27-Dic	Arequipa	40.0	1.7	4.3
	Pasto Grande	27-Dic	Moquegua	200.0	114.4	57.2
	Paucarani	27-Dic	Tacna	10.5	2.6	24.8
	Laguna Aricota	27-Dic	Tacna	280.0	180.6	64.5
	Jarumas	27-Dic	Tacna	13.0	10.4	80.0
	SUB TOTAL				1172.4	517.9
Sierra - Centro	Cuchoquesera	27-Dic	Ayacucho	80.0	22.8	28.5
	Lago Junín	27-Dic	Junin	314.7	15.7	6.7
	SUB TOTAL				394.7	38.5
Sierra - Sur	Lagunillas	27-Dic	Puno	585.1	378.0	64.6
	Sibinacocha	27-Dic	Cusco	110.0	40.5	36.8
	SUB TOTAL				695.1	418.5
Situación Nacional			-	4,210.69	1,958.83	46.5

Fuente: Proyectos Especiales y operadores hidráulicos
Elaborado: ANA

3.5. Condiciones agrometeorológicas

En los valles de Chulucanas y San Lorenzo (Piura), las temperaturas del aire de normales a ligeramente cálidas fueron favorables para la maduración y cosecha del mango; asimismo, en Lambayeque, dichas condiciones térmicas propiciaron el avance de la fase de fructificación, especialmente en las plantaciones que lograron floración. En cuanto al cultivo de arroz de la campaña grande 2023/2024, se reportaron temperaturas propicias para el desarrollo vegetativo de los almácigos. En la costa sur La Yarada (Tacna), en aquellas plantaciones del olivo que lograron fructificación, las temperaturas del aire reportadas en torno a sus normales, continuaron favorables para el desarrollo y crecimiento de los frutos (Figura 41).

