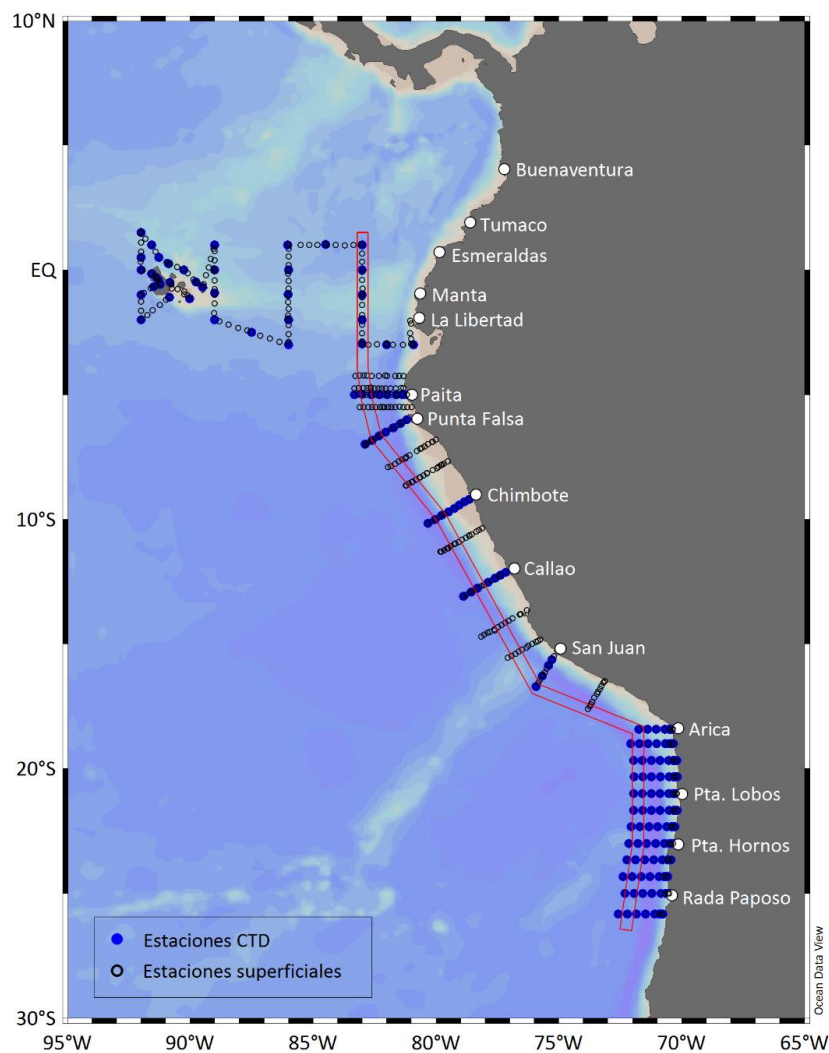




COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR

INFORME FINAL DEL VIGÉSIMO CUARTO CRUCERO REGIONAL CONJUNTO DE INVESTIGACIÓN OCEANOGRÁFICA EN EL PACÍFICO SUDESTE

CR-XXIV-2021



CONDICIONES FÍSICAS Y DEL OXÍGENO DISUELTO EN EL OCÉANO PACÍFICO SUDORIENTAL, EN SEPTIEMBRE-NOVIEMBRE 2021

CPPS-2024

Nota de responsabilidad:

Este documento ha sido preparado por representantes del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR) y del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP), 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 www.cpps-int.org
Guayaquil, Ecuador

Para efectos bibliográficos se sugiere citar este documento de la siguiente manera: CPPS 2024: Informe Final del Vigésimo Cuarto Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste: Condiciones Físicas y del Oxígeno Disuelto en el Océano Pacífico Sudoriental, en septiembre-noviembre de 2021. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 20 p.

Autores:

Carmen Grados, Hernán Reyes, Leonor Vera, Catherine Grendi, Katherine Vásquez, Cristhian Asto, Carlos Quispe, David Correa, Adolfo Chamorro, Estefanía Giraldo.

Fotos en la portada:

Mapa: Propio (distribución de las estaciones del XXIV Crucero Regional)

ISBN: 978-9942-7175-9-7



2024 CPPS
Guayaquil, Ecuador

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. METODOLOGÍA.....	2
3. RESULTADOS	3
3.1. Componente atmosférico	3
3.2. Temperatura, salinidad y oxígeno en la superficie del mar.....	3
3.3. Estructura física y química	4
3.3.1. Estructura térmica	4
3.3.2. Estructura halina.....	4
3.3.3. Concentración del oxígeno disuelto	5
3.4. Profundidad de la base de la termoclina oceánica y costera	5
3.5. Masas de agua	5
4. DISCUSIÓN.....	6
5. CONCLUSIONES	7
6. RECONOCIMIENTOS	8
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
8. FIGURAS.....	11

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Mapa de las estaciones realizadas durante el XXIV Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el océano Pacífico sudeste ejecutado del 22 de septiembre al 16 de noviembre de 2021. La banda de color rojo identifica las estaciones seleccionadas a ~100 km de la costa sudamericana empleadas en la construcción de la estructura termohalina y del contenido de oxígeno frente a Sudamérica. 11
- Figura 2** Distribución de la a) Temperatura superficial del mar [°C], b) Anomalía de la temperatura superficial del mar [°C], c) Salinidad Superficial del Mar y d) Anomalía de la salinidad superficial del mar, durante el XXIV Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el océano Pacífico sudeste ejecutado del 22 de septiembre al 16 de noviembre de 2021. Las anomalías térmicas se estimaron de acuerdo a la climatología de WOA (2018). Los matices de colores empleados, en ambos casos, se presentan a la derecha de los gráficos. 12
- Figura 3** Concentración del oxígeno disuelto en la superficie del mar [ml/L] durante el XXIV Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el océano Pacífico sudeste ejecutado del 22 de septiembre al 16 de noviembre de 2021. Los matices de colores empleados se presentan a la derecha de la figura. 13
- Figura 4** Distribución vertical de la temperatura (superior), salinidad (al centro) y oxígeno disuelto (inferior) frente la localidad de a, f, k) Paita (24-25 de septiembre), b, g, l) punta Falsa (26-27 de septiembre), c, h, m) Chimbote (04-05 de octubre), d, i, n) Callao (12-13 de octubre) y e, j, o) San Juan de Marcona (22-23 de octubre), durante el XXIV Crucero CPPS realizado en el año 2021. 14
- Figura 5** Distribución vertical de la temperatura (superior), salinidad (al centro) y oxígeno disuelto (inferior) frente la localidad de a, f, k) Arica, b, g, l) Pisagua, c, h, m) punta Lobos, d, i, n) punta Copaca y e, j, o) Antofagasta, durante el XXIV Crucero CPPS realizado en septiembre-octubre 2021. 15
- Figura 6** Series de tiempo de los índices climáticos a) Índice Niño Oceánico (ONI; Huang et al., 2017), b) Índice Multivariado de ENOS (MEI v2; Wolter y Timlin (1993, 1998 y 2011) y Kobayashi et al., 2015), c) Índice Costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014), d) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP; Quispe et al., 2016), e) Índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015) y el f) Índice Multivariado de Tumaco (IMT; Rodríguez-Rubio, 2013), respectivamente, desde el año 2000. 16

CONDICIONES FÍSICAS Y DEL OXÍGENO DISUELTO EN EL OCÉANO PACÍFICO SUDORIENTAL, EN SEPTIEMBRE-NOVIEMBRE 2021

INFORME FINAL

Carmen Grados¹, Hernán Reyes², Leonor Vera³, Catherine Grendi², Katherine Vásquez¹,
Cristhian Asto¹, Carlos Quispe¹, David Correa¹, Adolfo Chamorro¹, Estefanía Giraldo⁴

¹IMARPE (Perú), ²IFOP (Chile), ³INOCAR (Ecuador), ⁴CCCP (Colombia)

RESUMEN

El Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste (CR) es una iniciativa del programa “Estudio Regional del Fenómeno El Niño” (ERFEN) de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Este informe final presenta los resultados de la vigésimo cuarta edición del CR que, del 22 de septiembre al 16 de noviembre de 2021, evaluó el escenario oceanográfico entre los 2°N (Ecuador) y 26°S (Chile) y del litoral sudamericano al archipiélago de Galápagos (92°W). Durante el crucero se realizaron 370 estaciones oceanográficas (166 sobre los 500 m de profundidad y 204 a nivel superficial) a bordo de plataformas de investigación del Ecuador, Perú y Chile.

La información atmosférica y oceanográfica obtenida indicó la presencia de calentamiento anómalo de intensidad débil al norte de Paita (5°S), mientras que, al sur de esta localidad fue característico el enfriamiento anómalo del mar por el paso de ondas Kelvin de afloramiento que, junto con procesos de interacción océano-atmósfera de escala local/regional, coadyuvaron a la manifestación de condiciones frías más intensas que lo habitual.

En un contexto climático de macroescala, de acuerdo con los índices ONI y MEI.v2, el presente crucero se realizó durante un periodo La Niña, sin embargo, de acuerdo con el Índice Costero El Niño (ICEN) y el Índice Multivariado de Tumaco (IMT), aplicados en Perú y Colombia, respectivamente, la investigación se ejecutó durante un periodo neutral frío.

