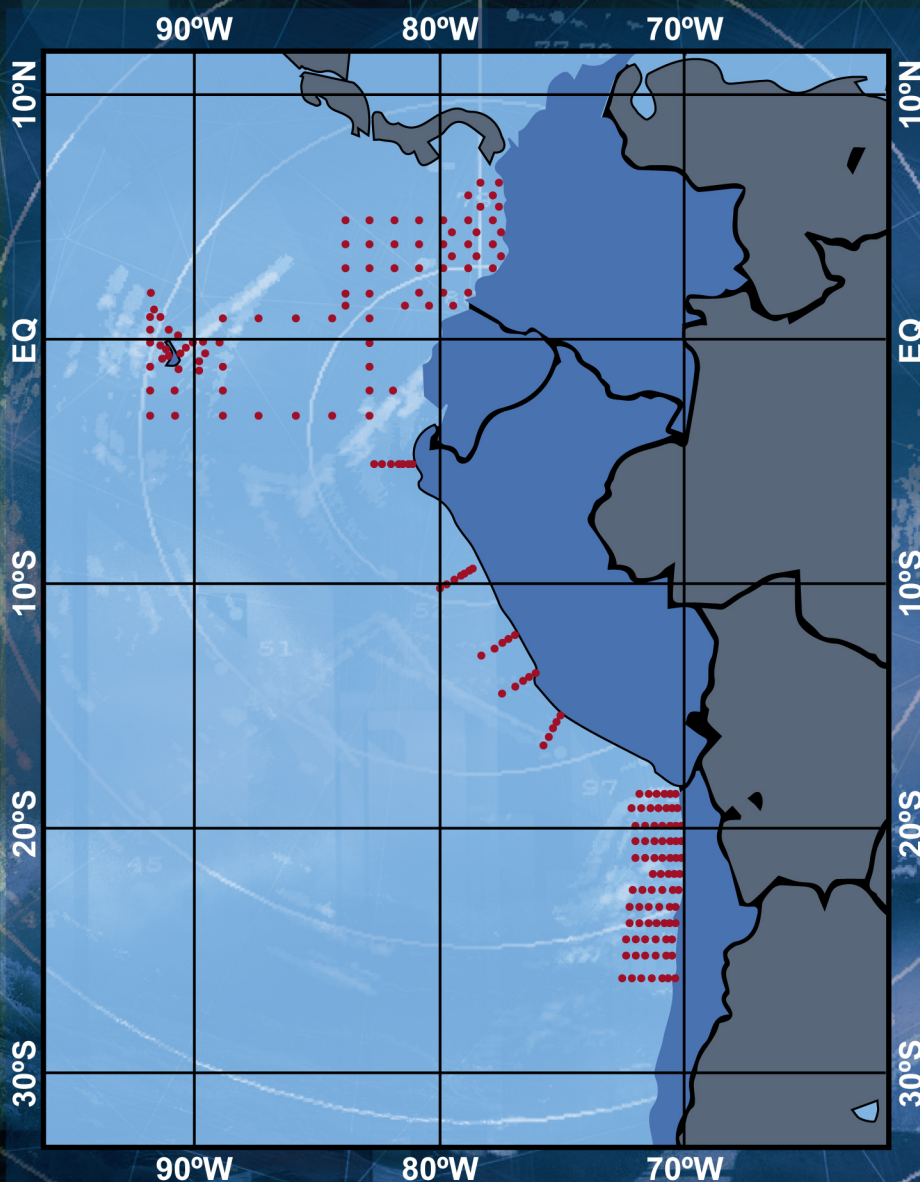


## Informe Final del Vigésimo Tercer Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste



Condiciones oceánicas y atmosféricas en el océano Pacífico  
tropical oriental en septiembre y octubre de 2020

**Nota de responsabilidad:**

Este documento ha sido preparado por investigadores del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP) de la Dirección General Marítima (DIMAR), del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y del 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

www.cpps-int.org

Guayaquil, Ecuador

Para efectos bibliográficos se sugiere citar este documento de la siguiente manera:

Comité Coordinador de los Cruceros Regionales Conjuntos de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste, 2022. Informe Final del Vigésimo Tercer Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste: Condiciones océano-atmosféricas en el océano Pacífico tropical oriental en septiembre y octubre de 2020. Comisión Permanente del Pacífico Sur-CPPS. Guayaquil, Ecuador.

**Autores:**

Leonor Vera San Martín, Ana Caicedo Laurido, Hernán Reyes, Catherine Grendi Celedón, Úrsula Cifuentes Ojeda, Tomas Berger Muñoz, Adrián Bustamante Maino, Freddy Hernández-Vaca.

**Fotos en la portada:**

Fondo: EugeneSergeev / 123RF

Mapa: Propio (distribución de las estaciones)

ISBN: 978-9942-8980-3-6



© 2022 CPPS

Guayaquil, Ecuador

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

Condiciones oceánicas y atmosféricas en el océano Pacífico  
tropical oriental en septiembre y octubre de 2020

CPPS-2022



# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>II ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
<b>III OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>6</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>6</b>
<b>IV DATOS Y MÉTODOS</b>	<b>6</b>
<b>4.1. ÁREA Y PERÍODO DE ESTUDIO</b>	<b>6</b>
<b>4.2. DATOS DE CRUCERO</b>	<b>7</b>
<b>V ESCENARIO METEOROLÓGICO Y OCEANOGRÁFICO REGIONAL Y DE MACROESCALA</b>	<b>8</b>
<b>VI RESULTADOS</b>	<b>9</b>
<b>6.1. VIENTOS</b>	<b>9</b>
<b>6.2. MASAS DE AGUA</b>	<b>10</b>
<b>6.3 CARÁCTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS SUPERFICIALES</b>	<b>11</b>
6.3.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR	11
6.3.2. SALINIDAD SUPERFICIAL DEL MAR	11
6.3.3. OXÍGENO DISUELTO SUPERFICIAL DEL MAR	12
<b>6.4. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS EN LA COLUMNA DE AGUA</b>	<b>12</b>
6.4.1. SECCIONES OCEANOGRÁFICAS PARALELAS AL PERFIL COSTERO	12
6.4.2. SECCIONES OCEANOGRÁFICAS PERPENDICULARES AL PERFIL COSTERO	13
6.4.3. TOPOGRAFÍA DE LAS ISOTERMAS DE 20° Y 15°C	15

VII	DISCUSIÓN	15
VIII	CONCLUSIONES	16
IX	RECONOCIMIENTOS	17
X	REFERENCIAS	17
	ANEXOS	55

# FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Distribución de las estaciones oceanográficas monitoreadas durante el XXIII Crucero Regional Conjunto en el Pacífico Sudeste para el período comprendido entre septiembre-octubre de 2020.	23
<b>Figura 2.</b>	Series de tiempo de índices climáticos: a) Índice Niño Oceánico (ONI), b) Índice Multivariado ENOS (MElv2), c) Índice Costero El Niño (ICEN), d) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), e) Índice LABCOS y f) Índice Multivariado Tumaco (IMT).	24
<b>Figura 3.</b>	a) Serie de tiempo del índice ONI de la región Niño 1+2 y; gráficos Hovmöller de la ATSM (°C) entre 6°N y 26°S del 2015 al 2020: b) Desde la costa hasta 56 km, c) Desde 74 km a 343 km de la costa y, d) Desde 1°N a 2°S y desde 89°O a 93°O (archipiélago de Galápagos). Fuente: Programa Ocean Color Web, del satélite MODIS-Aqua ( <a href="http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/">http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/</a> ). La anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) se estimó mediante la sustracción de la señal anual del periodo julio 2002-octubre 2020 a los datos mensuales de la serie.	25
<b>Figura 4.</b>	Presión atmosférica a nivel del mar y sus anomalías para a, c) septiembre y b, d) octubre, respectivamente. Fuente: NCEP/NOAA.	26
<b>Figura 5.</b>	Vientos superficiales (flechas negras), climatología de vientos (flechas amarillas) y magnitud de la anomalía (gama de colores) para a) septiembre y b) octubre de 2020. Climatología: 1991 - 2020. Fuente: Daily ASCAT global wind field y Quikscat.	27
<b>Figura 6.</b>	a) Serie de tiempo del Índice ONI y gráficos Hovmöller de las componentes del viento b) meridional (0 – 56 km) y c) zonal (6°N y 6°S y 90°O - 75°O). Fuente: Dos productos de datos de IFREMER CERSAT disponible a través de Copernicus. El cambio de los datos utilizados se representa con una línea vertical gruesa centrada en enero de 2018.	28
<b>Figura 7.</b>	Velocidad (m/s) y dirección del viento en la superficie del mar registrado durante la ejecución del XXIII Crucero Regional Conjunto	29
<b>Figura 8.</b>	Diagrama T-S y masas de agua durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. Los puntos negros representan al par de valores de temperatura y salinidad promedio de las masas de agua identificadas: Agua Tropical Superficial (ATS), AES (Agua Ecuatorial Superficial), Agua Subtropical Superficial (ASTS), Agua Costera Fría (ACF), Agua Subantártica (ASA), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y Agua Intermedia Antártica (AIA). La escala de colores a la derecha representa la profundidad.	30
<b>Figura 9.</b>	a) Temperatura Superficial del Mar (°C) y b) Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (°C) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. Las anomalías térmicas se estimaron con la climatología de Baranova et al., 2019 y Boyer et al., 2018.	31
<b>Figura 10.</b>	a) Salinidad Superficial del Mar y b) Anomalía de la Salinidad Superficial del Mar durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. Las anomalías se estimaron de acuerdo a Zweng et al., 2018 y Boyer et al., 2018.	32
<b>Figura 11.</b>	Oxígeno disuelto superficial del mar (ml/L) para el periodo septiembre-octubre de 2020 durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste.	33

<b>Figura 12.</b>	Estructura vertical paralela al perfil costero de Colombia, Ecuador, Perú y Chile durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	34
<b>Figura 13.</b>	Estructura vertical en la sección 89°O, desde 1°N hasta 3°S durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.	35
<b>Figura 14.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Bajo Baudó (5°N), Colombia, durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.	36
<b>Figura 15.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Buenaventura (4°N), Colombia, durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	37
<b>Figura 16.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Gorgona (3°N), Colombia, durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.	38
<b>Figura 17.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Tumaco (2°N) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.	39
<b>Figura 18.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Paita (5°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	40
<b>Figura 19.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Chimbote (9°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	41
<b>Figura 20.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Callao (12°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	42
<b>Figura 21.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a San Juan (15°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	43
<b>Figura 22.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Arica (18.5°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	44

<b>Figura 23.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Punta Junín (19.7°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	45
<b>Figura 24.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a 21°S durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	46
<b>Figura 25.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Punta Copaca (22.33°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	47
<b>Figura 26.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Antofagasta (23.7°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	48
<b>Figura 27.</b>	Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Paposó (25°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.	49
<b>Figura 28.</b>	Profundidad de la isoterma de 20°C durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020.	50
<b>Figura 29.</b>	Profundidad de la isoterma de 15°C durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020.	51



## CONDICIONES OCÉANO-ATMOSFÉRICAS EN EL OCÉANO PACÍFICO TROPICAL ORIENTAL EN SEPTIEMBRE Y OCTUBRE DE 2020

### Vigésimo Tercer Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste

13 de septiembre – 30 de octubre, 2020

## RESUMEN

El Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el océano Pacífico Sudeste (PSE) es una iniciativa del Comité Científico regional del programa para el “Estudio Regional del Fenómeno El Niño” (CCR-ERFEN) de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Se sustenta en investigaciones institucionales con una visión multidisciplinaria hacia la variabilidad climática y la gestión del riesgo de desastres.

El XXIII Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta fue realizado entre el 13 de septiembre y 30 de octubre de 2020 a bordo de buques oceanográficos con el objetivo de documentar las condiciones oceanográficas (físicas, químicas y biológicas) y atmosféricas en el PSE. El contexto regional y local se analizó mediante el procesamiento de información de fuentes directas en la columna de agua hasta una profundidad de 1000 m en el dominio comprendido entre 6.5°N (Cuenca Pacífica Colombiana) y 26°S (Chile) y desde el margen costero de Sudamérica hasta 93°O (oeste de las Galápagos), así como de fuentes complementarias de libre acceso.

El crucero regional se realizó en un contexto oceanográfico regional con valores de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) menor a la climatológica en el Pacífico Ecuatorial Central y con la presencia de vientos superficiales meridionales fortalecidos en la región oceánica de del PSE, ambos factores asociados al desarrollo de un escenario La Niña.

El análisis de la información recolectada durante el crucero, complementada con datos de acceso libre, permitió describir el escenario atmosférico (viento y presión) y oceanográfico entre septiembre y octubre de 2020, determinar las condiciones imperantes y prever el posible desarrollo de un evento El Niño-Oscilación Sur (ENSO) en el primer trimestre de 2021.

Durante el crucero, el viento de dirección predominante sur favoreció la surgencia frente a las costas de Perú y Chile, así como al oeste de la isla Isabela en el archipiélago de Galápagos. La distribución de la temperatura, salinidad y oxígeno en la superficie evidenció la presencia de Agua Tropical Superficial (ATS) al norte del Frente Ecuatorial (FE) y Agua Ecuatorial Superficial (AES) al sur de Paita. La profundidad de la isoterma de 20 °C se localizó en la superficie en el mar ecuatorial y hasta los 50 m frente a Colombia. Por su parte, la profundidad de la base de la termoclina costera (Z15) estuvo entre 20 y 30 m al oeste de Galápagos y frente a las costas de Perú y Chile. La Z20 en superficie en el mar ecuatorial es propio de esta época, por el ingreso

de agua de menor temperatura desde el sur, por su parte la Z15 se relacionó con zonas de surgencia y afloramiento al oeste de las I. Galápagos y frente a las costas de Perú y Chile.

Las características ambientales frías a lo largo de la costa sudamericana entre Colombia y el norte Chile son el resultado del efecto de la fase fría (La Niña) del evento ENOS.

**PALABRAS CLAVE:** Pacífico Sudeste, océano Pacífico Tropical, masas de agua, condiciones termohalinas, Frente Ecuatorial.

## ABSTRACT

The Joint Regional Oceanographic Research Cruise in the Southeast Pacific Ocean (SPO) is an initiative of the Regional Scientific Committee of the program for the "Regional Study of the El Niño Phenomenon" (CCR-ERFEN, by its acronym in Spanish) of the Permanent Commission of the South Pacific. It is based on institutional research with a multidisciplinary vision toward climate variability and disaster risk management.

The XXIII Regional Oceanographic Joint Research Cruise was carried out between September 13 and October 30, 2020, onboard oceanographic vessels. The goal was to document the oceanographic (physical, chemical, and biological) and atmospheric conditions in the SPO. The regional and local context was analyzed by processing information from direct sources in the water column up to a depth of 1000 m in the domain between 6.5°N (Colombian Pacific Basin) and 26°S (Chile) and from the margin coast of South America up to 93°W (west of the Galapagos), as well as complementary sources of free access.

The regional cruise was carried out in a regional oceanographic context with values of the Sea Surface Temperature (SST) lower than the climatological condition in the Central Equatorial Pacific and with the presence of strengthened southern surface winds in the oceanic region of the SPO, both factors associated to the development of a La Niña scenario.

The analysis of the information collected during the cruise, supplemented with free access data allowed to describe the atmospheric (wind and pressure) and oceanographic scenario between September and October 2020, determine the prevailing conditions, and predict the possible development of an El Niño-Southern Oscillation (ENSO) in the first quarter of 2021.

During the cruise, the prevailing southerly direction wind favored upwelling off the coasts of Peru and Chile, as well as west of Isabela Island in the Galapagos archipelago. The distribution of temperature, salinity and oxygen on the surface showed the presence of Tropical Surface Water (TSW) north of the Equatorial Front (FE) and Surface Equatorial Water (ESA) south of Paita. The depth of the 20 °C isotherm was located at the surface in the Ecuadorian sea and up to 50 m off Colombia. For its part, the depth of the base of the coastal thermocline (Z15) was between 20 and 30 m west of Galapagos and off the coasts of Peru and Chile. The Z20 on the surface in the Ecuadorian sea is typical of this time, due to the entry of water of lower temperature from the south, for its part, the Z15 was related to upwelling and outcropping zones to the west of the I. Galápagos and in front of the coasts of Peru and Chile.

The cold environmental characteristics along the South American coast between Colombia and northern Chile are the result of the effect of the cold phase (La Niña) of the ENSO event.

**KEYWORDS:** South East Pacific, Tropical Pacific Ocean, Water Mass, Termohaline conditions, Equatorial Front.

# I | INTRODUCCIÓN

El evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un modo de variabilidad climática interanual, que en su fase cálida (fría), incide en el (la) aumento (disminución) de la temperatura del agua superficial del mar (TSM) y modifica la ubicación de las masas de aguas en gran parte del Océano Pacífico Tropical (OPT). Para el diagnóstico del ENSO, entre otros, se han establecido índices operacionales, como el ONI (Índice Oceánico El Niño (Trenberth, 1997)), basado en información oceanográfica del Pacífico Ecuatorial Central (Niño 3.4); el IOS (Índice de Oscilación Sur) y el MEI (Índice Multivariado El Niño), fundamentados en información oceanográfica y meteorológica del Pacífico Tropical. Estos índices permiten observar la evolución de condiciones oceanográficas-atmosféricas hacia eventos ENOS cálido, frío o neutral. Asimismo, se han desarrollado modelos dinámicos y estadísticos para prevenir la ocurrencia de ENOS, y que en su mayoría se concentran en región del OPT.

En este contexto, la Comisión Permanente del Pacífico Sur, en 1974, en coordinación con los países miembros (Colombia, Ecuador, Perú y Chile), implementó el Programa ERFEN, con el propósito de observar, comparar y analizar la información oceanográfica, meteorológica y su variabilidad en el marco del proceso de interacción oceánica-atmosférica ENOS.

Con el soporte observacional de las instituciones participantes del Programa ERFEN y bajo la coordinación de la CPPS, en el año 1998 se realizó el primer Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste, iniciativa del Programa ERFEN para conmemorar el Año Internacional de los Océanos. A partir de esa fecha, se estableció la ejecución anual de cruceros científicos conjuntos, con la finalidad de evaluar, caracterizar y anticipar la evolución de las condiciones oceanográficas y atmosféricas en la región.

Para analizar de manera apropiada las condiciones oceanográficas-meteorológicas, que podrían desencadenar eventos ENOS, y asesorar, con pronósticos oportunos, a los tomadores de decisión para una reacción temprana, las expediciones se realizan entre septiembre y noviembre de cada año. De esta manera, las alertas pueden ser emitidas para los primeros meses del año, cuando se haya identificado, la probable ocurrencia de un evento ENOS.

Este informe presenta el análisis del escenario atmosférico y oceanográfico en el PSE entre septiembre y octubre de 2020, fundamentado en la información recopilada en los cuatro cruceros de los Estados Miembros y de acceso libre.

La información de las embarcaciones participantes y del personal que realizó los trabajos a bordo se encuentran descritos en la tabla del Anexo y en CPPS (2021).

## II | ANTECEDENTES

Durante El Niño 2015-2016 el ONI tuvo valores de un episodio cálido extremo, que fueron iguales o superaron los 2.5 °C de anomalía positiva en sus trimestres más intensos (centrados en noviembre/2015, diciembre/2020 y enero/2016). A partir de 2017, se observaron alternancias de eventos fríos y cálidos, con el ONI en el rango de 0.9 °C a -1.3 °C. Desde el trimestre julio-septiembre/2020, el ONI estuvo dentro del umbral La Niña, hasta el trimestre abril-mayo-julio/2021 (Climate Prediction Center (CPC), s.f.).

El índice de Oscilación del Sur (IOS) (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products>) en noviembre y diciembre de 2019 mantuvo valores negativos (CCR-ERFEN, 2019a, 2019b). Posteriormente se ubicó en el rango neutral hasta julio de 2020 (2020a). Desde septiembre 2020 en adelante (CCR-ERFEN, 2020b, 2020c y 2020d) presentó valores positivos, que se asocian a eventos fríos en el Pacífico ecuatorial.

Durante el verano austral del 2020, en el Pacífico ecuatorial, la TSM fue superior al promedio histórico. La anomalía de TSM en las regiones Niño 3.4 y Niño 3, variaron entre neutrales y 0.6 °C; mientras que en las regiones Niño 4 y Niño 1+2, la anomalía fue superior alcanzando valores de hasta 1.2 °C. Así mismo, en la región ecuatorial se evidenció ATSM positiva de hasta 4 °C en la en la capa superficial de 0 a 150 m y entre 180° y 100°O, aunque la temperatura mostró una tendencia a disminuir en marzo. Por su parte, la probabilidad pronosticada y verificada desde abril a junio de 2021, fue del 60 % de condiciones ENOS neutrales- (CPC & International Research Institute for Climate and Society (IRI), 2020a, 2020b y 2020c).

En abril 2020 se identificaron anomalías térmicas positivas debilitadas, y disminución en los valores del ONI y en los índices de las regiones Niño. El ONI disminuyó 0.2 °C. En la subsuperficie de la región ecuatorial, la temperatura del mar se mantuvo bajo el promedio, con una tendencia a disminuir. La onda Kelvin de afloramiento (no se muestra en este documento), al igual que en el mes anterior, se mantuvo y mostró su señal en una franja de anomalía negativa de temperatura (máximo de 4 °C), cuyo eje se situó cerca de los 100 m de profundidad en 165°O, con proyección hacia el este (90°O) y a la superficie. Las características observadas en este mes fueron consistentes con condiciones neutrales (CPC & IRI, 2020d).

De mayo a julio/2020, se presentaron anomalías negativas TSM a lo largo del Pacífico ecuatorial lo que se relacionó con el ascenso de masas de agua fría, con anomalía térmica negativa, que evidenció la llegada de una onda de Kelvin de afloramiento. Esto contribuyó a la disminución de la profundidad climatológica de la isoterma de 20 °C, con menor efecto cerca del continente (CCR-ERFEN, 2020a, 2020b y 2020c y CPC, 2020a, 2020b y 2020c).

El CPC e IRI, en su diagnóstico mensual de septiembre 2020 (CPC & IRI, 2020e), emitió la alerta de un evento La Niña en desarrollo. Reportó, además, que la TSM en el mes anterior (agosto), estuvo por debajo de su promedio, con los índices de anomalía en las regiones El Niño negativos y menores a -0.9 °C; mientras que, en la subsuperficie, entre 180°O y 100°O, las anomalías negativas se observaron desde la superficie hasta un promedio de 200 m de profundidad.

Asimismo, las anomalías de la circulación atmosférica fueron consistentes con La Niña (CPC & IRI, 2020e). Por su parte, el ONI desde agosto de 2020 se posicionó dentro del umbral de condiciones La Niña.

## III | OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Documentar la variabilidad de las propiedades del océano y la atmósfera adyacente en el PSE en septiembre-noviembre de 2020 a fin de anticipar oportunamente la posible ocurrencia de un evento ENOS en los meses siguientes.

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las condiciones océano-atmosféricas a macro escala en el Pacífico tropical y sus efectos en la dinámica regional.
- Describir las condiciones oceanográficas en el Pacífico tropical y suroriental registradas durante el periodo del crucero.
- Analizar las condiciones océano-atmosféricas durante el periodo del crucero para contribuir al diagnóstico y previsión de condiciones ENOS en la región.

