



COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR

# VIGÉSIMO SEXTO CRUCERO REGIONAL CONJUNTO DE INVESTIGACIÓN OCEANOGRÁFICA EN EL PACÍFICO ORIENTAL

CR-XXVI 2023



CONDICIONES FÍSICAS Y OXÍGENO DISUELTO  
EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL,  
SEPTIEMBRE- NOVIEMBRE DE 2023

## INFORME EJECUTIVO

CPPS-2024

## Nota de responsabilidad:

Este documento ha sido preparado por representantes de Colombia: Sección de Oceanografía y Meteorología Operacional - Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP); Ecuador: Gestión de Ciencias del Mar, Dirección de Oceanografía y Meteorología Marina, Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR); Perú: Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN); Chile: Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), con la coordinación de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Las designaciones empleadas y la presentación de la información en este documento no implican la expresión de juicio alguno de parte de la CPPS. Los puntos de vista expresados en este documento son responsabilidad de sus autores.

## COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR - CPPS

Dirección de Asuntos Científicos y Recursos Pesqueros  
Av. Francisco de Orellana y Miguel H. Alcívar  
Centro empresarial “Las Cámaras”, torre B, planta baja, oficinas 1, 2 y 3  
Teléfono: (593-4) 3714390  
Correo electrónico: [sgeneral@cpps-int.org](mailto:sgeneral@cpps-int.org) [www.cpps-int.org](http://www.cpps-int.org)  
Guayaquil, Ecuador

Para efectos bibliográficos se sugiere citar este documento de la siguiente manera: CPPS 2024: “Informe Ejecutivo del Vigésimo Sexto Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Oriental: Condiciones Físicas y del Oxígeno Disuelto en el Océano Pacífico Oriental, en septiembre-noviembre de 2023”. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 32 p.

## Autores:

**Colombia:** Iván Rodrigo Plata Martínez, William Andrés Rojas Durán, Juan David Flórez Parra, Laura Marcela Vásquez López, Joao Camilo Quijano, Andrés Felipe Gallón, Willinton Ordoñez, Luis A. García, Claudia Janeth Dagua Paz, Robinson Fidel Casanova, Sebastián Portilla,

**Ecuador:** Leonor Vera, Susy Marín, María Elena Tapia, Christian Naranjo.

**Perú:** Carmen Grados Quispe, Katherine Vásquez Cecya, Jesús Ledesma Rivera, David Correa Chilon, Carlos Quispe Ccalluari, Walter García Díaz, Jaime Aquino Calixtro, Hernan Reyes

## Fotos en la portada:

**Izquierda:** “Crucero Oceanográfico Regional CO-I-2023” a bordo del buque BAE Orión. Cortesía del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada.

**Centro:** “Crucero Oceanográfico Regional en el Mar del Perú” 2023 a bordo del BIC Humboldt. Cortesía del Instituto del Mar del Perú.

**Derecha:** “Crucero Oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana, Crucero Regional Conjunto CPPS 2023” a bordo del buque ARC Roncador. Cortesía del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP).

2024 CPPS  
Guayaquil, Ecuador

ISBN: 978-9942-669-04-9



**Informe ejecutivo**  
**XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Oriental (2023)**  
**Estudio Regional del Fenómeno de “El Niño” (ERFEN)**  
**Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS)**

**Participantes:**

Colombia: Sección de Oceanografía y Meteorología Operacional – Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Ecuador: Gestión de Ciencias del Mar, Dirección de Oceanografía y Meteorología Marina, Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR). Perú: Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN). Chile: Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

**RESUMEN**

El XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Oriental se ejecutó del 22 de septiembre al 20 de noviembre de 2023, por los buques ARC Roncador de Colombia, BAE Orión de Ecuador, dos embarcaciones pesqueras E/P Incamar 2 y E/P TASA 425 de Perú, que exploraron el océano Pacífico Oriental desde los 6° N hasta los 16° S, extendiéndose hasta el archipiélago de Galápagos.

Durante los meses de ejecución del crucero, la intensidad del viento se mantuvo por encima de su media climatológica y se observó un flujo anómalo en toda la región, asociado con la circulación de Walker. Los valores de la temperatura superficial del mar permanecieron por encima de su media climatológica en toda la región ecuatorial y la costa peruana, resaltando valores máximos de anomalías positivas cercanos a +4 °C en Isla Galápagos y en las costas de Ecuador y norte de Perú. Las anomalías halinas superficiales, presentaron valores predominantemente en el rango neutro al sur de Perú, mientras que, al norte de la región, en aguas colombianas, predominaron anomalías negativas de hasta -4 PSU. Por su parte, las concentraciones de oxígeno disuelto superficial se mantuvieron alrededor de 4.5 mL/L en aguas colombianas y ecuatorianas, y con valores de hasta 7.4 mL/L en las costas del norte de Perú. La información de presión atmosférica a nivel del mar mostró un incremento en la intensidad del Anticiclón del Pacífico Sur, especialmente en el mes de octubre y desplazamiento aproximado de 900 Km al oeste de su posición normal y hacia el sur.

Los resultados del crucero, así como índices climáticos locales (índice multivariado de Tumaco (IMT; Sayol et al., 2022), el índice costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014), el índice térmico costero peruano (ITCP; Quispe et al., 2016) y el índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015)), indican que éste se desarrolló en presencia de condiciones cálidas anómalas, asociadas con el Fenómeno El Niño de intensidad fuerte de septiembre a noviembre 2023. El análisis conjunto de estos resultados sumado a la información complementaria *in situ* y satelital disponible, los índices climáticos, así como los pronósticos regionales y de macroescala, anticipan la permanencia de condiciones cálidas El Niño en lo que resta de la primavera austral 2023 (otoño boreal) y verano austral 2024 (invierno boreal).

## CONTENIDO

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo General.....	7
2.2. Objetivos Específicos.....	7
3. METODOLOGIA.....	8
3.1. Área, periodo y distribución de estaciones.....	8
3.2. Toma de datos y procesamiento de la información.....	9
4. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y ATMOSFÉRICAS.....	11
4.1. Condiciones previas al crucero.....	11
4.2. Condiciones durante el crucero regional.....	14
4.3. Influencia de ondas Kelvin ecuatoriales en la estructura oceánica.....	19
5. RESULTADOS.....	20
5.1. Componente oceanográfico.....	20
5.1.1. Condiciones superficiales.....	21
5.1.1.1. Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la capa superficial del mar.....	21
5.1.2. Estructura física y química.....	23
5.1.2.1. Estructura meridional de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto.....	23
5.1.2.2. Masas de agua.....	25
5.1.2.3. Estructura termohalina.....	26
6. DISCUSIÓN.....	29
6.1. El escenario regional en el periodo del crucero en el contexto interanual.....	29
6.2. Previsión oceanográfica para diciembre de 2023 a marzo 2024.....	29
7. CONCLUSIONES.....	30
8. REFERENCIAS.....	31

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estaciones de muestreo (puntos rojos) levantadas durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano, durante septiembre-noviembre de 2023. ....	9
Figura 2. Series de tiempo en el período comprendido entre enero 2021 y octubre 2023 de: índice ONI (área sombreada en tono azul celeste y rojo), ATSM (°C) de las regiones Niño 1+2 (azul) y Niño 3.4 (negro) y del Índice MEI.v2 (verde). Fuente de datos: NOAA. ....	11
Figura 3. Evolución del Índice Multivariado de Tumaco (IMT) desde ASO 2022 hasta ASO 2023 .....	12
Figura 4. (arriba) Índice Costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014), (centro); Índice Térmico Costero Peruano (ITCP, Quispe et al., 2016) y (abajo) Índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015). ....	13
Figura 5. Distribución mensual de viento satelital a 10 metros sobre el nivel del mar frente a la costa del Pacífico sudamericano: a), d) y g) son promedio mensual de los meses de septiembre, octubre y noviembre 2023; b); e) y h) representan los valores climatológicos de los mismos meses; c), f) y j) son las anomalías de cada mes. Fuente de los datos: HSCAT y climatología Quikscat – Ascat 2000 – 2020. Elaborado por: CCCP. ....	15
Figura 6. Distribución mensual de TSM y ATSM satelital en la costa sur oriental, obtenida del satélite MODIS-Aqua ( <a href="http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> ): a), b) y c) corresponden a los meses de agosto, septiembre y octubre del 2023 respectivamente. d), e) y f) son las anomalías de los mismos meses .....	17
Figura 7. Diagramas Hovmöller de ATSM del área 5°N-30°S, en los sectores: Galápagos (arriba), costero (medio) y oceánico (abajo), desde enero de 2015 hasta el año octubre de 2023. ....	17
Figura 8. Presión media a nivel del mar (en mbar) para septiembre (a), octubre (c) y noviembre (e) de 2023 y sus anomalías (b, d, y f, respectivamente). Fuente de datos: ERA5 Copernicus. Climatología: 1991-2020. ....	18
Figura 9. Anomalía mensual de la posición del APS respecto a su posición climatológica, serie 1979-2022. Fuente de datos: NCEP/NOAA. ....	19
Figura 10. Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las ondas Kelvin: modo 1 (línea continua) y modo 2 (línea punteada), en el Pacífico Ecuatorial (0°N). Para el cálculo de las anomalías se usó el periodo 2000-2008. La línea discontinua horizontal indica el inicio del pronóstico.....	20
Figura 11. Distribución superficial de a) TSM medida XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023) y b) ATSM calculadas con WOA 2018 .....	21
Figura 12. Distribución superficial de a) SSM medida en el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023) y b) ASSM calculadas con WOA 2018. ....	22
Figura 13. Distribución superficial de oxígeno disuelto (mL/L). XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023). ....	22
Figura 14. Distribución vertical de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a una distancia de 100 mn de la costa para Colombia, Ecuador y Perú, en el periodo de septiembre a noviembre, durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023).....	24

Figura 15. Series de tiempo mensual de (a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) salinidad, (c) concentración de oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) y (d) clorofila-*a* ( $\mu\text{g/L} = \text{mg/m}^3$ ), en las estaciones costeras ( $\sim 2 \text{ m}$ ) de Arica (panel izquierdo), Iquique (panel medio) y Mejillones (panel derecho), entre enero 2015 y octubre 2023. Las franjas blancas indican los meses en que no se realizaron mediciones. ....25

Figura 16. Masas de agua identificadas a partir de los datos de CTD tomados el periodo comprendido entre septiembre y noviembre. La figura interna representa las profundidades a las que se encontró cada masa de agua y la figura externa, muestra las masas de agua identificadas durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023). .....26

Figura 17. Distribución vertical de temperatura en los transectos  $5^{\circ}\text{N}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}\text{S}$  y  $10^{\circ}\text{S}$  para el periodo septiembre – noviembre, durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023). .....27

Figura 18. Distribución vertical de salinidad en los transectos  $5^{\circ}\text{N}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $-5^{\circ}\text{S}$  y  $10^{\circ}\text{S}$  para el periodo septiembre – noviembre, durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023). .....28

## 1. INTRODUCCIÓN

El océano Pacífico Oriental (PO) presenta condiciones oceanográficas y meteorológicas particulares, como resultado de los procesos de interacción océano-atmósfera a diferentes escalas espaciales y temporales, dentro de las cuales se encuentran las variaciones climáticas de frecuencia interanual asociadas a El Niño-Oscilación Sur (ENOS), con efectos distintivos en los países de la región. Como resultado de los impactos producidos en la región, en el contexto de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), se estableció el programa Estudio Regional del Fenómeno de El Niño (ERFEN; CPPS, 2013) conformado por instituciones especializadas de Colombia, Ecuador, Perú y Chile. Entre las acciones conducentes a un mejorado monitoreo y vigilancia de ENOS, se consideró el monitoreo periódico de variables océano-atmosféricas en estaciones fijas, así como el desarrollo de cruceros oceanográficos coordinados entre dichos países; acción última que se fortaleció desde 1998 cuando se realizó el primer crucero oceanográfico regional coordinado (<https://cpps-int.org/index.php/2014-10-15-21-16-27/crucero-informes>). (Grados et al., 2023)

En el presente informe se exponen los resultados de la vigésimo sexta edición del crucero, que evaluó el escenario oceanográfico y atmosférico adyacente a las costas de Colombia, Ecuador y Perú del 22 de septiembre al 20 de noviembre de 2023, entre 6°N y 16°S. En este año Chile no participó con crucero, pero aportó la información de sus estaciones fijas, la cual fue incluida en este informe. Durante el crucero se realizaron 718 estaciones oceanográficas a bordo de las embarcaciones ARC Roncador de Colombia, BAE Orión de Ecuador, y las embarcaciones pesqueras E/P Incamar 2 y E/P TASA 425 de Perú.

La información recopilada en campo durante el crucero regional, se complementó con diferentes fuentes de datos para lograr una visión clara y completa de las condiciones atmosféricas y oceanográficas previas y durante el crucero, tales como bases de datos climatológicas internacionales, productos satelitales, información de modelos numéricos de análisis y predicción de condiciones atmosféricas y oceánicas, así como la información de agencias locales e internacionales, que proporcionan información de índices para el monitoreo del ciclo El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo General

Documentar la variabilidad de las propiedades del océano y la atmósfera adyacente en el Océano Pacífico Sudamericano, entre septiembre - noviembre de 2023, con la finalidad de realizar un diagnóstico del escenario climático regional y prever la incursión de ENOS u otro evento climático de noviembre/diciembre de 2023 a marzo/abril de 2024.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Describir las condiciones oceanográficas y meteorológicas frente a la costa occidental de Sudamérica observadas durante el periodo del crucero.
- Analizar los efectos del escenario océano-atmosférico a macro escala en el Pacífico tropical en la dinámica regional durante el periodo del crucero.
- Elaborar un diagnóstico climático regional y la previsión del escenario ENOS en la región.