PALABRAS CLAVE: océano Pacífico sudeste, oceanografía, meteorología, termoclina, surgencia costera, oceanografía, vientos alisios, frente ecuatorial, masas de agua.

ABSTRACT

The Joint Regional Oceanographic Research Cruise in the Southeast Pacific (CR) is an initiative of the “Regional Study of the El Niño Phenomenon” (ERFEN) program of the Permanent Commission of the South Pacific (CPPS). This final report presents the results of the twenty-fourth edition of the cruise which, from September 22th to November 16th, 2021, evaluated the oceanographic scenario between 2°N (Ecuador) and 26°S (Chile) and from the South American coast to Galapagos archipelago (92°W). During the cruise, 370 oceanographic stations were carried out (166 above 500 m depth and 204 at surface level) aboard research platforms in Ecuador, Peru and Chile.

The atmospheric and oceanographic information obtained indicated the presence of anomalous warming of weak intensity to the north of Paita (5°S), while, to the south of this locality, the anomalous cooling of the sea was related to the passage of Kelvin waves of upwelling that, along with ocean-atmosphere interaction processes on a local/regional scale, contributed to the manifestation of more intense than usual cold conditions.

In a macroscale climatic context, according to the ONI and MEI.v2 indices, the present cruise was carried out during a La Niña period, however, according to the El Niño Coastal Index (ICEN) and the Tumaco Multivariate Index (IMT), applied in Peru and Colombia, respectively, the research was executed during a cold neutral period.

KEY WORDS: Southeast Pacific Ocean, oceanography, meteorology, thermocline, coastal upwelling, oceanography, trade winds, equatorial front, water masses.

1. INTRODUCCIÓN

El océano Pacífico sudeste (PSE) 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. Dados sus impactos, la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) estableció el programa Estudio Regional del Fenómeno de El Niño (ERFEN; CPPS, 2013) para el monitoreo y vigilancia de ENOS mediante cruceros oceanográficos coordinados desde 1998 además de otras acciones.

Este informe presenta los resultados del XXIV crucero regional en el cual participaron buques científicos de Ecuador (Vera et al., 2021), Perú (Imarpe, 2021a) y Chile (Grendi et al., 2021). El objetivo general del crucero fue documentar la variabilidad de las propiedades del océano y la atmósfera adyacente en el PSE en septiembre-noviembre de 2021 con el fin de anticipar oportunamente la posible ocurrencia de un evento ENOS entre noviembre/diciembre de 2021 y marzo/abril de 2022. Los objetivos específicos consideraron: i) Describir las condiciones océano-atmosféricas a macro escala en el Pacífico tropical y sus efectos en la dinámica regional, ii) Describir las condiciones oceanográficas en el Pacífico tropical y sur oriental registradas durante el periodo del crucero y iii) Analizar las condiciones océano-atmosféricas durante el periodo del crucero para contribuir al diagnóstico del escenario climatológico a corto plazo y la previsión de las condiciones ENOS en la región en el verano austral 2021-2022 (CPPS, 2021) en apoyo al diagnóstico regional del Comité ERFEN.

En un contexto climático, el Índice Niño Oceánico (ONI) exhibió valores propios de una condición La Niña en los meses previos al crucero, con excepción de los meses de junio y julio (Huang et al., 2017). Por otro lado, el Índice Multivariado ENOS (MEI.v2; Wolter and Timlin., 1993, 1998 y 2011, y Kobayashi et al., 2015) mantuvo condiciones frías desde junio (MJ) 2021 a mayo (AM) 2022 con valores de hasta -1.53 en julio y octubre 2021 y de -1.4 en setiembre y noviembre del mismo año. En el PSE, el Índice Costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014 y ENFEN, 2012) para la región Niño 1+2 así como el Índice Multivariado de Tumaco (IMT; Rodríguez-Rubio, 2013) para el sector costero colombiano, indicaron la presencia de un escenario neutral frío. Por otro lado, entre julio y septiembre 2021, la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Pacífico central mostró la prevalencia de enfriamiento anómalo cerca a lo neutral, mientras que en el PSE y Pacífico occidental ocurrió calentamiento leve entre +0.5°C y +1.0°C (NOAA, 2021). Es importante considerar también que, de julio a setiembre 2021 se evidenció el arribo de ondas Kelvin frías y cálidas, las cuales contribuyeron al descenso y aumento del nivel del mar (NM), respectivamente, de tal forma que, en julio, se presentó la disminución del NM debido al arribo de una onda Kelvin fría (IMARPE, 2021b), seguida del aumento asociado al arribo de una onda Kelvin cálida en agosto, mes en que, además ocurrió un nuevo descenso del NM generado por el arribo de una nueva onda Kelvin fría (IMARPE, 2021c) cuyo efecto se prolongó hasta inicios de setiembre (IMARPE, 2021d), para posteriormente aumentar paulatinamente y alcanzar valores anómalos de hasta +10 cm debido al arribo de una nueva onda Kelvin cálida que se propagó desde el sector ecuatorial hacia el sur (IMARPE, 2021e). El efecto combinado del escenario regional y local, entonces, determinó el predominio de condiciones neutras en el rango frío durante el crucero frente a Perú y Chile, y calentamiento leve frente a Ecuador.

2. METODOLOGÍA

La XXIV edición del CR evaluó el PSE desde el litoral hasta el archipiélago de Galápagos entre el 22 de septiembre y 16 de noviembre de 2021. Tres plataformas científicas de los estados del Ecuador, Perú y Chile y dos embarcaciones pesqueras del Perú participaron en esta evaluación. Los buques, las fechas de inicio y término de las expediciones, las instituciones ejecutoras, la instrumentación empleada, las variables medidas y las muestras de agua recolectadas y su metodología, así como la participación de investigadores en las plataformas se resume en el informe ejecutivo del crucero (CPPS, 2024).

Durante el crucero se realizaron 370 estaciones, 166 estaciones profundas (CTD) y 204 superficiales (Figura 1). Este informe presenta la distribución superficial de la temperatura, salinidad y la concentración de oxígeno disuelto, así como la estructura de estas variables esenciales para transectas oceanográficas frente a Ecuador, Perú y Chile.

Los datos de CTD se procesaron de acuerdo a CPPS (2015). Las anomalías de la temperatura y la salinidad del mar se estimaron con referencia a WOA (2018) para la temperatura (Locarnini et al., 2018) y salinidad (Zweng et al., 2018). La concentración de oxígeno disuelto se analizó según Carpenter (1965). La propagación de las ondas Kelvin ecuatoriales (OKE) y su impacto en la costa frente al Perú, principalmente, se ejecutó un modelo oceánico de complejidad intermedia con tres modos baroclínicos forzado con vientos del NCEP (Kalnay et al., 1996), siguiendo la metodología de Illig et al. (2004) y Dewitte et al. (2002).

Finalmente, el escenario regional de septiembre y octubre de 2021 se analizó en un contexto interanual reciente para el periodo 2017-2021 en base a información de índices climáticos locales como el índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015), el índice térmico costero peruano (ITCP; Quispe et al., 2016) y el índice multivariado de Tumaco (IMT; Rodríguez-Rubio, 2013); regionales, como el índice costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014) e índice del anticiclón del Pacífico sur (IAPS; Chamorro Gómez, 2018 y Quispe-Ccalluari et al., 2015), e) y de macroescala como el 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).

3. RESULTADOS

3.1. Componente atmosférico. El viento fue propio del periodo frente a Ecuador: de dirección sureste (SE) al sur del área de estudio, del suroeste (SO) frente a la costa continental y del sur (S) al norte del Ecuador geográfico. En promedio, la magnitud del viento fue superior a 6 m/s y hasta 8.2 m/s con presencia de ráfagas de hasta 10.3 m/s, excepto al oeste de las I. Galápagos donde se registró un valor de 4 m/s (Vera et al, 2021). Frente al Perú, predominaron vientos del S-SE y del SE con velocidades entre 0.5 y 13.8 m/s. Durante gran parte del trayecto se presentaron vientos fuertes mayores a 6.8 m/s, principalmente frente a Paita, Chicama (7°41'S) y entre Callao y Atico (16°30'S); al sur de esta última localidad, el viento fue de intensidad variable (Imarpe, 2021a). Frente a la costa norte de Chile predominaron vientos del Sur de intensidad débil (<5 m/s) e intermedia (5-10 m/s) que presentaron una amplia distribución, mientras que los de mayor intensidad (>10 m/s) se detectaron entre 21°S y 25°S. Los vientos con componente Norte (N) fueron de intensidad débil y se distribuyeron principalmente al norte de 19°S y al sur de 25°S. (Grendi et al., 2021).