## IV | DATOS Y MÉTODOS

### 4.1 ÁREA Y PERÍODO DE ESTUDIO

El XXIII Crucero Regional Oceanográfico Conjunto se ejecutó en las plataformas científicas de los cuatro estados Miembros: Colombia, Perú, Chile y Ecuador. La investigación se desarrolló, latitudinalmente, desde 6°30'N hasta 26°S, cubriendo la zona costera sudamericana hasta las islas Galápagos (92°O). Cada Estado Miembro cubrió su propia área de estudio: Colombia, entre 77 y 84°O y 1.5 y 6.5°N; Ecuador, entre 82 y 92°O y 1°N y 3.5°S; Perú evaluó el área marítima entre la línea de costa y 83°O y entre las latitudes 5 y 17°S; mientras que Chile lo hizo entre la línea de costa y 72°40'O y de 18°25'S a 23°40'S. En la Figura 1 se muestra el área de estudio y la distribución de las estaciones oceanográficas.

Las mediciones se efectuaron del 13 de septiembre al 30 de octubre de 2020. Se realizaron 43 estaciones en el océano colombiano, 40 en el mar ecuatoriano, 273 en el mar peruano (72 estaciones superficiales y 60 perfiles con CTD) y 95 en la zona norte del mar de Chile, siendo 451 estaciones en total. En el ámbito meteorológico, las mediciones se realizaron periódicamente, al menos tres veces al día.

## 4.2 DATOS DE CRUCERO

La recolección de información meteorológica en los cruceros se adaptó a la metodología referida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017). Para el registro de los datos, se acogieron las normas, tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991). Se recopiló información de temperatura del aire, presión atmosférica superficial, vientos (velocidad y dirección).

Se realizaron mediciones superficiales y en profundidad, con perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto hasta máximo 1000 metros, utilizando un CTD SeaBird, con un sistema de Roseta de muestreo vertical, equipado con botellas Niskin a profundidades ya establecidas de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300 y 500 m, de acuerdo con CPPS (2015). La estimación del Oxígeno Disuelto (OD) se realizó con el método Winkler modificado por Carpenter (1965).

Los datos de los perfiles de CTD se interpolaron espacialmente con el método de análisis variacional de interpolación de datos (DIVA, por sus siglas en inglés) mediante una cuadrícula finita de elementos que logra una resolución variable espacialmente para representar la línea de costa y las isobatas (Troupin et al, 2019). Se graficaron mapas de profundidad de la isoterma de 15 y 20 °C y diagramas de T/S para la identificación de masas de agua. La anomalía de temperatura y salinidad se determinó a partir de la diferencia del valor observado y el promedio climatológico mensual de septiembre y octubre (Baranova et al., 2018 y Zweng et al., 2018, Boyer et al, 2018). El límite de la profundidad de la capa de mínimo oxígeno disuelto (ZMO) será el valor de 0.5 ml/L, mientras que el núcleo de la ZMO estará determinado por el valor de 0.05 ml/L.

La visualización de los datos oceanográficos del crucero en superficie y a escala vertical y los diagramas T/S se realizó con el software Ocean Data View en su versión v5.6.2 (Schlitzer, 2022).

Para estimar la anomalía de temperatura y salinidad, analizar la distribución superficial de temperatura y salinidad, el comportamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la actividad del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) y para contextualizar las condiciones meteorológicas y oceanográficas promedio antes y durante el crucero, se utilizó la siguiente información de repositorios de acceso libre y de instituciones especializadas:

- Temperatura y Anomalía Superficial del Mar (CMEMS, SST\_GLO\_SST\_L4\_NRT\_OBSERVATIONS\_010\_001).
- Oceanic Niño Index (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>).
- Multivariate El Niño Index (MEI-V2, NOAA, s.f., Wolter & Timlim, 1993; Wolter & Timlim, 1998 y Wolter y Timlim, 2011).
- Índice Costero El Niño (ICEN, Takahashi et al., 2014).
- Índice Térmico Costero Peruano (ITCP, Quispe et al, 2016.).
- Índice Laboratorios Costeros (LABCOS, Quispe y Vásquez, 2015).
- Índice Multivariado de Tumaco (IMT, Rodríguez-Rubio, 2013).
- Datos promedio del compuesto mensual de temperatura del programa “Ocean Color Web” del satélite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

- Presión atmosférica (<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/ncep/data/ncep.reanalysis.derived/surface/>).
- Vientos de /ifremer/cersat/products/gridded/MWF/L3/ASCAT.
- Vientos del producto global IFREMER CERSAT, cada 6 horas, con resolución de 28 x 28 km<sup>2</sup> (0.25°/0.25°). Combina la magnitud y las componentes meridional y zonal de los escaterómetros ASCAT y radiómetros SSMIS, provistos por el Sistema de Sensores Remotos y del radiómetro WindSat. La información se la obtuvo del repositorio COPERNICUS (<http://marine.copernicus.eu/>): (WIND\_GLO\_WIND\_L4\_REP\_OBSERVATIONS\_012\_006), reprocesada hasta el 2017 y (WIND\_GLO\_WIND\_L4\_NRT\_OBSERVATIONS\_012\_004), cercana al tiempo real del 2018 al 2020.
- Climatología mensual de temperatura y salinidad del WOA (Baranova et al., 2018 y Zweng et al., 2018, Boyer et al, 2018).

## V | ESCENARIO METEOROLÓGICO Y OCEANOGRÁFICO REGIONAL Y DE MACROESCALA

Los indicadores ONI, MEI e IMT (Figura 2a, 2b, y 2f), mostraron comportamientos similares, asociados a eventos ENOS El Niño-La Niña, estos indicadores coincidieron en mostrar El Niño que finalizó en 2016, La Niña 2017-2018, El Niño 2018-2019 y La Niña que inició en 2020. Por su parte los índices en áreas costeras, ICEN, ITCP y LABCOS, (Figuras 2c, 2d, 2e), muestran diferencias a los anteriores, como la observada en los primeros meses del 2017, cuando sus valores fueron positivos (opuesto a La Niña). En general los indicadores de condiciones ENOS y el ICEN, desde junio de 2020 mostraron relación con un evento frío, Figura 2.

En los dos últimos meses del 2019 (Figura 2a) y tres primeros del 2020, el ONI, se mantuvo con anomalías positivas, entre los umbrales característicos de un episodio cálido ENOS; luego estuvo neutral hasta julio y en los meses siguientes, hasta diciembre 2020, se mantuvo en condiciones propias de La Niña. Por su parte el ICEN (Figura 2c) indicó la presencia de condiciones neutras en el umbral de una condición fría en los meses de julio, septiembre y octubre en la región Niño 1+2.

La comparación entre los indicadores ONI y la ATSM en la región Niño 1+2 con la ATSM cerca de la costa continental del PSE y Galápagos, mostró que en el período 2015-2020, el ONI y la ATSM en la región Niño 1+2 (ATSM-1+2) tuvieron una correlación de 0.75. Las diferencias más notorias, entre ambos indicadores (Figura 3a) ocurrieron en los últimos meses de 2016 (La Niña) y primeros de 2017. El indicador ATSM-1+2 y la ATSM frente a la costa de Sudamérica (0°N – 26°S), hasta los 56 km, fueron positivos o negativos a la vez (Figura 3b y 3c); mientras que, con el ONI, se evidenció una diferencia marcada (opuestos) durante La Niña 2016. En la franja ecuatorial (5°N – 5°S) (Figura 3d), se evidenciaron mayores diferencias entre la ATSM y los indicadores ONI y ATSM 1+2, existiendo predominio de anomalías positivas. Los cambios en ATSM alrededor de Galápagos, no reflejaron sincronía con los índices ONI y ATSM-1+2. Durante La Niña que inició en 2020, se reflejó ATSM negativa al sur de 5°S y en los indicadores ONI (-1 °C) y ATSM-1+2 (-1.1 °C).

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS), modulador de los vientos en regiones tropicales/subtropicales del Pacífico Sur, especialmente frente a Chile y Perú, se presentó tanto en septiembre como octubre 2020 formado por dos núcleos de alta presión, ocupando mayor área e intensidad, los que se ubicaron frente a Sudamérica ( $103^{\circ}\text{O}$ - $30^{\circ}\text{S}$ ), (Figuras 4a y 4b). La presión en estos núcleos fue de  $\sim 1028$  hPa y  $1027$  hPa para septiembre y octubre, en su orden. La ubicación e intensidad del centro de alta presión mostró un desplazamiento al oeste y sur de su posición normal y un valor mayor de presión en su centro respecto a su promedio climatológico. Esto último se reflejó en anomalías positivas en el área donde se ubicó el APS (Figuras 4c y 4d). Este comportamiento está relacionado con eventos ENOS de fase fría, según lo reportó Ancapichun (2015) y refuerza el escenario oceánico-atmosférico de La Niña, durante el crucero.

En la región del Pacífico Tropical los vientos estuvieron intensificados, presentando valores mayores a su climatología (Figuras 5a y 5b). Las zonas de máxima anomalía positiva (alrededor de  $25^{\circ}\text{S}$ ) estuvieron cercanas a los núcleos de máximas anomalías positivas del APS. La magnitud, fue superior a  $4$  m/s, con una ligera tendencia a disminuir, frente a la costa continental, en octubre. La dirección predominante fue suroeste, con variaciones sureste y sur. Las máximas velocidades se observaron entre  $10^{\circ}\text{S}$  y  $20^{\circ}\text{S}$ , al oeste de  $85^{\circ}\text{O}$ , y la máxima promedio ( $9$  m/s) fue en septiembre. Al contrario, zonas de calma con vientos menores a  $2$  m/s, se encontraron en la franja ecuatorial, al sur de  $30^{\circ}\text{S}$  y oeste de  $80^{\circ}\text{O}$ . El fortalecimiento de vientos observado se relaciona con La Niña.

No es evidente la correspondencia en la evolución del ONI y ATSM-1+2 (Figura 6a.) con la anomalía de vientos superficiales meridionales y zonales. En general, la anomalía de vientos meridionales cerca de la costa del PSE ( $0$  -  $56$  km), desde Colombia a Ecuador mostró predominio de anomalías negativas desde 2015 hasta 2017 y de anomalías positivas desde 2018 hasta 2020; sin embargo, se debe mencionar que, en la franja ecuatorial, en el período 2016-2020, prevalecieron anomalías positivas de vientos zonales, Figura 6b. Los vientos zonales ( $6^{\circ}\text{N}$  -  $6^{\circ}\text{S}$  y  $90^{\circ}\text{O}$  -  $75^{\circ}\text{O}$ ) mostraron predominio de anomalías negativas en 2015 y 2016, desde el 2017 hasta el 2020, las anomalías fueron variables, Figura 6c.

## VI | RESULTADOS

### 6.1 VIENTOS

La dinámica de viento frente a la costa colombiana presentó mayor intensidad, con un valor de  $9$  m/s, entre  $2^{\circ}\text{N}$  y  $3^{\circ}\text{N}$  y  $84^{\circ}\text{O}$  hacia el sur de la cuenca; mientras que el menor valor ( $1.4$  m/s) se observó hacia el norte de la cuenca en  $78^{\circ}\text{O}$  y  $6^{\circ}\text{N}$  cerca de la costa. En cuanto al comportamiento de la dirección, predominaron vientos del SO con tendencias hacia el oeste. Frente a Perú los vientos estuvieron entre  $0.8$  y  $12$  m/s, prevalecieron los de dirección Sur-Sureste hasta  $7^{\circ}\text{S}$ ; en tanto que hacia el sur hasta  $10^{\circ}\text{S}$ , se observaron principalmente del Sureste. Vientos superiores a  $6.8$  m/s ocurrieron frente a Talara ( $4^{\circ}\text{S}$ ), así como por fuera de los  $19$  km desde Chicama ( $8^{\circ}\text{S}$ ) hasta San Juan de Marcona ( $15^{\circ}\text{S}$ ); por el contrario, se presentaron vientos de intensidad débil

frente a Paita (5°S), Callao (12°S) y Pisco (13°S). En Chile, los registros de viento de intensidad menor o igual a 10 m/s, se concentraron al norte de 23°S y entre 24°S y 26°S, mientras que, los vientos mayores a 10 m/s se detectaron en el sector oceánico entre 21°S y 23°S y al sur de 25°S; vientos de componente Norte, con intensidad débil, se distribuyeron principalmente al sur de 23°S. El predominio del viento del sur frente a Chile, evidenció condiciones favorables a la surgencia (Figura 7).

La magnitud de los vientos registrados durante el crucero guarda relación con la reportada por fuentes satelitales (Figura 5), ambas son menores a 20 m/s frente a la costa. Respecto a la dirección es variable, especialmente la componente Este y Sur, los cuales no se observan en los gráficos satelitales (Figuras 5a y 5b), debido a que la información de crucero es instantánea y la de satélite es un vector diario promedio.

## 6.2 MASAS DE AGUA

El diagrama T/S, permitió identificar seis masas de agua presentes durante el XXIII Crucero Regional Conjunto: Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Subsuperficial Subtropical (ASST), Agua Ecuatorial Superficial (AES), Agua Costera Fría (ACF), Agua Ecuatorial Subtropical Superficial (AESS), Agua Subantártica (ASA) y Agua Intermedia Antártica (AIA). En la tabla 1, se presenta el par de T/S del tipo de agua que representa a cada masa de agua.

**Tabla 1. Pares de Temperatura y Salinidad (T/S) para las masas de agua en el Pacífico Sudeste durante el XXIII Crucero Oceanográfico realizado en septiembre-octubre de 2020.**

NOMBRE	TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD	PROFUNDIDAD (m)	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Agua Tropical Superficial (ATS)	> 25 (27.5)	< 33.5 (33.4)	20 - 50	Wirtky, 1967; Enfield, 1976; Cucalón, 1983.
Agua Ecuatorial Superficial (AES)	20 – 24 (22)	33.5 -35 (34.3)	20	Strub, 1998; Wirtky 1967; Enfield, 1976; Fiedler & Talley, 2006.
Agua Subtropical Superficial (ASTS)	15 – 24 (20)	>35 (35.1)	0 - 200	Silva & Rojas, 2009; Bernal, 1983
Agua Costera Fría (ACF)	14 - 23 (18)	34.8-35.1 (34.9)	0	Zuta 1970; León et al., 2011; Graco et al., 2016.
Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	5 -17 (11)	34.4- 35.2 (34.8)	50-500	Wirtky 1963; Wirtky 1967; Cucalón, 1983.
Agua Subantártica (ASA)	11.5 -14.5 (12)	34.1 – 34.8 (34.25)	25 -80	Blanco et al, 2001
Agua Intermedia Antártica (AIA)	3 - 7 (5)	34 - 34.2 (34.1)	> 700	Silva & Rojas, 2009

En la capa superior a 100 m, la ATS, se localizó en profundidades menores de 30 m, con temperatura mayor a 25 °C y salinidad menor a 34, lo que es característico de las condiciones del mar frente a Colombia y al norte y centro de la costa continental de Ecuador. La AES, ocurrió a profundidades menores a 30 m, con temperatura y salinidad alrededor de 22 °C y 34.1, en la franja ecuatorial, con prolongación hasta Perú. La ASTS se presentó en los primeros 50 m, con 20 °C y 35.1 de temperatura y salinidad respectivamente, valores asociados a la zona al sur del PSO.

La ACF, ocurrió a profundidades menores a 40 m, con salinidad de 35 y temperatura entre 15 y 20 m, condiciones que son propias de la costa peruana y que se proyectan hacia el norte. La ASA (12 °C y 25 °C) se evidenció aproximadamente en la capa entre 80 m y 100 m y se encuentra en el mar peruano y chileno. La AESS se la observó cerca de los 200 m, con 11 °C y 34.8 de salinidad. En profundidades superiores a 500 m, se localizó la AIA, con temperatura y salinidad promedio de 5 °C y 34.1, respectivamente.

## 6.3 CARÁCTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS SUPERFICIALES

### 6.3.1 TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

Durante el XXIII crucero regional la máxima TSM se registró en el mar colombiano (27.9 °C) y la mínima, frente a Chile (13.5 °C). Los valores promedios más altos de TSM (> 26.5 °C) se observaron frente a la costa colombiana (norte del área de estudio, 2-7°N, 77-84°O). Frente a la costa continental de Ecuador (~1°N – 3°S), los valores promedios de TSM estuvieron entre 18.5 y 25.9 °C, disminuyendo hacia el sur; mientras que, frente a la costa insular (Galápagos) la TSM varió entre 24.6 °C y 17.4 °C. El Frente Ecuatorial (FE) estuvo bien configurado, especialmente junto a la costa continental, entre las isotermas de 20 y 24 °C. Frente a la costa peruana, la TSM varió desde 18 °C, al norte de la costa peruana, hasta menos de 16 °C, desde Paita hasta Huarmey (10°S), así como frente a Pisco y San Juan. Al norte de la costa de Chile, frente a Arica, se registró TSM de 13.5 °C, muy cerca de la costa y de 18 °C hacia el océano, hacia el sur la TSM disminuyó a valores menores a 15 °C (Figura 9a).

Las ATSM en la zona indicaron que predominaron valores dentro del rango neutro a negativos, de hasta -3 °C, especialmente cerca del borde continental de los países de la región. La anomalía negativa de mayor magnitud (-3 °C) se observó al oeste de Galápagos, coincidiendo con el afloramiento ecuatorial, así como frente al Golfo de Guayaquil, producto de la intrusión de agua de menor temperatura proveniente del afloramiento costero del norte de Perú. Al este de Galápagos se observaron anomalías positivas ( $\geq 1$  °C), del mismo modo que entre Callao y San Juan ( $\leq 3$  °C) (Figura 9b).

### 6.3.2 SALINIDAD SUPERFICIAL DEL MAR

Se registraron valores mínimos de salinidad (< 30) en la CPC, relacionados con la escorrentía de los ríos, lo que influyó hasta la costa norte de Ecuador, donde la salinidad se mantuvo menor a 33. Al sur del Ecuador geográfico y hasta 2.5°S, las isohalinas de 33.5 y 34.3 delimitaron al FE y es la región donde se identificó la AES; mientras que, hacia el sur del mar ecuatoriano, en el sector

oceánico la salinidad aumentó ( $> 35$ ), debido al aporte de la ASTS. Frente a la costa peruana, las AES se ubicaron hasta Punta Sal, coincidiendo con la presencia de aguas más frías de lo normal ( $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Hacia el sur, en la zona adyacente al litoral, predominó la ACF con salinidad entre 34.8 y 35. A distancias variables de la costa norte-centro y frente a Pisco, se destaca el acercamiento de las ASTS con salinidad  $> 35$ . En la costa chilena, desde Arica hasta  $21^{\circ}\text{S}$  y a una distancia de 30 millas de la costa, la salinidad fue mayor a 35.1; mientras que, en el resto de la zona, la salinidad promedio varió de 34.8 hasta 34.5. Estas características, junto con TSM entre  $15$  y  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , indicaron la presencia de ASTS y ACF (Figura 10a).

Frente a la costa de Colombia, se observó la mínima anomalía negativa de salinidad ( $< -2$ ), debido a la escorrentía de los ríos y precipitaciones en el continente; al contrario, en el mismo sector, hacia la parte oceánica, al oeste de  $82^{\circ}\text{O}$ , se apreciaron anomalías positivas de hasta 1. Desde la costa de Ecuador hasta San Juan y frente a Chile, se observó el predominio de anomalías positivas de hasta 0.2; no obstante, se observaron anomalías negativas, al oeste de Galápagos ( $-0.5$ ) y frente a Callao ( $-0.2$ ) (Figura 10b).

### 6.3.3 OXÍGENO DISUELTO SUPERFICIAL DEL MAR

Aguas más oxigenadas se encontraron, al norte de  $1^{\circ}\text{N}$  (frente a la costa de Colombia), al mismo tiempo que el agua de mayor temperatura y menor salinidad de la región. En la zona ecuatorial, el mínimo de OD fue aproximadamente  $4.5\text{ ml/L}$ . Frente al Perú, el OD presentó valores menores a  $3\text{ ml/L}$  entre Paita y Punta Falsa, y valores de hasta  $5.5\text{ ml/L}$  frente a Callao y San Juan. Asimismo, al sur de  $20^{\circ}\text{S}$  (frente a Chile), el oxígeno fue mayor o igual a  $6\text{ ml/L}$ , por el eventual acercamiento de aguas oceánicas de mayor salinidad (Figura 11).

## 6.4 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS EN LA COLUMNA DE AGUA

### 6.4.1 SECCIONES OCEANOGRÁFICAS PARALELAS AL PERFIL COSTERO

#### Sección paralela a la costa ( $6^{\circ}\text{N}$ a $25^{\circ}\text{S}$ , aproximadamente 174 Km)

Las secciones meridionales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto muestran al norte de  $1^{\circ}\text{S}$ , sobre los 40 m, la mayor diferencia con respecto al resto de la sección, donde ingresa agua de menor salinidad y mayor temperatura, identificada como Agua Tropical Superficial (ATS), desde el norte (Figura 12a, 12b y 12c). El FE, identificado por las isolíneas de temperatura y salinidad, se localizó, entre el ecuador geográfico y  $2^{\circ}\text{S}$  y hasta los 40 m de profundidad y marcó la zona donde se encuentra el AES. Al sur del FE, en la capa superficial el agua se mantiene casi homogénea en temperatura ( $17$  a  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Figura 12a). A lo largo de la sección, y bajo los 20 m, se observó la disminución gradual de la temperatura con el aumento de profundidad, la isoterma de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se localizó entre los 50 y 100 m, siendo la zona ecuatorial donde se delimita la profundización de esta isoterma. La salinidad se mantiene cercana a 35 entre Chicama ( $8^{\circ}\text{S}$ ) y  $22^{\circ}\text{S}$  asociada a la presencia de las ACF y el acercamiento inusual de las ASS (Figura 12b).

En cuanto al oxígeno, la fuerza de los vientos superficiales favoreció a la oxigenación en esta sección. En la capa superficial de 40 m, se mantuvieron valores mayores a 6 ml/L con los máximos al sur, frente a Chile. Se observó que en la región ecuatorial (5°N – 5°S) los valores de oxígeno menores a < 1 ml/L fueron alcanzados por debajo de los 200 m; mientras que, al sur de 20°S, esto ocurrió bajo los 400 m. La Zona mínima de oxígeno (ZMO), delimitada por la isolínea de 0.5 ml/L y con el núcleo cercano a 0.05 ml/L se ubicó entre 200 y 500 m, frente a Colombia y Ecuador, y más superficial, entre 50 m y 500 m, frente a la costa de Perú y Chile, (Figura 12c).

#### **Perfil Paralelo a la costa de Ecuador (89°O, 1°N-3°S)**

En esta sección, ubicada en la región ecuatorial, al este de Galápagos, se observa que hasta ~30 m de profundidad ocurre la mayor variabilidad de la temperatura (disminuye 4 °C), salinidad (aumenta 1.5) y oxígeno (disminuye 2.5 ml/L). En esta capa superficial, en el norte (hasta 1.5°S) se visualiza el agua de mayor temperatura (24 °C) y menor salinidad (33.5) relacionada con las ATS. En esta sección, el FE y las AES, se puede localizar hasta aproximadamente 25 m alrededor de 1°S (Figura 13).