### 3. METODOLOGIA

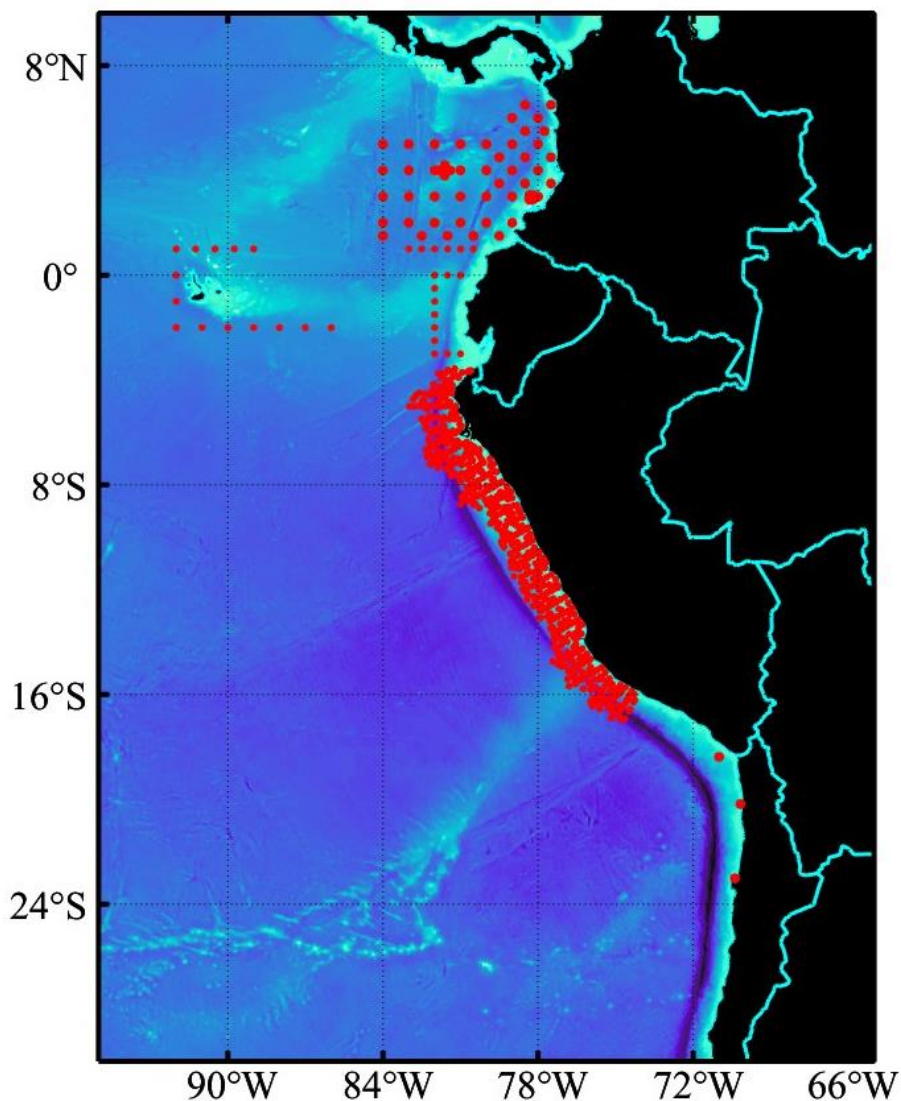
#### 3.1. Área, periodo y distribución de estaciones

La información de los cruceros realizados por Colombia, Ecuador y Perú, así como la información de estaciones fijas aportadas por Chile, se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Información de cruceros regionales.

<b>País</b>	<b>Institución</b>	<b>Buque</b>	<b>Fechas inicio-término</b>	<b>Estaciones</b>
Colombia	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico	ARC Roncador	25 de octubre al 20 de noviembre 2023	75
Ecuador	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada	BAE Orión	14 al 30 de octubre 2023	31
Perú	Instituto del Mar del Perú	Embarcaciones pesqueras comerciales E/P Incamar 2 y E/P TASA 425.	23 septiembre a 10 de octubre 2023	612
Chile	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)	Estaciones de monitoreo fijas: Arica, Iquique y Mejillones	Enero 2015 hasta octubre 2023	3

De acuerdo con la Figura 1, en el área de monitoreo se realizó un total de 718 estaciones (**Tabla1**) distribuidas frente a las costas de los tres países. Asimismo, en la tabla 1 y el mapa también se indica la posición de las 3 estaciones fijas aportadas por Chile.



**Figura 1.** Estaciones de muestreo (puntos rojos) levantadas durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano, durante septiembre-noviembre de 2023.

### 3.2. Toma de datos y procesamiento de la información

La metodología de muestreo consistió en tomar información en puntos específicos de una rejilla de muestreo preestablecida por cada país, en aquellas regiones de interés identificadas con base en estudios previos. Cada país realizó mediciones sobre la grilla, de modo que sea posible configurar una base de datos robusta con información histórica que pueda ser comparable y reproducible en un futuro. La información de la columna de agua fue medida por Colombia, Ecuador y Perú utilizando perfiladores CTDO SBE 19, realizando registros de temperatura del mar, salinidad y oxígeno disuelto, hasta 500 m de profundidad. El procesamiento de los datos medidos con CTDO durante los cruceros es la sugerida en el manual elaborado en CPPS (2015). Adicionalmente, Perú (Grados et al., 2023) midió la temperatura superficial del mar con un

termómetro de mercurio y el análisis de salinidad se hizo abordo con un Portasal Guildline 8410a. El análisis de oxígeno disuelto se llevó a cabo por el método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (1966).

Por su parte, Chile aportó la información de series de tiempo mensual de temperatura de la columna de agua, salinidad, concentración de oxígeno disuelto y clorofila-*a*, en las estaciones costeras (~2 mn) de Arica, Iquique y Mejillones, entre enero 2015 y octubre 2023, que fueron tomadas con CTD. Esta información se presenta en la figura 15.

Por otro lado, el análisis de las condiciones océano atmosféricas previas y durante el crucero regional conjunto, se realizó con información secundaria, así:

- Distribución mensual del viento satelital a 10 m sobre el nivel del mar frente a la costa del Pacífico sudamericano: para la climatología se promediaron los datos del paso ascendente (durante el día) con los datos del paso descendente (durante la noche) medidos por los satélites Quikscat – Ascát 2000 – 2020, durante el periodo 02 de marzo de 1992 a 31 de diciembre de 2020, ([https://data.marine.copernicus.eu/product/WIND\\_GLO\\_PHY\\_L3\\_MY\\_012\\_005/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/WIND_GLO_PHY_L3_MY_012_005/description)), con una resolución temporal diaria y resolución espacial de 0.25° x 0.25°. El comportamiento del mes se elaboró con datos del dispersómetro HY-2C HSCAT con la misma resolución temporal y espacial ([Global Ocean Daily Gridded Sea Surface Winds from Scatterometer | Copernicus Marine Service](https://www.marine.copernicus.eu/en/global-ocean-daily-gridded-sea-surface-winds-from-scatterometer)).
- Temperatura superficial del mar (TSM): extraída de Oceancolor de la Nasa del satélite MODIS AQUA con resolución espacial de 4 km y temporal de cada 8 días. La variable consultada es TSM Sea Surface Temperature (11 u day). (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>).
- La Presión atmosférica media a nivel del mar fue consultada del reanálisis ERA 5 de Copernicus en (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=form>), variable: *Mean sea level pressure*. La climatología se calculó con base en el periodo 1991-2020.

Para evaluar el escenario de macroescala se consultó la información del índice Niño Oceánico (ONI; Huang et al., 2017) e índice multivariado de ENOS (MEI v2; Wolter y Timlin, 1993, 1998 y 2011, y Kobayashi et al., 2015). De igual forma, se consultaron los índices locales como IMT (Sayol et al., 2022), ICEN (Takahashi et al, 2014); ITCP (Quispe et al., 2016), y LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015).

El análisis de propagación de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (OKEs), aportado por Perú, se realizó mediante un modelo oceánico de complejidad intermedia con 3 modos baroclínicos, forzado con vientos del NCEP (Kalnay et al. 1996), siguiendo la metodología de Illig et al. (2004) y Dewitte et al. (2002). La señal de la OKE puede ser descompuesta en modos normales de oscilación que se propagan a diferentes velocidades. Los primeros dos modos (modo 1, modo 2) sumados proporcionan la mayor contribución a la anomalía del nivel del mar.

## 4. CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y ATMOSFÉRICAS

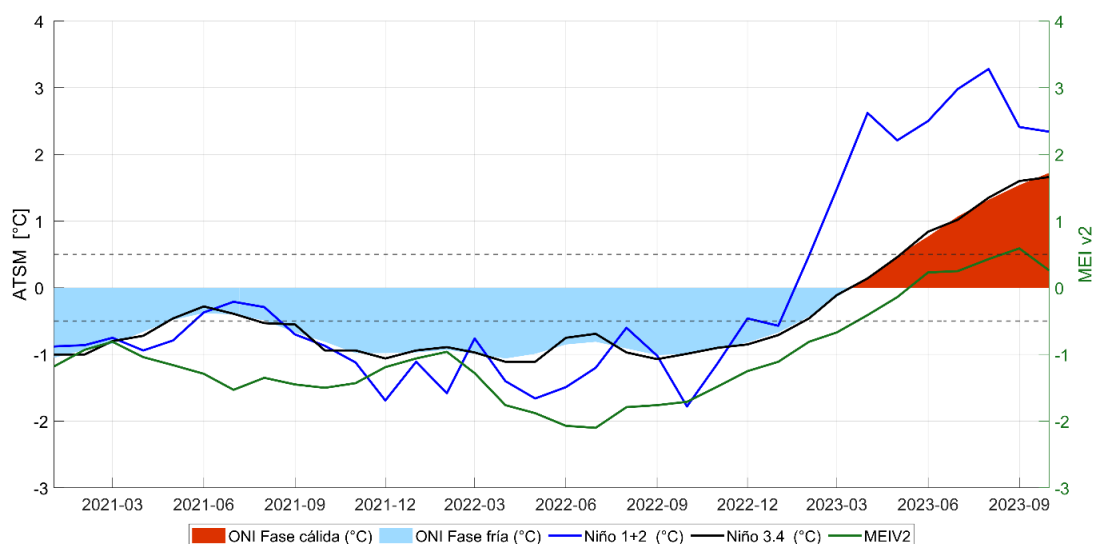
### 4.1. Condiciones previas al crucero

A nivel regional, durante el 2021 y teniendo en cuenta los índices de macroescala como ONI y el índice Multivariado ENOS (MEIv2) (

Figura 2), se presentaron condiciones frías con un corto periodo de condiciones neutras en los trimestres AMJ – JJA de 2021 (de acuerdo con el ONI). Todo el año 2022 se caracterizó por la presencia de La Niña, el MEI v2 registró una anomalía máxima entre junio-julio (-2.17) y, posteriormente, se observó el debilitamiento de las anomalías negativas de la TSM en la mayor parte del océano Pacífico ecuatorial hacia fines de año.

Debido al debilitamiento de las anomalías negativas que se venían registrando, se anticipaba una fase neutral del ENOS para el periodo entre febrero y abril 2023 (NOAA, 2023). Para marzo del 2023 (NOAA, 2023), las regiones Niño 4, Niño 3.4 y Niño 3, mostraron valores dentro del rango neutro, lo que permitió declarar oficialmente la finalización del evento La Niña. En mayo, surgieron condiciones débiles de El Niño a medida que el calentamiento del mar se incrementó en el Pacífico ecuatorial. Para junio y julio las temperaturas de la superficie del mar se mantuvieron sobre el promedio.

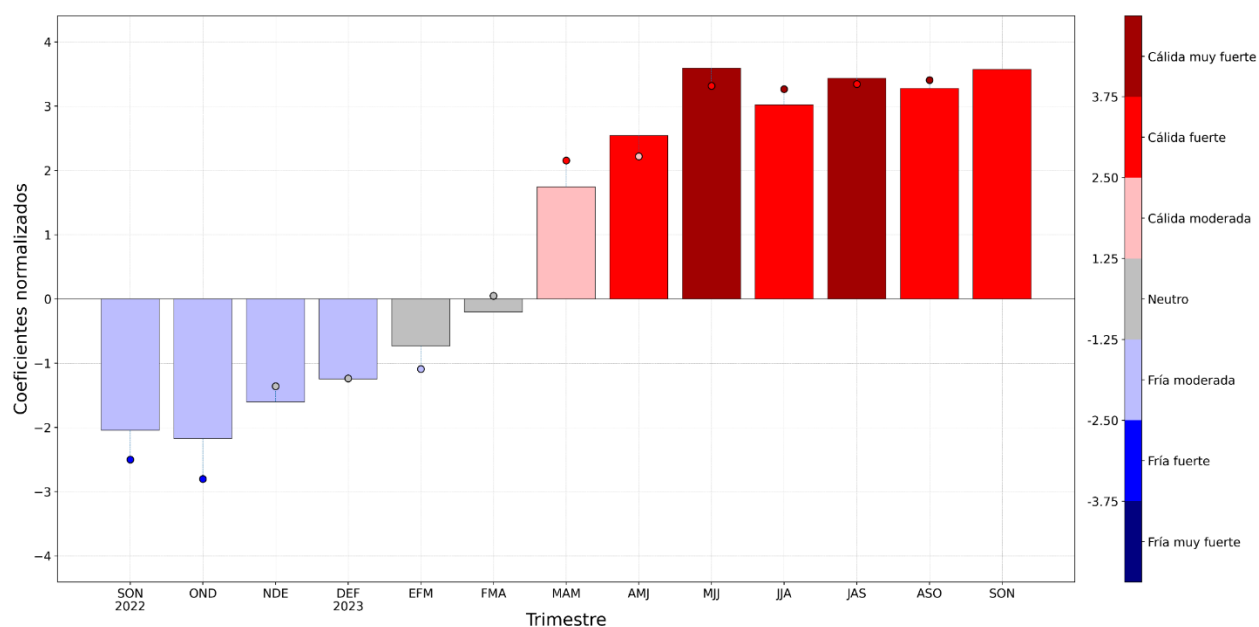
El ONI pasó el umbral de neutro positivo a una condición cálida en mayo 2023, con tendencia al incremento permanente, alcanzando un valor de +1.66 en octubre 2023. Por su parte, el MEI mantuvo una tendencia al incremento permanente desde -2.1 (valor propio de una condición fría La Niña) en JJ2022, hasta +0.59 (condición cálida El Niño) en AS2023, declinando a una condición cálida neutra (+0.26) en SO2023 (Grados et al., 2023), (Figura 2).