3.2. Temperatura, salinidad y oxígeno en la superficie del mar. El sector costero exhibió valores entre 14 °C (frente a punta Hornos-Paposo y San Juan de Marcona) y 26 °C (frente a Esmeraldas). El frente ecuatorial (FE), conformado por las isoterms de 20-25 °C, se presentó desplazado al sur de su posición climatológica (Vera et al., 2021). Entre Paita y Mollendo (17°S) y de Arica al sur se presentó una franja costera con TSM menor de 17 °C, mientras que al oeste de las I. Galápagos se evidenciaron procesos de surgencia (Figura 2a). Condiciones frías anómalas se presentaron en el sector ecuatorial al oeste de 85°W y al sur de Paita (Figura 2b), en esta última zona, el enfriamiento superó -3 °C entre 9°S y 11°S, frente a los 20°S y al oeste de las I. Galápagos, alcanzando hasta -4 °C frente a Chimote. Por el contrario, al sur de San Juan de Marcona, frente a Chicama (8°S), entre Paita y Manta, así como al sur y norte de las I. Galápagos se presentó calentamiento, con una máxima anomalía (+3 °C) frente al golfo de Guayaquil.

La salinidad superficial del mar (SSM, Figura 2c) mostró valores menores de 32.5 en la zona costera ecuatoriana y hasta 35.5 al oeste de las I. Galápagos. Las aguas propias del régimen ecuatorial ($S \leq 34.8$) se presentaron al norte de Talara, con un gradiente halino intenso entre Talara y Cabo Blanco (4°10'S), zonas límite para las aguas ecuatoriales superficiales (AES) y las aguas tropicales superficiales

(ATS) con concentraciones menores de 33.8. De Sullana (4°54'S) al sur ocurrieron aguas propias del régimen de afloramiento costero con concentraciones entre 34.6 y 35.0 ocupando amplias zonas frente a Pisco-San Juan de Marcona y al sur de Arica. Las aguas subtropicales superficiales (ASS) con concentraciones mayores a 35.1 se localizaron por fuera de las 30 m.n. entre punta Falsa (6°S) y Arica, así como al oeste de las I. Galápagos. La distribución halina mostró zonas de mezcla por la fuerte interacción entre las aguas costeras y oceánicas entre Paita y Pimentel (7°S) así como frente a Pisco (13°S). Al oeste de las I. Galápagos, la configuración halina fue propia de la surgencia ecuatorial. La anomalía de la salinidad superficial del mar (ASSM) varió entre -2.0 frente al golfo de Guayaquil y +0.5 al oeste de las I. Galápagos (Figura 2d). La configuración de las anomalías indicó que las aguas del régimen ecuatorial se desplazaron hacia el norte peruano, al sur de su posición climatológica. De Paita al sur, la salinidad presentó condiciones propias del periodo y entre ± 0.1 ; las anomalías negativas en el sector costero se asociaron con la surgencia, mientras que, en sectores oceánicos, los valores positivos se relacionaron con la advección hacia la costa de las ASS.

El oxígeno disuelto (OD, Figura 3) presentó concentraciones menores de 4.5 ml/L frente a Esmeraldas, del golfo de Guayaquil a los 9°S, entre 13 y 15°S y frente a Pisagua (19°40'S) y Paposo. Los valores mínimos se presentaron frente a Chicama (3 ml/L) y Pisco (4 ml/L) asociados a procesos de surgencia. Aguas oxigenadas con valores mayores a 5 ml/L se detectaron por fuera de las 60 m.n. frente a Punta Falsa, Chicama, Callao y San Juan de Marcona asociado con la presencia de ASS y una alta actividad fotosintética, en tanto que, frente a Chile, presentaron una amplia cobertura espacial.

3.3. Estructura física y química. Se presentan transectas oceanográficas representativas de la temperatura, salinidad y concentración de oxígeno frente a 3°S (Ecuador); Paita (5°S); Punta Falsa (6°S); Chimbote (9°S); Callao (12°S); San Juan de Marcona (15°S); Arica (18°25'S); Pisagua (19°40'S), punta Lobos (21°S); punta Copaca (22°20'S) y Antofagasta (23°40'S).

3.3.1. Estructura térmica. Condiciones diferenciadas caracterizaron la estructura térmica en los perfiles considerados. En los 3°S ocurrió el mayor contraste térmico (1 °C/6 m) sobre los 60 m donde se presentaron las isotermas de 15 °C a 24 °C (Vera et al., 2021), escenario que cambió drásticamente 60 m.n. hacia el sur, frente a Paita (Figura 4a). En el sector costero desde Paita hasta San Juan de Marcona, todos los perfiles exhibieron condiciones frías con temperaturas entre 17 °C y 13 °C dentro de las 60 m.n., con irrupción de la isoterma de 15 °C a la superficie a 5 y 20 m.n. frente a Chimbote (Figura 4c) y San Juan de Marcona (Figura 4e), respectivamente, exceptuando el perfil frente a Paita, donde la isoterma de 15 °C se profundizó 50 m con la aproximación a la costa. Por fuera de las 60 m.n. se presentaron TSM mayores de 16 °C a 18 °C de Paita a Chimbote, mientras que frente a Callao (Figura 4d) y San Juan de Marcona se presentaron amplias zonas de mezcla de aguas sobre los 70-80 m de profundidad. También destacó la elevación en 50 m de la isoterma de 14 °C desde Paita-Punta Falsa hasta Callao-San Juan de Marcona. Una condición similar se presentó frente a la costa norte de Chile, con mayor presencia de aguas relativamente cálidas en los primeros perfiles y con irrupción en la superficie de las isotermas de 14 °C y 15 °C frente punta Copaca (Figura 5d) y Antofagasta (Figura 5e), declinando a 12-13 °C a 100 m y 8 °C a 500 m de profundidad. En todas las transectas, las isotermas formaron pendientes positivas hacia la costa sobre los 250 m.

3.3.2. Estructura halina. Las condiciones halinas subsuperficiales exhibieron variaciones considerables con la latitud. Las aguas propias del régimen ecuatorial se presentaron sobre los 50 m de profundidad frente a los 3°S (Vera et al., 2021), siendo el mínimo valor 32.5. Frente al litoral peruano, se presentaron AES sobre los 50 m por fuera de las 60 m.n. de Paita (Figura 4f), hacia el sur, destacó la presencia de ASS sobre los 50-90 m por fuera de las 60 m.n. de Chimbote a San Juan de Marcona. Por el contrario, en las primeras 60 m.n. y sobre los 100 m de profundidad se presentaron aguas de mezcla (AM) producto de la interacción de las AES (Paita), y ASS y aguas costeras frías (ACF). Se destaca que, frente a San Juan de Marcona (Figura 4j), el campo halino indicó la presencia de ACF dentro de las 50 m.n., ASS por fuera de las 60 m.n. y núcleos de remanentes de aguas subantárticas entre los 75 y 100 m. En Arica (Figura 5a), las mayores concentraciones de sales (35-35.1) se apreciaron

por fuera de las 15 m.n. y sobre los 30 m de profundidad, por debajo de este nivel, la salinidad varió entre 34.8 (sobre los 250 m) y 34.5 (500 m). La capa de los primeros 100 m de profundidad presentó salinidades que variaron de 35 entre Arica y Pisagua (18°25'S-19°40'S) hasta <34,6 de Antofagasta a punta Ballenita (23°40'S-25°50'S). Al norte de Antofagasta (18°25'S-23°40'S), el núcleo con salinidad >34,8 disminuyó su espesor y cobertura desde el sector oceánico a la costa, quedando reducido en las primeras 20 mn al sur de punta tres Picos (24°20'S). De Antofagasta al sur de 23°S, se observó un núcleo subsuperficial de baja salinidad (<34,6). Bajo los 300 m de profundidad, la salinidad disminuyó a valores cercanos a 34,6 al norte de 23°S y al sur de esta transecta la salinidad disminuyó a valores <34,4 (Grendi et al., 2021).

3.3.3. Concentración del oxígeno disuelto. El perfil frente a 3°S presentó valores superiores a 3 ml/L sobre los 40 m, declinando hacia el fondo. La zona de mínima de oxígeno (ZMO), referenciada por la iso-oxígena de 1.0 ml/L, se presentó entre 150 y 100 m de profundidad (Vera et al., 2021).

En la sección Paita (Figura 4k) se presentaron iso-oxígenas de 5.0 a 1.5 ml/L sobre los 50 m de profundidad con ascenso a la superficie de las isóneas de 4.0 y 3.0 ml/L. Las iso-oxígenas de 1.0 ml/L se presentó centrada en 140 m en promedio. De Punta Falsa a San Juan de Marcona, la estructura de las iso-oxígenas de 1 ml/L y superior, mayormente presentó una pendiente positiva hacia la costa, desde 150 a 50 m frente a Punta Falsa, de 90 a 25 m frente a Chimbote, de 100 a 50 m para el Callao y, de 70 a 10 m frente a San Juan de Marcona, asociado con procesos de surgencia costera. El límite superior de la ZMO frente a Paita y San Juan se ubicó, en promedio, en los 125 y 50 m de profundidad, respectivamente, desde 220 m hasta 120 m frente a punta Falsa, de 100 a 70 m frente a Chimbote, y de 100 hasta 70 m frente a Callao (Figura 4 k-o).

Concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 5.0 ml/L se presentaron en los primeros 30 y 60 m frente a Arica y Antofagasta, con excepción de las primeras 10 m.n. próximas a la costa por sus concentraciones de 4.0 ml/L. Sólo las primeras 40 m.n. frente a Arica (18°25'S) presentaron concentraciones superiores a 6.0 ml/L. Frente a Arica y Antofagasta, las iso-oxígenas tuvieron pendientes positivas hacia la costa y la profundidad del límite superior de la ZMO en Arica estuvo presente a niveles menores de 30 m (costa-océano), mientras que en Antofagasta se profundizó desde 30 m en la costa hasta los 90 m a 100 m.n. de la costa (Figura 5 k-o).

3.4. Profundidad de la base de la termoclina oceánica y costera. De acuerdo con CPPS, 2024, la profundidad de la isoterma de 15 °C ($Z_{15^{\circ}\text{C}}$) mostró surgencia al sur de Paita, especialmente entre Chicama (7°41'S) y Pisco (13°S) así como al sur de Paposó (25°S), donde la isoterma de 15 °C se presentó a 10 m, irrumpiendo en la superficie. En sectores oceánicos por fuera de las 100-120 m.n. entre Punta Falsa y Arica, la $Z_{15^{\circ}\text{C}}$ se localizó por debajo de los 100 m de profundidad. Al oeste de las I. Galápagos y frente a la costa ecuatoriana la $Z_{15^{\circ}\text{C}}$ ocurrió a profundidades de 50 m. La $Z_{20^{\circ}\text{C}}$ presentó mayor profundidad (40 m) en el extremo norte del área de estudio, mientras que al oeste de las I. Galápagos se ubicó a niveles muy someros, indicativo de la surgencia ecuatorial.

3.5. Masas de agua. Durante el XXIV Crucero Regional ocurrieron masas de Agua Tropical Superficial (ATS) con un límite sur en Puerto Pizarro (3.5°S). Las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) con concentraciones entre 33.8 y 34.7 se localizaron entre Puerto Pizarro y Talara (4.6°S) en Perú. Las aguas propias del régimen costero de afloramiento ocurrieron al sur de Talara disminuyendo de Arica al sur. Hacia el oeste, entre Punta Falsa y Arica, ocurrieron las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) a distancias variables de la costa con concentraciones de sales superior a 35.1; el mayor acercamiento de esta masa de agua se presentó frente a la costa central del Perú y entre San Juan de Marcona y Arica. La distribución halina mostró grandes zonas de mezcla debido a una fuerte interacción entre las ACF y las ASS frente a Paita y Punta Falsa, al norte de Chimbote y al sur del Callao. A nivel subsuperficial se presentaron Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) con concentraciones entre 34.8 y 34.6 que fueron ascendiendo progresivamente hacia el sur. Núcleos característicos de masas de aguas subantárticas (ASAA) ocurrieron cerca a los 100 m de profundidad en 16°S, 21°S 22°S y 26°S. Las aguas intermedias antárticas (AIAA) se presentaron con concentraciones de 34.4 a 34.6 en el extremo sur del área de estudio mezclándose y atenuando sus concentraciones hacia el norte (CPPS, 2024). Según CPPS

(2024), el análisis de la estructura halina meridional indicó la presencia de cambios abruptos de la salinidad en la zona norte, con un mayor gradiente entre 4°S y 5°S asociado con la presencia del FE, las ACF y ASS con mayor concentración de sales. Hacia el sur, frente a la costa central del Perú, se presentaron aguas del oeste con concentraciones de 35.2. Un segundo sector con gradientes ocurrió entre 22°S y 24°S. Las mayores variaciones del campo halino se presentaron sobre los 50 m de profundidad, mientras que, a niveles más profundos, los cambios sustantivos ocurrieron al sur de 20°S. Finalmente, la simulación del modelo de ondas Kelvin ecuatoriales (OKE) forzado con anomalías del esfuerzo del viento ecuatorial superficial obtenidos del NCEP indicó el dominio de ondas Kelvin frías en los modos 1 y 2 durante los meses de septiembre y octubre 2021 y generando cambios en la estructura termohalina que favorecieron principalmente el enfriamiento de la estructura térmica, especialmente frente al Perú y norte de Chile (CPPS, 2024).

4. DISCUSIÓN

Las condiciones oceanográficas en el Pacífico oriental presentaron escenarios diferenciados durante la ejecución del crucero: frente a Ecuador ocurrió calentamiento anómalo asociado con la proyección al sur de la ubicación climatológica del FE, mientras que frente al Perú y zona norte de Chile fue característico el enfriamiento anómalo de hasta -3 °C (Chile y sector occidental de las I. Galápagos) y -4 °C (Chimbote) asociado con la presencia de vientos del sur y del sureste y el paso de ondas Kelvin de enfriamiento que favorecieron la presencia de procesos de surgencia intensos. Los comunicados oficiales N°09-2021 (ENFEN, 2021 a) y N°10-2021 (ENFEN, 2021 b) para la región El Niño 1+2 anticiparon de la presencia de enfriamiento anómalo de hasta -1 °C debido al arribo de ondas Kelvin frías entre octubre y noviembre de 2021.

Desde un punto de vista atmosférico, el núcleo del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) exhibió anomalías de +2 hPa (+7 hPa) para septiembre (octubre) y de +1 hPa frente a la costa de Perú y norte-centro de Chile (Imarpe, 2021b). Por otra parte, el campo de vientos en la zona ecuatorial oriental, al este de los 95°W, frente a Colombia y Ecuador, fue de intensidad moderada ($4.1 \text{ m/s} \leq VV \leq 6.8 \text{ m/s}$) con anomalías en el rango neutral ($\pm 1 \text{ m/s}$), mientras que, entre Paita y San Juan de Marcona, la intensidad del viento fue moderada y fuerte, con intensificación hacia el sur en octubre, favoreciendo la activación y permanencia de la surgencia costera frente a Perú (CPPS, 2024). El campo de viento durante el periodo de crucero mantuvo la componente sur-suroeste (Grendi et al; 2021), habitual de la zona norte de Chile (Shaffer *et al.*, 1997; Rutlant *et al.*, 2004; Correa-Ramírez *et al.*, 2012), con intensidad débil a moderada (>43 % en los registros 2020 y 2021) favorable para mantener la surgencia costera a lo largo de la costa, proceso que fue más intenso entre Pisagua y Paposó (19°40'S-25°S) considerando las bajas temperaturas y las concentraciones de oxígeno (<4 ml/L). En particular, en el sector costero de Mejillones (23°S) se presentó el viento de mayor intensidad >10 m/s y surgencia asociado con la topografía de la península (Fonseca & Farías 1987; Marín *et al.*, 1993; Letelier *et al.*, 2012).

Desde el punto de vista oceanográfico, la información de TSM del producto OSTIA indica que, de septiembre a octubre, el enfriamiento del mar se intensificó y, sobretudo, se extendió en amplitud frente a la costa norte de Chile, donde las ATSM ocurrieron en el rango neutral a frío leve, mientras que, desde el sur del Perú hasta Manta, el enfriamiento anómalo del mar se extendió en cobertura e intensidad asociado a la surgencia de las ACF y la proyección de aguas frías del norte peruano hacia el Ecuador geográfico, mientras que, a una escala pentadal, el máximo calentamiento anómalo ocurrió del 03-07 de septiembre y del 23-27 de octubre cuando las ATSM alcanzaron +4 °C y +3 °C, respectivamente (IMARPE, 2021 b, c). Por su parte, de julio a septiembre 2021, los indicadores climáticos de macroescala (Figura 6) como el Índice Niño Oceánico (ONI) y el Índice Multivariado ENOS (MEIv2) registraron en el primer caso magnitudes de -0.4, -0.5 y -0.7, respectivamente; mientras en el segundo, -1.53, -1.34 y -1.41. Estos valores indicaron la presencia de condiciones La Niña a partir de agosto en ambos casos (ENFEN, 2021; IMARPE, 2021a). A nivel regional, el Índice Costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014) indicó para el mismo periodo, magnitudes de -0.22 (julio), -0.36 (agosto) y -0.59 (septiembre) correspondientes a un escenario neutral; mientras que, para el Índice Multivariado de

Tumaco (IMT; Rodríguez-Rubio, 2013), se presentaron valores de -0.36, -0.88 y -1.44, indicando, según su definición, condiciones frías en un rango neutral.

Las series de tiempo de los índices climáticos LABCOS (Quispe & Vásquez, 2015), ITCP (Quispe-Ccalluari et al., 2016), IMT (Rodríguez-Rubio, 2013), ONI (Huang et al, 2017) y MEI.v2 indicaron valores para septiembre y octubre de 2021, una condición neutral cálida (LABCOS) y neutral fría (ITCP), mientras que, los índices de macroescala ONI y MEI.v2 indicaron condiciones frías La Niña. El IMT presentó también valores propios de una condición fría. La Cuenca Pacífica Colombiana entre enero y octubre del 2021, registró magnitudes de las anomalías coherentes con la variabilidad climática; los valores medidos para la TSM, nivel del mar, la temperatura del aire y la precipitación acumulada, variables que sirven como insumo para el cálculo del Índice Multivariado de Tumaco (IMT), catalogaron las condiciones de este periodo en neutrales. Finalizando el año, en el periodo comprendido entre noviembre del 2021 a enero del 2022, las condiciones océano-atmosféricas de la cuenca cambiaron, registrándose valores del IMT por debajo del promedio climatológico; clasificando estos tres meses con categoría F2, lo que los sitúa en una fase fría de ENOS. Sin embargo, rápidamente hubo un retorno a condiciones neutrales en febrero 2022, lo que no permitió cumplir con la persistencia necesaria (cinco trimestres consecutivos en condiciones frías) para catalogar definitivamente un episodio La Niña 2021-2022 en la zona sur de Pacífico colombiano. Los últimos dos valores del IMT calculados para febrero y marzo 2022, fueron de -1.02 y -0.64, con categoría F2, posicionándose nuevamente en una fase neutral en este punto geográfico. En conclusión, los índices locales refieren de la ocurrencia de condiciones neutras frías (Perú) y frías (Colombia) mientras que los índices de macroescala indicaron la presencia de condiciones frías La Niña (CPPS, 2024).