#### **6.4.2 SECCIONES OCEANOGRÁFICAS PERPENDICULARES AL PERFIL COSTERO**

Los perfiles perpendiculares a la línea de costa mostrados de norte a Sur (Bajo Baudó-Colombia a Antofagasta-Chile), se caracterizaron por el descenso de la temperatura con respecto a la profundidad y en sentido norte-sur.

Desde Bajo Baudó (5°N) (Figura 14), hacia el sur, pasando por Buenaventura (4°N) (Figura 15), Gorgona (3°N) (Figura 16) y hasta Tumaco (2°N) (Figura 17) se observó una distribución similar de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto. En los primeros 100 m, la temperatura, desde la superficie, osciló entre 15 °C y 28 °C; la salinidad, entre 29 y 34.9 y el OD, entre 4 y 6 ml/L (sobre los 50 m). La termoclina y haloclina se ubicaron entre 35 m y 40 m. Después de 100 m la variación tiene menor gradiente. La mínima salinidad (< 33), que se observa en estos perfiles está influenciada por la escorrentía. En la primera capa de 40 m, se identifica el ATS con temperatura y salinidad promedio de 27 °C y 33.5, entre 50 m y 250 m, la temperatura (14 °C) y salinidad (34.9) indican AESS. El núcleo de la ZMO (< 0.05 ml/L) se encontró aproximadamente, entre 300 y 400 m.

La sección Paita (5°S) (Figura 18) presentó condiciones térmicas frías de 15 °C en la capa superficial de 50 m en los primeros 157 km (85 mn). Bajo los 100 m, las isotermas de 14 y 13 °C indicaron una profundización dentro de los 74 km y 92 km (40 mn y 60 mn). La salinidad del mar frente a Paita disminuyó con la profundidad, presentó concentraciones entre 35 y 39.4 sobre los 200 m, y desde esta profundidad hasta 400 m decreció a 34.7. El oxígeno disuelto presentó, en promedio, valores bajos en la capa superficial (3 ml/L). El núcleo de la ZMO, representado por la isolínea de 0.05 ml/L, se localizó aproximadamente a 200 m de profundidad, frente al borde continental y a 80 m, a 150 Km de la costa. El borde superior de la ZMO (0.5 ml/L) ascendió hasta menos de 100 m de profundidad, al oeste de los 120 Km de la costa. La distribución de temperatura y salinidad se asoció con la presencia de ACF en superficie y AESS en profundidad.

La sección Chimbote (9°S) (Figura 19) presentó una termoclina sobre 60 m de profundidad entre la costa y 74 km donde se registraron superficialmente las isotermas de 15 y 16 °C. Los valores de salinidad indicaron la presencia de ACF dentro de los 74 km y ASTS por fuera de los 130 km y sobre 50 m de profundidad. En la capa superficial de la sección Chimbote, en promedio, el OD estuvo entre 4 ml/L y 6 ml/L. Junto al borde costero, se observó la surgencia de la ZMO (representada por la isolínea de 0.5 ml/L), lo que se asocia con el afloramiento costero peruano.

La sección de Callao (12°S) (Figura 20) indicó la presencia de aguas frías entre 15 y 17 °C en los primeros 50 m superiores, notándose la base de la termoclina costera (15 °C) muy somera en los 60 km adyacentes a la costa. En cuanto a la salinidad, en los primeros 10 m, se observó hasta 75 km de la costa salinidad menor a 35 y en dirección al océano, salinidad mayor a 35, indicando la presencia de ACF frente a la costa y ASTS en la zona oceánica. El OD fue menor en relación con las estaciones del norte de Perú, siendo sus valores de 3 y 4 ml/L en los primeros 20 m. En mayores profundidades decreció hasta encontrar el límite superior de la ZMO cerca de 50 m.

La sección de San Juan (15°S) (Figura 21) evidenció agua de menor temperatura (13 °C) en la franja costera de 50 km en los primeros 80 m de profundidad, hacia el océano, la temperatura aumentó hasta los 15 °C. La isoterma de 15 °C estuvo sobre los 10 m frente a la costa, profundizándose a 40 m en los 150 km de distancia de la costa, en dirección suroeste. La temperatura decreció con profundidad, a 9 °C, bajo los 450 m. La salinidad, en superficie presentó un perfil similar al de las estaciones de Chimbote y Callao, aunque el agua de salinidad mayor a 35 se presentó más oceánica, después de los 130 km de la costa. Los valores de oxígeno (5 ml/L a 7 ml/L) registrados en la superficie, más allá de los 40 km costa afuera, estarían relacionadas con procesos fotosintéticos. Frente a la costa, el ascenso de las isooxígena de 1 mL/L hasta la superficie, indicó intenso proceso de afloramiento.

En las secciones perpendiculares frente a la costa de Chile, desde Arica hasta Antofagasta, Figuras 22-27, la temperatura evidenció las mayores variaciones en los primeros 100 m de profundidad, disminuyendo en la superficie de 18 °C a 15 °C y hasta 13 °C cerca del límite inferior de esta capa. Debajo de los 100 m la temperatura disminuyó hasta 7 °C. La isoterma de 15 °C se encontró entre 30 m (Arica, 18°25'S) y 60 m (Mejillones, 23°S), en el sector oceánico y en los primeros 10 m en el sector costero.

La capa de los primeros 100 m de profundidad, presentó salinidades desde 35.2 entre Arica y punta Gruesa (18°25'S-20°20'S) hasta 34.6 desde punta Arenas a punta Ballenita (21°40'S-25°50'S). De Arica a Antofagasta (18°25'S-23°40'S), el núcleo con salinidad >34,8 disminuyó su espesor y cobertura desde el océano a la costa, quedando reducido en las primeras 20 mn al sur de Mejillones (23°S-25°50'S). 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 22°20' y al sur de esta transecta la salinidad disminuyó a valores <34.4.

En la distribución vertical de oxígeno disuelto, las isooxígenas tuvieron pendientes positivas hacia la costa y presentaron concentraciones < 5 ml/L a nivel superficial entre punta Madrid y punta Copaca (19°S-22°20'S) y en 25°S. Focos costeros de OD >6 ml/L se destacaron en las 5 mn de Arica

(18°25'S) y Mejillones (23°S), además en las primeras 20 mn de Antofagasta (23°40'S) y punta Ballenita (25°50'S). La profundidad del límite superior de la capa de mínimo oxígeno (isooxígena de 1 ml/L) en la costa estuvo entre 20 y 60 m y en el sector oceánico se presentó de 40 m (18°25'S) hasta bordear los 150 m en Punta Ballenita (25°50'S).

### 6.4.3 TOPOGRAFÍA DE LAS ISOTERMAS DE 20 ° Y 15 °C

La isoterma de 20 °C se visualizó en la zona norte del área de estudio. Frente a la costa de Colombia se ubicó su máxima profundidad, entre 40 y 60 m, haciéndose más superficial en dirección sur. Frente a Ecuador, la Z20 se encontró a 20 m de profundidad en promedio y se localizó en la superficie al oeste de Galápagos y al sur (Figura 28). La posición de la Z20 guarda relación con la presencia del AES y ATSS frente a Colombia y Ecuador.

Respecto a la profundidad de la isoterma de 15 °C, destaca la menor profundidad (~20 a 30 m) al oeste de Galápagos y frente a las costas de Perú y Chile, estuvo asociada a zonas de surgencia y a la fuerza y dirección de vientos que se encontró en ese sector (Figura 29).

## VII | DISCUSIÓN

El escenario oceanográfico y meteorológico en el que se desarrolló el crucero regional conjunto está asociadas con el desarrollo de un evento frío La Niña, con anomalías de TSM, en su mayoría negativas, persistentes a lo largo de la costa sudamericana y en la zona ecuatorial, entre Galápagos y 82°O, así como vientos superficiales intensificados del sureste. Sin embargo, frente a la costa del sur de Colombia y Ecuador, durante septiembre y octubre se configuró una condición neutra y con anomalías positivas, opuesto a lo que ocurría en océano abierto. Esta característica se atribuyó a condiciones locales, por el ingreso continuo de agua de mayor temperatura desde la cuenca de Panamá hasta el sur, frente a la costa central de Ecuador (~1°S) y este de Galápagos, ocasionando núcleos de anomalía positiva frente a la costa de Colombia, costa norte de Ecuador y este de Galápagos.

La información recolectada en los cruceros confirma la prevalencia de condiciones térmicas frías, destacando los núcleos de anomalías negativas menores a -2 °C al oeste de Galápagos y frente a la costa continental, desde el Golfo de Guayaquil hasta Paita, ambos resultados están relacionados con afloramientos y sustentados en la intensificación de los vientos reportados. Al contrario, se identificó el ingreso de agua cálida desde el norte de la región de estudio hacia el este de Galápagos, donde la anomalía fue positiva, de hasta 1 °C, así mismo otro núcleo de anomalía positiva de 1 °C, se observó frente a Pisco.

La información local de la distribución de la temperatura, salinidad y oxígeno en la capa superficial mostró al FE bien definido, con el eje alrededor de 1°S y presencia hasta los 40 m de profundidad.

El FE estuvo ligeramente desplazado al sur de su posición climatológica, específicamente, al este de Galápagos, y, en consecuencia, se observó una ATSM positiva.

Las masas de agua identificadas coinciden con las esperadas en esta época del año. Frente a Colombia en la capa superficial, predominó el ATS y en profundidad el AESS. El FE, en el mar ecuatorial, señala el encuentro de la ATS, desde el norte, de mayor temperatura, menor salinidad y mayor oxigenación que el Agua Ecuatorial Superficial del sur. Frente a la costa de Perú y Chile, los afloramientos costeros presentes, indicaron la presencia predominante de ACF. También se evidenció la ASTS frente a Pisco, que influyó en anomalías positivas de temperatura y salinidad.

## VIII | CONCLUSIONES

El crucero regional conjunto se realizó durante el desarrollo de un episodio ENOS La Niña, determinado por los indicadores de macroescala, como el ONI y MEI y reforzado por los índices locales ICEN, ITCP, LABCOS e IMT.

La componente atmosférica se acopló a condiciones relacionadas con un episodio frío y se observó que la velocidad meridional del viento estuvo intensificada, lo que favoreció a las surgencias frente a las costas de Perú y Chile y al oeste de la isla Isabela-Galápagos.

El XXIII Crucero Oceanográfico Regional indicó la presencia de condiciones superficiales frías, sustentado en las anomalías negativas estimadas en la mayor parte de la región.

La columna de agua en el Pacífico Sudeste se caracterizó por tener valores de temperatura menor a 20 °C al sur de 2°S y por las condiciones de afloramiento, indicadas por la posición de la isoterma de 15 °C, al oeste de las islas Galápagos y frente a las costas de Perú y Chile.

Las masas de agua identificadas fueron las esperadas para la región, aunque en algunos lugares, frente a la costa de Perú, se observó el acercamiento de la ASTS que contribuyó a las anomalías positivas de temperatura y salinidad.

El Frente Ecuatorial estuvo bien estructurado, con dirección sureste-noroeste, desde el Golfo de Guayaquil hasta el norte de Galápagos, con su eje cercano a condiciones neutrales en el lado oriental y desplazado hacia el sur al este de las Galápagos.

## IX | RECONOCIMIENTOS

A la Comisión Permanente del Pacífico Sur y al Comité Científico Regional ERFEN por su apoyo en las actividades desarrolladas para la ejecución del XXIII Crucero Oceanográfico Regional Conjunto.

A la Dirección de la Marina de Colombia, al Instituto del Mar de Perú, al Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador y al Instituto de Fomento Pesquero. Reconocimiento especial a la tripulación de las plataformas de Investigación para el desarrollo de Crucero: ARC Gorgona (CCCP/Colombia), BAE Orión (INOCAR/Ecuador), BIC José Olaya y Humboldt (IMARPE/Perú) y B/I Abate Molina (IFOP/Chile).

## X | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ancapichun, S. (2015). Variability of the Southeast Pacific Subtropical Anticyclone and its impact on sea surface temperature off north-central Chile. *Ciencias Marinas*, 41(1), 1–20. <https://doi.org/10.7773/cm.v41i1.2338>
- Baranova, T. P., Boyer, M. M., Zweng, H. E., García, J. R., Reagan, D., Seidov, K., Weathers, C. R., Paver, and I. Smolyar, 2019. *World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature*. A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 81, 52 pp.
- Bernal, P. A., Robles, F. L., & Rojas, O. (1983). Variabilidad Física y Biológica en la región Meridional Del Sistema De Corrientes Chile-Perú. In 18-29 April 1983. FAO R291(3) (Ed.), *Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources* (pp. 129–159).
- Blanco, J. L., Thomas, A. C., Carr, M. E., & Strub, P. T. (2001). Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C6), 11451–11467. <https://doi.org/10.1029/2000jc000540>
- Boyer, Tim P.; Garcia, Hernan E.; Locarnini, Ricardo A.; Zweng, Melissa M.; Mishonov, Alexey V.; Reagan, James R.; Weathers, Katharine A.; Baranova, Olga K.; Seidov, Dan; Smolyar, Igor V. (2018). *World Ocean Atlas 2018*. NOAA National Centers for Environmental Information. Dataset. <https://www.ncei.noaa.gov/archive/accession/NCEI-WOA18>. Diciembre 2021.
- Carpenter, J.H. (1965). The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanogr.*, 10:141-143.
- Climate Prediction Center. (Mayo de 2020). *Climate Diagnostics Bulletin*. [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB\\_Archive\\_pdf/PDF/CDB.may2020\\_color.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_pdf/PDF/CDB.may2020_color.pdf)
- [Climate Prediction Center. \(Junio de 2020\). \*Climate Diagnostics Bulletin\*. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB\\_Archive\\_pdf/PDF/CDB.jun2020\\_color.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_pdf/PDF/CDB.jun2020_color.pdf)
- Climate Prediction Center. (Julio de 2020). *Climate Diagnostics Bulletin*. [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB\\_Archive\\_pdf/PDF/CDB.jul2020\\_color.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_pdf/PDF/CDB.jul2020_color.pdf)
- Climate Prediction Center. (s.f.). *Cold & Warm Episodes by Season*. Recuperado el 5 de febrero, 2020 de [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php).
- Climate Prediction Center & International Research Institute for Climate and Society (13 de febrero de 2020). *El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Diagnostic Discussion*.

- [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_feb2020/enso\\_disc.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_feb2020/enso_disc.pdf).
- Climate Prediction Center & International Research Institute for Climate and Society. (12 de marzo de 2020). El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Diagnostic Discussion. [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_mar2020/enso\\_disc.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_mar2020/enso_disc.pdf).
- Climate Prediction Center & International Research Institute for Climate and Society. (9 de abril de 2020). El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Diagnostic Discussion [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_apr2020/enso\\_disc.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_apr2020/enso_disc.pdf).
- Climate Prediction Center & International Research Institute for Climate and Society. (14 de mayo de 2020). El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Diagnostic Discussion. [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_may2020/enso\\_disc.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_may2020/enso_disc.pdf).
- Climate Prediction Center & International Research Institute for Climate and Society. (10 de septiembre de 2020). El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Diagnostics Discussion. [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_sep2020/enso\\_disc.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_sep2020/enso_disc.pdf).
- Comité Científico Regional del Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño. (Noviembre de 2019), Boletín de Alerta Climática. Comisión Permanente del Pacífico Sur. <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/bac/historico/350/bac350.pdf>.
- Comité Científico Regional del Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño. (Diciembre de 2019), Boletín de Alerta Climática. Comisión Permanente del Pacífico Sur <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/bac/historico/351/bac351.pdf>.
- Comité Científico Regional del Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño. (Mayo de 2020), Boletín de Alerta Climática. Comisión Permanente del Pacífico Sur <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/bac/historico/356/bac356.pdf>
- Comité Científico Regional del Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño. (Junio de 2020). Boletín de Alerta Climática. Comisión Permanente del Pacífico Sur <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/bac/historico/357/bac357.pdf>
- Comité Científico Regional del Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño. (Julio de 2020), Boletín de Alerta Climática. Comisión Permanente del Pacífico Sur <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/bac/historico/358/bac358.pdf>.
- Comité Científico Regional del Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño. (septiembre 2020), Boletín de Alerta Climática. Comisión Permanente del Pacífico Sur <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/bac/historico/360/bac360.pdf>.
- CPPS. 2021. Informe Ejecutivo del Vigésimo Tercer Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste 2020: Condiciones Físicas y Químicas (Oxígeno) durante el Vigésimo Tercer Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 39 p.
- Cucalón, E. (1983). Temperature, Salinity and Water Mass Distribution Off Ecuador During an El Niño Event in 1976. *Revista Ciencias Del Mar y Limnología*, 2(1), 1–25.
- Enfield, D. (1976). Oceanografía de la Región Norte del Frente Ecuatorial: Aspectos Físicos. Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Fiedler, P. C., & Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2–4), 143–180. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.008>
- Graco, M., Correa, D., García, W., & Sarmiento, M. (2016). Impactos del ENSO en la biogeoquímica del sistema de afloramiento frente a Perú central, febrero 2013-diciembre 2015. *Boletín Trimestral Oceanográfico*, 2(1), 2–6.
- Grupo de Trabajo Especializado de Base de Datos de los Cruceros Regionales. (2015). Protocolo del uso del CTD Sea-Bird y procesamiento de datos. Comisión Permanente del Pacífico Sur.

- León, V., Paulmier, A., Ledesma, J., Croot, P., Graco, M., Flores, G., Morón, O., & Tenorio, J. (2011). *pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt pH as a tracer of biogeochemical variability in the Humboldt System*. *Boletín*
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (s.f.), Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2), <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>
- National Oceanographic Data Center. 1991. Users Guide (Key to Oceanographic Records Documentation No. 14). (2a ed.).
- Organización Meteorológica mundial. 2017. Guía del Sistema Mundial de Observación. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=5440](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5440)
- Quispe Callauri, 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.
- 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/](http://www.adv-geosci.net/33/21/2013/), doi:10.5194/adgeo-33-21-2013.
- Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2022. Locarnini, R. A., A. V. Mishonov, O. K.
- Silva, N., Rojas, N., & Fedele, A. (2009). Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(16), 992–1008. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.11.001>
- Strub, PT., Mesías, JM., Montecino, V., Rutlant, J., & Salinas, S. (1998). Coastal ocean circulation off western South America. In *The sea, Vol 11* (pp. 273–314).
- Takahashi, K, Mosquera, K. y Reupo, J. (2014). El Índice Costero El Niño (ICEN): Historia y actualización. *Boletín Técnico - Vol. 1 Nro. 2*, febrero del 2014.
- Trenberth, K. E. (1997). The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 14(8). <http://www.mendeley.com/catalog/definition-el-niño/>
- Troupin, C.; Ouberdous, M.; Sirjacobs, D.; Alvera-Azcárate, A.; Barth, A.; Toussaint, M.-E.; Watelet, S. & Beckers, J.-M. (2019) *Diva User Guide*. *gher-ulg/Diva-User-Guide: v1.0* (Version v1.0). Zenodo. doi:10.5281/zenodo.836723.
- 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.
- Wyrtki, K. (1963). The Horizontal and Vertical Field of motion in the Peru Current. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 8(4), 313–346. <https://doi.org/10.2475/ajs.s5-14.81.237>
- Wyrtki, K. (1967). Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. In *Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean* (pp. 117–147).
- Zuta, S., & Guillén, O. (1970). Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. *Boletín Instituto Del Mar de Perú*, 157–324.

Zweng, M. M., J. R. Reagan, D. Seidov, T. P. Boyer, R. A. Locarnini, H. E. García, A. V. Mishonov, O. K. Baranova, K. Weathers, C. R. Paver, and I. Smolyar, 2019. World Ocean Atlas 2018, Volume 2: Salinity. A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 82, 50 pp.

## FIGURAS



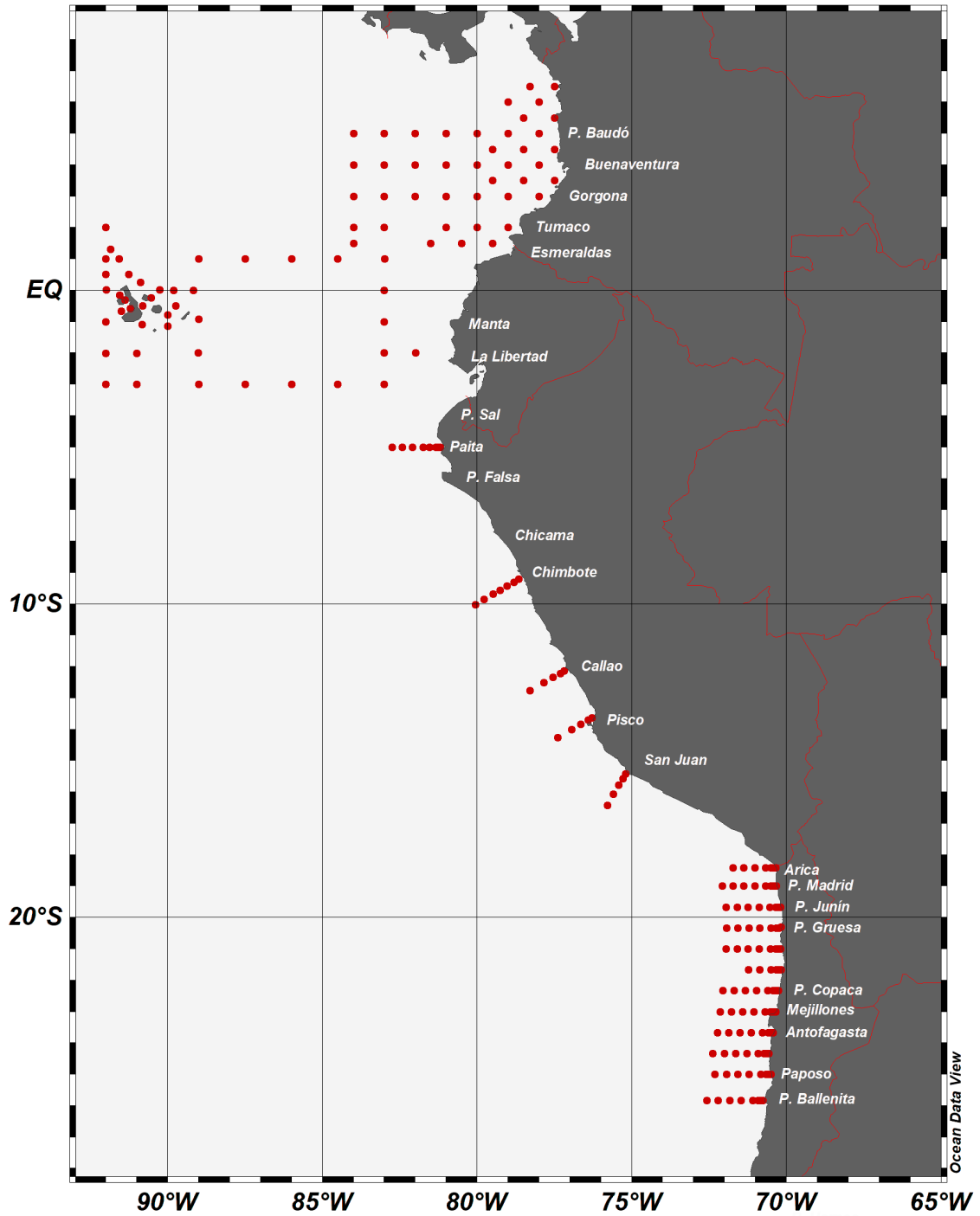


Figura 1. Distribución de las estaciones oceanográficas monitoreadas durante el XXIII Crucero Regional Conjunto en el Pacífico Sudeste para el período comprendido entre septiembre-octubre de 2020.