**Figura 2.** Series de tiempo en el período comprendido entre enero 2021 y octubre 2023 de: índice ONI (área sombreada en tono azul celeste y rojo), ATSM (°C) de las regiones Niño 1+2 (azul) y Niño 3.4 (negro) y del índice MEI.v2 (verde). Fuente de datos: NOAA.

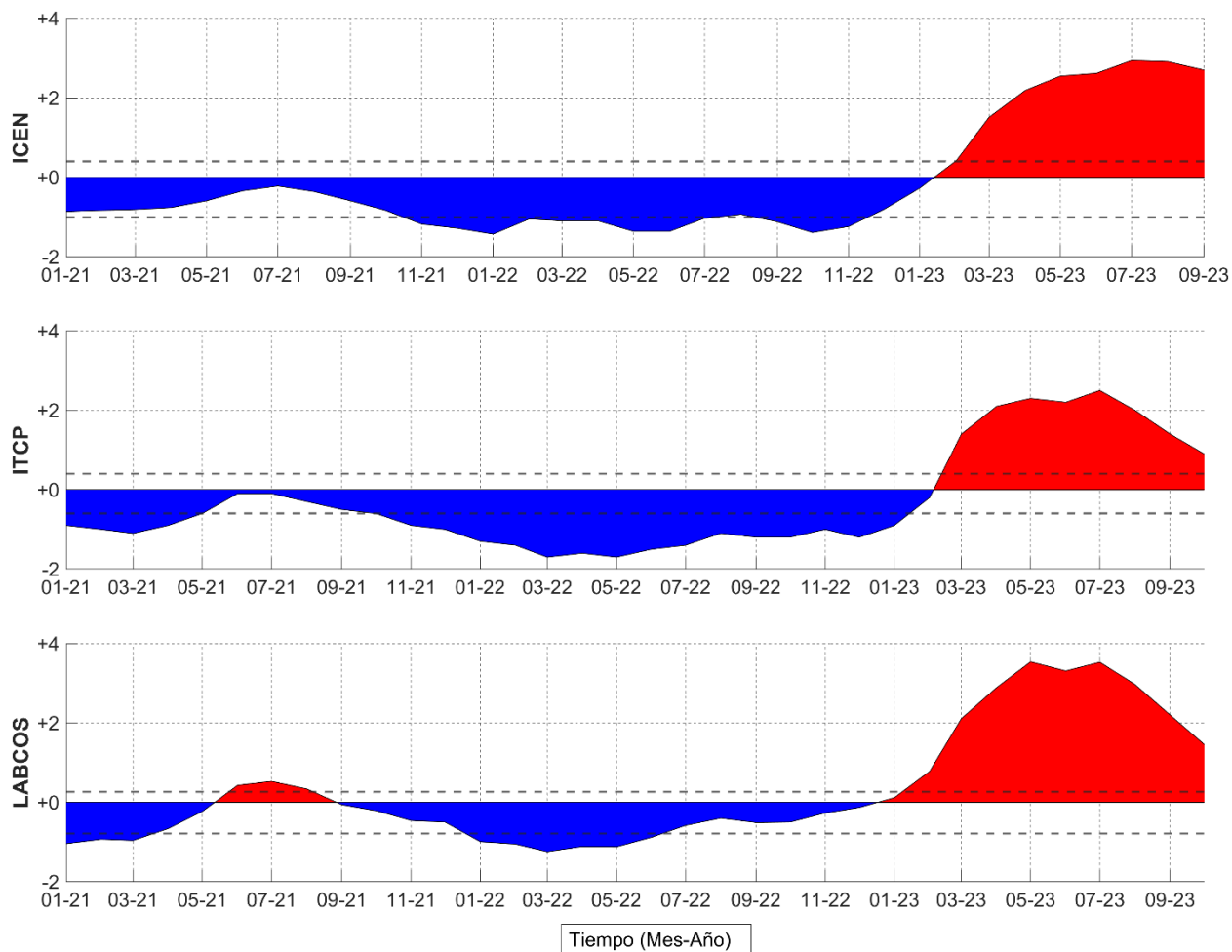
Teniendo en cuenta las condiciones locales, que se centran en las mediciones océano-atmosféricas en las costas de Colombia, Ecuador y Perú y se refieren más específicamente a las condiciones de la región El Niño 1+2, el índice multivariado de Tumaco, IMT, (Figura 3) mostró un comportamiento muy marcado desde finales del 2022, donde se evidenció el punto de culminación del evento La Niña en diciembre de ese año, el cual se venía debilitando desde noviembre, y desde entonces sobre el noreste del Pacífico oriental tropical se presentó una clara tendencia positiva en diferentes parámetros oceanográficos y atmosféricos.

De acuerdo con el IMT, en el sur del Pacífico colombiano las anomalías de la TSM, nivel del mar, temperatura del aire y precipitación (parámetros que conforman este índice), han sido consistentes con un escenario de El Niño, el cual se manifestó a partir de abril de 2023 y fue catalogado como evento El Niño de intensidad cálida moderada (con un valor de 1.76) por este mes, y desde mayo hasta septiembre se mantuvo oscilando entre una categoría de intensidad cálida fuerte y cálida muy fuerte, siendo junio el mes que registró la mayor magnitud (3.62), seguido por agosto (3.44).



**Figura 3.** Evolución del Índice Multivariado de Tumaco (IMT) desde ASO 2022 hasta SON 2023

En concordancia con el IMT, el Índice Costero El Niño (ICEN) para la región Niño 1+2, a partir de noviembre del 2022 mostró una tendencia hacia una condición climática neutra que se mantuvo hasta el mes de enero (Figura 4, arriba). Para el mes de febrero los valores de esta región se incrementaron hasta alcanzar una condición cálida débil, indicando la presencia de El Niño costero. En abril, las condiciones se intensificaron, alcanzando una condición cálida fuerte para las costas norte y centro del Perú (región Niño 1+2), donde las anomalías diarias de la TSM se mantuvieron con valores positivos de hasta +8 °C frente a Paíta (5°S) (en abril). Posteriormente, de acuerdo al ICEN en julio se alcanzó el máximo valor (2.94) dentro de una condición cálida fuerte, para luego declinar paulatinamente hasta 1.96 en noviembre, manteniéndose aún dentro de una condición fuerte ([Informe-Tecnico-PPR-El-Niño-IGP-2023-12.pdf](#)).



**Figura 4.** (arriba) Índice Costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014), (centro); Índice Térmico Costero Peruano (ITCP, Quispe et al., 2016) y (abajo) Índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015).

El ITCP mantuvo valores en el rango de condiciones frías hasta mediados de febrero 2023, posteriormente se incrementó de manera abrupta para marzo, superando el umbral de El Niño, mostrando un valor de +1.4 (Figura 4, centro). Este incremento se mantuvo hasta mayo, donde presentó un leve declive y nuevamente se fortaleció, alcanzando un máximo de +2.3 para julio. A partir de este periodo, el ITCP presentó un descenso significativo hasta alcanzar una condición neutra (+0.4) en diciembre.

En el caso del Índice laboratorios costeros, LABCOS, el cambio de condiciones frías a cálidas se presentó desde principios de enero de 2023 y para marzo ya superaba el umbral de El Niño fuerte (Figura 4, abajo). A partir de abril, el LABCOS presentó un ascenso que permitió catalogar el evento como Muy fuerte, con un valor de 3.54 en mayo y manteniéndose dentro de esa categoría hasta agosto. Tanto el LABCOS como el ITCP y el ICEN, presentaron un leve descenso en sus valores, entre mayo y junio, para ascender nuevamente en julio 2023. Posteriormente, y al igual que con los índices anteriores, el índice LABCOS presentó un descenso constante y actualmente indica condiciones de El Niño moderado.

## 4.2. Condiciones durante el crucero regional

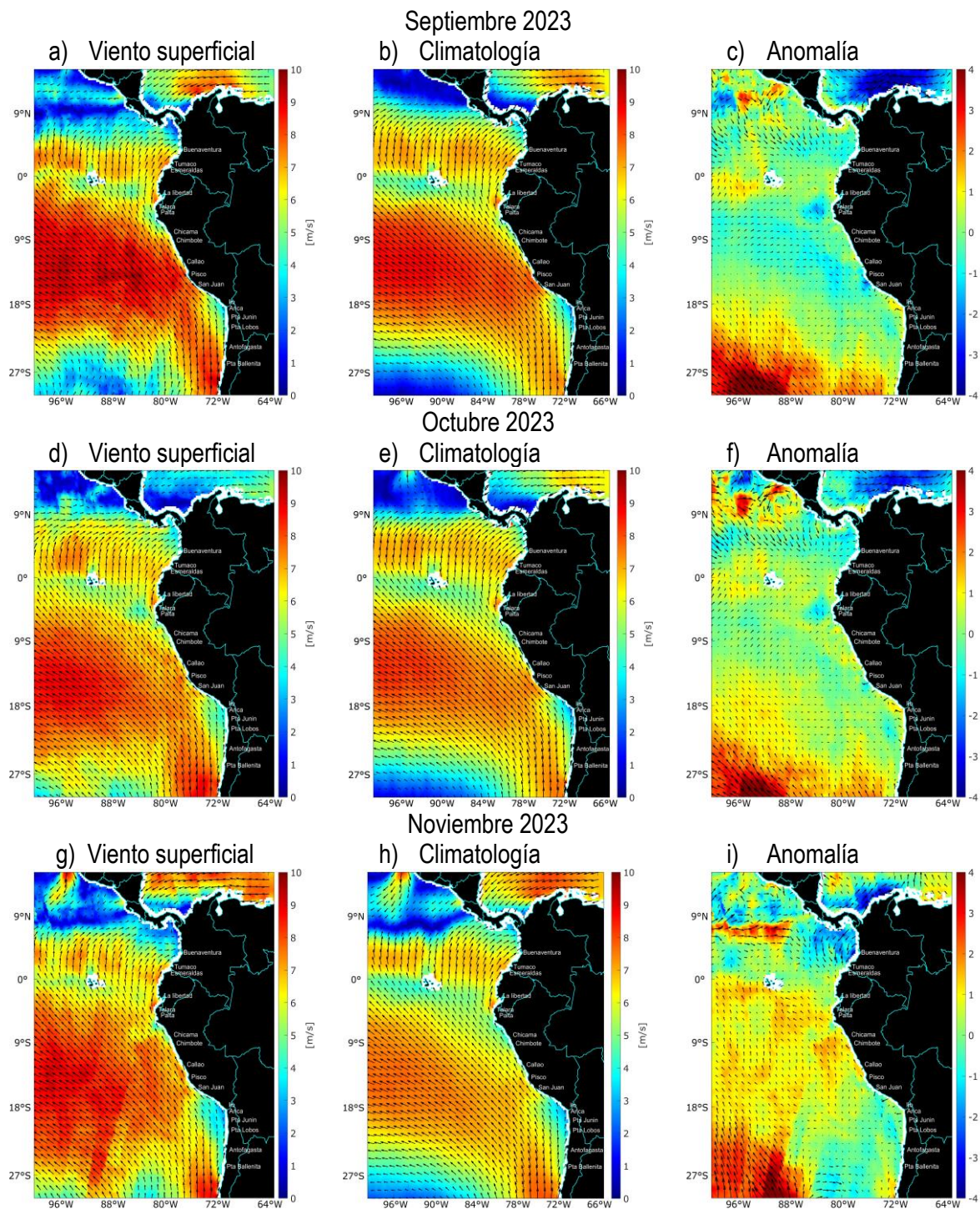
Durante los meses de septiembre a noviembre de 2023, las condiciones océano-atmosféricas en el océano Pacífico ecuatorial (OPE), fueron similares y concordantes con un evento El Niño (**Figura 5**). En septiembre de 2023, la dirección del viento en cercanías al continente mantuvo el contorno de la costa, con dirección predominantemente sur en Chile, sureste en Perú y suroeste en Ecuador y Colombia (Figura 5a). En la zona Norte de la Cuenca Pacífica Colombiana (CPC) (5°N - 7°N), la dirección del viento se mantuvo perpendicular a la costa, con dirección predominante oeste. Para la zona oceánica, el comportamiento de la dirección de viento se mantuvo predominantemente del sureste, con excepción de Ecuador y gran parte de Colombia donde predominaron vientos con dirección sur, entre 0°– 5°N, y sobre los 6°N se tornaron del oeste.