Las simulaciones numéricas de la propagación de ondas Kelvin ecuatoriales (IMARPE, 2021 e) indicaron el arribo de una onda Kelvin fría (modo 2) frente a Sudamérica en noviembre 2021 y una onda Kelvin fría (modo 1) en enero 2022 lo que favoreció la persistencia del escenario casi normal y levemente frío que finalmente ocurrió en el verano austral 2022.

5. CONCLUSIONES

- El crucero regional conjunto se realizó durante una fase fría La Niña a nivel de macroescala y condiciones neutras frías frente a Colombia, Perú y Chile.
- La componente atmosférica se acopló a condiciones relacionadas con un episodio frío y se observó que la componente meridional del viento estuvo intensificada, lo que favoreció las surgencias frente a las costas de Perú y Chile y al oeste de la isla Isabela en el archipiélago de Galápagos.
- Las condiciones superficiales fueron frías al sur de Paita y condiciones cálidas anómalas al norte de esta localidad. La TSM presentó valores entre 26 °C en el extremo norte frente a Esmeraldas, Ecuador y 14 °C entre Punta Hornos y Paposó (Chile), así como frente a San Juan de Marcona (Perú).
- El oxígeno disuelto presentó bajas concentraciones frente a Ecuador y en el sector costero peruano (4 a 4.5 ml/L) producto de las surgencias más intensas derivadas del proceso frío regional incrementándose hacia el sur y oeste. Al oeste de la I. Isabela (92°W), las concentraciones con valores de 6.06 ml/L estuvo asociado con la surgencia ecuatorial y procesos fotosintéticos.
- La columna de agua en el Pacífico Sudeste se caracterizó por tener valores de temperatura menores a 20 °C al sur de 2°S y por las condiciones de afloramiento de la isoterma de 15 °C al oeste de las I. Galápagos y frente a las costas de Perú y Chile, especialmente entre Chicama y Pisco (13°S) así como al sur de Paposó, donde la isoterma de 15 °C se presentó somera irrumpiendo en la superficie.
- Durante el XXIV Crucero Regional, la ocurrencia persistente de ondas Kelvin ecuatoriales frías contribuyó a modular el escenario frío de la corriente de Humboldt durante septiembre y octubre de 2021. La onda Kelvin cálida de septiembre 2021 no tuvo mayor efecto en las condiciones locales, con excepción de la zona sur de Ecuador y norte del Perú.

6. RECONOCIMIENTOS

The Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST) Multi-scale Ultra-high Resolution (MUR) Level 4 OSTIA Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (GDS version 2). The data were obtained from the NASA EOSDIS Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC) at the Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA (<http://dx.doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ01>).

The products from the MERCATOR OCEAN system distributed through the Marine Copernicus Service (<http://www.marine.copernicus.eu>).

The National Centers for Environmental Information (NCEI) for the use of World Ocean Atlas 2018 (WOA18) available at <https://www.ncei.noaa.gov/data/oceans/woa/WOA18/DATA/>.

El crucero regional oceanográfico en el PSE es una acción de la DGIOCC/Imarpe en el marco del Programa Presupuesto Por Resultados - PPR 068 El Niño “Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres” y su producto “Entidades Informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño” del IMARPE, Perú.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carpenter, J.H. 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanogr.*, 10:141-143.
- Correa D., Chamorro A., Tam J. (2020) Clasificación pentadal de vientos frente a la costa peruana, *Revista de Investigación de Física* 23(3).
- Correa-Ramírez, M., S. Hormazábal & C. Morales. 2012. Spatial patterns of annual and interannual surface chlorophyll-a variability in the Peru–Chile Current System. *Progress in Oceanography*, 92: 8-17.
- CPPS, 2003. Comisión Permanente del Pacífico Sur. Convenios, Acuerdos, Protocolos, Declaraciones, Estatuto y Reglamento de la CPPS, Guayaquil, Ecuador.
- CPPS, 2015. Protocolo del Uso del CTD Sea - Bird y Procesamiento de Datos. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 23 p.
- CPPS, 2021. Plan del XXIV Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico sudeste.
- CPPS, 2024. Informe Ejecutivo del Vigésimo Cuarto Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste: Condiciones Físicas y Químicas en el Océano Pacífico Sudoriental, en septiembre-noviembre de 2021, Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 31 p.
- Dewitte B., D. Gushchina, Y. du Penhoat 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.
- Domínguez, N., C. Grados, L. Vásquez, D. Gutiérrez, A. Chaigneau. Climatología termohalina frente a las costas del Perú. Periodo: 1981-2010. Volumen 44, Número 1, Enero - Marzo 2017. *Inf. Inst. Mar Perú* 44(1).
- Donlon, C. J, M. Martin, J. Stark, J. Roberts-Jones, E. Fiedler, W. Wimmer, 2012. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system. *Remote Sen. Env.*, 116, 140-158.
- ENFEN, 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. <http://www.imarpe.gob.pe>.
- ENFEN, 2021 a. Comunicado Oficial ENFEN No. 09-2021, 13 de setiembre 2021. <http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-09-2021/?wpdmdl=1672&ind=1631564214768>
- ENFEN, 2021 b. Comunicado Oficial ENFEN No. 10-2021, 14 de octubre 2021. <http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-10-2021/?wpdmdl=1675&ind=1634240144322>

- Fonseca, T.R. & M. Farías. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Investigaciones Pesqueras* 34:33-46.
- Grendi, C., M. Pizarro, A. Bustamante, Ú. Cifuentes, J. Bonicelli y H. Reyes (2021). Informe ejecutivo nacional del Vigésimo Cuarto Crucero Regional Conjunto de Investigación oceanográfica en el Pacífico sudeste. B/I Abate Molina, 22 de septiembre – 22 de octubre, 2021. Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente/Instituto de Fomento Pesquero. Informe interno.
- 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.
- IMARPE, 2021 a. Informe del Crucero de Investigación Hidroacústica de los principales recursos pelágicos, 22 de septiembre-05 de noviembre, 2021. Informe Interno.
- IMARPE, 2021 b. Diagnóstico Oceanográfico y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú. Julio 2021. Grupo Institucional El Niño. Instituto del Mar del Perú. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2214255/Informe_GTI_julio_2021.pdf
- IMARPE, 2021 c. Diagnóstico Oceanográfico y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú. Agosto 2021. Grupo Institucional El Niño. Instituto del Mar del Perú. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2382066/Informe_GTI_agosto.pdf
- IMARPE, 2021 d. Diagnóstico Oceanográfico y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú. Setiembre 2021. Grupo Institucional El Niño. Instituto del Mar del Perú. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2510636/Informe_GTI_setiembre.pdf
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.
- Kobayashi S, Ota Y, Harada Y, Ebata A, Moriya M, Onoda H, Onogi K, Kamahori H, Kobayashi C, Endo H, Miyaoka K, Takahashi K (2015) The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics. *J Meteor Soc Jpn* 93:5–48.
- Lellouche, J.-M., Le Galloudec, O., Drévilion, M., Régnier, C., Greiner, E., Garric, G., Ferry, N., Desportes, C., Testut, C.-E., Bricaud, C., Bourdallé-Badie, R., Tranchant, B., Benkiran, M., Drillet, Y., Daudin, A., and De Nicola, C.: Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan, *Ocean Sci.*, 9, 57-81, 2013.
- Letelier, J., L. Soto-Mardónes, S. Salinas, L. Vicenti, R. Pávez & M. Arriagada. 2012. Influencia de la península de Mejillones en la variabilidad oceanográfica anual e interanual frente al norte de Chile. *Rev. Bio. Mar. y Océ.* 47(3), 513-526.
- Locarnini, R.A., A.V. Mishonov, O.K. Baranova, T.P. Boyer, M.M. Zweng, H.E. Garcia, J.R. Reagan, D. Seidov, K.W. Weathers, C.R. Paver, and I.V. Smolyar (2019). *World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature*. A. Mishonov, Technical Editor. NOAA Atlas NESDIS 81, 52pp
- Marín, V., L. Rodríguez, L. Vallejo, J. Fuenteseca & E. Oyarce. 1993. Dinámica primaveral de la productividad primaria de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 66: 479-491.
- 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.
- Pujol, M.-I., Faugère, Y., Taburet, G., Dupuy, S., Pelloquin, C., Ablain, M., and Picot, N.: DUACS DT2014: the new multi-mission altimeter data set reprocessed over 20 years, *Ocean Sci.*, 12, 1067-1090, doi:10.5194/os-12-1067-2016, 2016.
- 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, 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 Carlos, Tam Jorge, Cinthia Arellano, Chamorro Adolfo, Espinoza-Morriberón Dante, Romero Carlos, Ramos Jorge (2017). Desarrollo y aplicación de índices y simulaciones para vigilancia y el pronóstico a mediano plazo del impacto del ENOS frente a la costa peruana. Informe Instituto del Mar de Perú, Vol 44(1): 18-34.
- Rodríguez-Rubio, E. A multivariate climate index for the western coast of Colombia. *Adv. Geosci.*, 33, 21-26, 2013. www.adv-geosci.net/33/21/2013/, doi:10.5194/adgeo-33-21-2013.
- Rojas, R. & N. Silva. 1996. Atlas Oceanográfico de Chile (18°21'S - 50°00'S). Volumen I. S.H.O.A. 234 pp.
- Rutlant, J.A., B. Rosenbluth & S. Hormazabal. 2004. Intraseasonal variability of wind-forced coastal upwelling off central Chile (30°S). *Continental Shelf Research*, 24(7-8): 789-804.
- Schaeffer P., I. Pujol, Y. Faugere, A. Guillot, N. Picot, The CNES CLS 2015 Global Mean Sea surface. Presentation OSTST 2016, http://meetings.avis.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/tx_ausyclsseminar/files/GEO_03_Pres_OSTST2016_MSS_CNES_CLS2015_V1_16h55.pdf (last access 2023/10/01).
- Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2020.
- Shaffer, G., O. Pizarro, L. Djurfeldt, S. Salinas. & J. Rutlant. 1997. Circulation and low-frequency variability near the Chilean coast: Remotely forced fluctuations during the 1991–92 El Niño. *Journal of Physical Oceanography*, 27(2): 217-235.
- 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.igpp.gob.pe/publicaciones/2014/EINiño_v2_27_03_2014_7.pdf.
- UK Met Office, 2012. GHRSSST Level 4 OSTIA Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (GDS version 2). Ver. 2.0. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [YYYY-MM-DD] at <http://dx.doi.org/10.5067/GHOST-4FK02>.
- UNESCO, 1981. The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. UNESCO Technical Paper on Marine Sciences, 36 pp.
- Vera, L, F. Hernández-Vaca, S. Recalde y S. Nativí (2021). Informe científico preliminar de las condiciones océano-atmosféricas monitoreadas en el crucero B.A.E. Orión CO-I-2021. Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador/Ministerio de Defensa Nacional. Informe Interno.
- 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.
- Zweng, M. M., J. R. Reagan, D. Seidov, T. P. Boyer, R. A. Locarnini, H. E. Garcia, A. V. Mishonov, O. K. Baranova, K. Weathers, C. R. Paver, and I. Smolyar, 2018. *World Ocean Atlas 2018, Volume 2: Salinity*. A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 82, 50pp.