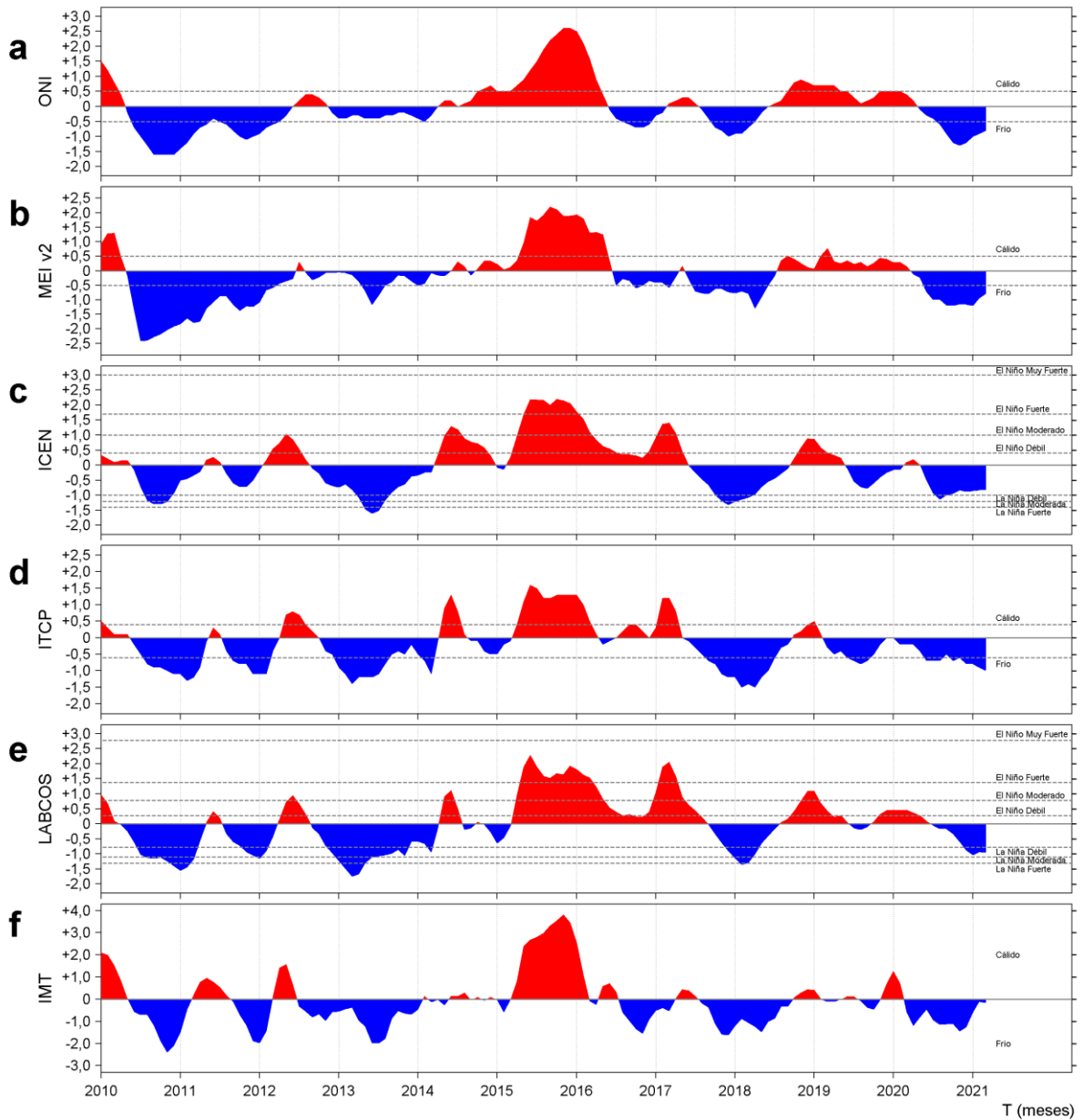


Figura 2. Series de tiempo de índices climáticos: a) Índice Niño Oceánico (ONI), b) Índice Multivariado ENOS (MEIv2), c) Índice Costero El Niño (ICEN), d) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), e) Índice LABCOS y f) Índice Multivariado Tumaco (IMT).

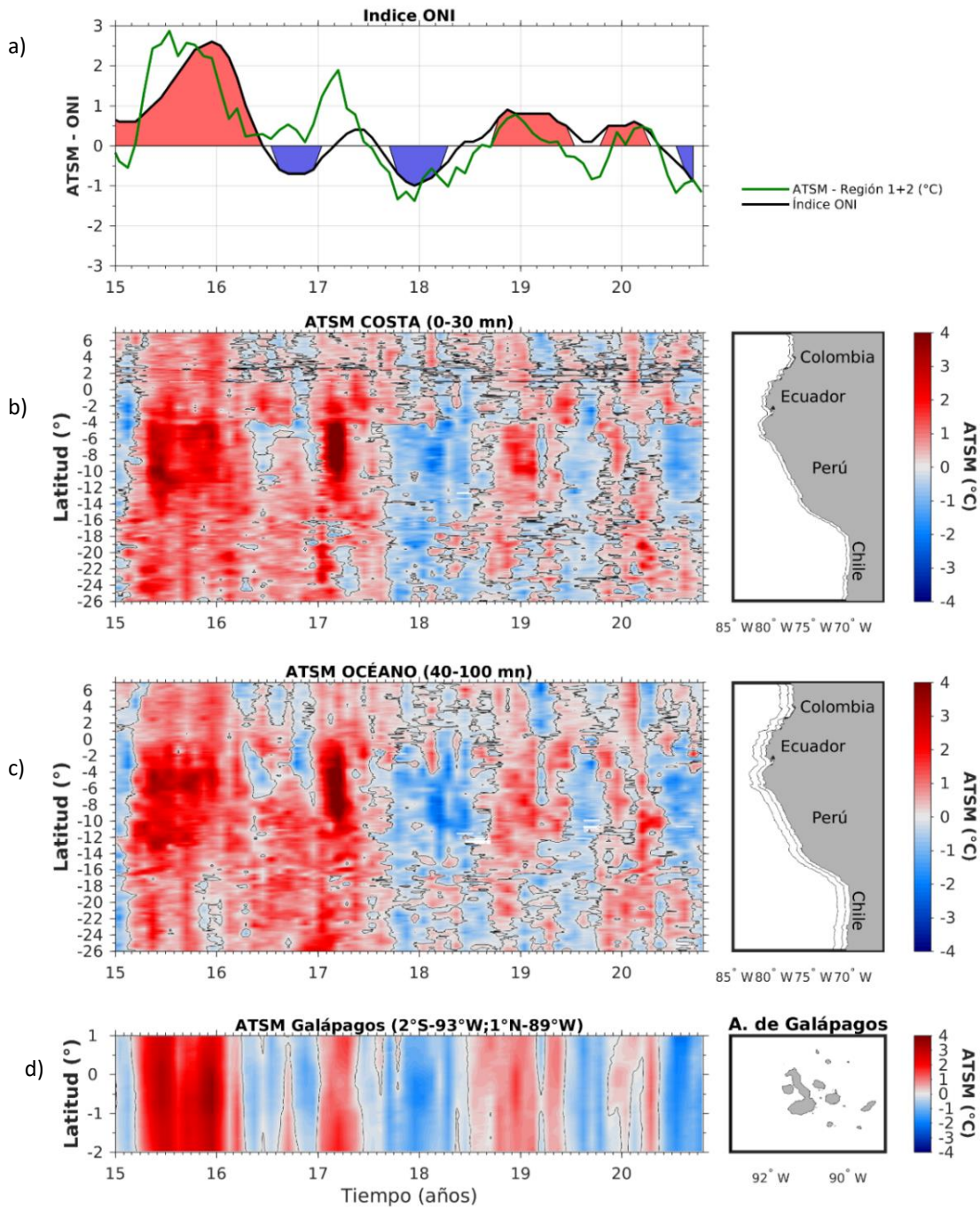


Figura 3. a) Serie de tiempo del índice ONI de la región Niño 1+2 y; gráficos Hovmöller de la ATSM (°C) entre 6°N y 26°S del 2015 al 2020: b) Desde la costa hasta 56 km, c) Desde 74 km a 343 km de la costa y, d) Desde 1°N a 2°S y desde 89°O a 93°O (archipiélago de Galápagos). Fuente: Programa Ocean Color Web, del satélite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). La anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) se estimó mediante la sustracción de la señal anual del periodo julio 2002-octubre 2020 a los datos mensuales de la serie.

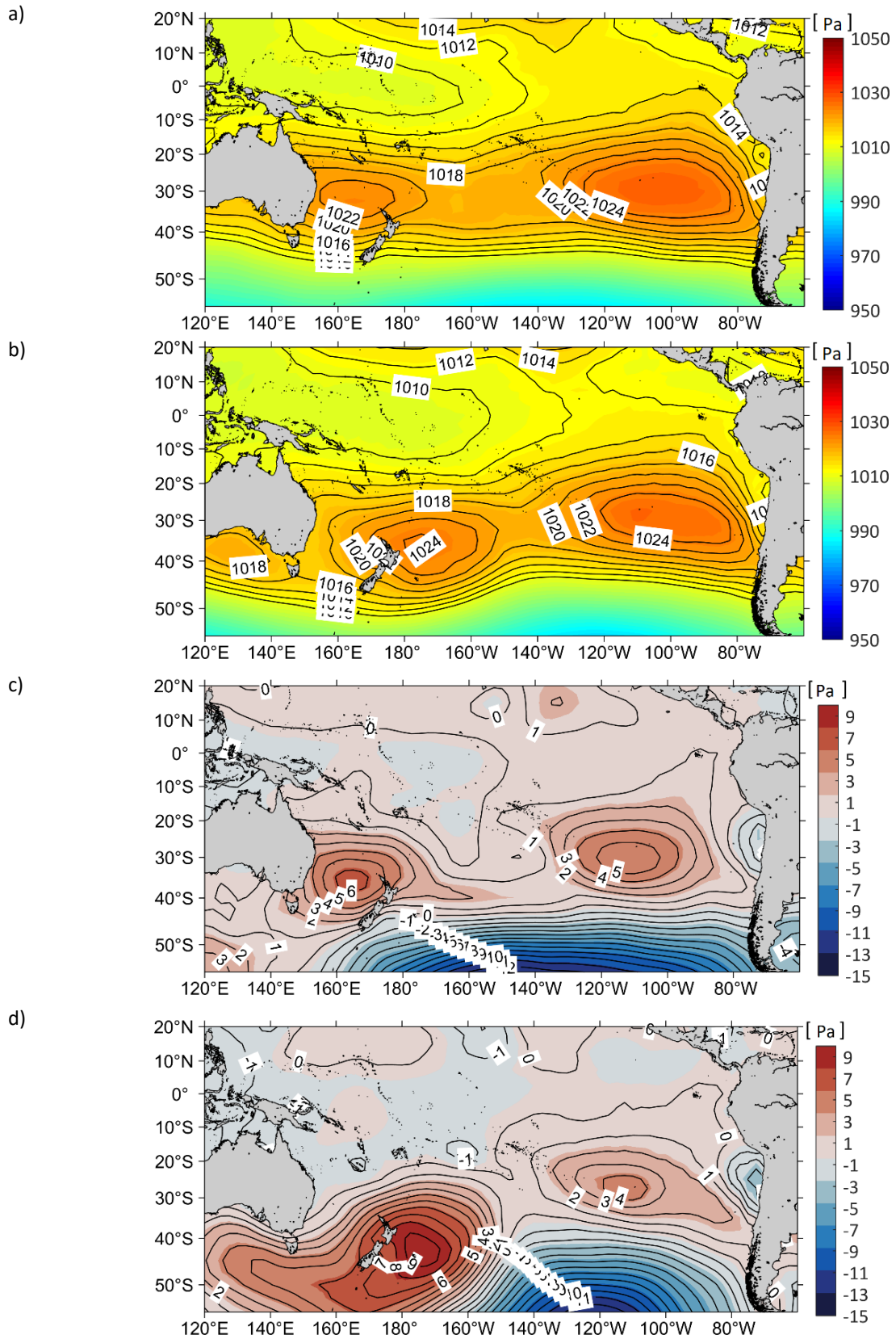
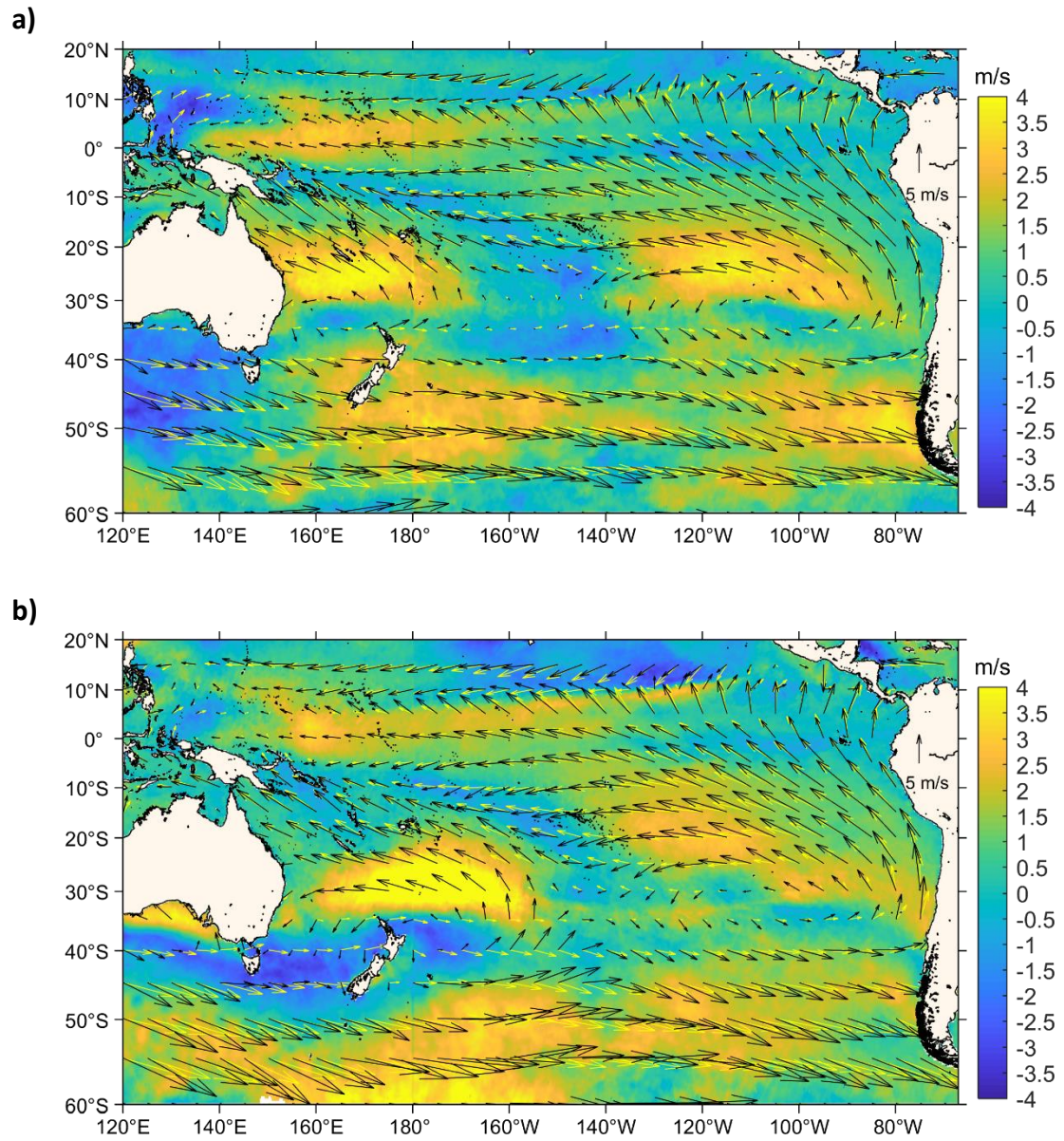


Figura 4. Presión atmosférica a nivel del mar y sus anomalías para a, c) septiembre y b, d) octubre, respectivamente. Fuente: NCEP/NOAA.



**Figura 5. Vientos superficiales (flechas negras), climatología de vientos (flechas amarillas) y magnitud de la anomalía (gama de colores) para a) septiembre y b) octubre de 2020. Climatología: 1991 - 2020. Fuente: Daily ASCAT global wind field y Quikscat.**

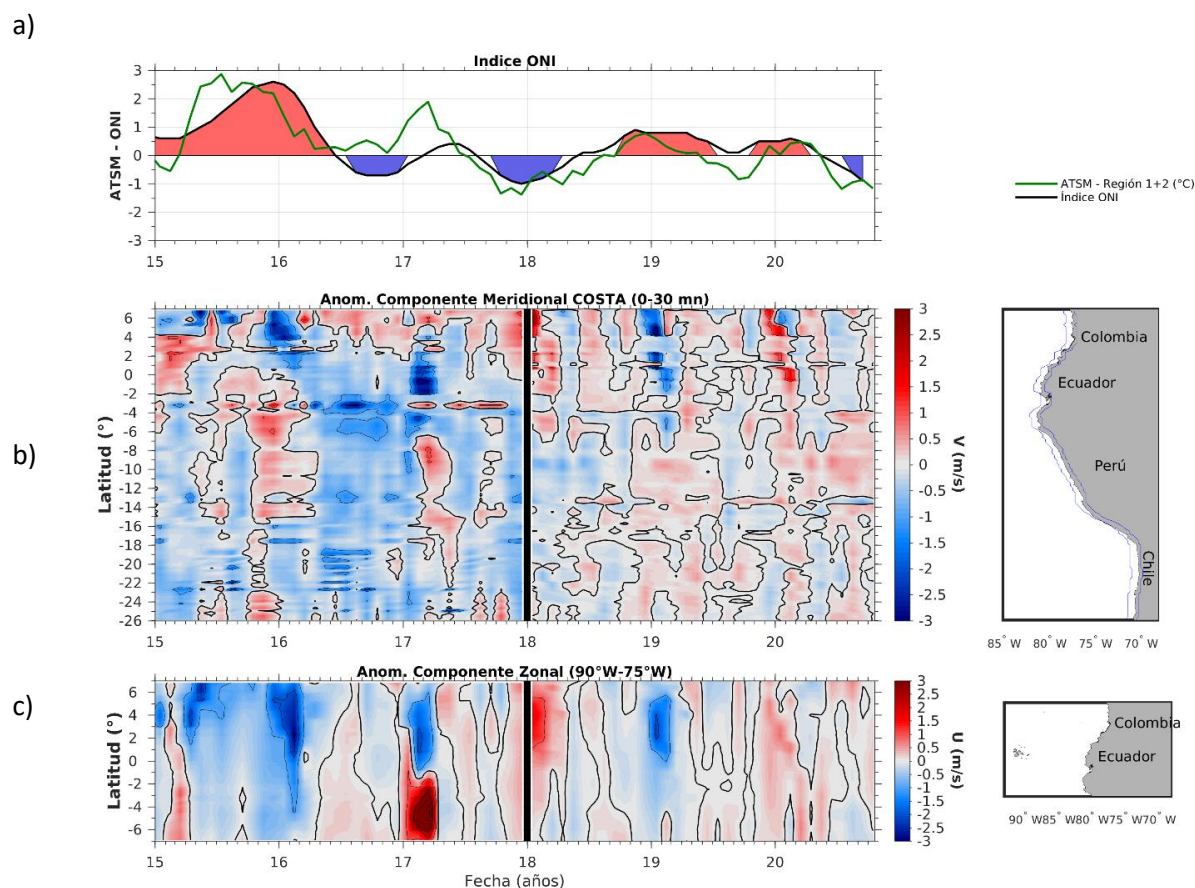


Figura 6. a) Serie de tiempo del Índice ONI y gráficos Hovmöller de las componentes del viento b) meridional (0 – 56 km) y c) zonal (6°N y 6°S y 90°O - 75°O). Fuente: Dos productos de datos de IFREMER CERSAT disponible a través de Copernicus. El cambio de los datos utilizados se representa con una línea vertical gruesa centrada en enero de 2018.