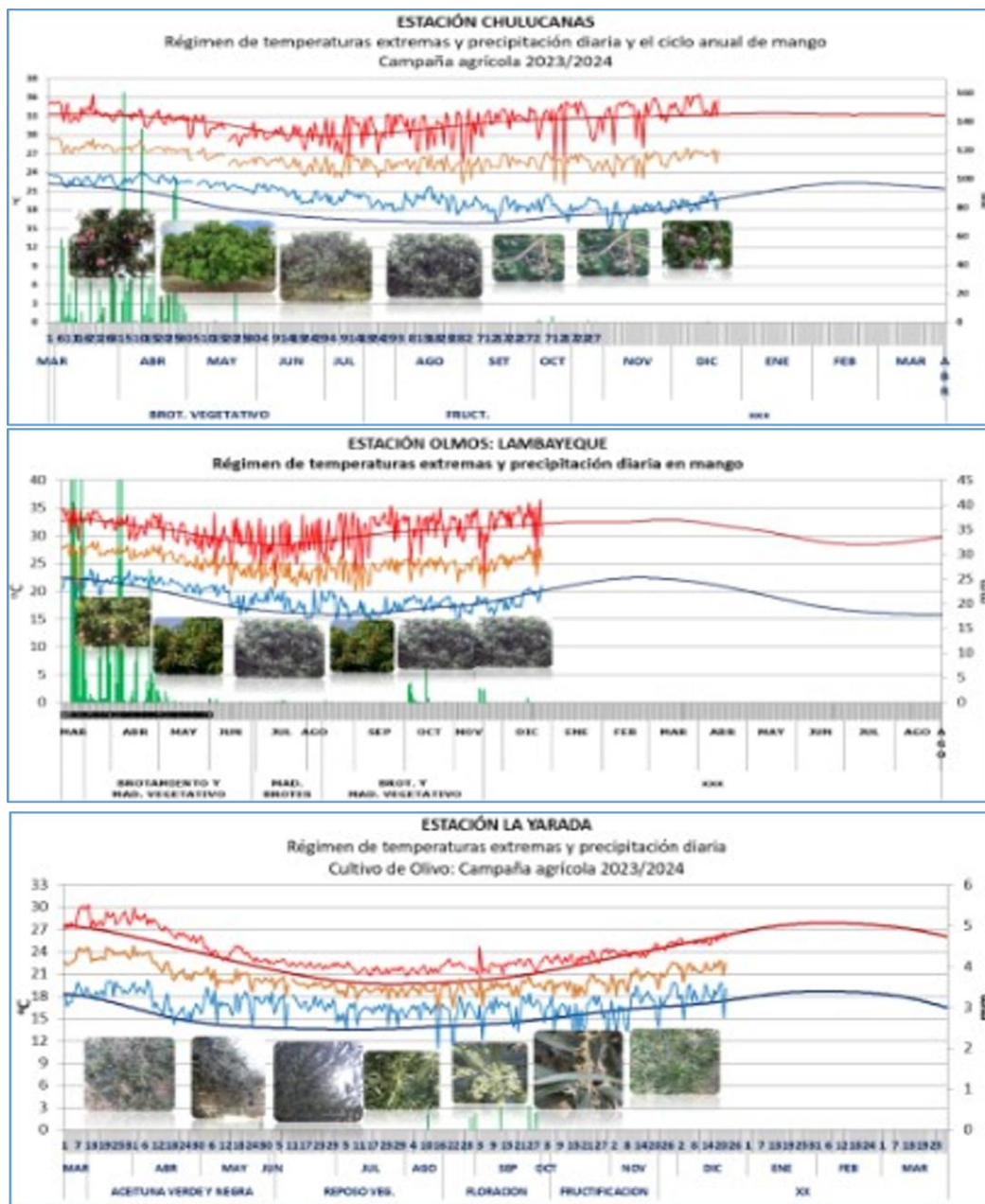


Figura 41. Monitoreo agrometeorológico del mango y olivo campañas agrícolas 2023/2024 en las estaciones de Jayanca, Chulucanas y La Yarada. Fuente: SENAMHI

IV. PERSPECTIVAS

Los pronósticos de los modelos climáticos del NMME (CFSv2, CanCM4i-IC3, GEM5–NEMO, NASA–GEOSS2S, GFDL_SPEAR, COLA–RSMAS–CCSM4, COLA-RSMAS-CESM1), con condiciones iniciales de diciembre de 2023, para el Pacífico central (Niño 3.4), indican en promedio, que la condición cálida fuerte se extendería hasta enero de 2024. Entre febrero y marzo se esperaría condiciones cálidas moderadas, que luego pasarían a cálida débil en abril. Finalmente, entre mayo y octubre, las condiciones pasarán de neutras a frías (Tabla 6).

Tabla 6. 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	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	1.62	1.37	1.02	0.63	0.19	-0.24	-0.57	-0.77	---	---
CanCM4i	2.00	1.98	1.87	1.57	1.08	0.51	-0.04	-0.51	-0.88	-1.08
GEM5_NEMO	1.86	1.35	0.61	-0.10	-0.67	-1.07	-1.27	-1.29	-1.22	-1.18
NASA	1.87	1.30	0.65	0.16	-0.07	-0.27	-0.47	---	---	---
GFDL_SPEARE	1.84	1.62	1.31	0.88	0.41	-0.02	-0.27	-0.32	-0.32	-0.39
COLA-CCSM4	1.41	1.05	0.65	0.33	0.02	-0.39	-0.92	-1.41	-1.75	-1.90
COLA-CESM1	1.76	1.57	1.24	0.80	0.30	-0.31	-0.83	-1.18	-1.35	-1.44
Promedio										
NMME	1.77	1.46	1.05	0.61	0.18	-0.26	-0.62	-0.91	-1.10	-1.20

La actual publicación del modelo CFSv2, indica que en febrero se espera una condición cálida moderada, que luego pasaría a una condición cálida débil en marzo. Entre abril y junio las condiciones serían neutras, y pasarían a condiciones frías a partir de julio (Figura 42).

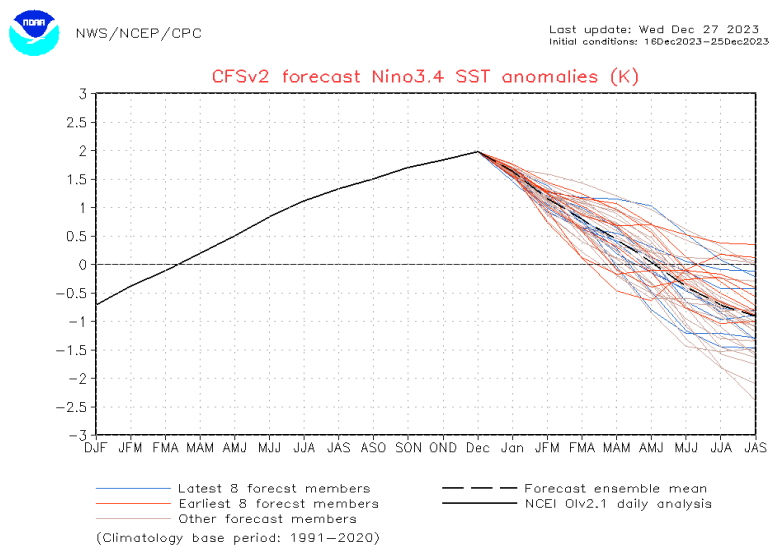


Figura 42. Pronóstico de la media móvil de la anomalía de TSM del modelo CFSv2, para la región Niño 3.4

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME, indican en promedio, que la condición cálida moderada se observaría de enero, y luego pasaría a una condición cálida débil en febrero. Finalmente, de marzo a octubre las condiciones serian neutras (Tabla 7)