8. FIGURAS

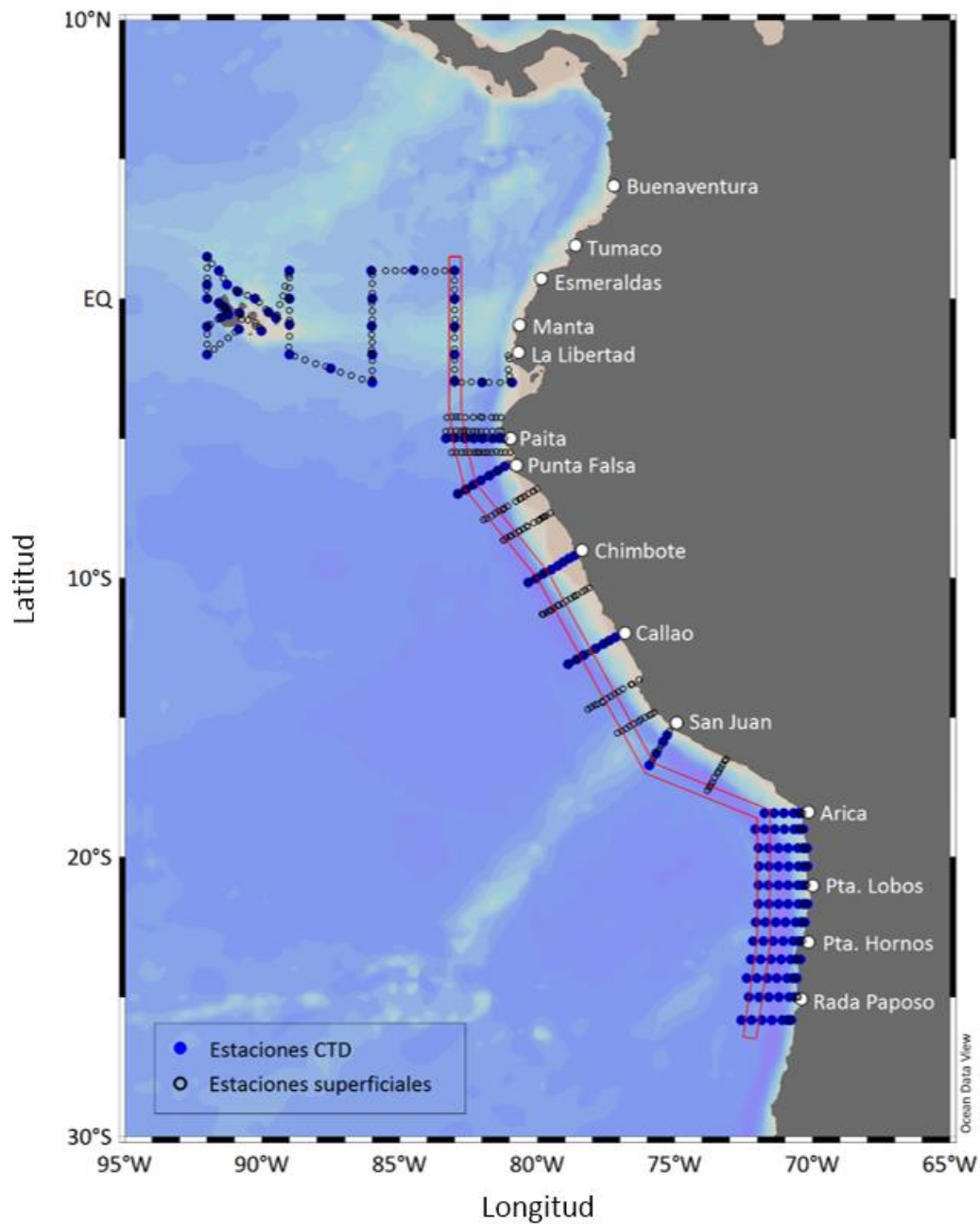


Figura 1. Mapa de las estaciones realizadas durante el XXIV Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el océano Pacífico sudeste ejecutado del 22 de septiembre al 16 de noviembre de 2021. La banda de color rojo identifica las estaciones seleccionadas a ~100 km de la costa sudamericana empleadas en la construcción de la estructura termohalina y del contenido de oxígeno frente a Sudamérica.