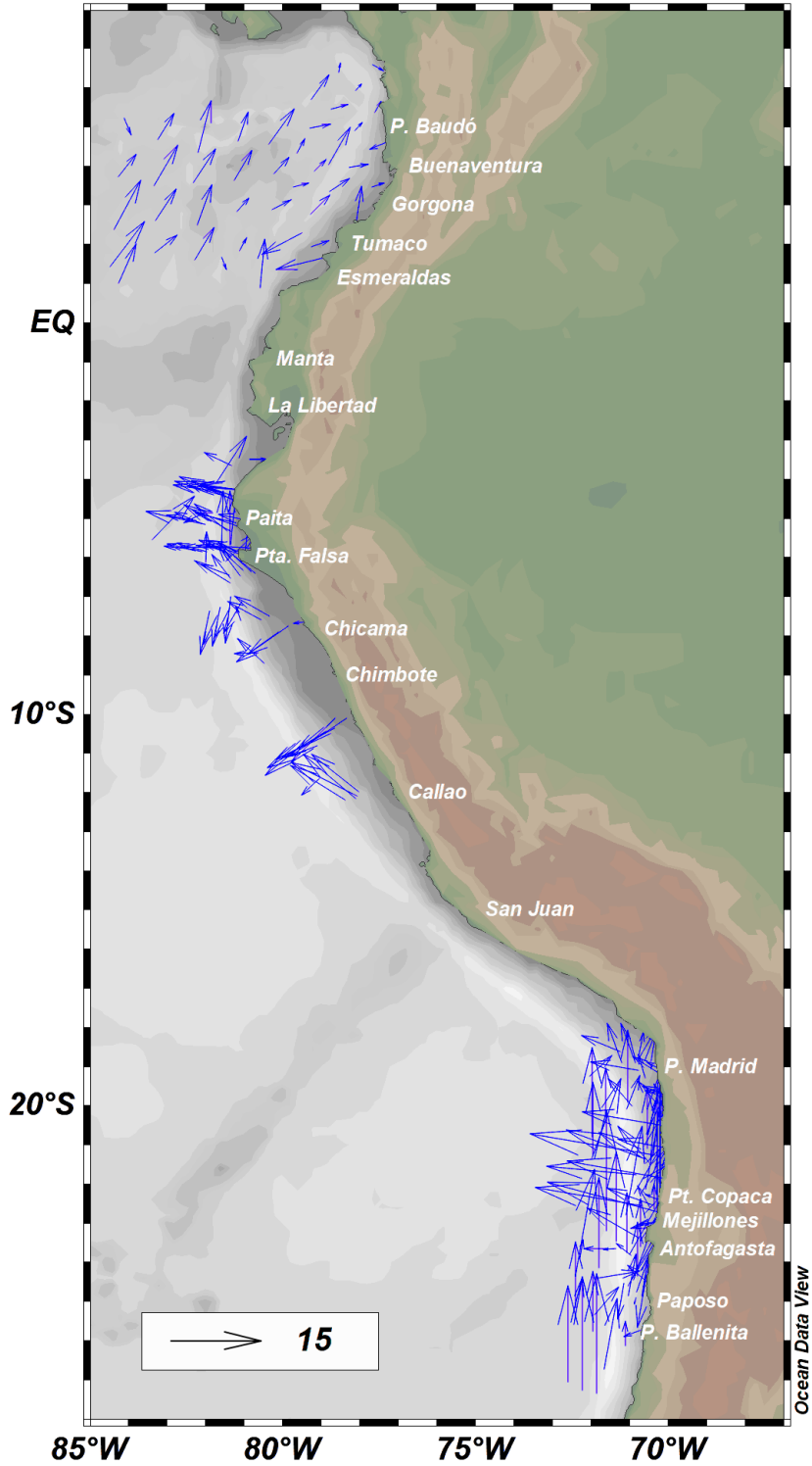


Figura 7. Velocidad (m/s) y dirección del viento en la superficie del mar registrado durante la ejecución del XXIII Crucero Regional Conjunto

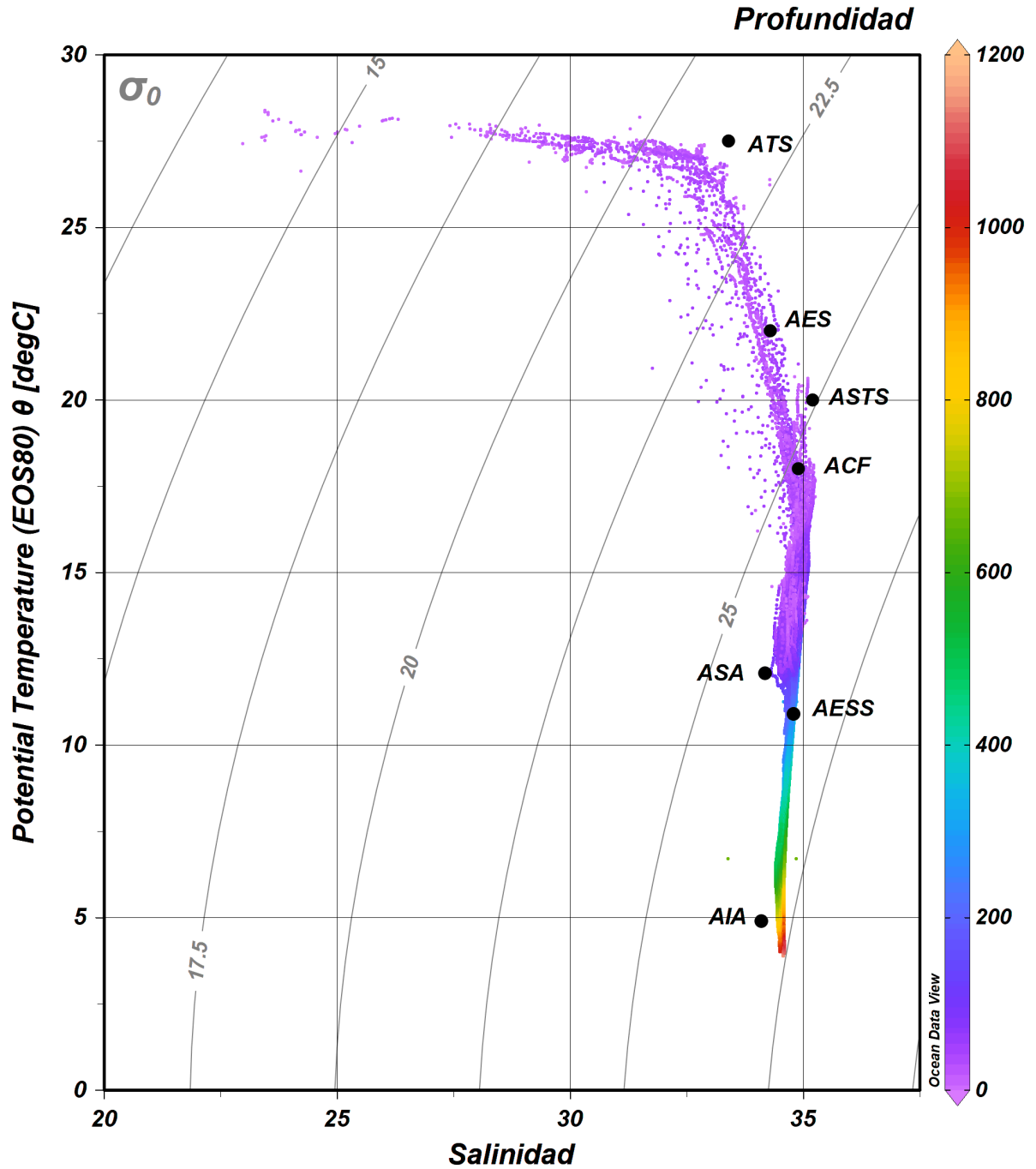


Figura 8. Diagrama T-S y masas de agua durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. Los puntos negros representan al par de valores de temperatura y salinidad promedio de las masas de agua identificadas: Agua Tropical Superficial (ATS), AES (Agua Ecuatorial Superficial), Agua Subtropical Superficial (ASTS), Agua Costera Fría (ACF), Agua Subantártica (ASA), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AEES) y Agua Intermedia Antártica (AIA). La escala de colores a la derecha representa la profundidad.

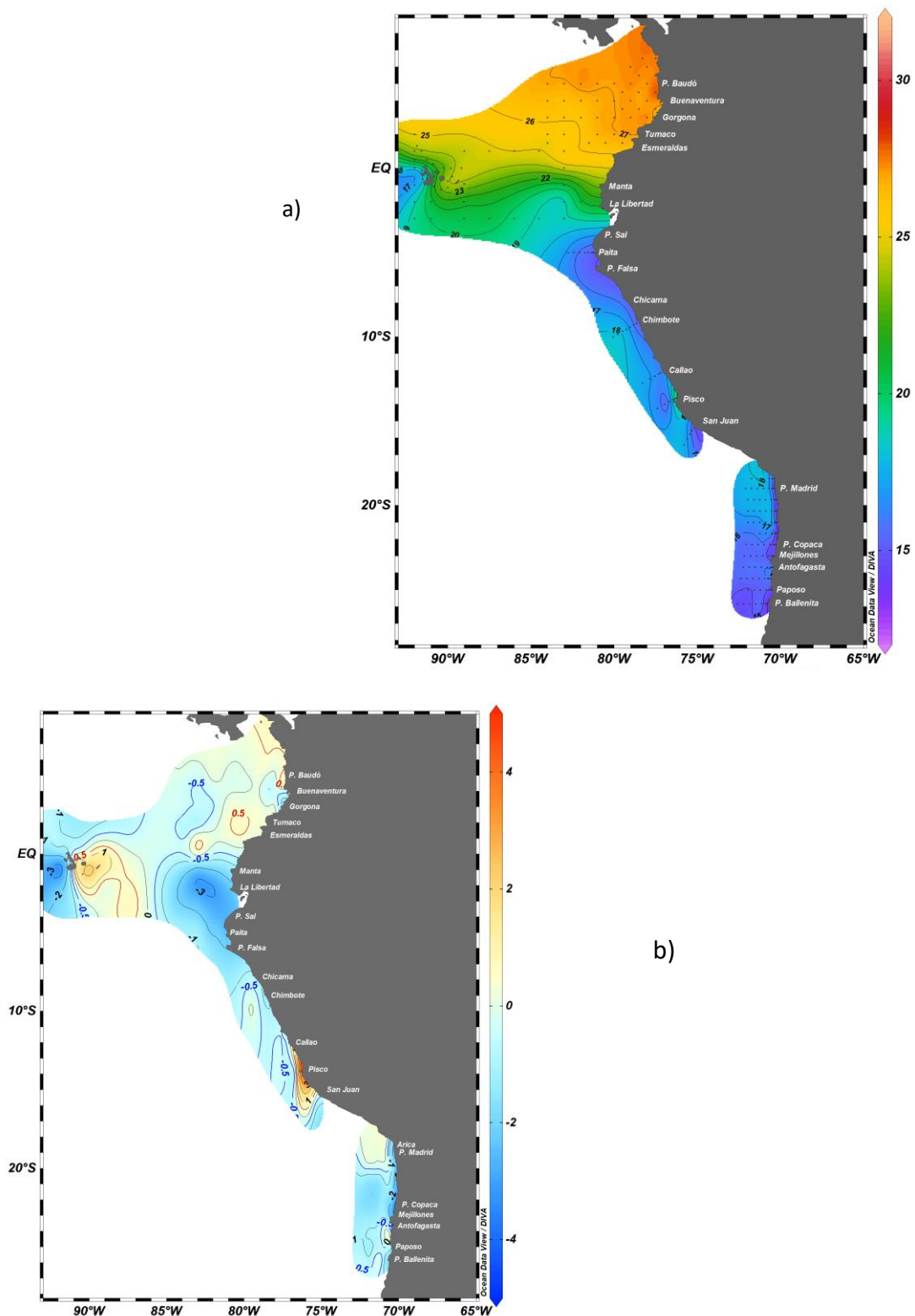


Figura 9. a) Temperatura Superficial del Mar (°C) y b) Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (°C) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. Las anomalías térmicas se estimaron con la climatología de Baranova et al., 2019 y Boyer et al., 2018.

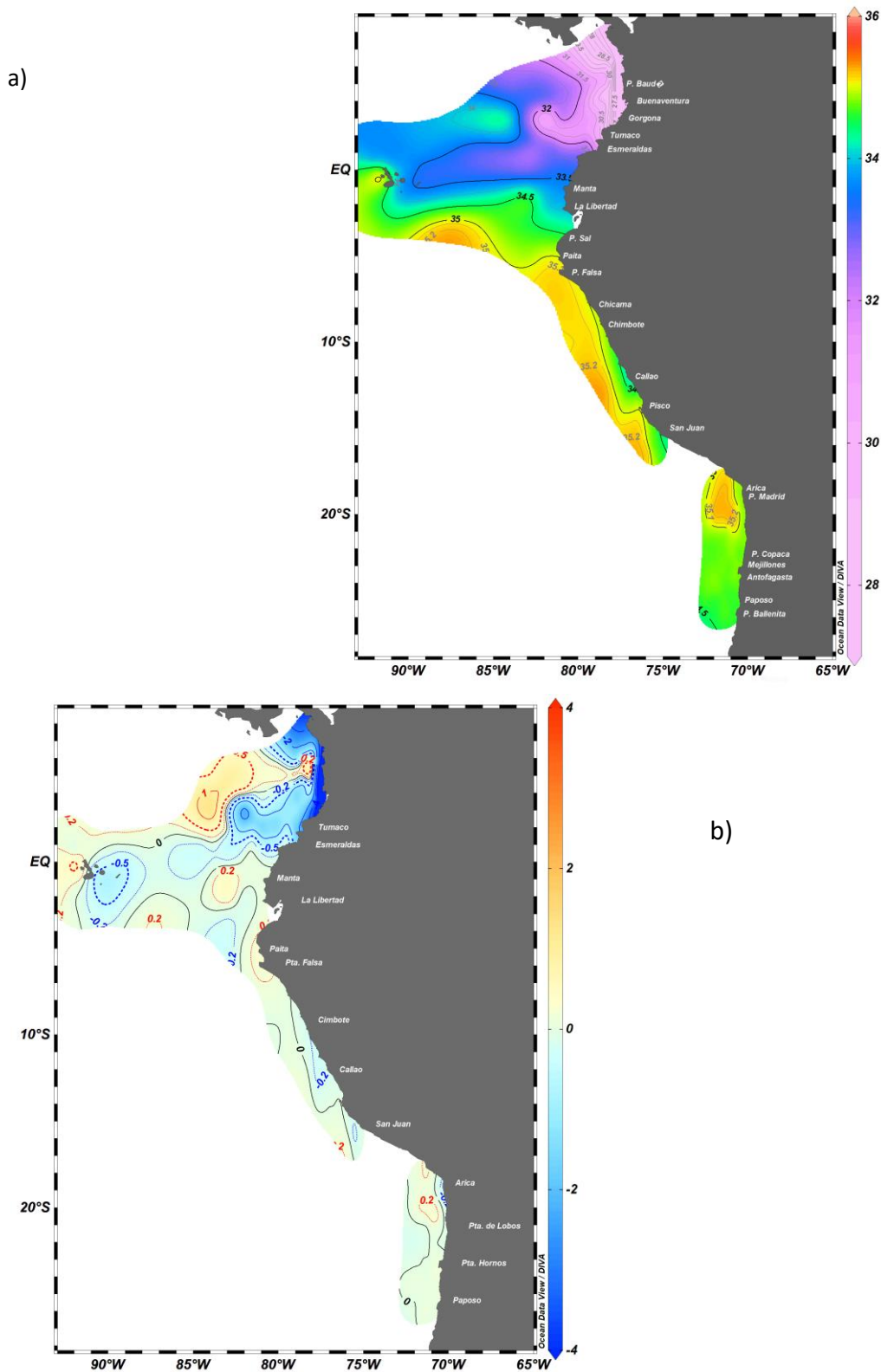


Figura 10. a) Salinidad Superficial del Mar y b) Anomalia de la Salinidad Superficial del Mar durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. Las anomalías se estimaron de acuerdo a Zweng et al., 2018 y Boyer et al., 2018.

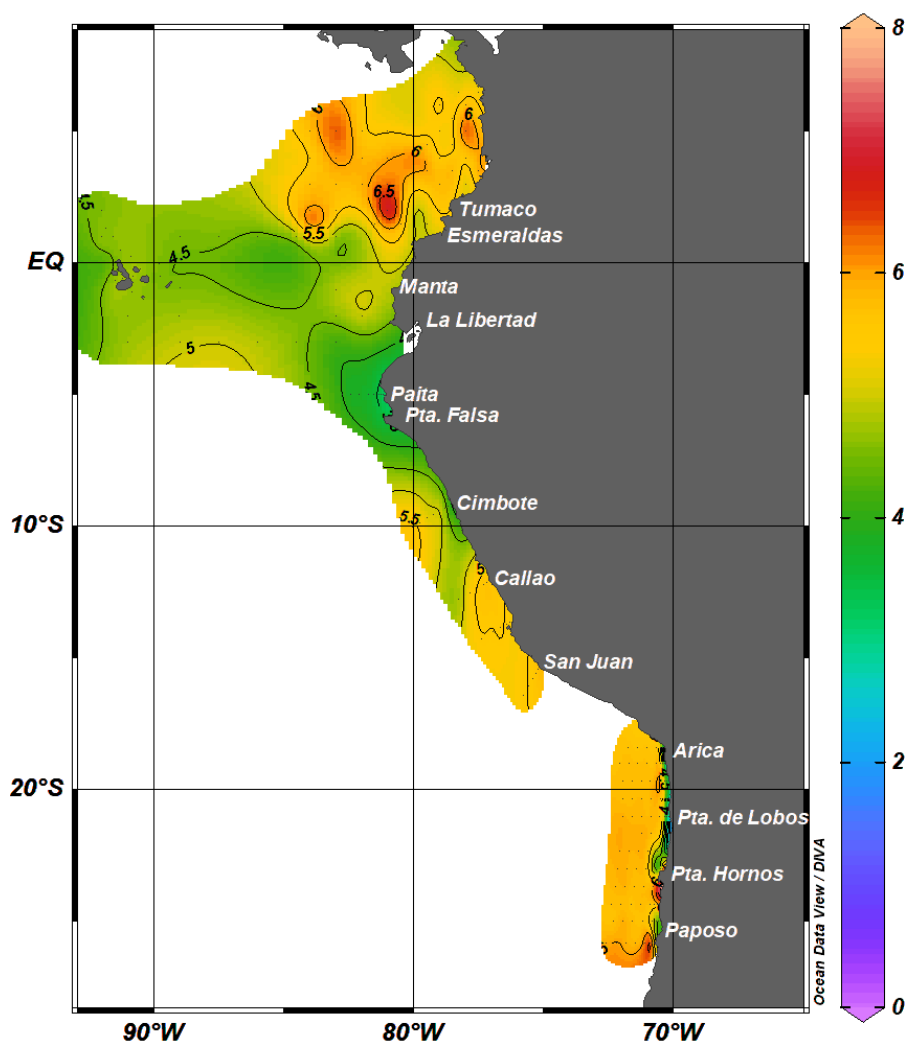


Figura 11. Oxígeno disuelto superficial del mar (mg/L) para el periodo septiembre-octubre de 2020 durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste.

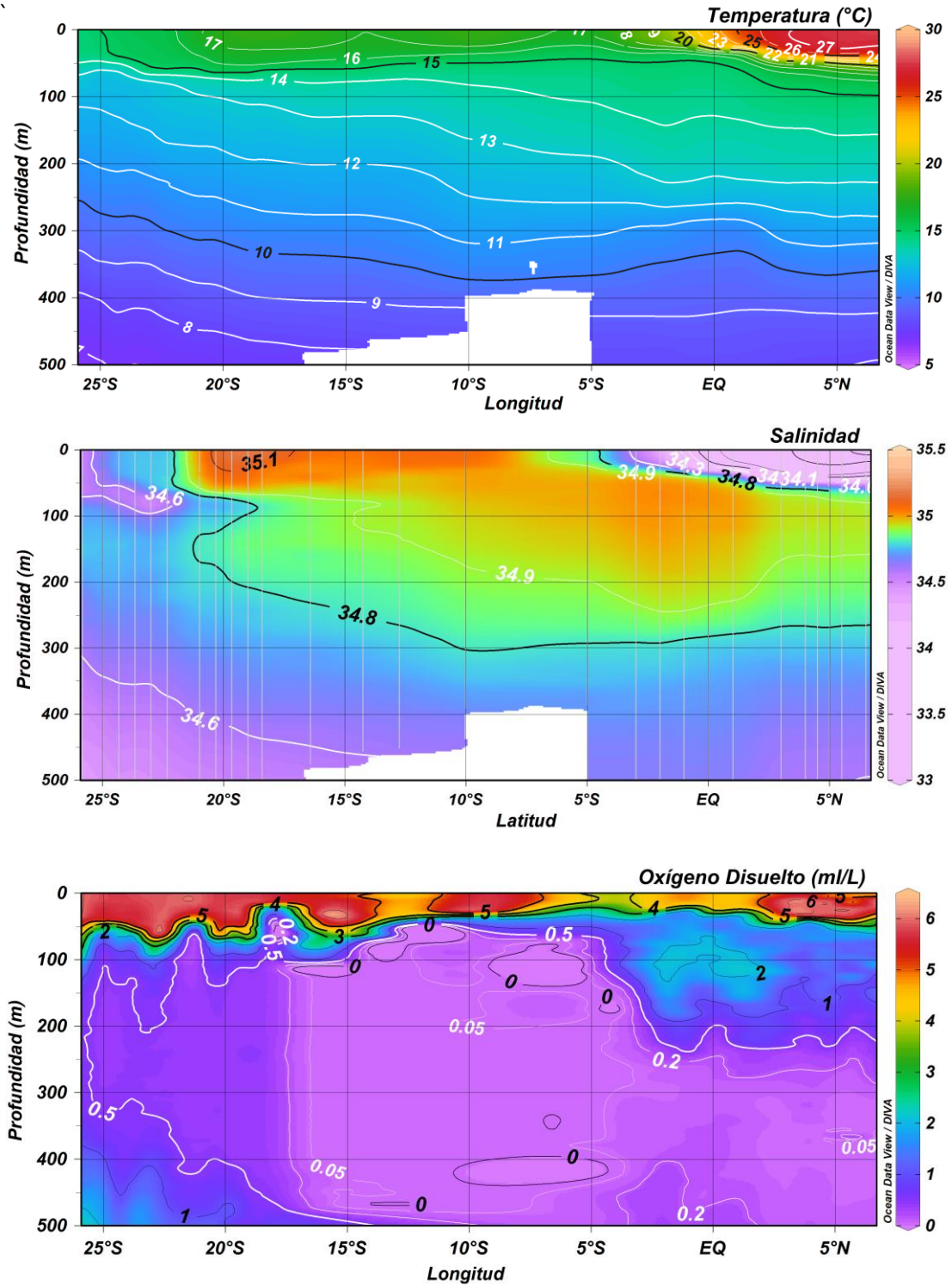


Figura 12. Estructura vertical paralela al perfil costero de Colombia, Ecuador, Perú y Chile durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

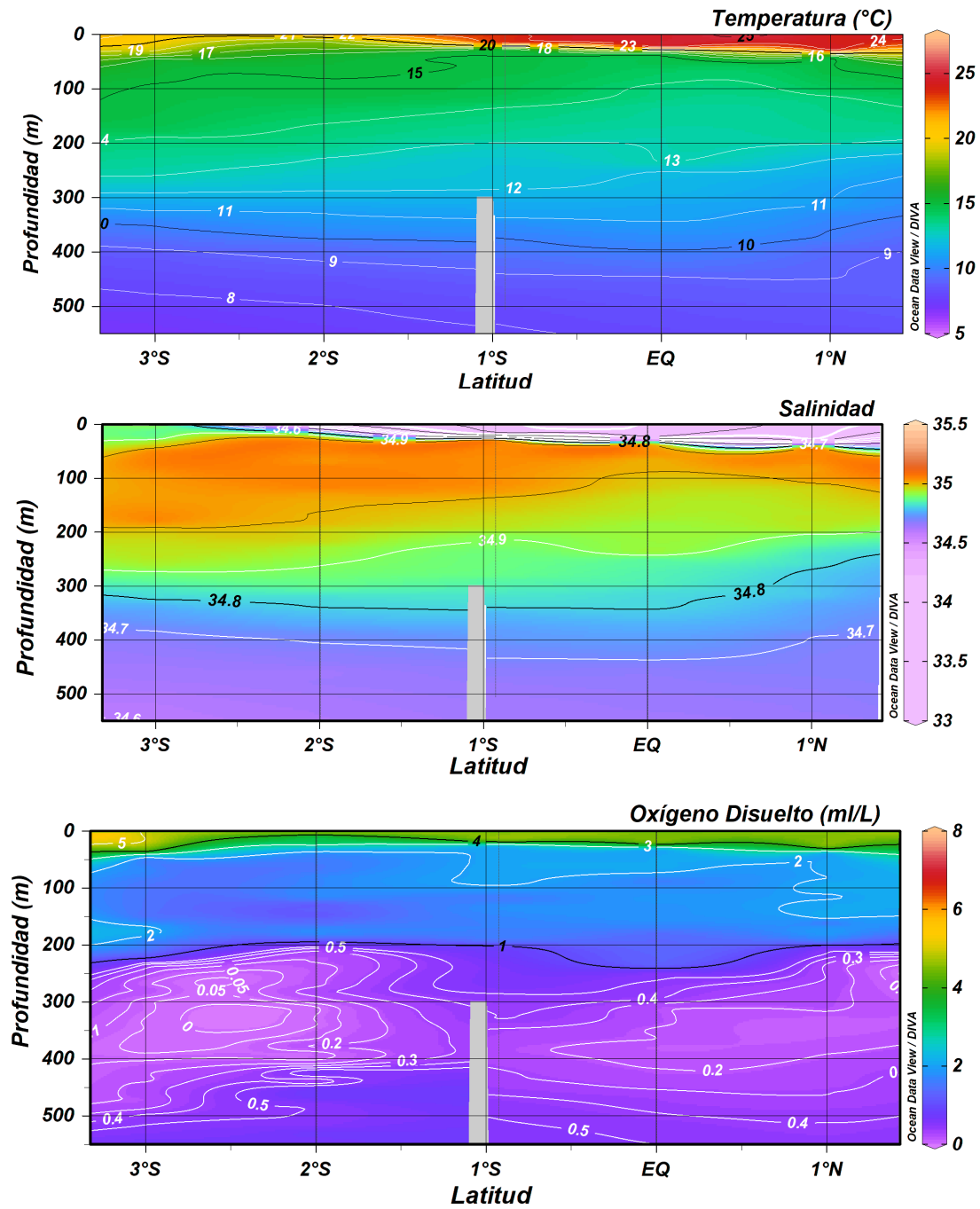


Figura 13. Estructura vertical en la sección 89°O, desde 1°N hasta 3°S durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.