Los valores más altos de intensidad del viento se presentaron durante el mes de septiembre, respecto a octubre y noviembre (Figura 5a). Los vientos más intensos se presentaron en la zona comprendida entre 8°S y 18°S, con valores cercanos a los 10 m/s. Los valores más bajos de la intensidad del viento estuvieron por debajo de los 2 m/s y se presentaron en algunos sectores de latitudes australes y boreales superiores a los 25°S y los 6°N, respectivamente.

En esta región del océano Pacífico oriental se observó un predominio de vientos con anomalías positivas y negativas distribuidas en diferentes sectores; entre los 5°N - 9°N y 88° - 100°W se detectó la intrusión de vientos del oeste, que se intensificaron paulatinamente hasta alcanzar intensidades del orden de 3 a 4 m/s por sobre sus valores climatológicos en noviembre. Así mismo, en noviembre se identificó la presencia de fuertes anomalías negativas frente a las costas de Colombia entre 1°N – 8°N y 78°W – 84°W, las cuales estuvieron vinculadas al ramal de subsidencia de aire frío y seco proveniente de la celda de circulación de Walker, que se posicionó sobre el norte de Suramérica durante este periodo y afectó la distribución del contenido de humedad en esta región.

La presencia de vientos anómalos del oeste también se observó en las aguas oceánicas del hemisferio sur, frente a las costas de Ecuador con valores cercanos a lo normal, y entre los 5°S y 15°S con dirección hacia el centro y sur de Perú durante septiembre. Sin embargo, estos flujos anómalos se hicieron cada vez menos notorios a medida que en noviembre ganó predominio la aparición de vientos anómalos del sureste fortalecidos entre 1 a 2 m/s por sobre su valor climatológico. Cabe resaltar que se evidenció la presencia de un foco anómalo de vientos con componente oeste frente a la costa norte de Perú, el cual se fue debilitando desde septiembre hasta desaparecer en noviembre frente a Paita.

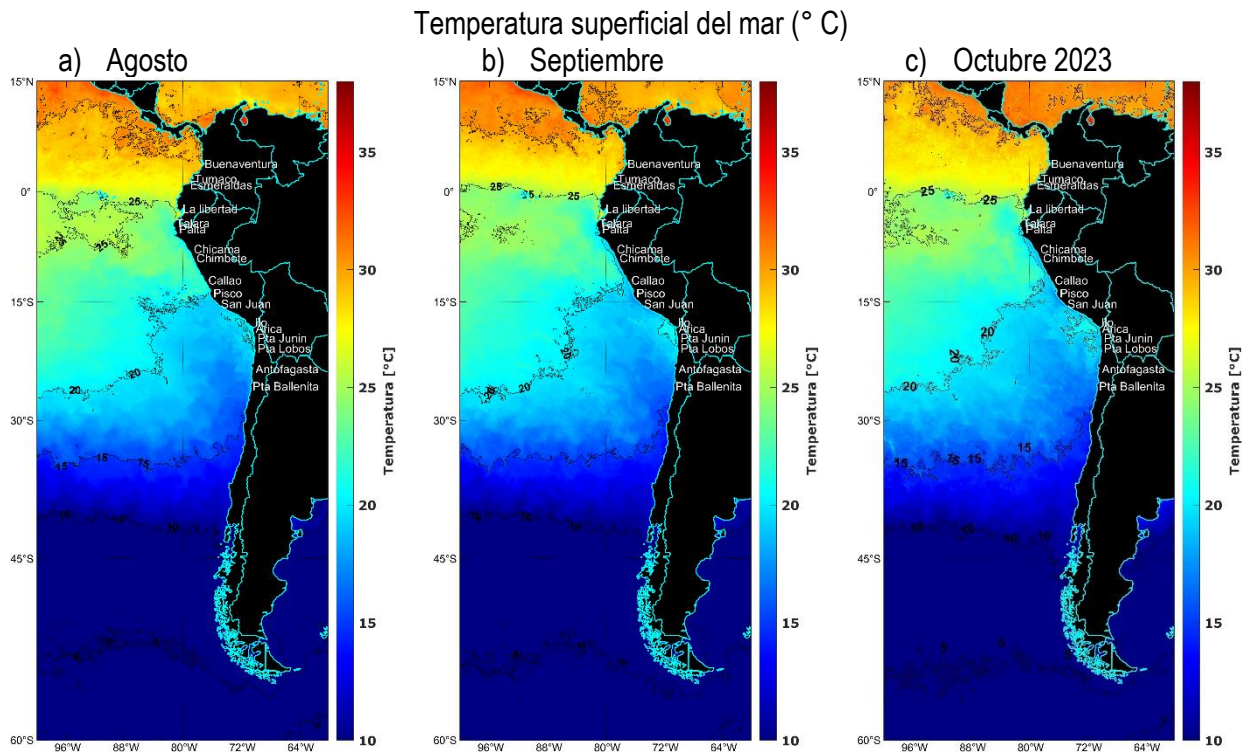
En contraste con lo anterior, en latitudes australes superiores a los 18°S se observó la persistencia de vientos anómalos del sureste fortalecidos, del orden de 2 a 4 m/s sobre su normal climatológica, los cuales fueron más consistentes entre los 88°W - 100°W y los 20°S - 30°S. Se resalta que en noviembre hubo presencia de flujos anómalos con sentido opuesto a lo normal en cercanías a la costa norte de Chile y en los alrededores del punto 80°W, 28°S.



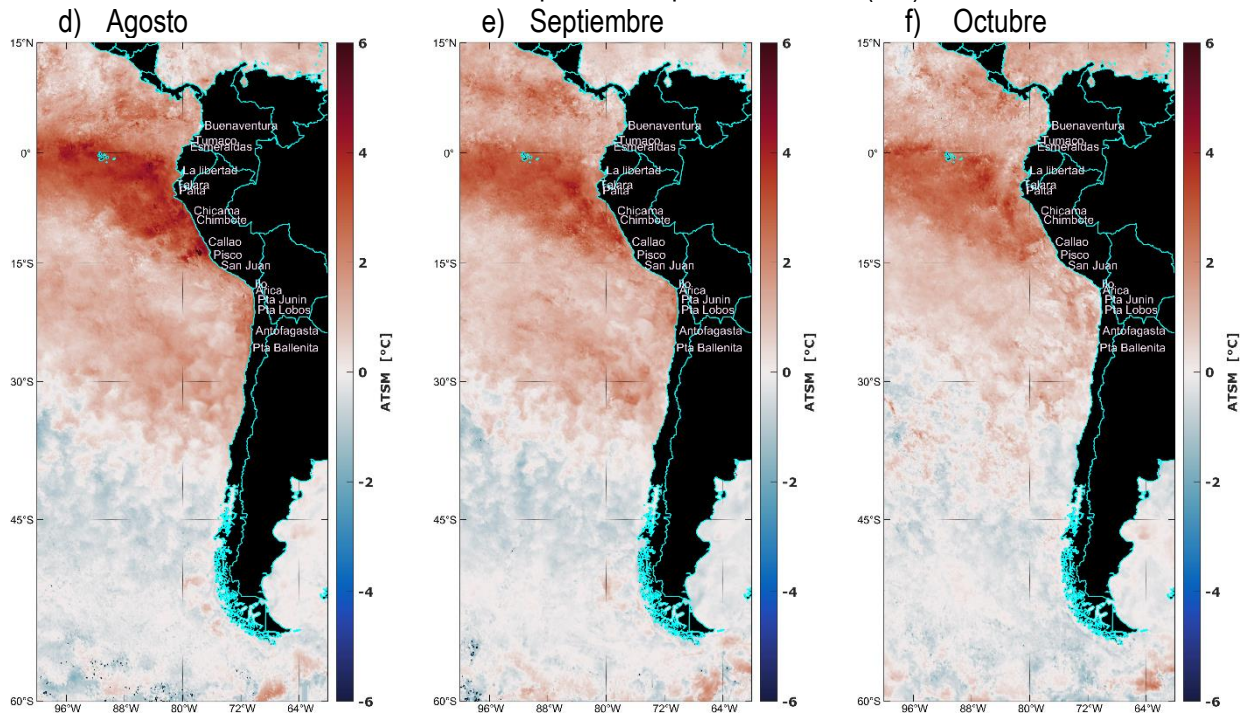
**Figura 5.** Distribución mensual de viento satelital a 10 metros sobre el nivel del mar, frente a la costa del Pacífico sudamericano: a), d) y g) son promedio mensual de los meses de septiembre, octubre y noviembre 2023; b); e) y h) representan los valores climatológicos de los mismos meses; c), f) y j) son las anomalías de cada mes. Fuente de los datos: HSCAT y climatología Quikscat – Ascet 2000 – 2020. Elaborado por: CCCP.

Por otro lado, la TSM durante el trimestre agosto, septiembre, octubre de 2023 (Figura 6a, b y c) mostró valores de norte a sur, entre 27 °C en las costas de Colombia hasta 5 °C en el extremo sur de Chile. El Ecuador geográfico mantuvo un valor constante de temperatura de oeste a este de 25 °C y que fue disminuyendo hacia el sur, alcanzando los 20 °C frente a las costas del Callao (Perú). En la zona sur de Perú y norte de Chile se presentó un foco de agua cálida de 22 °C, propio del periodo estacional. Las aguas más frías se presentaron entre el sur de Perú y Chile, con un valor de 15 °C.

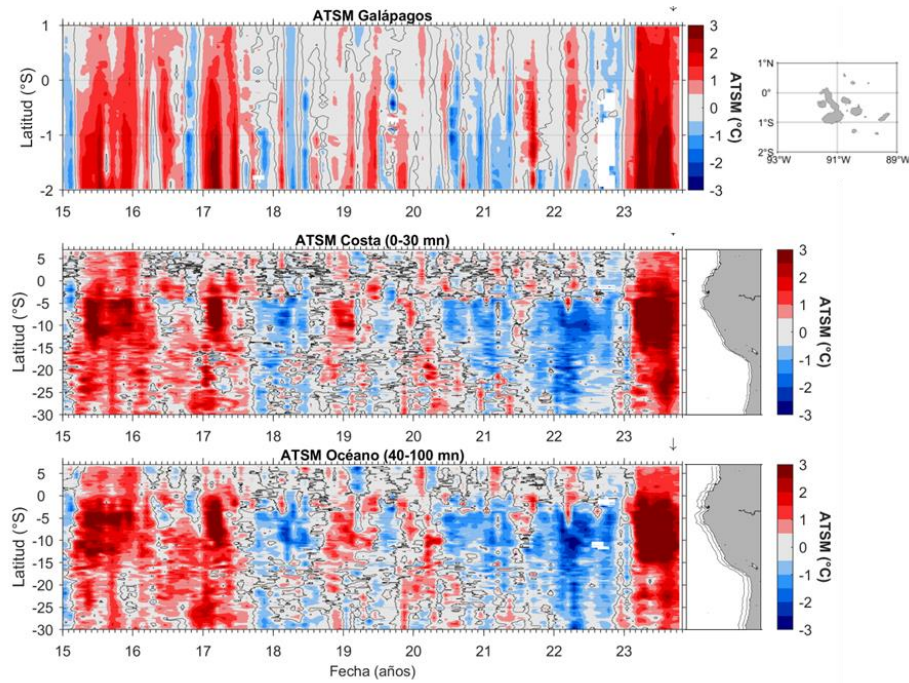
Con respecto a las anomalías de la temperatura superficial del mar, ATSM, para el mismo trimestre (Figura 6d, e y f), se evidenció que la temperatura del mar estuvo por encima del promedio, con valores entre +2 °C y +4 °C. Se observó una franja marcada de aguas más cálidas desde el Ecuador geográfico (0°) hasta los 15° sur, en Perú, con valores positivos de +3 °C. Por otro lado, al sur de los 35° sur en la costa, se observaron anomalías neutras y negativas hasta de -2 °C. Se evidenció como las aguas más cálidas se presentaron en agosto y que el valor de las anomalías fue disminuyendo en septiembre y octubre respecto a sus respectivos promedios climatológicos.