Tabla 7. 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	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	0.76	0.54	0.14	-0.47	-1.08	-1.37	-1.21	-0.90	---	---
CanCM4i	1.52	1.30	1.16	1.08	0.96	0.71	0.38	0.10	-0.07	-0.13
GEM5_NEMO	1.03	0.60	0.04	-0.40	-0.73	-0.95	-1.04	-1.06	-0.95	-0.83
NASA	0.47	-0.28	-0.76	-0.79	-0.60	-0.56	-0.70	---	---	---
GFDL_SPEARE	1.19	0.74	0.43	0.27	0.13	-0.07	-0.28	-0.37	-0.31	-0.22
COLA_CCSM4	1.17	0.88	0.44	-0.08	-0.62	-1.13	-1.48	-1.51	-1.31	-1.11
COLA_CESM	1.07	0.64	0.21	-0.17	-0.50	-0.80	-0.97	-0.88	-0.65	-0.45
Promedio										
NMME	1.03	0.63	0.24	-0.08	-0.35	-0.60	-0.76	-0.77	-0.66	-0.55

Los recientes resultados del modelo CFSv2 para la región Niño 1+2 indica condiciones neutras entre febrero y abril de 2024 y condiciones frías de mayo a agosto, por lo pronto. (Figura 43)

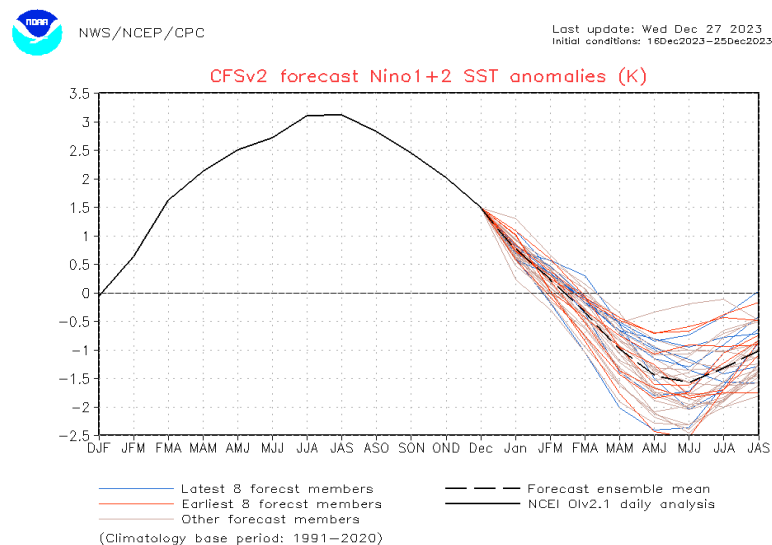


Figura 43. Pronóstico de la media móvil de la anomalía de TSM del modelo CFSv2, para la región Niño 1+2

Analizando las proyecciones basados en la información de altimetría satelital (Figura 2c) y profundidad de termoclina (Figura 2b), se espera la llegada del núcleo de una onda Kelvin cálida para los siguientes días, pero con una menor intensidad a la observada hace unas semanas (Figura 3b). Es posible que esta disminución se deba a inclinación de la termoclina y, además, a la pérdida de energía en la vertical.

Se espera que la onda de Kelvin fría alcance la zona oriental durante mediados de febrero e inicios de marzo, siempre y cuando no se vea afectada algún proceso físico que disminuya su intensidad o la anule.

El pronóstico del modelo de ondas del IGP —forzado para el diagnóstico tanto con vientos de ASCAT (Figura 44) como de NCEP (Figura 45), y luego con vientos igual a cero—, indica que a lo largo de la costa peruana se observarían aún ondas de Kelvin cálidas hasta mediados de febrero con una máxima intensidad en enero de 2024. Luego de este periodo de ondas Kelvin cálidas, se espera la presencia de ondas de Kelvin frías. Según la simulación con vientos pronosticados a 40 días de CFSv2 (Figura 46), también se observan ondas de Kelvin cálidas a lo largo de la costa peruana hasta inicios de marzo para luego observarse la presencia de ondas de Kelvin frías. Hay que tener en cuenta que estos modelos no contienen el proceso de dispersión modal que aparentemente están influyendo a que las ondas de Kelvin cálidas arriben a la costa peruana con poca intensidad. Asimismo, hay que considerar que los pronósticos de viento de CFSv2 cambian en intensidad, e incluso a veces en sus patrones espaciales, conforme se generan nuevos pronósticos.

Según la simulación del modelo de ondas aplicado en el IMARPE, forzada con anomalías del esfuerzo zonal de los vientos hasta el 25 de diciembre 2023 y pronosticada con anomalías del esfuerzo zonal de los vientos igual a cero, se espera la llegada a las costas sudamericanas de cuatro ondas Kelvin cálidas y una onda Kelvin fría. Es así, que hasta inicios de enero 2024, se espera la llegada de una onda Kelvin cálida (modo 1), generada por las anomalías de vientos del oeste en octubre en el Pacífico ecuatorial occidental. Entre enero y febrero 2024, se espera la llegada de una onda Kelvin cálida (modo 2), generada por las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico ecuatorial occidental-central en noviembre. Posteriormente, entre enero y febrero mismo, se espera la llegada de otra onda Kelvin cálida (modo 1), generada por las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico ecuatorial central en diciembre. Finalmente, entre febrero y marzo 2024, se espera la llegada de la última onda Kelvin cálida (modo 2) generada por las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico ecuatorial central en diciembre. Para marzo, se espera la llegada de la onda Kelvin fría (modo 2), generada por la reflexión de una onda Rossby fría en el Pacífico ecuatorial occidental entre noviembre y diciembre (Figura 47).