Bajo Baudó (5°N)

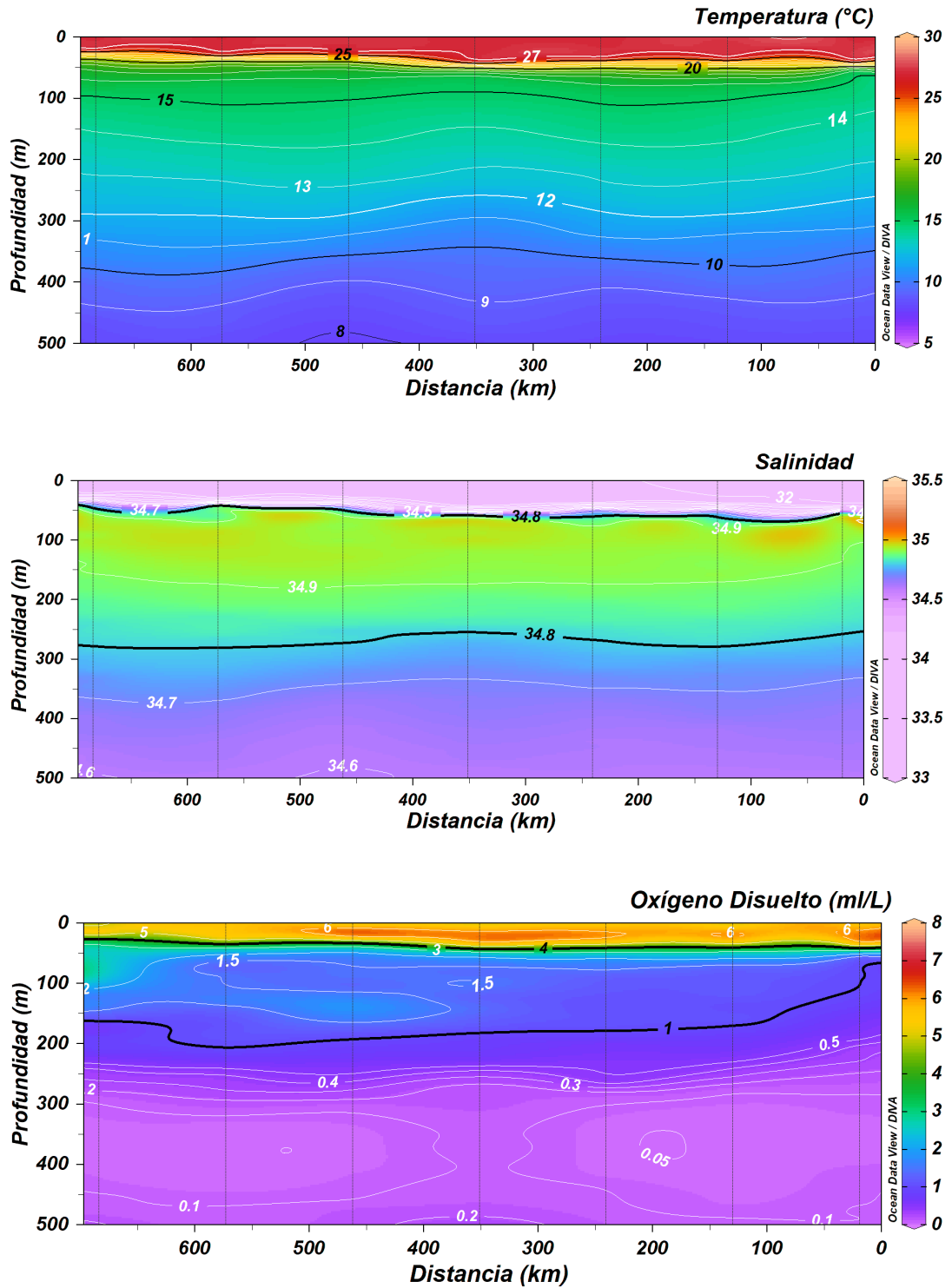


Figura 14. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Bajo Baudó (5°N), Colombia, durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.

Buenaventura (4°N)

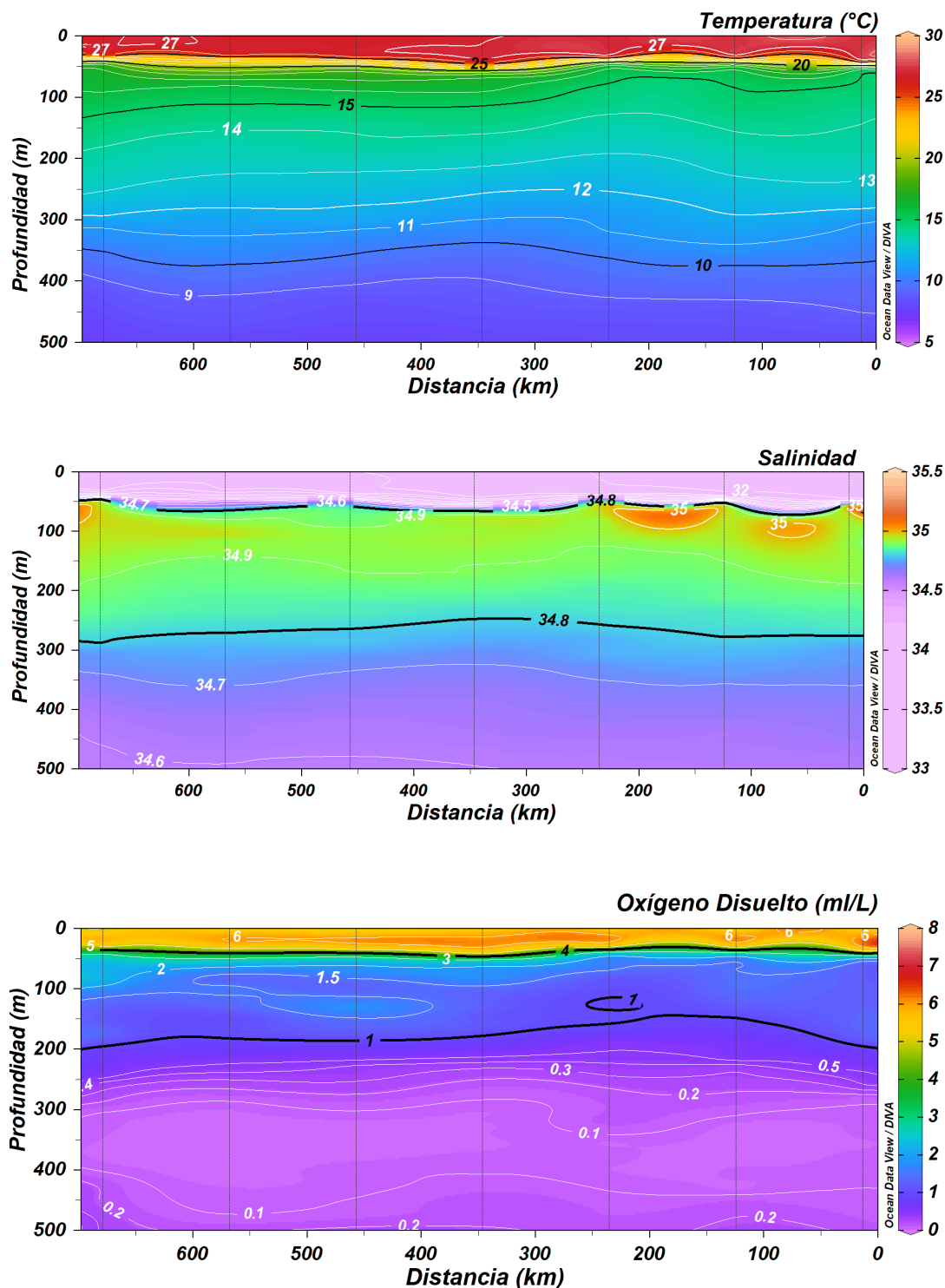


Figura 15. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Buenaventura (4°N), Colombia, durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.

Gorgona (3°N)

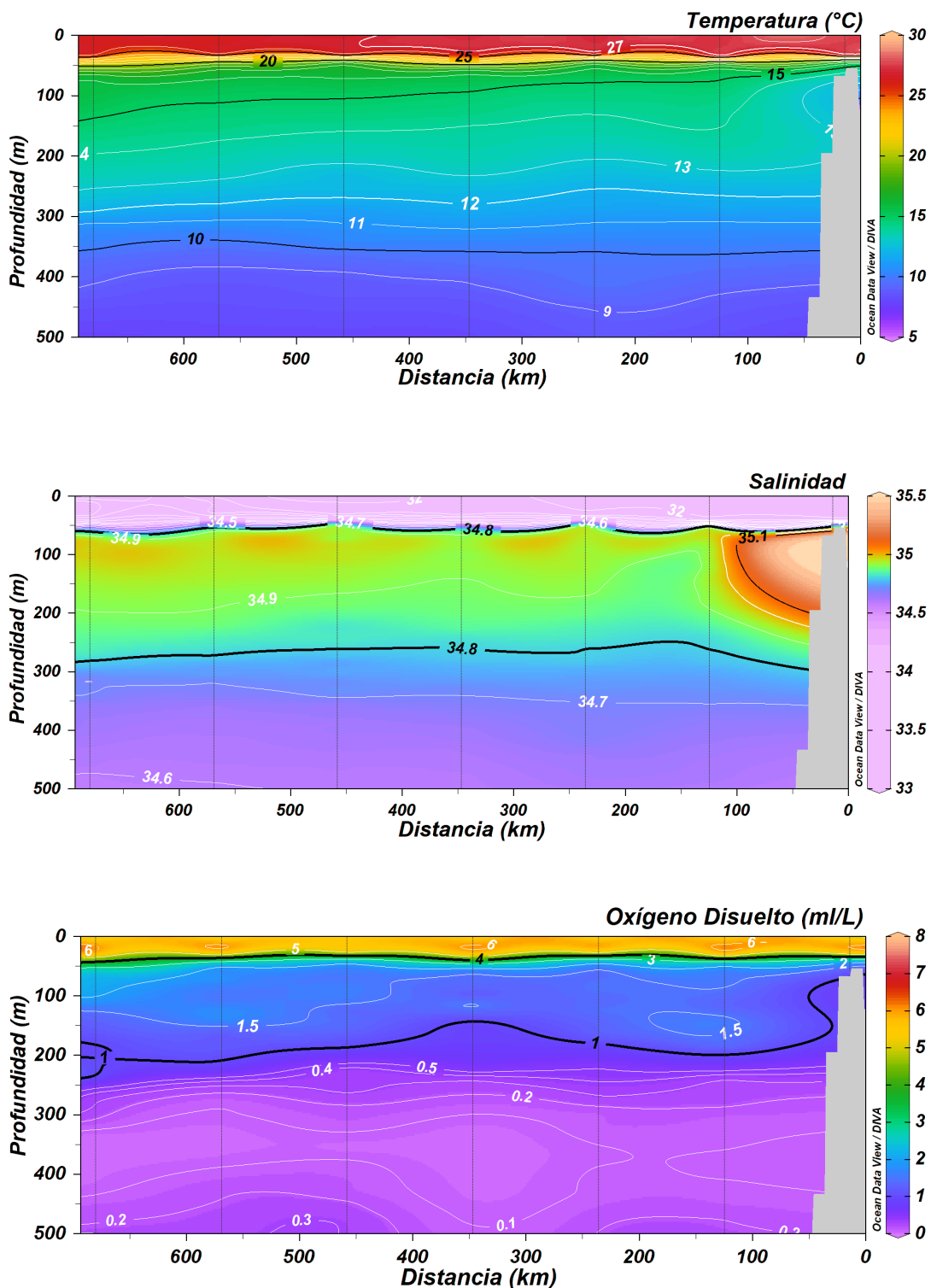


Figura 16. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Gorgona (3°N), Colombia, durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.

Tumaco (2°N)

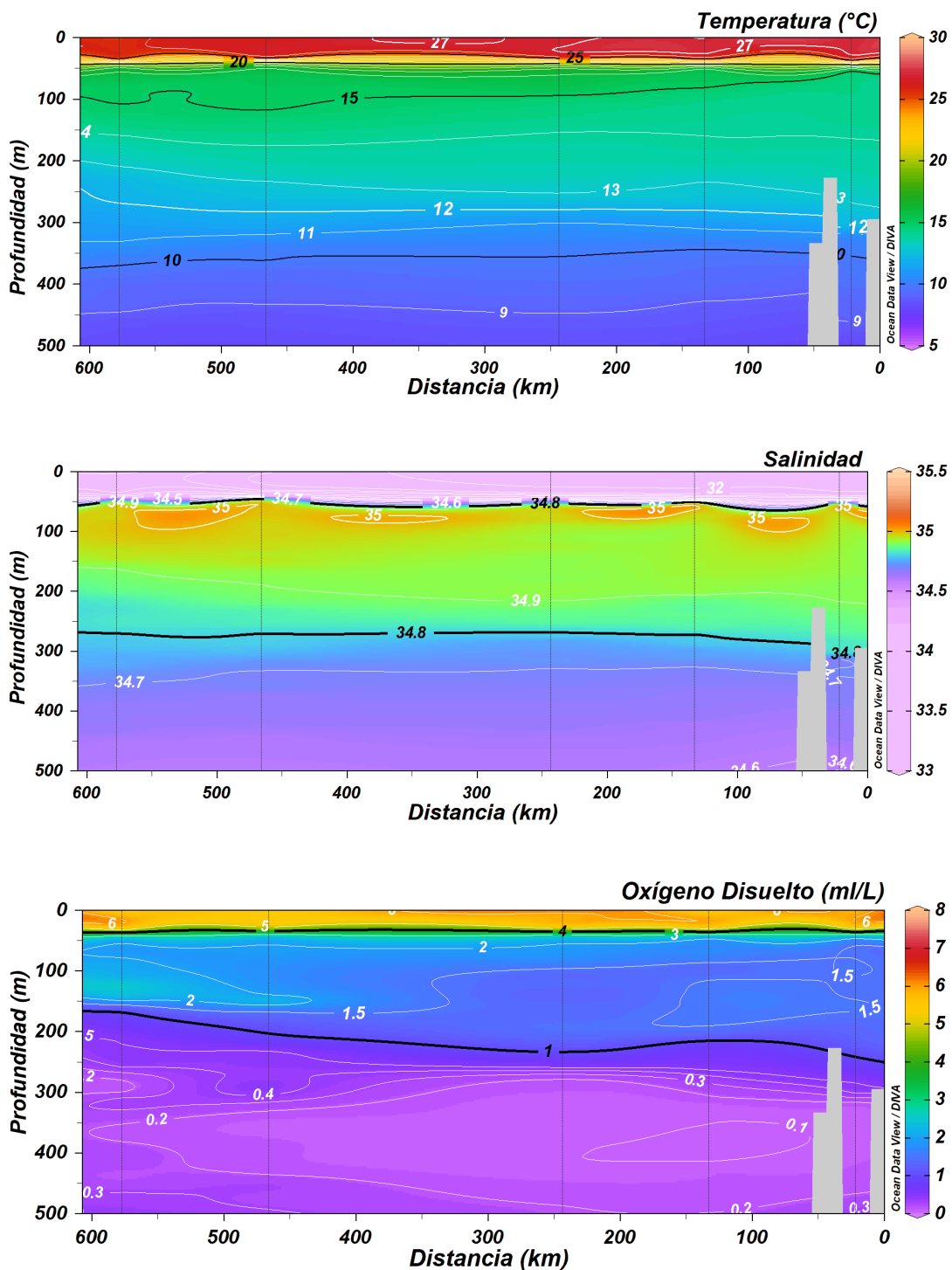


Figura 17. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Tumaco (2°N) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel inferior, Oxígeno.

Paita (5°S)

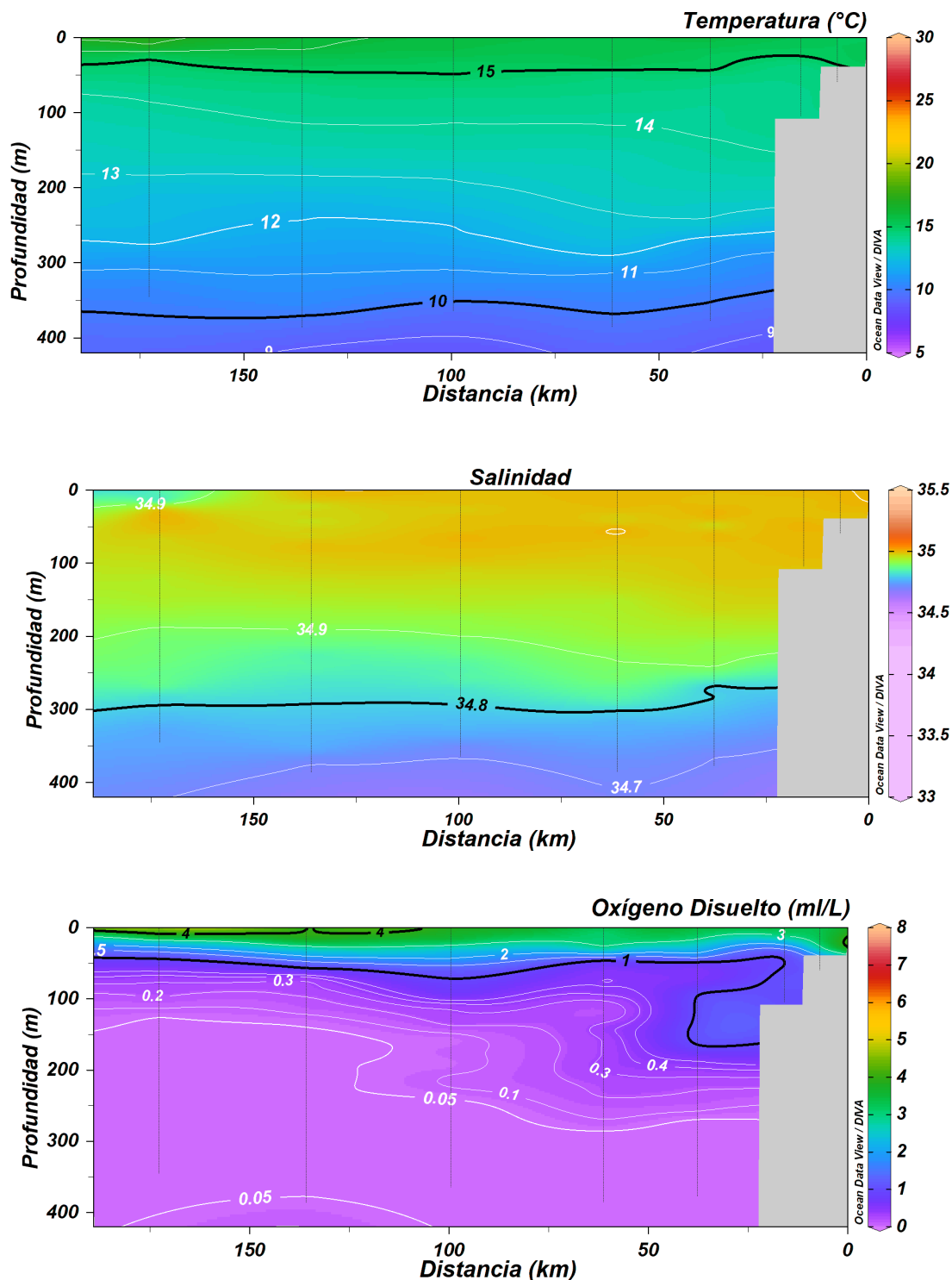


Figura 18. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Paita (5°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

Chimbote (9°S)

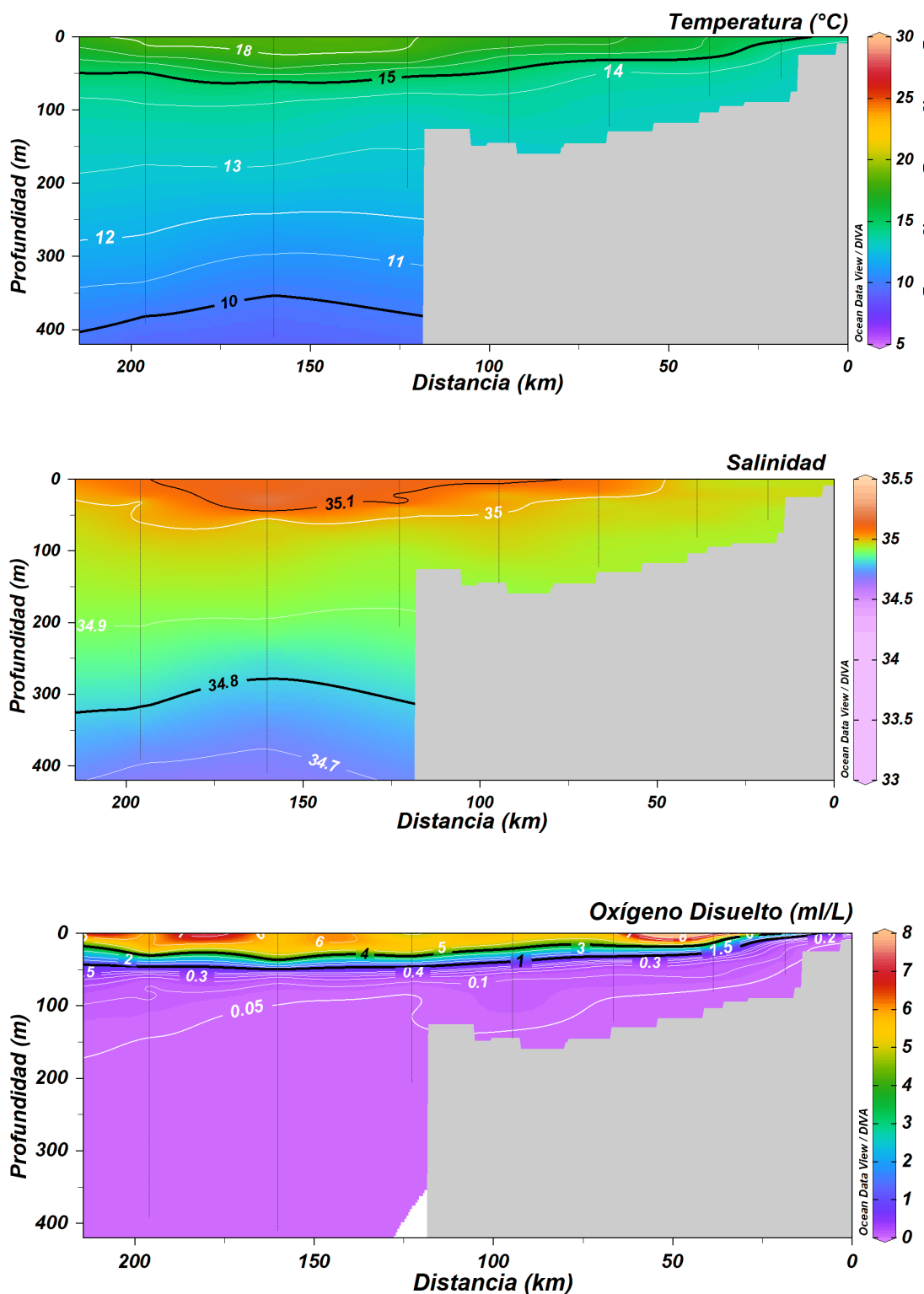


Figura 19. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Chimbote (9°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