Anomalia de temperatura superficial del mar (° C)

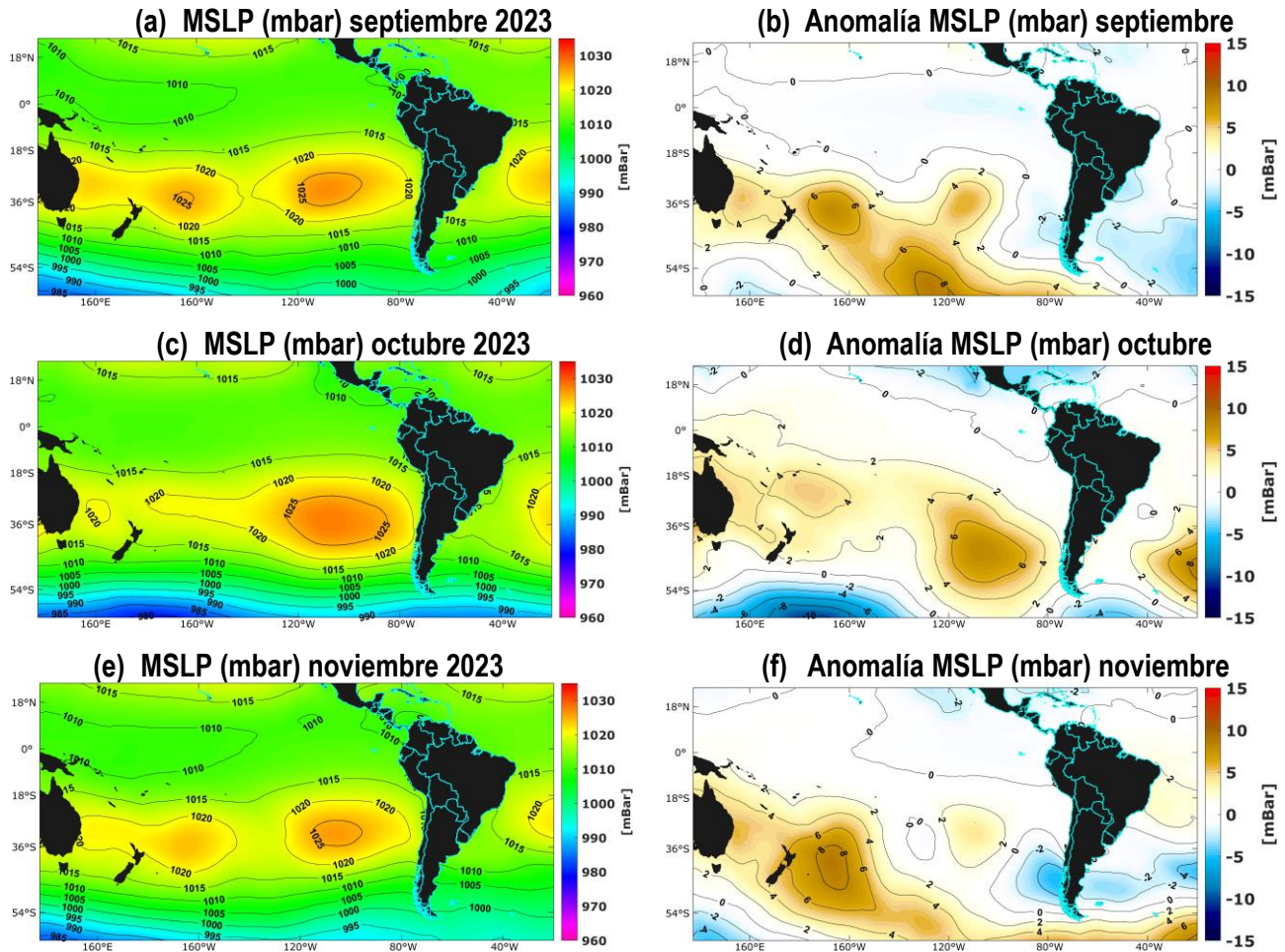


**Figura 6.** Distribución mensual de la TSM y ATSM satelital en la costa sur oriental, obtenida del satélite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>): a), b) y c) corresponden a los meses de agosto, septiembre y octubre del 2023 respectivamente. d), e) y f) son las anomalías de los mismos meses



**Figura 7.** Diagramas Hovmöller de ATSM del área 5°N-30°S, en los sectores: Galápagos (arriba), costero (medio) y oceánico (abajo), desde enero de 2015 hasta octubre de 2023. Gráfica facilitada por IFOP.

En la Figura 7, se presenta la evolución de la ATSM desde el año 2015 hasta la actualidad, tanto para aguas Insulares de Galápagos (Figura 7 arriba), como para aguas cercanas a la costa (Figura 7 medio) y aguas oceánicas (Figura 7 abajo). En este diagrama, para el año 2023, destacó la presencia de aguas frías por encima del Ecuador geográfico y por debajo de los 5°S durante enero, incrementándose posteriormente de forma abrupta, mostrando un predominio de aguas muy cálidas ( $> +3$  °C) tanto en la zona insular, costera y oceánica, que fueron también registrados en los años 2017 y 2019, incluso para el evento El Niño de 2015-2016.

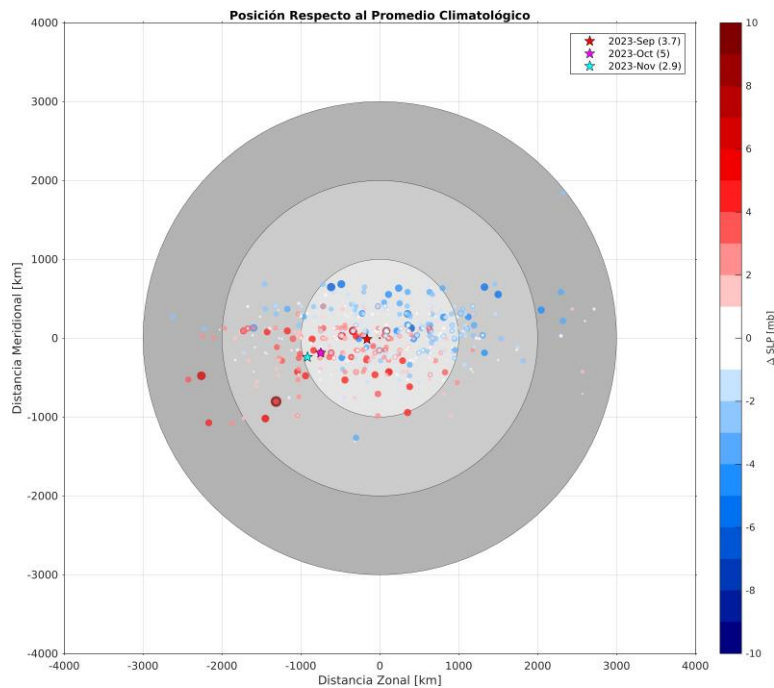


**Figura 8.** Presión media a nivel del mar (en mbar) para septiembre (a), octubre (c) y noviembre (e) de 2023 y sus anomalías (b, d, y f, respectivamente). Fuente de datos: ERA5 Copernicus. Climatología: 1991-2020.

La información de la presión atmosférica a nivel del mar (Figura 8) para los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2023, muestra que el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se encontró muy cercano de su posición habitual durante el mes de septiembre, con un valor de 1025 mbar (Figura 8a). Para las regiones más cercanas a la costa, los valores de la presión superficial variaron entre 1010 mbar sobre el Ecuador geográfico y por debajo de los 45°S, y 1020 mbar frente a las costas de Chile. En la zona oceánica de Perú

se presentaron valores de presión atmosférica de 1015 mbar. Para el mes de octubre (Figura 8c) se observó una intensificación del anticiclón y en noviembre (Figura 8e), nuevamente valores alrededor de 1025 mbar.

Al comparar la amplitud y la posición del APS con respecto a sus valores mensuales climatológicos (1979-2022) (Figura 9), se observó que durante septiembre se registraron anomalías con una amplitud de 3.7 mbar, pero muy cercana a su posición habitual. Para el mes de octubre, se registraron las mayores anomalías (~6 mbar), con un desplazamiento predominantemente zonal hacia el oeste (~900 Km) y hacia el sur. Para noviembre, las anomalías se debilitaron respecto a los dos meses anteriores, con valores de 2.9 mbar, mientras que las posiciones mantuvieron el desplazamiento zonal hacia el oeste de ~900 km y al sur.



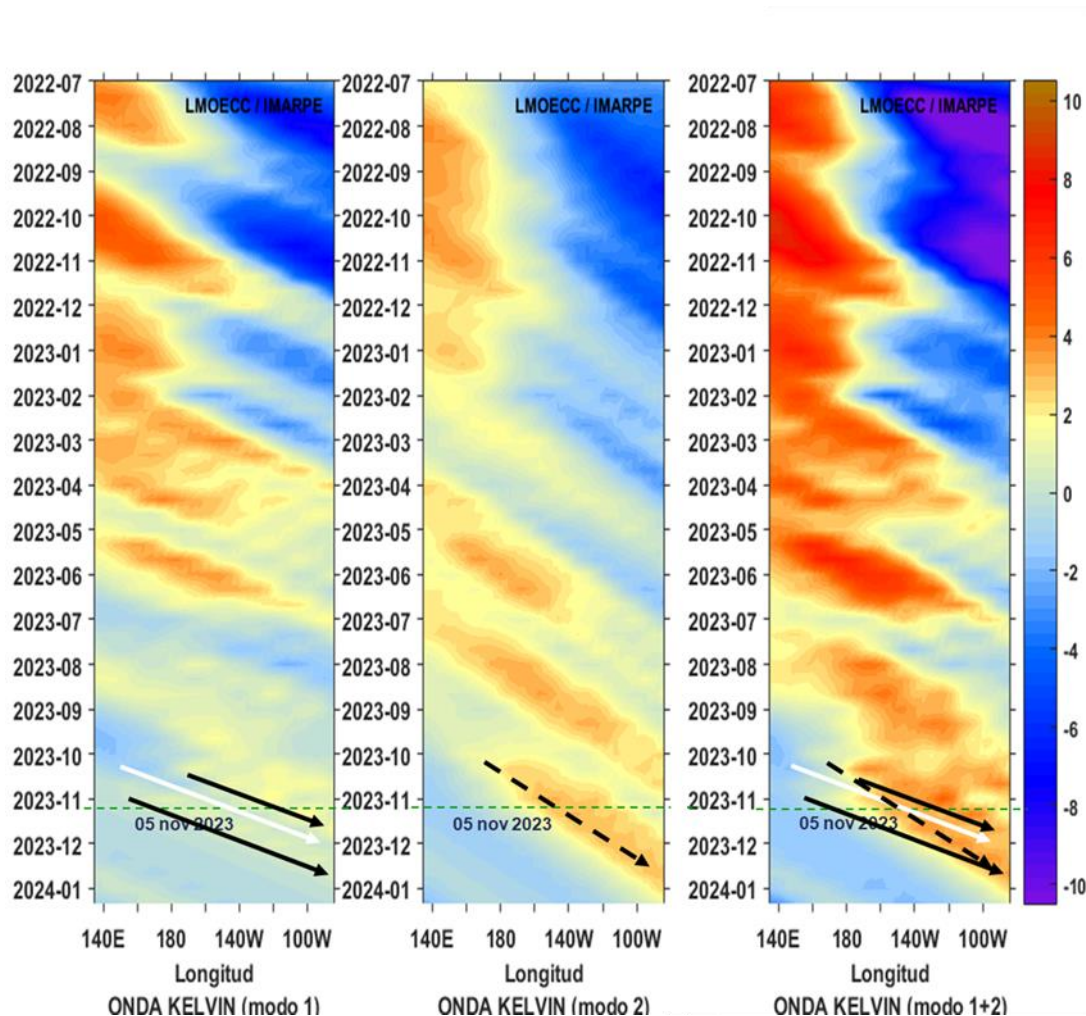
**Figura 9.** Anomalía mensual de la posición del APS respecto a su posición climatológica, serie 1979-2022. Gráfica facilitada por IFOP. Fuente de datos: NCEP/NOAA.

### 4.3. Influencia de ondas Kelvin ecuatoriales en la estructura oceánica

La señal intraestacional de las ondas Kelvin ecuatoriales modularon de manera intermitente, la temperatura subsuperficial. Por ejemplo, entre la última semana de agosto y principios de septiembre, se apreció la profundización de la termoclina y oxiclina respecto de sus valores climatológicos, condición que según (ENFEN, 2023), indicaría el inicio del arribo de la onda Kelvin cálida a la zona norte del mar peruano. A mediados de septiembre 2023 se presentó un periodo temporal de enfriamiento frente al litoral norte y centro que estaría asociado con el paso de la onda Kelvin fría que arribó por el norte en el mes de agosto (Grados, et al; 2023).

Por otro lado, en el Boletín de Análisis del Océano de octubre y noviembre de 2023 del CIIFEN, se indica que entre agosto y septiembre se observó el desplazamiento de una onda Kelvin cálida que atravesó el

Pacífico y se disipó al llegar a la costa de Sudamérica. Al inicio de octubre se observó el desplazamiento de una nueva onda Kelvin cálida en el Pacífico Central que ayudó a incrementar ligeramente el contenido de calor en esta región. A diferencia de las ondas Kelvin que se presentaron en febrero y abril, las dos últimas se están desarrollando a partir del Pacífico Central y no desde el Occidental.



**Figura 10.** Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las ondas Kelvin: modo 1 (línea continua) y modo 2 (línea punteada), en el Pacífico Ecuatorial (0°N). Para el cálculo de las anomalías se usó el periodo 2000-2008. La línea discontinua horizontal indica el inicio del pronóstico.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Componente oceanográfico

En esta sección se presenta la información recopilada entre septiembre y noviembre de 2023, durante los cruceros oceanográficos, en estaciones muestreadas por cada país. Se evaluaron las condiciones superficiales, en profundidad y a diferentes latitudes y longitudes, de modo que se pudo tener un panorama completo de las condiciones oceánicas de las aguas adyacentes a Colombia, Ecuador, Perú y Chile.

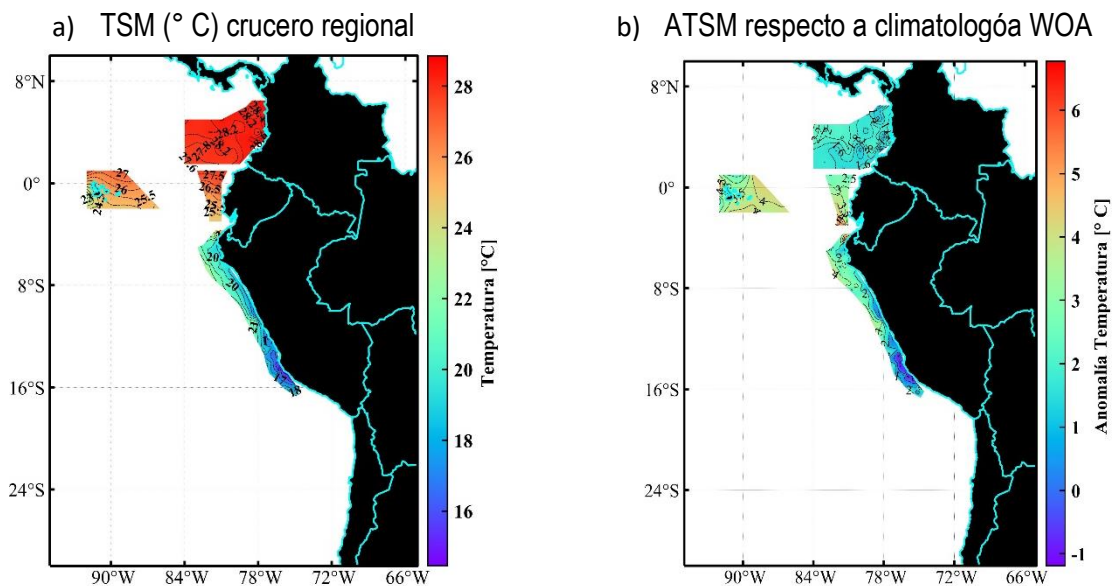
### 5.1.1. Condiciones superficiales

Para el análisis de las condiciones superficiales, se tomaron los datos de cada país en la zona más próxima a la superficie y luego los valores registrados en cada sección se contrastaron con las climatologías del mes correspondiente del *World Ocean Atlas* versión 2018, de modo que pudieran conocerse las anomalías de los valores registrados en campo.