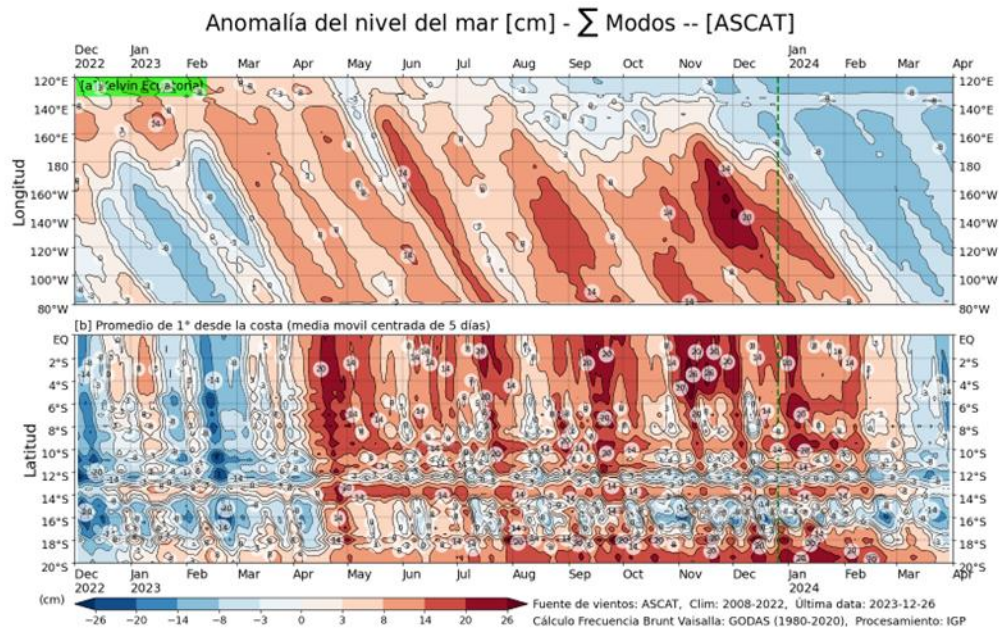


Figura 44. Simulación numérica de la anomalía del nivel del mar (cm) a lo largo de la franja ecuatorial del océano Pacífico (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Esta simulación se realizó con el modelo oceánico multimodal forzado con los vientos de ASCAT. La línea verde entrecortada indica el inicio de la simulación del pronóstico. Fuente: IGP

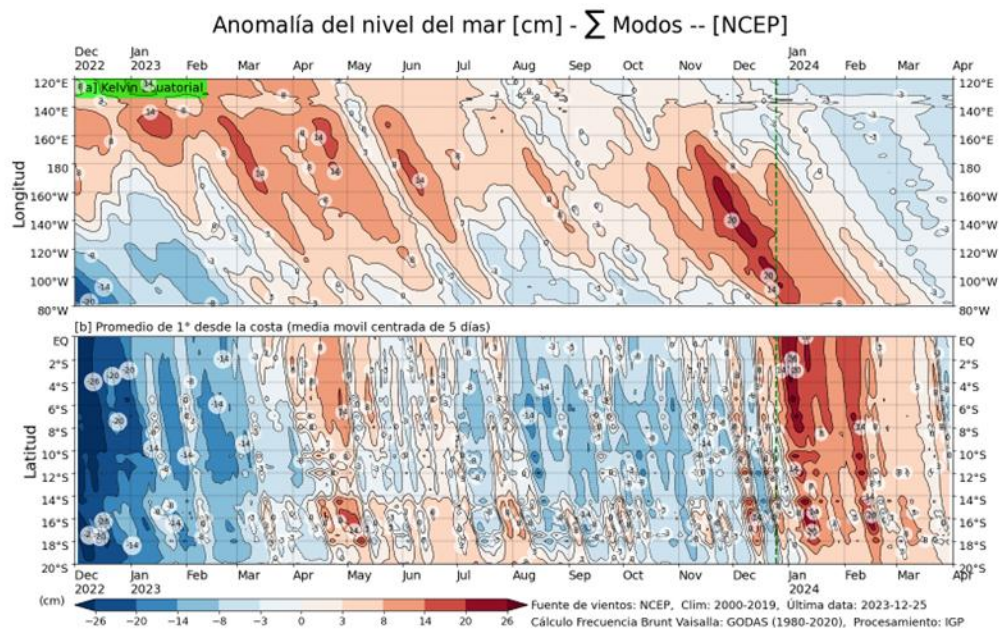


Figura 45. Igual que la **Figura 44** pero el modelo es forzado con los vientos del reanálisis de NCEP. Fuente: IGP.