Callao (12°S)

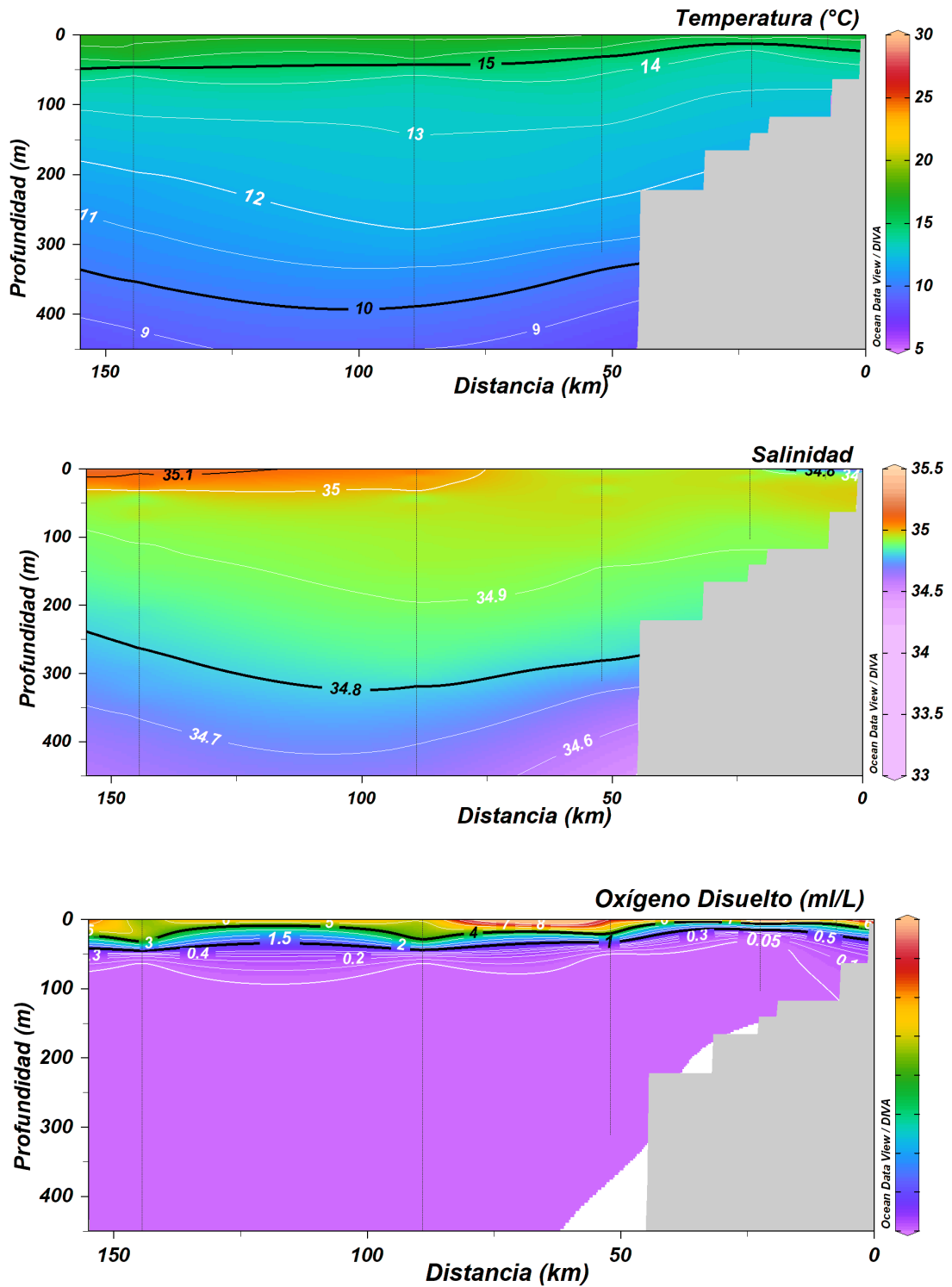


Figura 20. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Callao (12°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

San Juan (15°S)

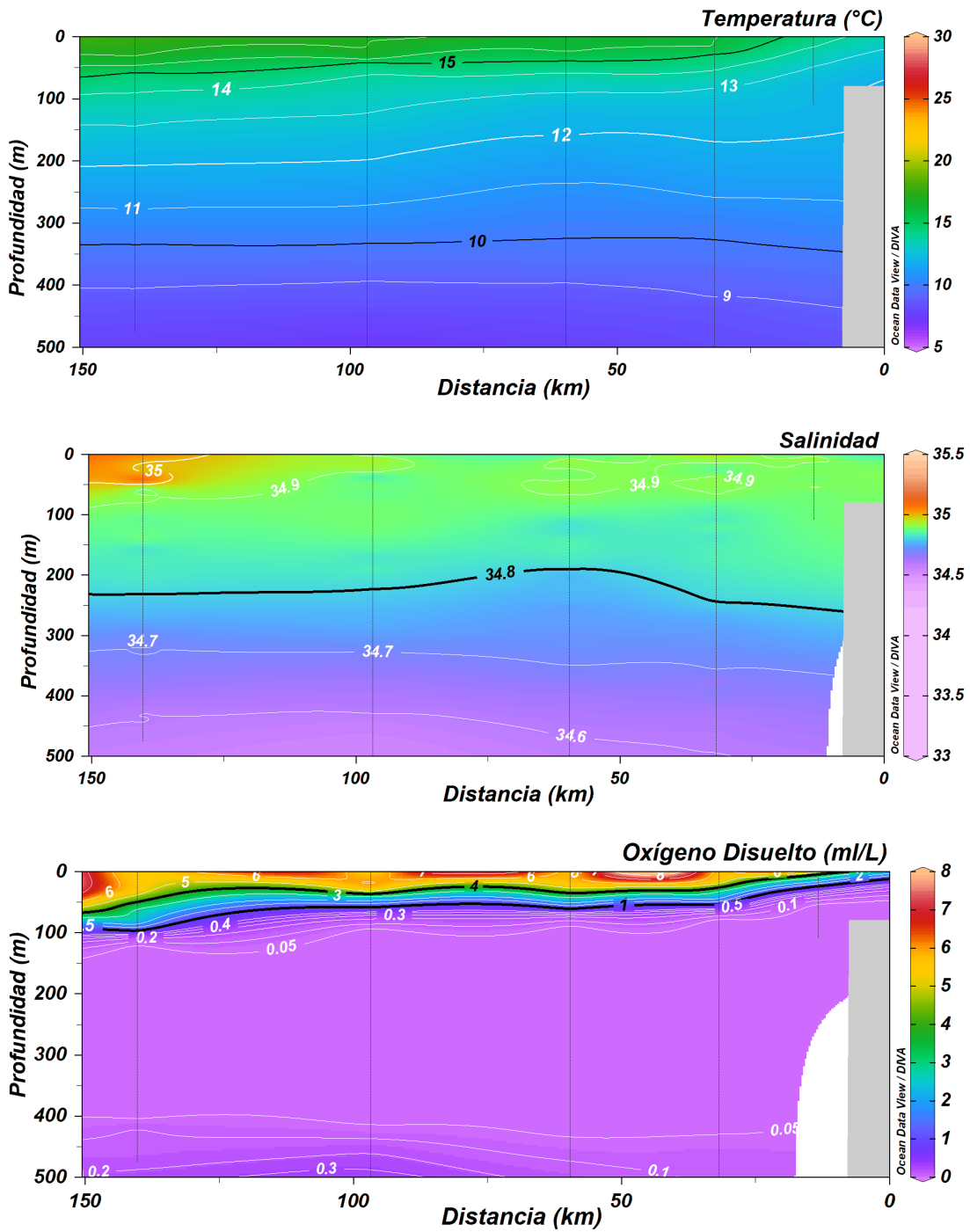


Figura 21 Estructura vertical de la sección perpendicular frente a San Juan (15°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

Arica (18.5°S)

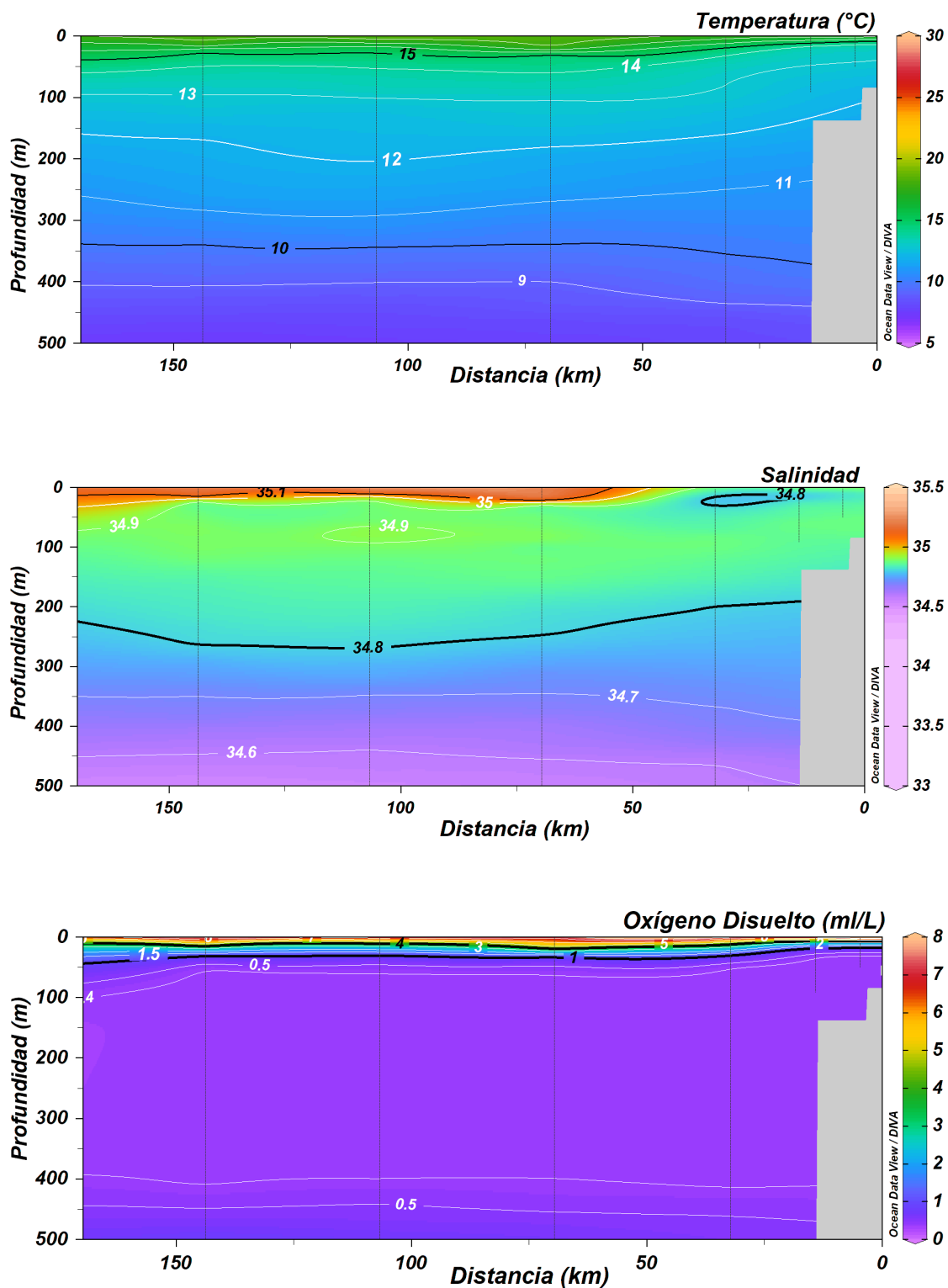


Figura 22. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Arica (18.5°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

Punta Junín (19.67°S)

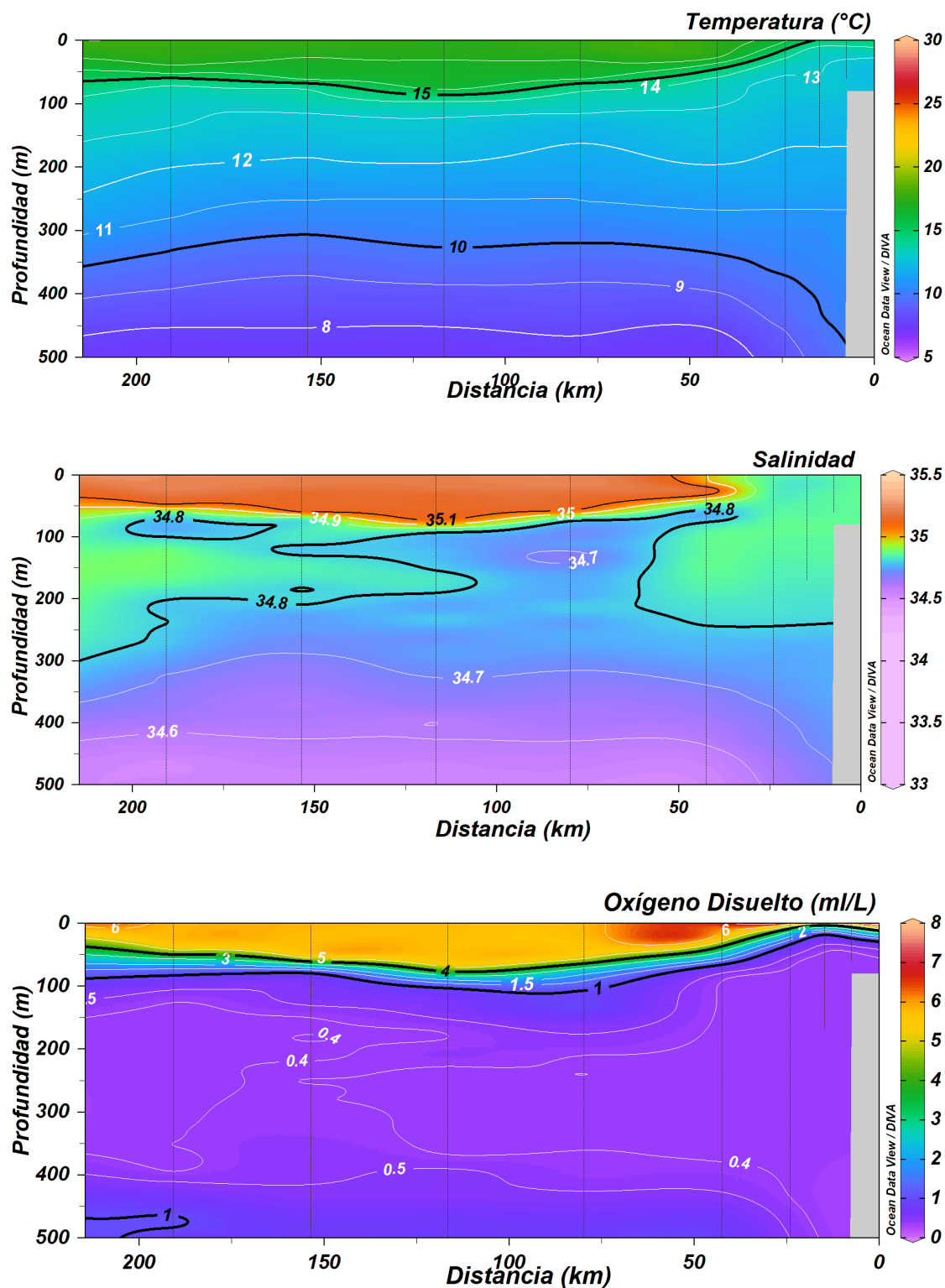


Figura 23. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Punta Junín (19.7°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

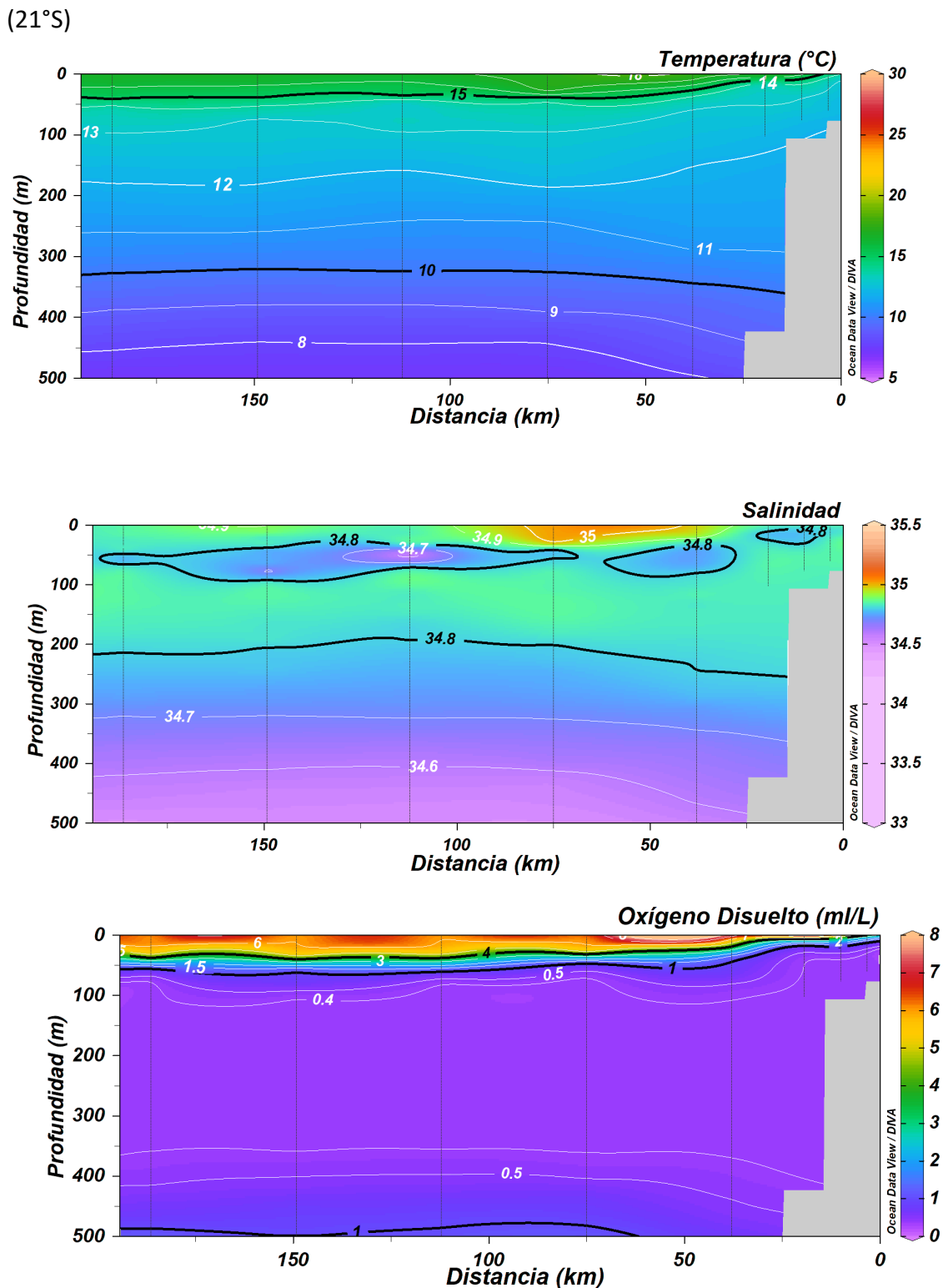


Figura 24. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a 21°S durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

Punta Copaca (22.33°S)

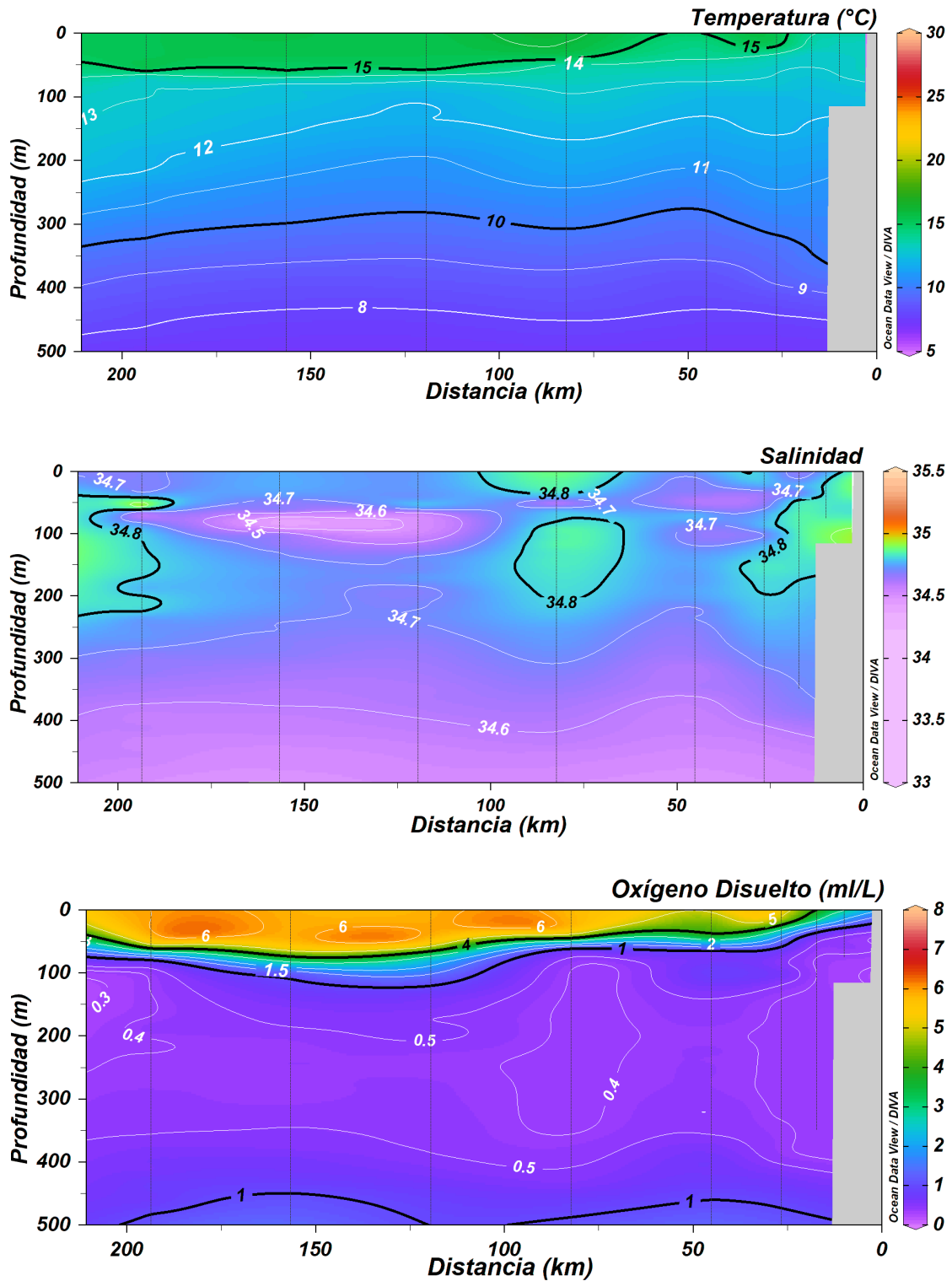


Figura 25. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Punta Copaca (22.33°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