#### 5.1.1.1. Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la capa superficial del mar

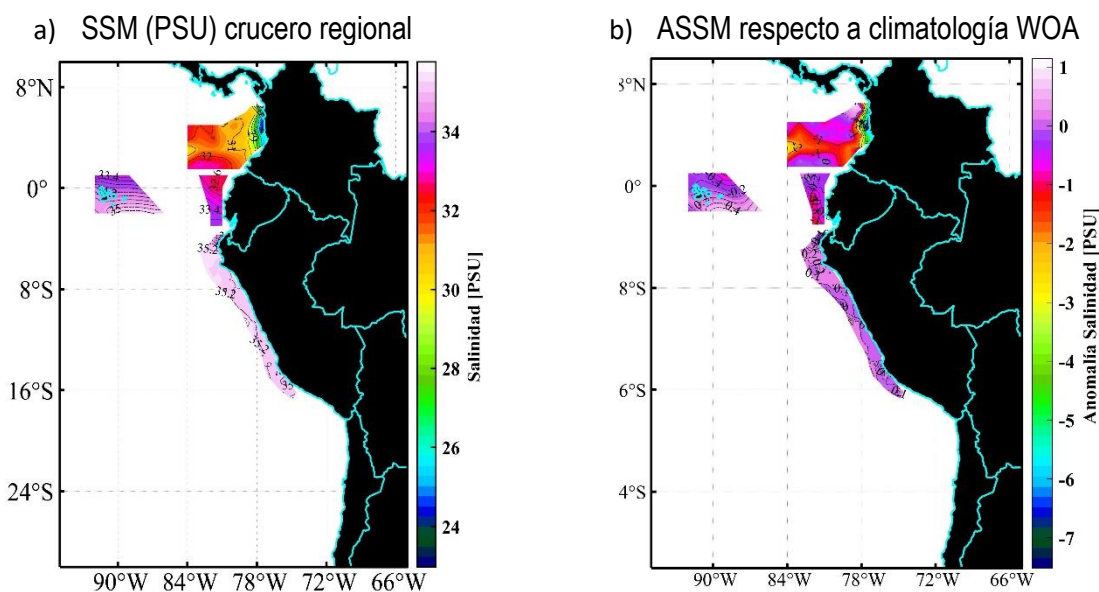
Los valores de temperatura superficial del mar encontrados durante el crucero regional se muestran en la

Figura 11a. Se observa que, durante los meses del crucero, las temperaturas más cálidas se presentaron al norte de la Cuenca Pacífica colombiana con valores de 28 °C y que disminuyeron hacia el sur, con valores entre 24 °C y 26 °C en Ecuador y entre 22 °C y 16 °C en las aguas de Perú. Así mismo, se observó que, en las Islas Galápagos, el valor de la temperatura superficial del mar estuvo alrededor de 24 °C. La región con temperaturas más bajas se identificó en Bahía Independencia – Chala, en Perú, hasta 10 mn de la costa. Los valores de las anomalías más altas se presentaron alrededor de las islas Galápagos y en aguas costeras de Ecuador y norte de Perú, con valores cercanos a +4 °C y las más bajas (-1 °C), en la costa sur de Perú.



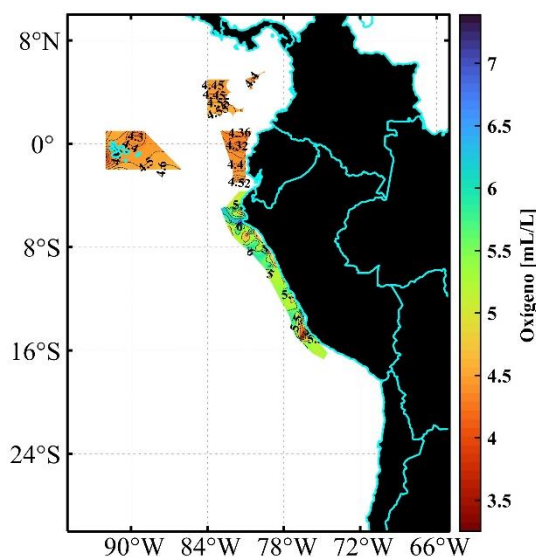
**Figura 11.** Distribución superficial de a) TSM medida XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023) y b) ATSM calculadas con WOA 2018.

Por otra parte, la salinidad (Figura 12a), exhibió valores entre 26 PSU en la costa Pacífica norte de Colombia y 35.309 PSU en aguas peruanas (a 80 mn frente a punta La Negra). Las aguas de las Islas Galápagos tuvieron salinidades alrededor de 34 PSU. Las anomalías halinas presentaron valores predominantemente en el rango neutro al sur de Chicama (Perú), mientras que, al norte de la región, en aguas colombianas, predominaron anomalías negativas de hasta -4 PSU (Figura 12b).



**Figura 12.** Distribución superficial de a) SSM medida en el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023) y b) ASSM calculadas con WOA 2018.

El oxígeno disuelto (Figura 13) tuvo concentraciones alrededor de 4.5 mL/L en aguas colombianas y ecuatorianas, mientras que, frente a Perú se observaron mayores concentraciones de oxígeno, con valores de hasta 7.4 mL/L, especialmente en las costas del norte.



**Figura 13.** Distribución superficial de oxígeno disuelto (mL/L). XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023).

### **5.1.2. Estructura física y química**

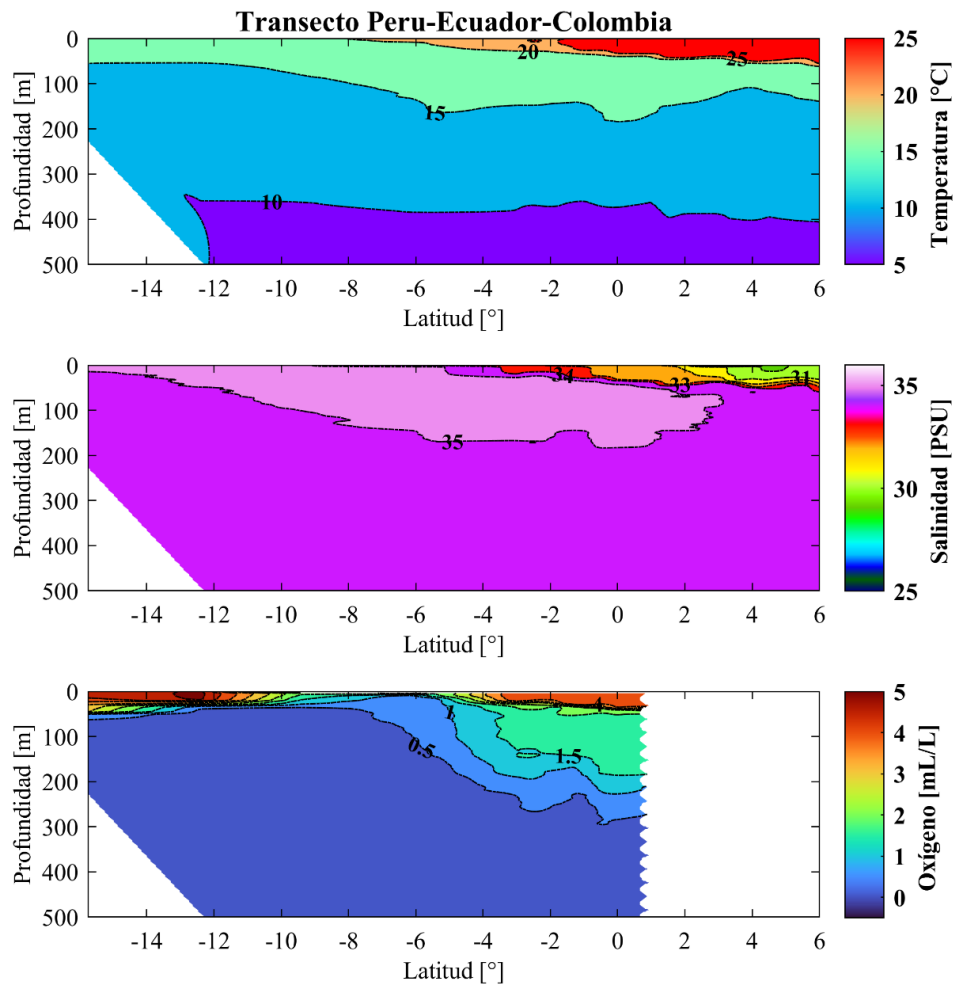
En esta sección se presenta la variación en profundidad de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto medidos durante el crucero conjunto, en transectos establecidos de interés para la región.

#### **5.1.2.1. Estructura meridional de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto**

En la Figura 14, se presenta la distribución de las variables de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a una distancia de 100 mn de la costa entre los 6°N y 15°S. Se observó (Figura 14 - arriba) que, a lo largo de esta distancia, las aguas más cálidas estuvieron en latitudes por encima del Ecuador geográfico, con valores cercanos a 26 °C durante los primeros 50 m de profundidad y que fueron disminuyendo hacia el sur, con valores promedio de 20 °C. La isoterma de 15 °C, entre los 4°N y los 6°S, se localizó entre los 150 m y 200 m de profundidad, al sur de los 6°S mostró una tendencia ascendente alcanzando los 50 m. Para toda la zona de estudio, la isoterma de 10 °C se ubicó alrededor de 400 m de profundidad. Por debajo de los 400 m de profundidad hay aguas con temperatura alrededor de 5 °C.

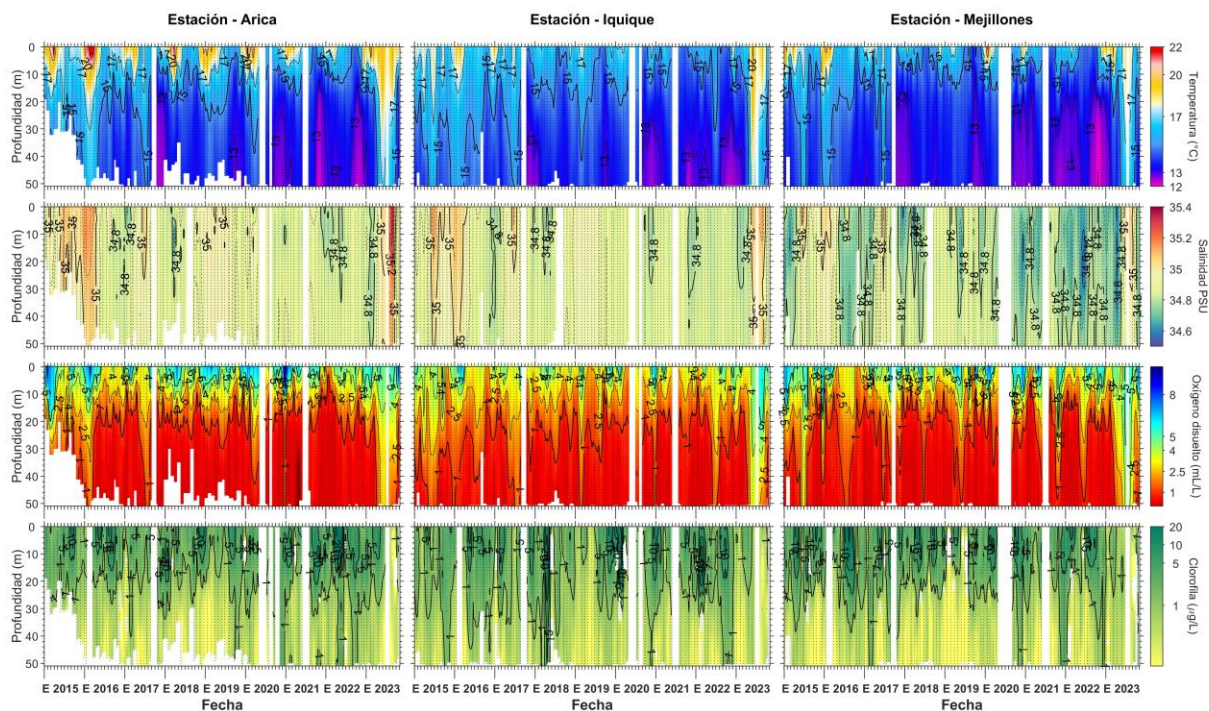
Para la salinidad (Figura 14 - medio), se observaron aguas al norte (0°N a 6°N) con salinidades menores que en el resto de la región de estudio, y con valores que oscilan entre 24 PSU y 34 PSU en los primeros 100 m de profundidad. A medida que se aumenta la latitud hacia el sur, se encontraron aguas con salinidades entre 32 PSU y 34 PSU en los primeros 100 m de profundidad. Por debajo de 150 m de profundidad, las aguas de la región presentaron salinidades alrededor de 35 PSU.