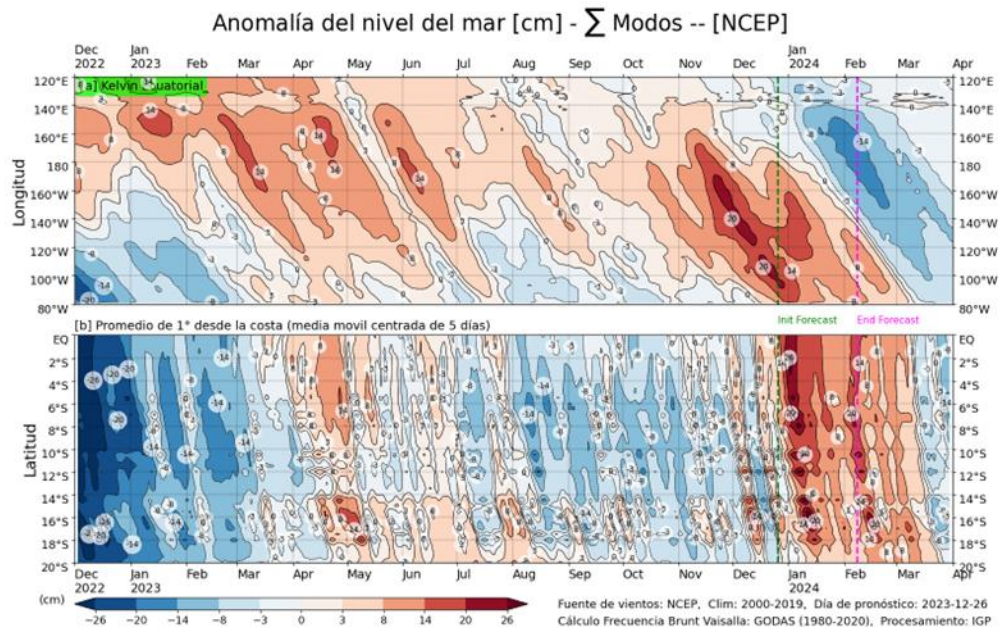


Figura 46. Igual que la **Figura 45**, pero para el pronóstico de los siguientes 42 días (entre la línea vertical verde y rosada) se usa la información de anomalías de vientos del modelo atmosférico CFSv2. Luego de la línea rosada, los vientos usados para el pronóstico fueron iguales a cero. Fuente: IGP denominada NCEP. Fuente: IGP