Antofagasta (23.67°S)

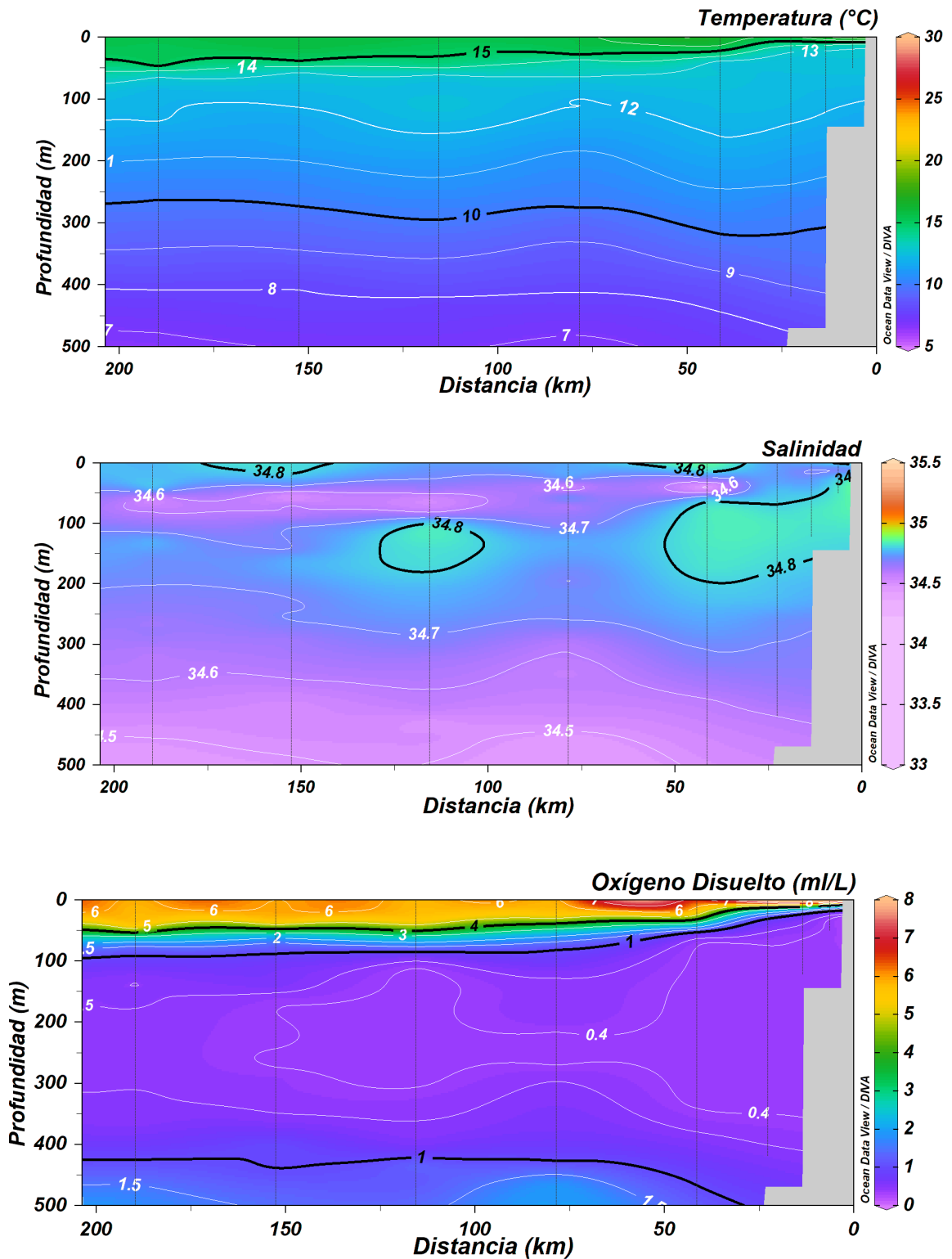


Figura 26. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Antofagasta (23.7°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

Paposo (25°S)

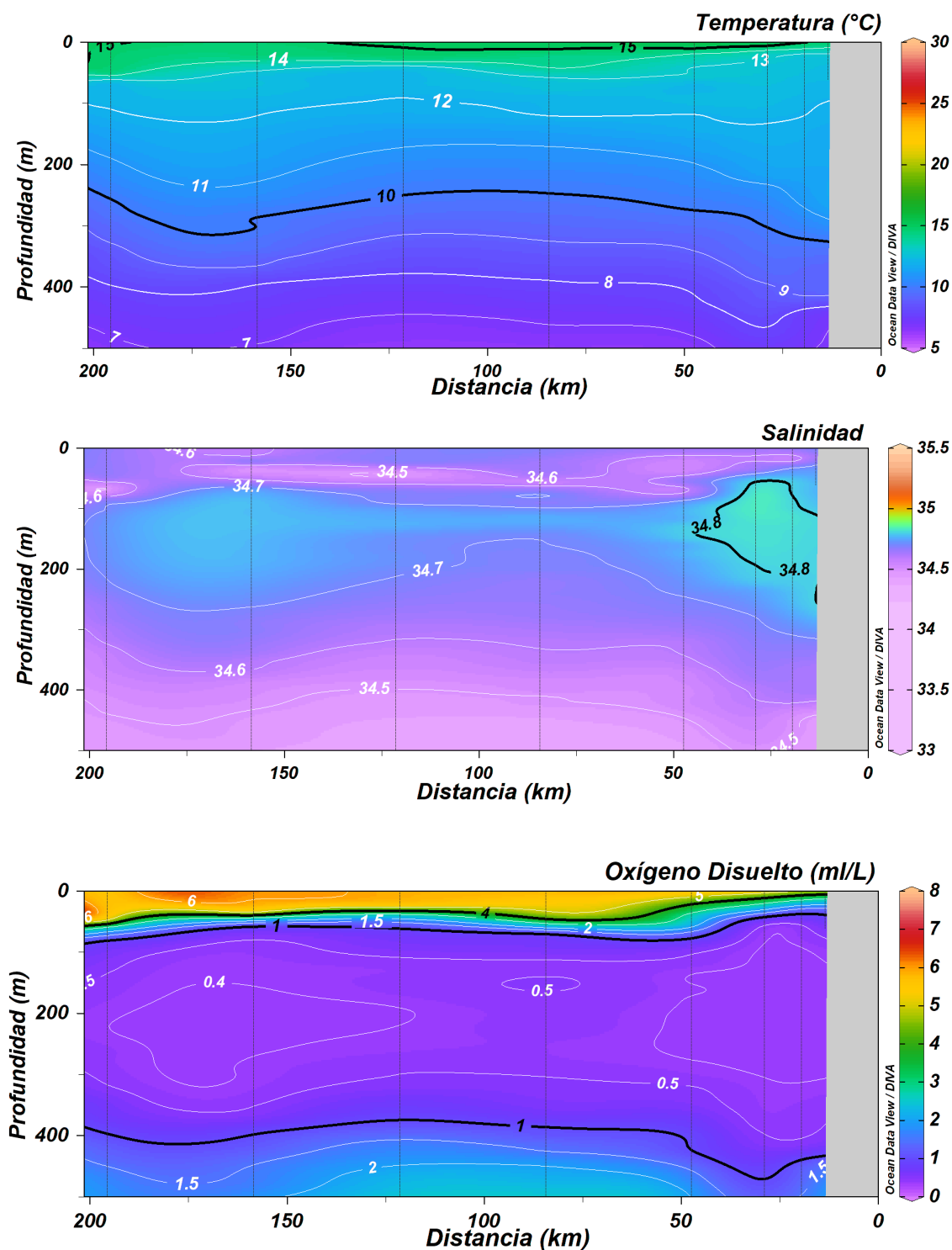


Figura 27. Estructura vertical de la sección perpendicular frente a Paposo (25°S) durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020. En el panel superior, Temperatura; en el panel central, Salinidad y en el panel Inferior, Oxígeno.

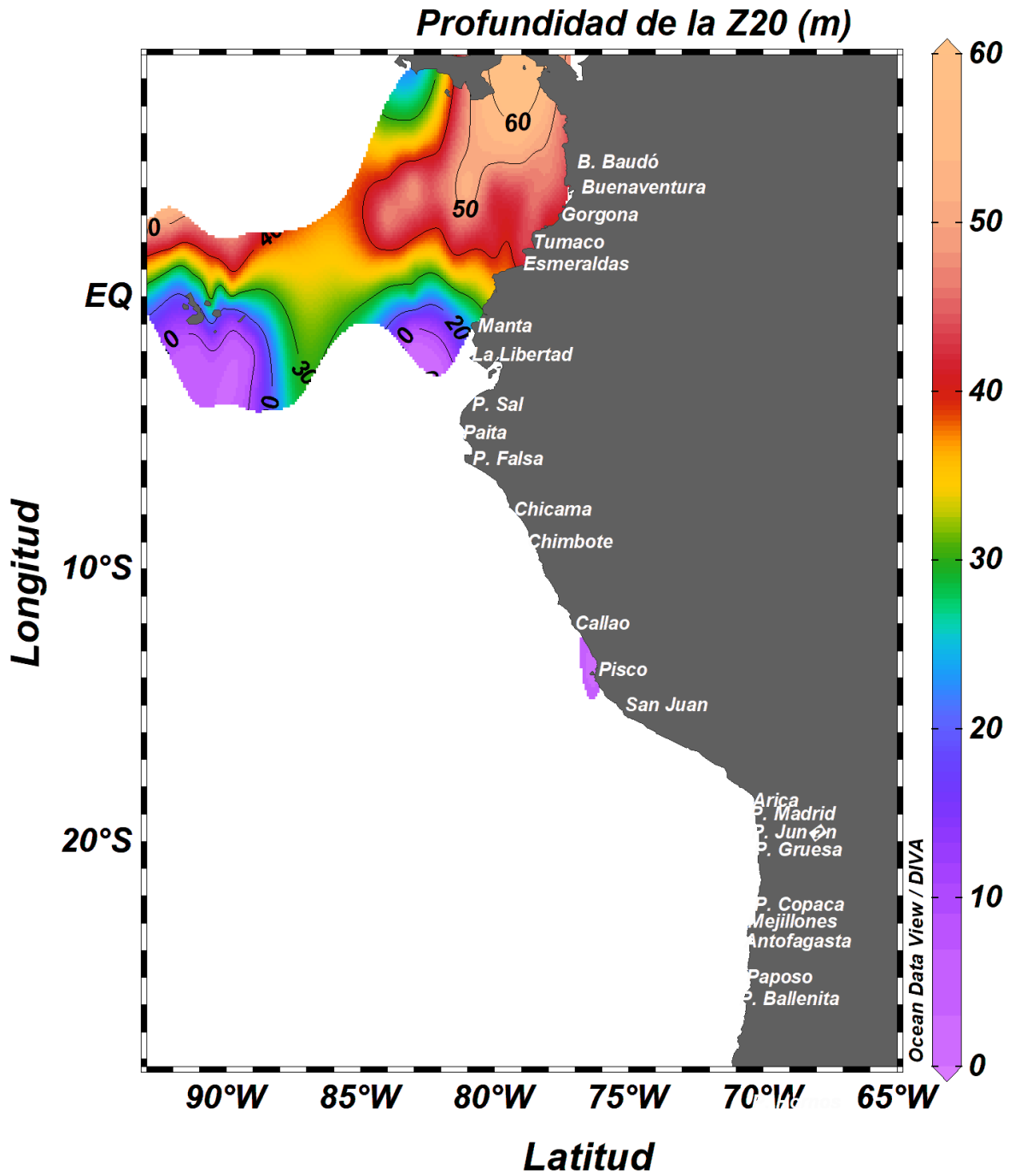


Figura 28. Profundidad de la isoterma de 20°C durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020.

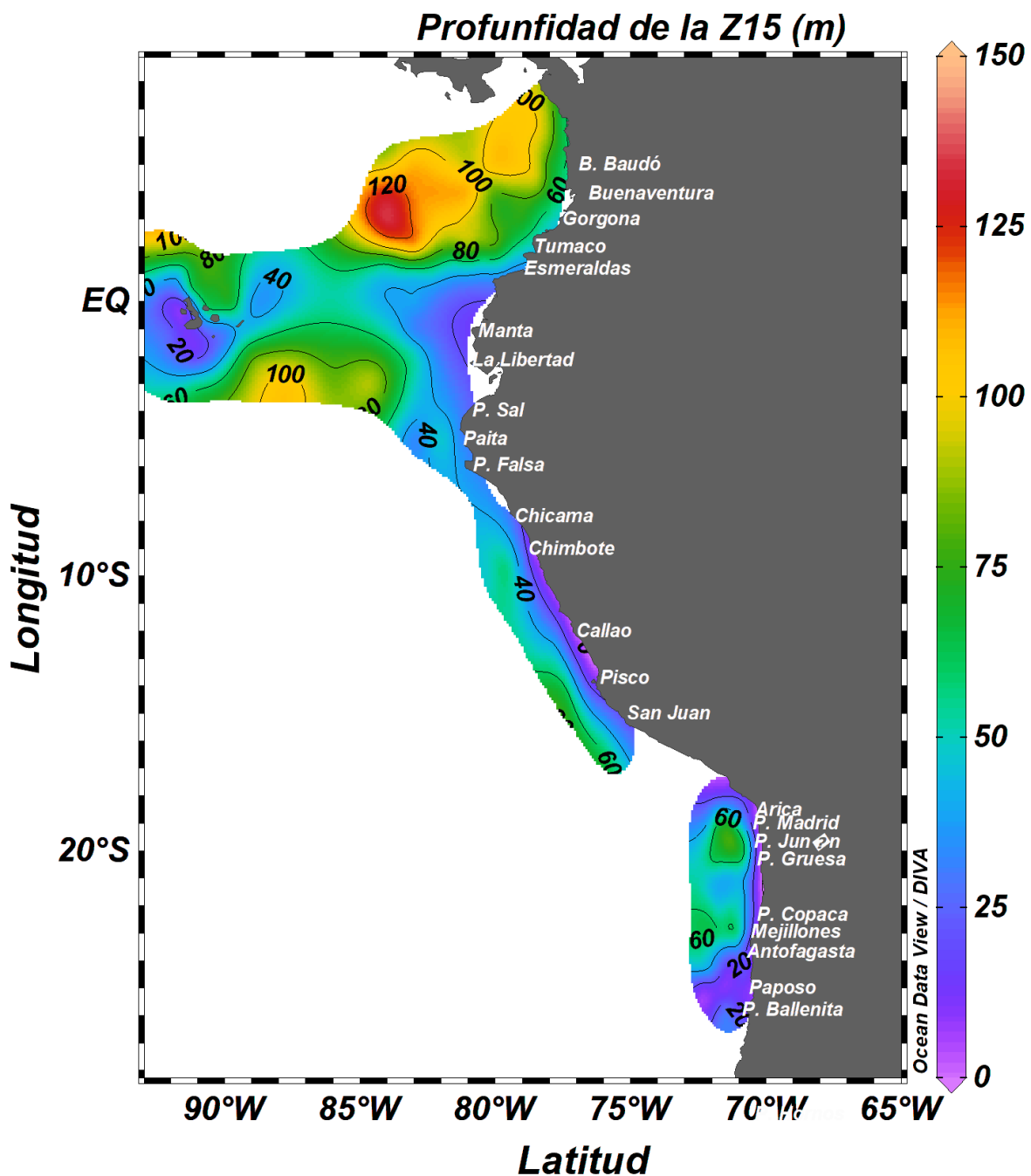


Figura 29. Profundidad de la isoterma de 15°C durante el XXIII Crucero Regional Conjunto de Investigaciones Oceanográficas en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre de 2020.



# ANEXOS



**Tabla 1. Comité Coordinador del XXIII Crucero Oceanográfico Regional**

PAÍS	INSTITUCIONES ESPECIALIZADAS	ESPECIALISTA	COORDINACIÓN CIENTÍFICA
Colombia	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP), Dirección General Marítima (Dimar).	Manuel Alejandro Gutierrez Moreno	Nacional
Ecuador	Instituto Oceanográfico de la Armada	Oc. Leonor Vera San Martín	<u>Nacional y regional</u>
Perú	Instituto del Mar del Perú	Oc. Carmen Grados Quispe	Nacional
Chile	Instituto de Fomento Pesquero	Oc. Hernán Reyes Rivas	Nacional

**Tabla 2. Personal participante en el crucero oceanográfico**

PAÍS	COLOMBIA
<b>Crucero DIMAR- CCCP:</b>	“Crucero Oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana (CPC) - Estudio Regional del Fenómeno de El Niño/Niña (ERFEN)”
<b>Buque:</b>	Buque Oceanográfico A.R.C.Malpelo
<b>Jefe de crucero:</b>	TNESP Manuel Alejandro Gutiérrez Moreno, CCCP
<b>Comando del buque:</b>	CFESP. Javier Eduardo Márquez Orjuela
<b>Participantes:</b>	<p><b><u>Componente Físico</u></b></p> <p>MA1MMO. Ángel Barleta Brainer, Jefe de estación, CCCP</p> <p>CPS Estefanía Giraldo Franco, Auxiliar de estación, CCCP</p> <p><b><u>Componente Químico</u></b></p> <p>CPS Jesús David Reyes Negrete, Jefe de estación, CCCP</p> <p><b><u>Componente Biológico</u></b></p> <p>CPS Ortiz Miele Laura Carolina, Jefe de estación, CCCP</p> <p><b><u>Componente Microbiológico</u></b></p> <p>CPS Edith Durán, Jefe de estación, CCCP</p>

PAÍS	ECUADOR
<b>Crucero DIMAR- CCCP:</b>	“Crucero Oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana (CPC) - Estudio Regional del Fenómeno de El Niño/Niña (ERFEN)”
<b>Buque:</b>	Buque de Investigación de la Armada del Ecuador ORIÓN
<b>Jefe de crucero:</b>	TNNV-SU Leonardo Alvarado.
<b>Comando del buque:</b>	
<b>Participantes:</b>	<p><b>PERSONAL DE FÍSICA</b></p> <p>MSc. Sonia Recalde M.  Ing. Oc. Sharon Muñoz R.  Ing. Oc. Freddy López</p> <p><b>PERSONAL DE BIOLOGÍA</b></p> <p>Biol. Elsa Salazar</p> <p><b>PERSONAL DE QUÍMICA</b></p> <p>Quím. Alfredo Lynch.  Ing. Quím. Rubén Choto</p> <p><b>PERSONAL DE METEOROLOGÍA</b></p> <p>SGOS-HI Bolívar Maldonado.  CBOS-HI David Solís.</p> <p><b>PRACTICANTES NACIONALES</b></p> <p>Melanie Agila  Lisette Calle  Cesar Enderica  Dayanna Reyes  Sully Rivas  Vanessa Gavela  Karla Morales Donoso  Julio Espinosa  David Romero</p>

PAÍS	PERÚ
<b>Crucero IMARPE:</b>	“Evaluación Hidroacústica de los Recursos Pelágicos 2020 09-11”
<b>Buque:</b>	BIC Humboldt y BIC Flores Portugal
<b>Jefe de crucero:</b>	Ing. Ramiro Castillo Valderrama (Zona norte, BIC Humboldt) Ing. Luis La Cruz Aparco (Zona sur, BIC Humboldt) Ing. Gustavo Cuadros Caballero (BIC Flores Portugal)
<b>Comando del buque:</b>	
<b>Participantes:</b>	<p><b>Zona Norte BIC Humboldt:</b>  <b>Grupo de Oceanografía:</b> Jesús Ledesma Rivera, Cristhian Asto Córdova, Areliss Choque Medina  <b>Grupo de Biología:</b> Cecilia Peña Tercero, Iván Guevara Izquierdo, José Taira Okamura  <b>Grupo de Acústica:</b> Luis La Cruz Aparco, Carlos Valdez Mego, Marisella Pozada Herrera, Xu Han  <b>Grupo Observación de Mamíferos Marinos:</b> Cristian Moreno Mendez, Sandra Falero Alama, Juan Manuel Moreno Méndez</p> <p><b>Zona Sur BIC Humboldt:</b>  <b>Grupo de Oceanografía:</b> Jesús Ledesma Rivera, Cristhian Asto Córdova, Areliss Choque Medina  <b>Grupo de Biología:</b> Cecilia Peña Tercero, Iván Guevara Izquierdo, José Taira Okamura  <b>Grupo de Acústica:</b> Carlos Valdez Mego, Marisella Pozada Herrera, Xu Han  <b>Grupo Observación de Mamíferos Marinos:</b> Cristian Moreno Mendez, Sandra Falero Alama, Juan Manuel Moreno Méndez</p> <p><b>BIC Flores Portugal:</b>  Gustavo Cuadros Caballero, César Paz Velásquez, Edward Albuquerque Salazar, Pablo Gonzáles Aranda, Manuel Ochoa Madrid, Gian Paul Galarza Tirado, Daniel Quispe Ramos, Katherine Natividad Hilares</p>

PAÍS	CHILE
Crucero IFOP:	“Condiciones bio-oceanográficas y evaluación del stock desovante de anchoveta entre la regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta, año 2020”
Buque:	B/I Abate Molina
Jefe de crucero:	Oc. Hernán Reyes Rivas
Comando del buque:	Cap. Takashi Abe
Participantes:	<p><b>Grupo de Oceanografía:</b> Oc. Carolina Pérez, Oc. Andrea Soto, Biol. Elda Riquelme.</p> <p><b>Grupo de plancton:</b> Oc. Darleen Riveros, Tlgo. Christian Ibieta Biol. Débora Albornoz Oc. Claudia Rozas Estudiante Oc. Antonia Bennewitz</p> <p><b>Operadores Marinos:</b> Ing Pesq. Iván Toro O. Ing Pesq. Andrés Ruiz A.</p> <p><b>Grupo de Acústica:</b> Tnlgo. Roberto Lorca A. Tnlgo. Adrián Ibieta.</p> <p><b>Grupo Observación de Mamíferos Marinos</b> Obs. Científico Robert Bello S. Obs. Científico Juan Guerra.</p>

**Tabla 3. Fechas de inicio y término de las expediciones científicas**

PAÍS	BUQUE	FECHA DE INICIO/TÉRMINO	NºDÍAS	ESTACIONES EJECUTADAS
Colombia	Buque Oceanográfico A.R.C.Malpelo	13 de septiembre al 7 de octubre/2020	25	44
Ecuador	Buque de Investigación de la Armada del Ecuador ORIÓN	1 al 21 de octubre/2020	21	59
Perú	BIC José Olaya y BIC Humboldt	20 de septiembre al 11 de noviembre/2020	53	60 estaciones CTD 72 estaciones superficiales
Chile	B/I Abate Molina	20 de septiembre al 22 de octubre/2020	33	95 estaciones