El comportamiento del oxígeno disuelto (Figura 14 - abajo) se vio mayormente estratificado alrededor de la zona ecuatorial y los 5°S, con valores que oscilaron entre 5 y 1 mL/L y hasta una profundidad de 300 m aproximadamente. Por debajo de los 50 m de profundidad, se observó una zona de bajo oxígeno (0.5 y 0.02 mL/L) entre la zona sur del Perú y el Ecuador, que se va profundizando a medida que disminuye la latitud hacia el Ecuador geográfico.



**Figura 14.** Distribución vertical de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a una distancia de 100 mn de la costa para Colombia, Ecuador y Perú, en el periodo de septiembre a noviembre, durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023).

Por otro lado, de la serie de estaciones de monitoreo mensual de Chile en Arica (18.5°S), Iquique (20.2°S) y Mejillones (23°S) (Figura 15.), se observó en toda la columna (50 m) un aumento de temperatura en profundidad, donde la isoterma de 15°C se profundizó entre los meses de abril y agosto, con aumento de salinidad (>35), aumento en el oxígeno disuelto con una profundización de la oxilínea de 2 mL/L, condición que se debilitó entre septiembre y octubre. Los mayores efectos se observaron en Arica. La concentración de clorofila-a en 2023, se vio disminuida principalmente entre agosto y septiembre <1 mg/m<sup>3</sup>, con máximos >5 mg/m<sup>3</sup> en los primeros meses del año solo en Arica y >1 mg/m<sup>3</sup> en Iquique y Mejillones.



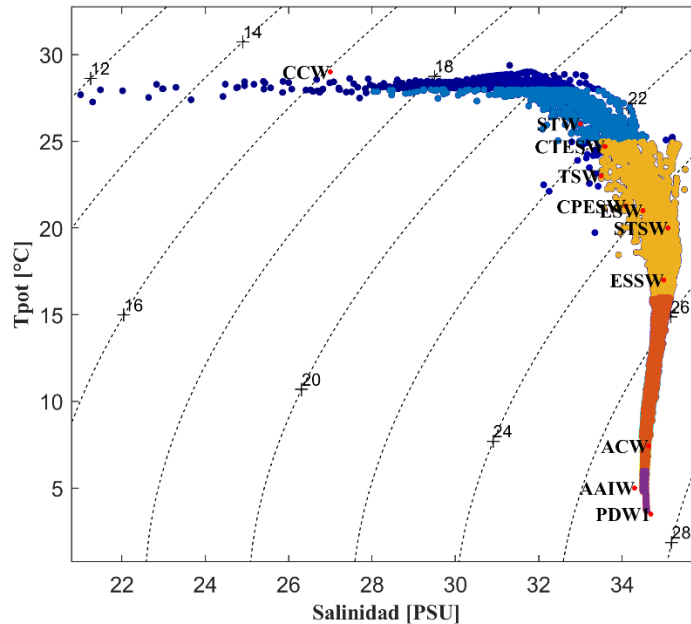
**Figura 15.** Series de tiempo mensual de (a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) salinidad, (c) concentración de oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) y (d) clorofila-*a* ( $\mu\text{g/L} = \text{mg/m}^3$ ), en las estaciones costeras ( $\sim 2 \text{ m}$ ) de Arica (panel izquierdo), Iquique (panel medio) y Mejillones (panel derecho), entre enero 2015 y octubre 2023. Las franjas blancas indican los meses en que no se realizaron mediciones.

### 5.1.2.2. Masas de agua

La Figura 16 muestra la distribución de las masas de agua encontradas durante el periodo entre septiembre y noviembre de 2023. En este diagrama, se identifican las masas de agua reportadas por (Grados, et al., 2018), así: STW ( $T > 25$  y  $S < 35.52$ ); ESPIW ( $T < 13$  y  $S < 34.3$ ); STSW ( $T > 20$  y  $S > 35.1$ ); ESW ( $T < 21$  y  $S > 34.5$ ); TSW ( $T > 23$  y  $S < 33.5$ ); ESSW ( $T < 17$  y  $S > 35$ ); AAIW ( $T = 5$  y  $34.3 < S < 34.5$ ) y por (Malikov y Villegas, 2010), así: CTESW ( $T = 24.70$  y  $S = 33.59$ ); CPESW ( $T = 21.26$  y  $S = 34.09$ ); AIW ( $T = 16.65$  y  $S = 34.56$ ); ACW ( $T = 7.44$  y  $S = 34.64$ ) y PDW ( $T = 3.50$  y  $S = 34.69$ ). Las siglas de las masas de agua se encuentran en inglés.

Adicionalmente, para las aguas de Colombia, se ha identificado la denominada "Agua Costera Colombiana" (CCW), la cual ocupa la capa superficial hasta aproximadamente 31 metros de profundidad, con concentraciones de salinidad inferiores a 28 PSU y temperaturas potenciales superiores a  $27^{\circ}\text{C}$ . Para el caso de las aguas peruanas y de acuerdo con su reporte, encontraron las siguientes masas de agua, así: Las aguas propias del régimen costero de afloramiento que ocurrieron al sur de Callao. Hacia el oeste, entre Punta Falsa y Arica, ocurrieron las (STSW) a distancias variables de la costa con concentraciones de sales superior a 35.1 PSU; el mayor acercamiento de esta masa de agua se presentó frente a la costa central del Perú. La distribución halina mostró grandes zonas de mezcla debido a una fuerte interacción entre las aguas costeras frías (CFW) y las STSW frente a Paita y Punta Falsa, al norte de Chimbote y al sur del Callao. A nivel subsuperficial se presentó la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (ESSW), con concentraciones

entre 34.8 PSU y 34.6 PSU, que fue ascendiendo progresivamente hacia el sur. Núcleos característicos de masas de aguas subantárticas (SAAW) ocurrieron cerca a los 100 m de profundidad en 16°S. Las aguas intermedias antárticas (AAIW) se presentaron con concentraciones de 34.4 a 34.6 PSU en el extremo sur del área de estudio mezclándose y atenuando sus concentraciones hacia el norte.



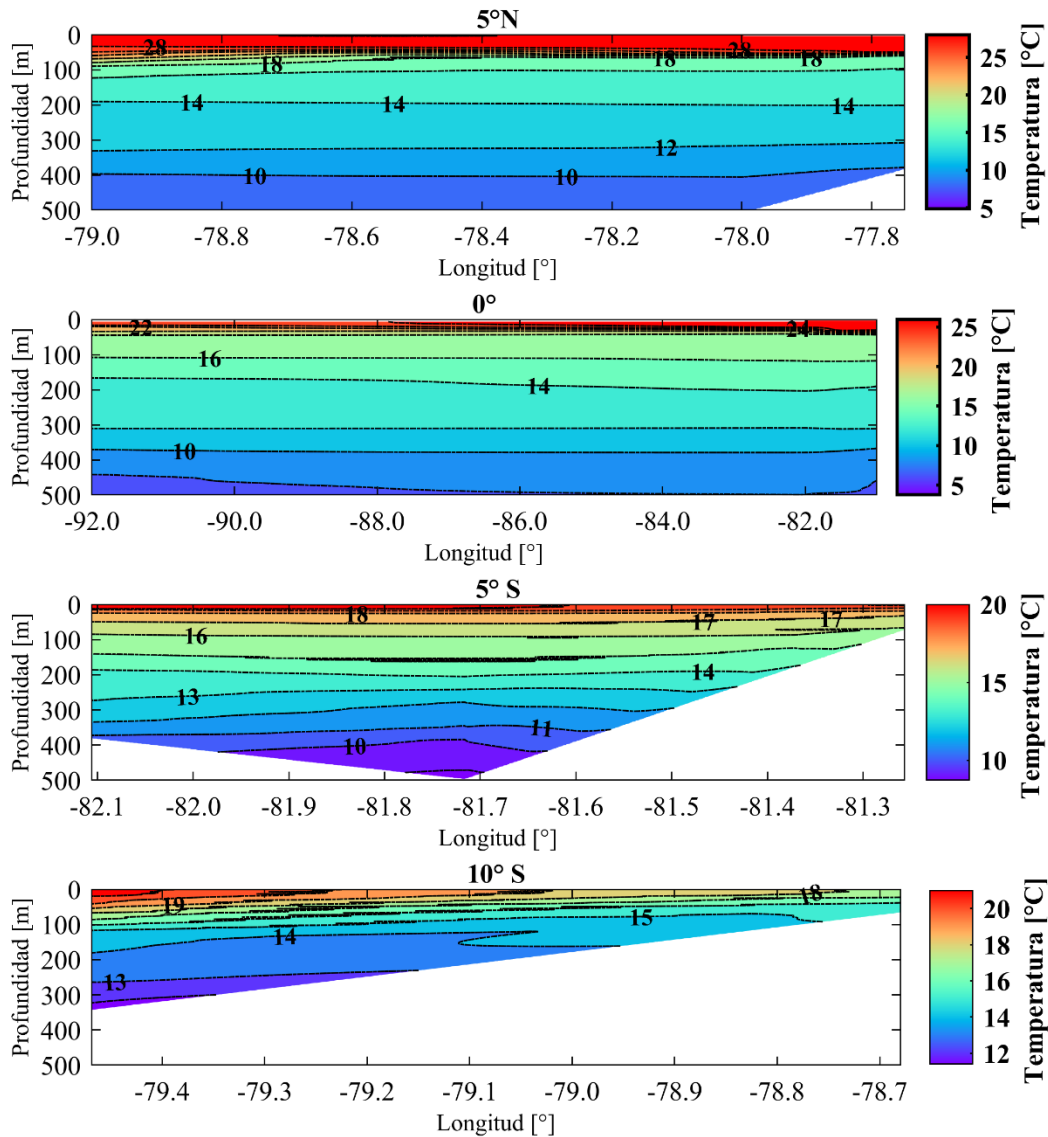
**Figura 16.** Masas de agua identificadas a partir de los datos de CTD tomados el periodo comprendido entre septiembre y noviembre. La figura interna representa las profundidades a las que se encontró cada masa de agua y la figura externa, muestra las masas de agua identificadas durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023).

### 5.1.2.3. Estructura termohalina

En los paralelos 5°N, 0°, 5°S y 10°S se analizó el comportamiento de la temperatura (Figura 17) y salinidad (Figura 18) en función de la profundidad, hasta 500 m. En la Figura 17, se observa como al norte de la región de estudio, las aguas estuvieron fuertemente estratificadas desde la zona costera hasta la zona oceánica, sobre los primeros 50 m, con valores de temperatura entre 28 °C y 20 °C. La isoterma de 15 °C se ubicó entre los 100 m y los 150 m de profundidad. Por debajo de 300 m de profundidad, las aguas estuvieron alrededor de 12 °C y la isoterma de 10 °C se presentó por debajo de los 400 m de profundidad.

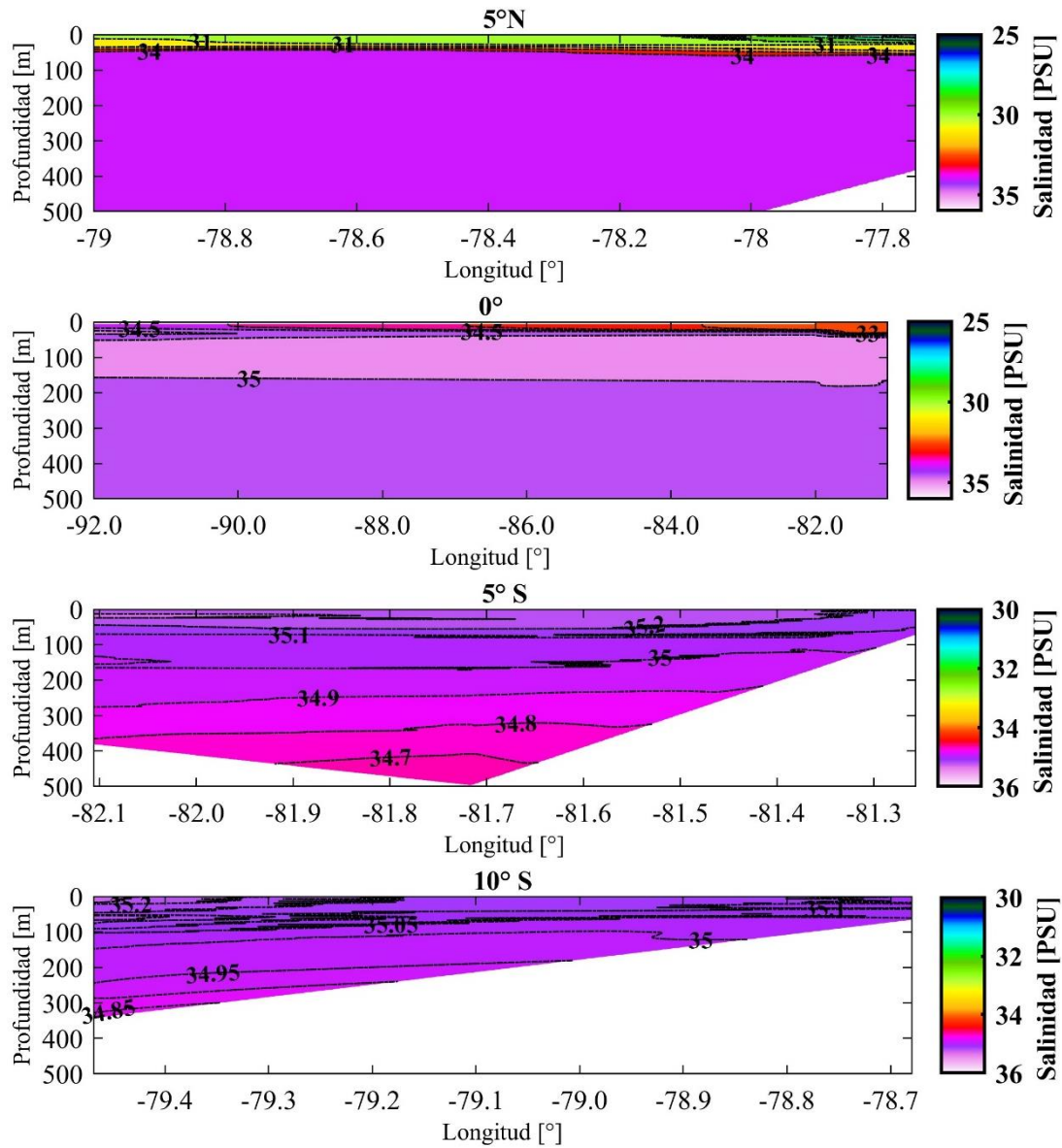
Para las aguas ubicadas en el Ecuador geográfico, la temperatura del agua se evidenció más cálida hacia la zona costera, con valores alrededor de 26 °C y un poco más frías hacia la zona oceánica, con valores alrededor de 23 °C. Los primeros 50 m de profundidad presentaron temperaturas entre 26 °C y 22 °C. Luego de esta profundidad, las aguas se enfriaron hasta cerca de 10 °C a una profundidad cercana a los 400 m. Para latitudes más bajas (5°S y 10°S), las aguas durante los primeros 100 m de profundidad estuvieron entre 20 °C y 16 °C y su temperatura disminuyó más lentamente en profundidad hasta valores alrededor de 10 °C a los 300 m. De igual forma, se observó que las aguas oceánicas fueron más cálidas respecto a las aguas costeras, en los primeros 50 m de profundidad. La isoterma de 15 °C se ubicó alrededor de 150 m de

profundidad en la latitud 5°S y cerca de 100 m en la latitud 10°S. La isoterma de 10°C se presentó alrededor de 400 m de profundidad.