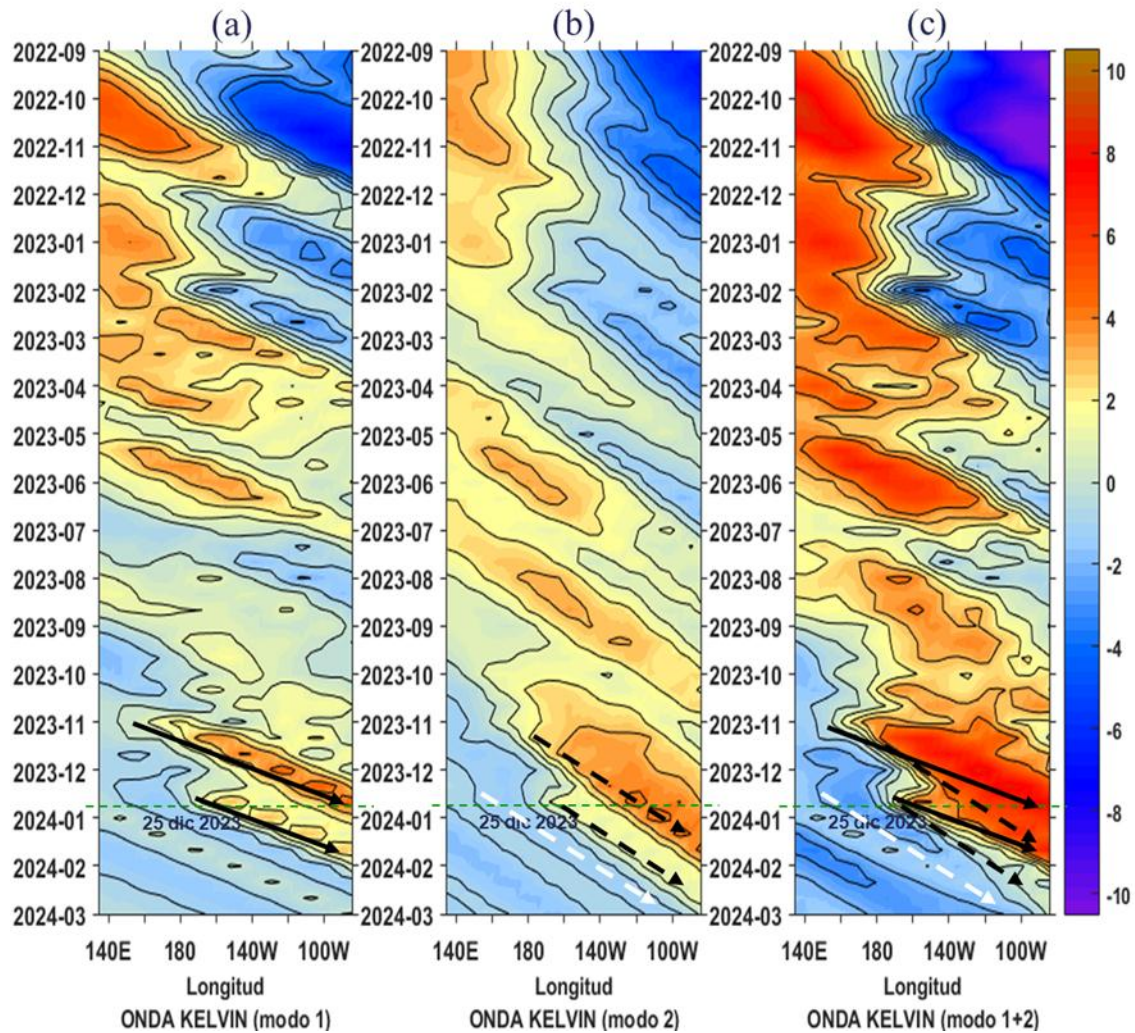


Figura 47. Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las ondas Kelvin en el océano Pacífico ecuatorial (0°N): (a) Modo 1 (flechas con líneas continuas), (b) Modo 2 (flechas con líneas discontinuas), (c) Modos 1+2. Se presentan las ondas de hundimiento “cálidas” (flechas negras), y las ondas de afloramiento “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 conformidad 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 esperaría para el Pacífico central, mayor probabilidad de condiciones cálidas fuertes, hasta febrero de 2024 (Tabla 8 y Figura 48). Para el verano 2023-2024, el evento alcanzaría la magnitud cálida fuerte (Tabla 10)

Tabla 8. Probabilidades mensuales estimadas de las condiciones cálidas y frías anómalas en el Pacífico central (región 3.4) entre diciembre y mayo 2024.

Pacífico central	Enero (%)	Febrero(%)	Marzo(%)	Abril (%)	Mayo(%)
Fría fuerte	0	0	0	0	0
Fría moderada	0	0	0	0	1
Fría débil	0	0	0	3	6
Neutro	0	0	5	30	45
Cálida débil	0	5	29	45	37
Cálida moderado	20	36	43	20	11
Cálida fuerte	60	47	22	2	0
Cálida muy fuerte	20	12	1	0	0

Para la región Niño 1+2, se esperaría la mayor probabilidad de la condición cálida moderada hasta febrero de 2024, para el mes de marzo sería cálida débil, (Tabla 9 y Figura 48). Para el verano 2023-2024 la mayor probabilidad corresponde a El Niño de magnitud moderada.(Tabla 11).

Tabla 9. Probabilidades mensuales estimadas de las condiciones cálidas y frías anómalas en el Pacífico oriental (región Niño 1+2) entre diciembre y mayo 2024

Pacífico oriental	Enero (%)	Febrero(%)	Marzo(%)	Abril (%)	Mayo(%)
Fría fuerte	0	0	0	0	0
Fría moderada	0	0	0	0	3
Fría débil	0	0	3	7	14
Neutro	2	9	26	42	51
Cálida débil	39	35	30	34	25
Cálida moderado	44	41	28	12	6
Cálida fuerte	15	15	12	5	1
Cálida extraordinario	0	0	1	0	0