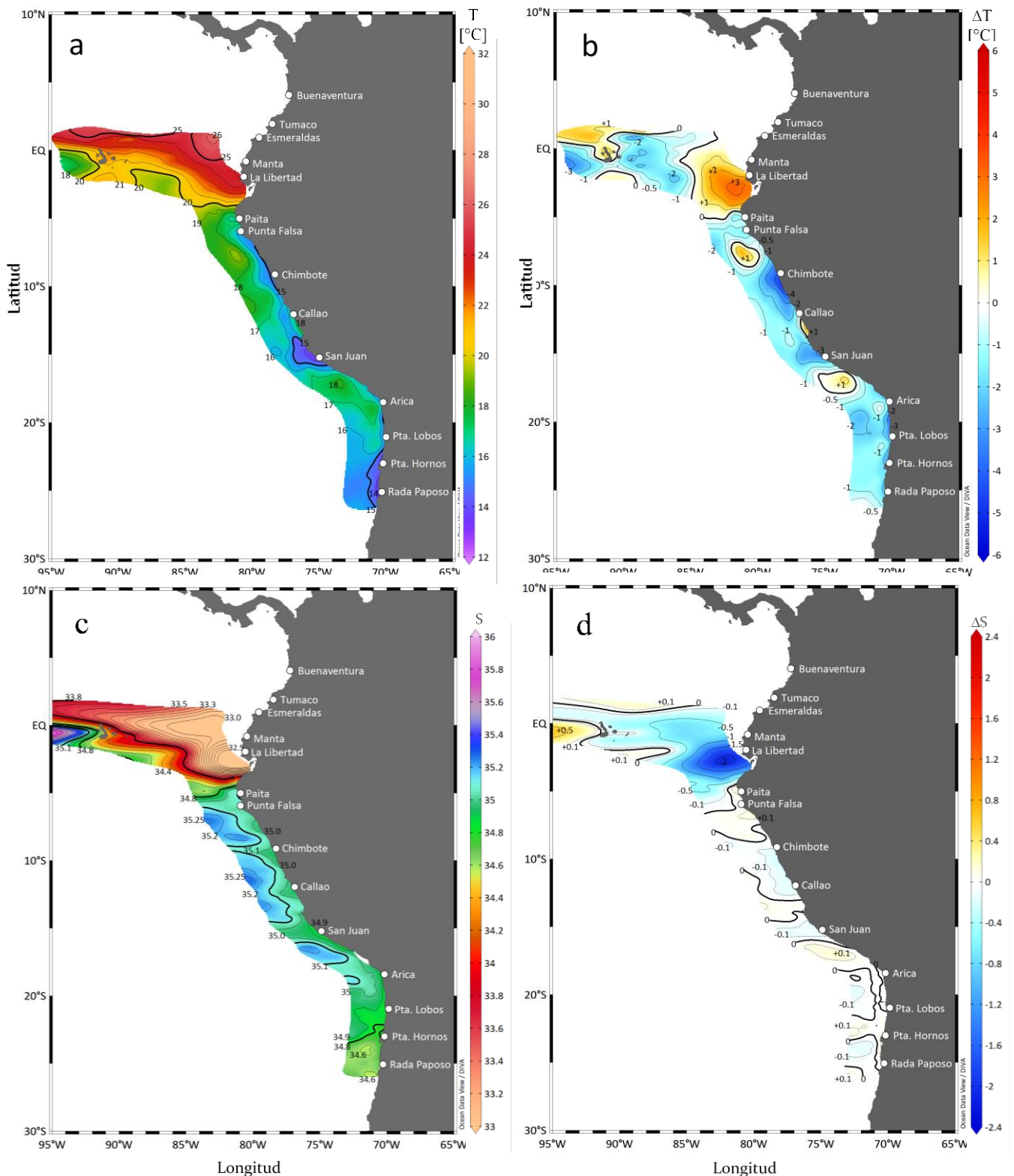


Figura 2. Distribución de la a) Temperatura superficial del mar [°C], b) Anomalía de la temperatura superficial del mar [°C], c) Salinidad superficial del Mar y d) Anomalía de la salinidad superficial del mar, durante el XXIV Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el océano Pacífico sudeste ejecutado del 22 de septiembre al 16 de noviembre de 2021. Las anomalías térmicas se estimaron de acuerdo a la climatología de WOA (2018). Los matices de colores empleados, en ambos casos, se presentan a la derecha de los gráficos.

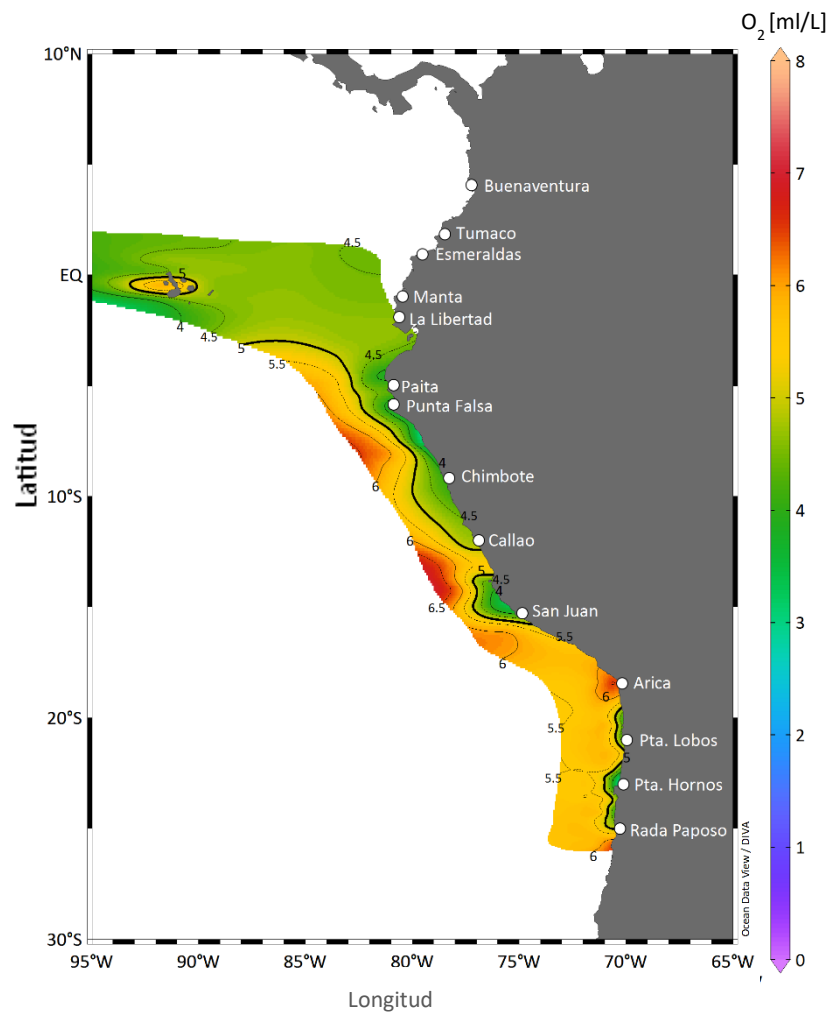


Figura 3. Concentración del oxígeno disuelto en la superficie del mar [ml/L] durante el XXIV Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el océano Pacífico sudeste ejecutado del 22 de septiembre al 16 de noviembre de 2021. Los matices de colores empleados se presentan a la derecha de la figura.

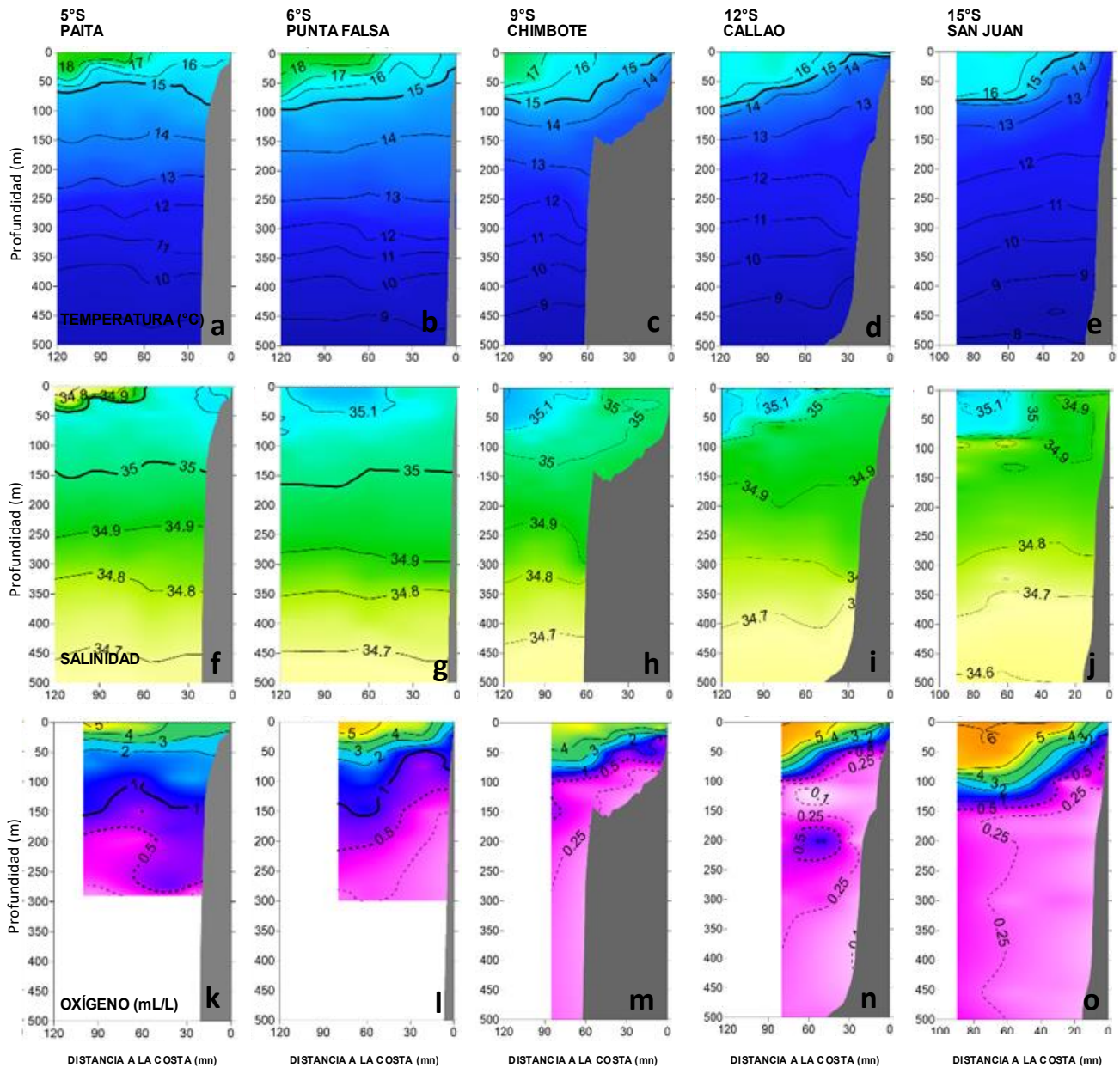


Figura 4. Distribución vertical de la temperatura (superior), salinidad (al centro) y oxígeno disuelto (inferior) frente la localidad de a, f, k) Paita (24-25 de septiembre), b, g, l) Punta Falsa (26-27 de septiembre), c, h, m) Chimbote (04-05 de octubre), d, i, n) Callao (12-13 de octubre) y e, j, o) San Juan de Marcona (22-23 de octubre), durante el XXIV Crucero CPPS realizado en el año 2021.