**Figura 17.** Distribución vertical de temperatura en los transectos 5°N, 0°, 5°S y 10°S para el periodo septiembre – noviembre, durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023).

Respecto a los valores de salinidad (Figura 18), se observaron aguas altamente estratificadas en las zonas más costeras y al norte de Colombia, dentro de los primeros 50 m de profundidad con valores entre 24 PSU y 35 PSU. Se observó igualmente aguas menos salinas en la región norte, respecto a las latitudes 5°S y 10°S. De igual forma, se observó que, para toda la región de estudio, por debajo de los 50 m de profundidad las aguas presentaron salinidades alrededor de 35 PSU.



**Figura 18.** Distribución vertical de salinidad en los transectos 5°N, 0°, -5°S y 10°S para el periodo septiembre – noviembre, durante el XXVI Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudamericano (año 2023).

## **6. DISCUSIÓN**

### **6.1. El escenario regional en el periodo del crucero en el contexto interanual**

Las condiciones oceanográficas en el Pacífico oriental, durante la XXVI edición del crucero regional, indicó la presencia de condiciones cálidas anómalas, asociadas con la presencia del Fenómeno El Niño de intensidad fuerte en septiembre, octubre y noviembre de 2023, meses en los cuales se realizaron los cruceros.

El evento El Niño Costero 2023, de acuerdo con la definición operacional de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN, 2012, p. 1) y según el índice Costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014), se inició en marzo 2023 y ha mantenido una tendencia al incremento en los meses subsiguientes hasta JJA cuando alcanzó 2.94 dentro de una categoría “cálida fuerte” para declinar levemente hasta 2.27 para SON manteniéndose aún en una condición “cálida fuerte” (ENFEN, 2023, p. 65).

Durante el XXVI Crucero Regional Conjunto 2023, la TSM más alta, se registró en las aguas de Colombia, con un valor de 29.55 °C. Las anomalías en la Temperatura Superficial del mar más altas se observaron en las aguas de Ecuador, con un valor de 5.45 °C. El mayor gradiente de salinidad se presentó en las aguas costeras de Colombia, con anomalías negativas de hasta -5 PSU. Por otra parte, las anomalías de viento y de temperatura superficial del mar, fueron más intensas durante el mes de septiembre respecto a octubre y noviembre. Para el caso del APS este tuvo un desplazamiento de su posición habitual más marcado para el mes de octubre, hacia el oeste y al sur.

### **6.2. Previsión oceanográfica para diciembre de 2023 a marzo 2024**

De acuerdo con (ENFEN, 2023), se prevé que El Niño costero, basado en el índice ICEN para la región Niño 1+2, continúe por lo menos hasta inicios de otoño de 2024, como consecuencia de la evolución de El Niño en el Pacífico central. En la región Niño 1+2 es más probable que las condiciones cálidas fuertes se mantengan hasta enero. Para el verano de 2024, en promedio, las magnitudes más probables de El Niño costero son fuerte (39 %) y moderada (38 %).

A nivel de macroescala, el Centro De Predicciones Climáticas/NCEP/NWS, anticipa que El Niño continúe durante la primavera del hemisferio norte (con una probabilidad de 62% durante abril-junio de 2024). Los pronósticos de IRI más recientes indican que El Niño continuará hasta la primavera del hemisferio norte de 2024. Basado en los pronósticos más recientes, existe una probabilidad mayor a 55% de al menos un “El Niño fuerte” (+1.5°C para el promedio de temporada en el Niño-3.4) persistiendo hasta enero-marzo 2024. Existe una probabilidad de 35% de que este evento se convierta “históricamente fuerte” (+ 2.0 °C) para la temporada de noviembre-enero (/NCEP/NWS, 2023).

## 7. CONCLUSIONES

- La información recopilada por el crucero regional conjunto corrobora la influencia del evento El Niño de categoría moderada a fuerte en el Pacífico Sudamericano, observándose cambios en los vientos superficiales, la temperatura del agua y otros parámetros oceanográficos.
- Los vientos superficiales en octubre fueron menos intensos en comparación con septiembre. En septiembre, las anomalías reflejaron un claro efecto sobre el calentamiento del Pacífico Tropical Oriental, asociado con el desarrollo del fenómeno de El Niño 2023.
- La información oceanográfica obtenida, indicó la presencia de calentamiento anómalo de intensidad fuerte para toda la región de estudio, con anomalías de +4 °C especialmente en las aguas ecuatorianas. La salinidad en los puntos de muestreo exhibió anomalías negativas en casi toda la región, especialmente en aguas costeras colombianas, mientras que frente a Perú estos valores estuvieron dentro del rango neutro. El oxígeno disuelto presentó valores más bajos en la zona norte de la región de estudio, respecto a las aguas por debajo del Ecuador geográfico.
- El escenario local estuvo modulado por el paso de ondas Kelvin de afloramiento y calentamiento que, junto con procesos de interacción océano-atmósfera de escala local/regional, favorecieron la surgencia en sectores adyacentes a la costa sur de Perú, principalmente, y la permanencia del calentamiento anómalo frente a la costa centro-norte de Perú.
- El índice de macroescala ONI indicó valores de +1.8 para el trimestre SON, indicando la persistencia de El Niño global, mientras que el MEIv2, con valor de +0.26 para SON2023, señaló el paso hacia una condición cálida neutra. Sin embargo, para noviembre, este valor ascendió nuevamente a 0.64.
- En un contexto climático local, los índices IMT, ICEN, LABCOS, ITCP exhibieron una tendencia a la declinación en los últimos meses y mostraron valores de +3.57, +2.27, +1.14 y +0.4, respectivamente; para noviembre de 2023, el IMT indicó una condición El Niño cálida fuerte, ICEN y LABCOS un Niño Costero fuerte y el ITCP una condición cálida.
- Los resultados del crucero, la información complementaria in situ y satelital disponible, los índices climáticos, así como los pronósticos regionales y de macroescala, anticipan la presencia de condiciones cálidas El Niño durante el invierno del hemisferio norte, favoreciéndose una transición a ENSO neutral durante abril-junio de 2024 (62 % de probabilidad) ([https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_nov2023/ensodisc\\_Sp.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_nov2023/ensodisc_Sp.pdf)).

## 8. REFERENCIAS

Centro de predicciones climáticas /NCEP/NWS. EL NIÑO/Oscilación del sur. Discusión diagnóstica. 9 de noviembre de 2023.

[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_nov2023/ensodisc\\_Sp.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_nov2023/ensodisc_Sp.pdf)

Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN), 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Lima, 9 de abril del 2012. [https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota\\_tecnica/Definicion%20Operacional%20ENFEN\\_09abr12.pdf](https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota_tecnica/Definicion%20Operacional%20ENFEN_09abr12.pdf)

Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN), 2023. Informe Técnico ENFEN. Año 9, N°13, septiembre de 2023, 64 p.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5133463/Informe%20T%C3%A9cnico%20ENFEN%2013%20SEPTIEMBRE%202023.pdf?v=1694720441>

Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN), 2023. COMUNICADO OFICIAL ENFEN N°19-2023. 24 de noviembre de 2023.

<https://www.dhn.mil.pe/Archivos/oceanografia/enfen/comunicado-oficial/19-2023.pdf>

Comisión Permanente de Pacífico Sur (CPPS), 2023. Informe técnico de la I reunión extraordinaria del CCR – ERFEN 2023, Guayaquil, 11 de octubre de 2023.

CPPS. 2015. Protocolo del Uso del CTD Sea-Bird y Procesamiento de Datos. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 23 p.

Chamorro Gómez, Adolfo. (2018). Dynamique des vents côtiers dans le système d’upwelling du Pérou dans des conditions de réchauffement: impacts d’El Niño et du changement climatique régional [Tesis de doctorado, Sorbonne Université]. <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3410>

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.

Grados, et al; 2023. Condiciones físicas y del oxígeno disuelto en el mar Peruano durante septiembre – octubre 2023. Informe ejecutivo XXV Crucero regional conjunto de investigación oceanográfica en el Pacífico Sudamericano – Sección Perú. 22 de septiembre -11 de octubre de 2023.

Huang, B., P. W. Thorne, V. F. Banzon, T. Boyer, G. Chepurin, J. H. Lawrimore, M. J. Menne, T. M. Smith, R. S. Vose & H.-M. Zhang. 2017. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, version 5 (ERSSTv.5): Upgrades, validations, and intercomparisons. *J. Climate*, 30, 8179-8205, 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. Res.* 109 (C2): C02022.

Instituto del Mar del Perú IMARPE, 2023.

[https://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id\\_seccion=1017804010000000000000](https://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=1017804010000000000000)

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

Kobayashi S, Ota Y, Harada A, Ebata M, Moriya H, Onoda K, Onogi H, Kamahori C, Kobayashi H, Endo K, Miyaoka K, Takahashi K. 2015. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 93, No. 1, pp. 5-48, 2015 DOI:10.2151/jmsj.2015-001

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/93/1/93\\_2015-001/article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/93/1/93_2015-001/article)

NOAA, 2021. Climate Diagnostics Bulletin, NWS/NCEP, November 2021.

[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf).

NOAA, 2022a. Climate Diagnostics Bulletin, NWS/NCEP, 10 November 2022.

[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_nov2022/ensodisc\\_Sp.pdf](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_nov2022/ensodisc_Sp.pdf)

NOAA, 2022b. Climate Diagnostics Bulletin, NWS/NCEP, 13 April 2023.

[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_apr2023/ensodisc\\_Sp.pdf](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_apr2023/ensodisc_Sp.pdf)

NOAA, 2023. El Niño Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion Archive

[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_jan2023/](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_jan2023/)

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-Ccalluari C, Tam J, Arellano C, Chamorro A, Espinoza-Morriberón D, Romero C, Ramos J. 2015. 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. Inst. Mar Perú, Vol. 44(1):28- 34.

<https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3149>

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-Ccalluari, C., J. Tam, H. Demarcq, A. Chamorro, D. Espinoza-Morriberón, C. Romero, N. Dominguez, J. Ramos y R. Oliveros-Ramos. 2018: An index of coastal thermal effects of El Niño Southern Oscillation on the Peruvian Upwelling Ecosystem. Int. J. Climatol.:1-11. <https://doi.org/10.1002/joc.5493>

Quispe-Ccalluari, C., A. Chamorro, C. Arellano, y J. Tam. 2021. Propagación de ondas de Kelvin ecuatoriales y ondas atrapadas a la costa durante El Niño 2015-16 y El Niño costero 2017 frente a Perú: Simulaciones y Observaciones. Boletín Instituto del Mar del Perú, 36(2), 349–361. <https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.342>

Sayol, J. M., Vásquez, L. M., Valencia, J. L., Linero-Cueto, J. R., García-García, D., Vigo, I., & Orfila, A. (2022). Extension and application of an observation-based local climate index aimed to anticipate the impact of El Niño–Southern Oscillation events on Colombia. *International Journal of Climatology*, 42(11), 5403-5429.

Takahashi, K., K. Mosquera y J. Reupo. El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. Boletín Técnico - Vol. 1 N° 2 Febrero del 2014. Instituto Geofísico del Perú.  
[http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2014/EINino\\_v2\\_27\\_03\\_2014\\_7.pdf](http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2014/EINino_v2_27_03_2014_7.pdf).

Wolter K. and M. S. Timlin, 1993. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proceedings of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, Oklahoma. NOAA/NMC/CAC-NSSL Oklahoma Climate Survey-CIMMS-School of Meteorology of the University of Oklahoma, pp. 52-57.

Wolter K. and M. S. Timlin, 1998. Measuring the strength of ENSO events - how does 1997/98 rank? *Weather* 53, 315-324.

Wolter K. and M. S. Timlin, 2011. El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI. ext). *Int. J. Climatol.* 31, 1074-1087.