PROBABILIDADES MENSUALES DE LAS CONDICIONES CÁLIDAS, FRÍAS Y NEUTRAS

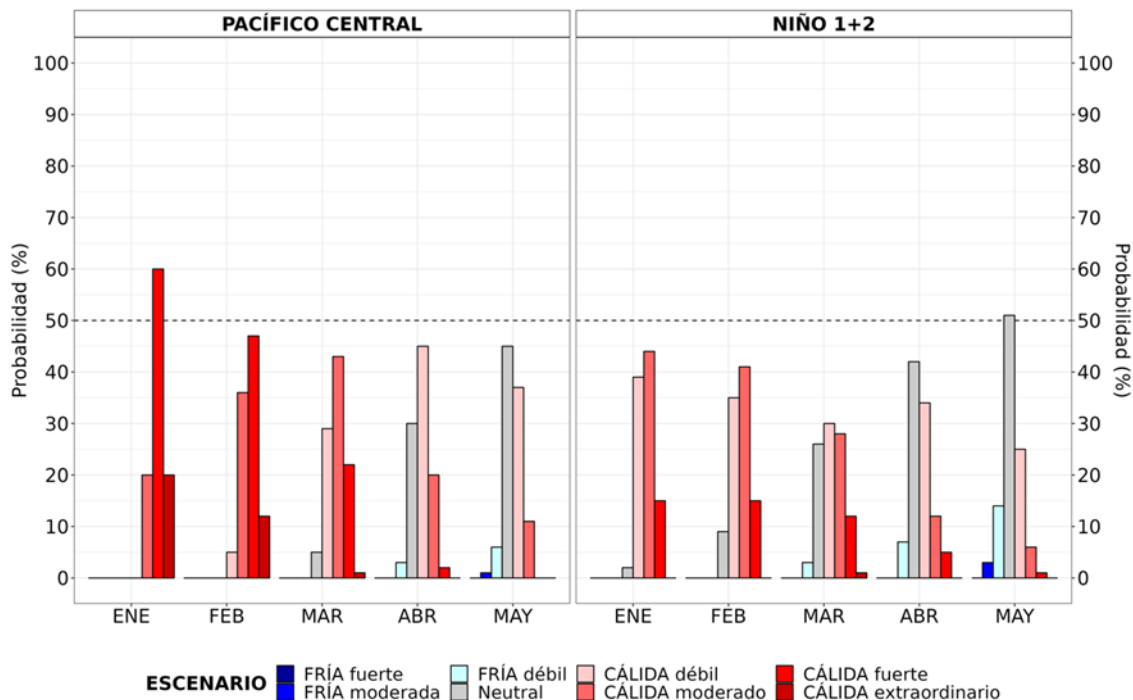


Figura 48. Probabilidades mensuales estimadas para condiciones cálidas, neutras y frías en el Pacífico central (región Niño 3.4, izquierda) y en el extremo del Pacífico oriental (región Niño 1+2, frente a la costa de Perú, derecha) entre enero y mayo 2024.

Tabla 10. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño y La Niña en el Pacífico central (región Niño 3.4) para el verano diciembre 2023-marzo 2024

Magnitud del evento diciembre 2023-marzo 2024	Probabilidad de ocurrencia (%)
La Niña Fuerte	0
La Niña Moderada	0
La Niña Débil	0
Neutro	0
El Niño Débil	5
El Niño Moderado	40
El Niño Fuerte	47
El Niño Muy fuerte	8

Tabla 11. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño y La Niña costeros (región Niño 1+2, frente a la costa norte y centro del Perú) para el verano diciembre 2023-marzo 2024.

Magnitud del evento diciembre 2023-marzo 2024	Probabilidad de ocurrencia (%)
La Niña Fuerte	0
La Niña Moderada	0
La Niña Débil	0
Neutro	18
El Niño Débil	33
El Niño Moderado	37
El Niño Fuerte	12
El Niño Extraordinario	0

Se mantiene el pronóstico estacional enero -marzo 2024³, persistirían las condiciones cálidas de la temperatura del aire a lo largo de la costa norte y centro. Es más probable que las lluvias en la costa y sierra norte registren valores entre normal y sobre lo normal; principalmente en enero; sin embargo, no se descartan días lluviosos en estos sectores como parte de su estacionalidad. En el sur del país se prevén lluvias por debajo de lo normal, particularmente en la sierra sur oriental.

Para el verano de 2024, bajo el escenario de El Niño, se prevé caudales de normal a sobre lo normal en los ríos de la zona noroccidental del país, con la posible ocurrencia de crecidas. En zona centro-occidental, las condiciones hidrológicas serían en promedio normales, sin descartar eventos de crecidas repentinas que podrían afectar las actividades en los ríos y zonas aledañas, además de posibles activaciones de quebradas. Asimismo, se prevé que los caudales de la región hidrográfica del Pacífico sur y Titicaca presenten valores principalmente por debajo de lo neutral⁴.

En cuanto a los recursos pesqueros pelágicos, para las próximas semanas, se espera que el stock norte-centro de anchoveta mantenga una distribución costera y que el desove se incremente de acuerdo a su patrón histórico. Asimismo, la caballa incrementaría su actividad reproductiva de acuerdo a su patrón histórico; en cuanto al perico, mantendrá su disponibilidad frente a la costa peruana. En relación con la situación de los recursos demersales, para las próximas semanas, se espera que la merluza mantenga su disponibilidad a la pesquería industrial en los mismos niveles que en la primera quincena de diciembre. Asimismo, el calamar gigante o pota mantendría su disponibilidad a la pesquería, especialmente frente a la costa norte.

³ Pronóstico estacional enero-marzo 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-42.pdf>

⁴ Pronóstico hidrológico estacional a nivel nacional diciembre 2023-abril 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-40.pdf>

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado de “Alerta de El Niño Costero”, ya que se espera que El Niño costero (región Niño 1+2) continúe hasta inicios de otoño de 2024, como consecuencia de la evolución de El Niño en el Pacífico central y a la variabilidad de las condiciones climáticas regionales.

Conforme al juicio experto del ENFEN, basado en los datos observados, así como de los pronósticos de los modelos climáticos internacionales que se tienen hasta la fecha, en la región Niño 1+2 es más probable que para el siguiente verano, en promedio, la magnitud de El Niño costero sea moderada (37 %), seguida de débil (33 %). Entre abril y mayo, las condiciones más probables pasarían de cálidas débiles a neutras.

Se recomienda a los tomadores de decisiones tener en cuenta los posibles escenarios de riesgo, de acuerdo con el pronóstico estacional vigente y las proyecciones para el verano de 2024, con la finalidad de que se adopten las acciones que correspondan para la reducción del riesgo y la preparación para la respuesta.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. El ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el viernes 12 de enero de 2024.