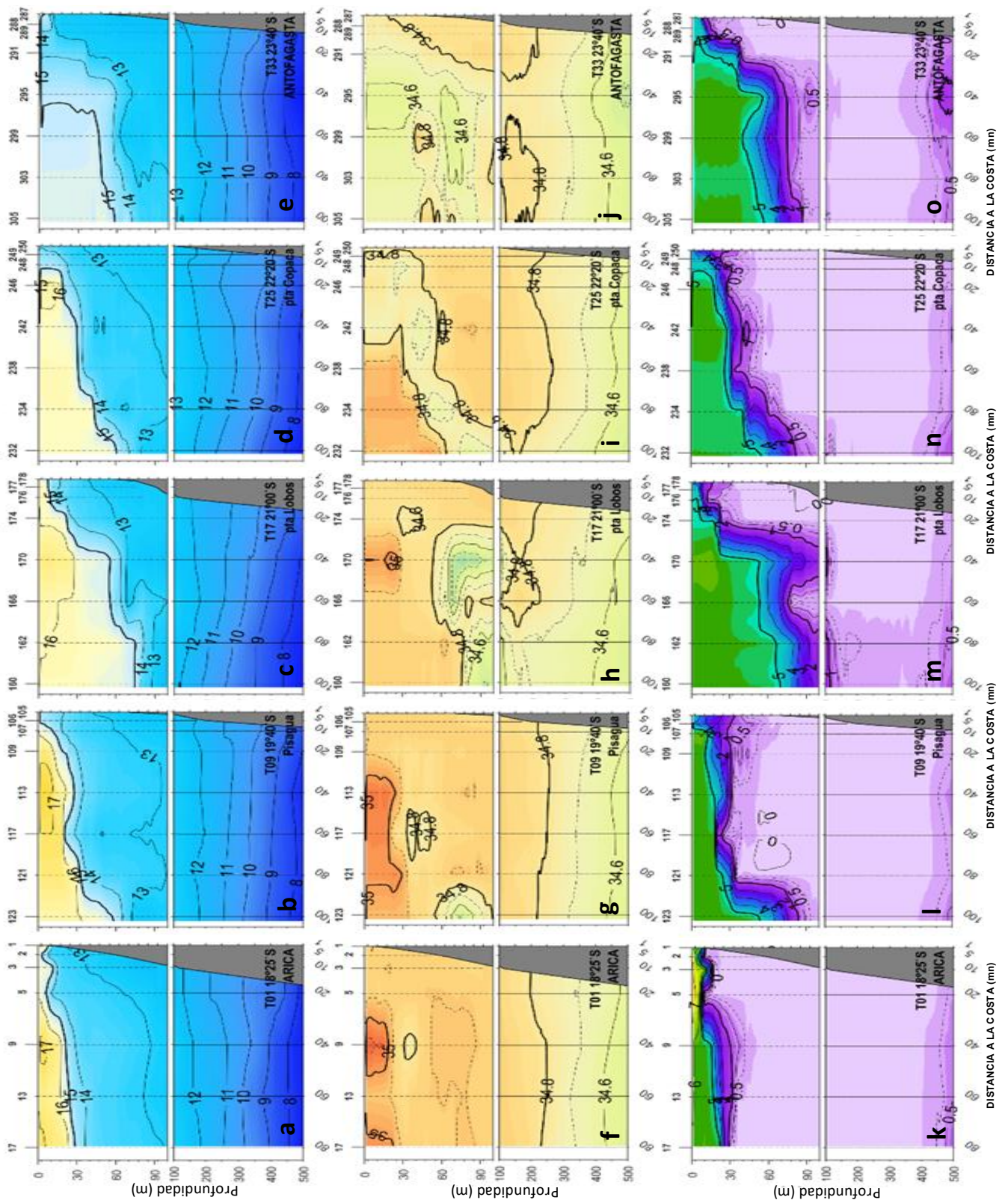


Figura 5. Distribución vertical de la temperatura (superior), salinidad (al centro) y oxígeno disuelto (inferior) frente la localidad de a, f, k) Arica, b, g, l) Pisagua, c, h, m) punta Lobos, d, i, n) punta Copaca y e, j, o) Antofagasta, durante el XXIV Crucero CPPS realizado en septiembre-octubre 2021.

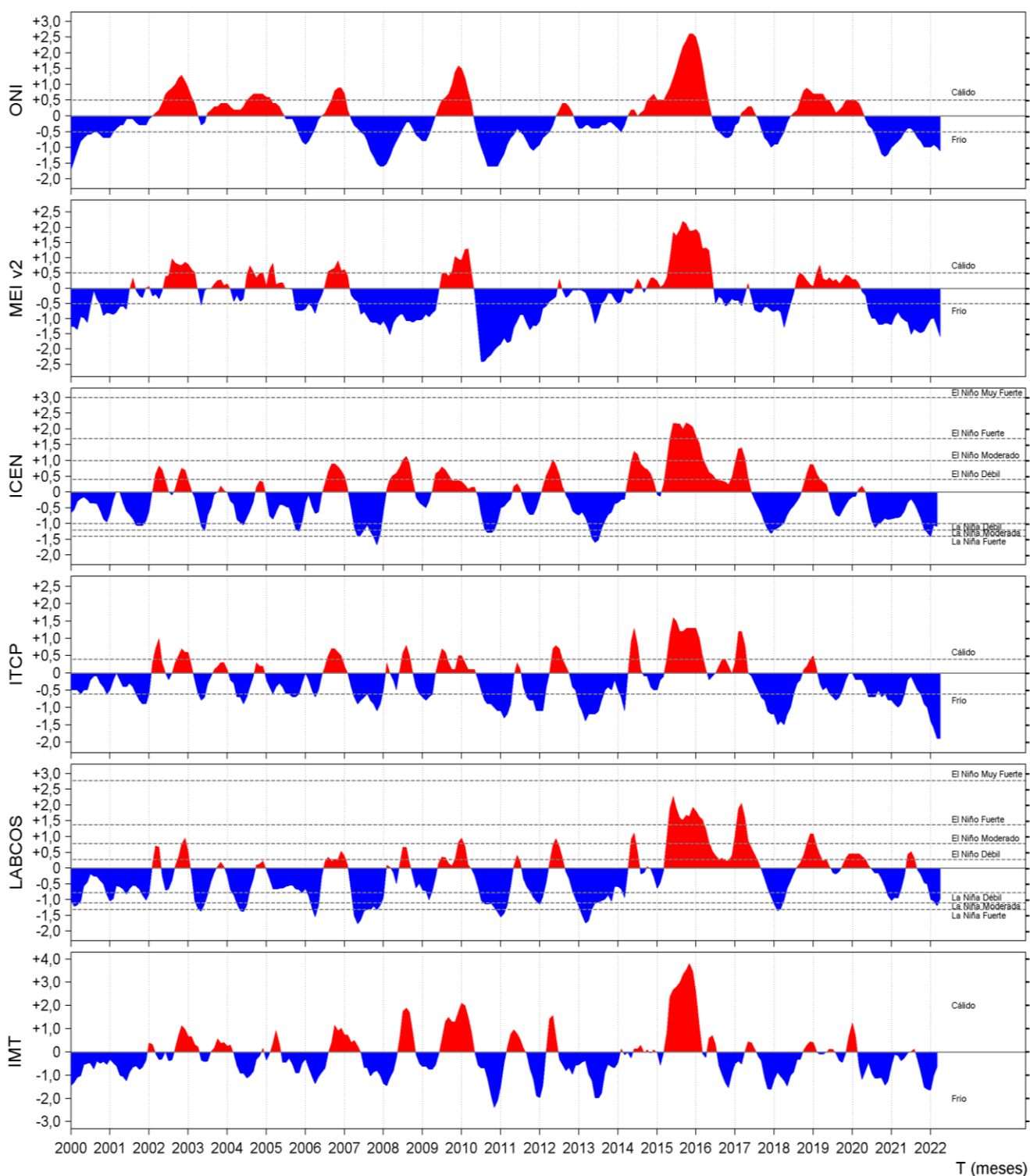


Figura 6. Series de tiempo de los índices climáticos a) Índice Niño Oceánico (ONI; Huang et al., 2017), b) Índice Multivariado de ENOS (MEI v2; Wolter y Timlin (1993, 1998 y 2011) y Kobayashi et al., 2015), c) Índice Costero El Niño (ICEN; Takahashi et al., 2014), d) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP; Quispe et al., 2016), e) Índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015) e f) Índice Multivariado de Tumaco (IMT; Rodríguez-Rubio, 2013), respectivamente, desde el año 2000.