VI. REFERENCIAS

- Behringer, D., & Xue, Y. (2003). *EVALUATION OF THE GLOBAL OCEAN DATA ASSIMILATION SYSTEM AT NCEP: THE PACIFIC OCEAN*. <https://www.semanticscholar.org/paper/EVALUATION-OF-THE-GLOBAL-OCEAN-DATA-ASSIMILATION-AT-Behringer-Xue/2824da5d850b9c12d20ec304919c311b508d909e>
- 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-4-265-2008>
- Boulanger, J.-P., & Menkes, C. (1995). Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during the 1992–1993 El Niño. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 100(C12), 25041–25059. <https://doi.org/10.1029/95JC02956>
- Carton, J. A., & Giese, B. S. (2008). A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). *Monthly Weather Review*, 136(8), 2999–3017. <https://doi.org/10.1175/2007MWR1978.1>
- Dewitte, B., Gushchina, D., duPenhoat, Y., & Lakeev, S. (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. *Geophysical Research Letters*, 29(14), 11-1-11–15. <https://doi.org/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](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1999)029<1542:VSOAOS>2.0.CO;2)
- Domínguez, N., Asto, C. y Gutiérrez, D. 2023. Climatología termohalina frente a las costas del Perú. Período: 1991 – 2020. *Inf Inst Mar Perú*, 50(1), 19-35
- ENFEN. (2012). *Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú* (p. 3) [Nota Técnica]. Comité Técnico del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño. https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota_tecnica/Definicion%20Operacional%20ENFEN_09abr12.pdf
- Helrich, K. (1990). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15a ed., Vol. 1). Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Illig, S., Dewitte, B., Ayoub, N., du Penhoat, Y., Reverdin, G., De Mey, P., Bonjean, F., & Lagerloef, G. S. E. (2004). Interannual long equatorial waves in the tropical Atlantic from a high-resolution ocean general circulation model experiment in 1981–2000. *Journal of*

Geophysical Research: Oceans, 109(C2). <https://doi.org/10.1029/2003JC001771>

- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., ... Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437–472. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Kirtman, B. P., Min, D., Infanti, J. M., Kinter, J. L., Paolino, D. A., Zhang, Q., Dool, H. van den, Saha, S., Mendez, M. P., Becker, E., Peng, P., Tripp, P., Huang, J., DeWitt, D. G., Tippett, M. K., Barnston, A. G., Li, S., Rosati, A., Schubert, S. D., ... Wood, E. F. (2014). The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(4), 585–601. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00050.1>
- Mosquera, K. A. (2009). Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3594>
- Mosquera, K. A. (2014). *Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico*. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4638>
- Mosquera, K. A., Dewitte, B., & Lagos Enríquez, P. (2010). *Variabilidad intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación numérica y datos observados*. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/949>
- Pietri, A., Colas, F., Mogollon, R. et al. 2021. Marine heatwaves in the Humboldt current system: from 5-day localized warming to year-long El Niños. *Sci Rep* 11, 21172. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00340-4> Takahashi et al., 2014
- Quispe, J. y L. Vásquez, 2015. Índice “LABCOS” para la caracterización de evento El Niño y La Niña frente a la costa del Perú, 1976-2015. En: Boletín Trimestral Oceanográfico, Volumen 1, Números 1-4, pp.: 14-18.
- Quispe Ccallauri, C, J. Tam, H. Demarcq, C. Romero, D. Espinoza, A. Chamorro, J. Ramos, R. Oliveros, 2016. El Índice Térmico Costero Peruano. En: Boletín Trimestral Oceanográfico, Volumen 2, Número 1, pp: 7-11.
- Quispe, C., Tam, J., Arrellano, C., Chamorro, A., Espinoza, D., Romero, C., & Ramos, J. (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. *Instituto del Mar del Perú - IMARPE*. <https://repositorio.IMARPE.gob.pe/handle/20.500.12958/3149>

- Takahashi, K., Mosquera Vásquez, K. A., & Reupo, J. (2014). *El Índice Costero El Niño (ICEN): Historia y actualización*. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4639>
- Urbina, B., & Mosquera Vásquez, K. A. (2020). *Implementación y validación de un modelo oceánico multimodal para la región ecuatorial del océano Pacífico*. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4855>
- Vazzoler, A. E. A. de M. (1982). *Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes: Reprodução e crescimento*. CNPq.

VII. ANEXO

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

VARIABLE	FUENTE																PROCESAMIENTO	OBSERVACIONES			
	Observaciones <i>in situ</i>										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 CMEIMS			TRMM-3B42	SeaWiFS + MODIS	GFS
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/IMARPE	*Información de IMARPE (estaciones costeras, secciones 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 BIOLÓGICO-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 HÍDRICOS Y AGROMETEOROLÓGICAS																					
Caudal de ríos			X																	ANA	
Reservorios y embalses			X																	ANA	
Desarrollo de cultivos									X											SENAMHI	