



COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR (CPPS)

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



Condiciones océano-atmosféricas en el océano Pacífico
tropical oriental en septiembre y octubre de 2017

CPPS - 2018

Nota de responsabilidad:

Este documento ha sido preparado por representantes de la Dirección General Marítima (DIMAR), del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP), del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), 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 y no necesariamente son los puntos de vista de la CPPS.

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. 2018. Informe Final del Vigésimo Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste: Condiciones océano-atmosféricas en el océano Pacífico tropical oriental en septiembre y octubre de 2017. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. 45 p.

Autores:

María Grados, Hernán Reyes, Leonor Vera, Christian Bermúdez-Rivas, Freddy Hernández, Katherine Vásquez.

Fotos en la portada:

Tormenta del océano: Zacarias Pereira Da Mata / 123RF

B/I Abate Molina: IFOP

ARC Gorgona: CCCP/DIMAR

BAE Orión: INOCAR

BIC José Olaya y BIC Humboldt: IMARPE

© 2018 CPPS

Guayaquil, Ecuador

ISBN: 978-9942-8538-9-9



9 789942 853899

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

Condiciones océano-atmosféricas en el océano Pacífico tropical oriental
en septiembre y octubre de 2017

CPPS - 2018

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I INTRODUCCIÓN	3
II ANTECEDENTES	4
III DATOS Y MÉTODOS	5
IV RESULTADOS	7
4.1 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	7
4.2 CONDICIONES FÍSICAS	8
a) Temperatura y salinidad superficial del mar	8
b) Caracterización de la estructura termohalina	8
c) Profundidad de las isotermas de 20°C y 15°C	10
d) Distribución meridional de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto	10
e) Masas de agua	11
4.3 CONDICIONES QUÍMICAS	12
a) Oxígeno disuelto en la superficie	12
b) Oxígeno disuelto en subsuperficie	12
V DISCUSIÓN	13
VI CONCLUSIONES	15
VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
RECONOCIMIENTOS	21

FIGURAS

Figura 1.	Estaciones oceanográficas realizadas durante el XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017.	22
Figura 2.	Temperatura Superficial del Mar (°C). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.	23
Figura 3.	Salinidad Superficial del Mar. XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.	24
Figura 4.	Oxígeno Superficial del Mar (ml/L). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.	25
Figura 5.	Profundidad de la isoterma de 20°C (m). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.	26
Figure 6.	Profundidad de la isoterma de 15°C (m). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.	27
Figura 7.	Estructura de la temperatura del agua de mar (°C) en las transectas frente a a) Buenaventura (4°N) y b) Tumaco (2°N) en Colombia y en los perfiles meridionales en c) 83°W, d) 86°W y e) 89°W en Ecuador durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.	28
Figura 8.	Distribución vertical de la temperatura del agua de mar (°C) en las transectas perpendiculares a a) Paita (5°S), b) Chimbote (9°S), c) Callao (12°S), d) Atico (16.20°S) en Perú y e) Arica (18°25'S), f) Punta Gruesa (Iquique, 20°20'S), g) Bahía Moreno (Antofagasta, 23°30'S) y h) Rada Paposo (25°S) en Chile durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.	29
Figura 9.	Distribución vertical de la salinidad del agua de mar en las transectas frente a a) Buenaventura (4°N) y b) Tumaco (2°N) en Colombia y en c) 83°W, d) 86°W y e) 89°W en Ecuador durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.	30
Figura 10.	Distribución vertical de la salinidad del agua de mar en las transectas perpendiculares a a) Paita (5°S), b) Chimbote (9°S), c) Callao (12°S), d) Atico (16.20°S) en Perú, y e) Arica (18°25'S), f) Punta Gruesa (Iquique, 20°20'S), g) Bahía Moreno (Antofagasta, 23°30'S) y h) Rada Paposo (25°S) en Chile durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.	31

Figura 11.	Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas frente a a) Buenaventura (4°N) y b) Tumaco (2°N) en Colombia, y en los paralelos c) 83°W, d) 86°W, e) 89°W en Ecuador durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.	32
Figura 12.	Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas frente a a) Paita (5°S), b) Chimbote (9°S), c) Callao (12°S), d) Atico (16.20°S) en Perú, y e) Arica (18°25'S), f) Punta Gruesa (Iquique, 20°20'S), g) Punta Coloso (Antofagasta, 23°30'S) y h) Rada Paposo (25°S) en Chile durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.	33
Figura 13.	Diagrama T-S y masas de agua durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018. Se distinguen en la superficie del mar el Agua Costera Colombiana (ACC), Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Ecuatorial Superficial (AES), Agua Subtropical Superficial (ASTS). A nivel subsuperficial se presentan el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AEES), Agua Sub Antártica (ASAA) y Agua Intermedia Antártica (AIAA).	34
Figura 14.	Estructura de a) temperatura del agua de mar (°C), b) salinidad y c) oxígeno disuelto (mL/L) en la transecta meridional a 100 km de la costa sudamericana.	35
Figura 15.	Distribución espacial promedio de la Temperatura Superficial del Mar (TSM, °C) para a) septiembre y b) octubre de 2017, así como las anomalías de la TSM (°C) para los meses de c) septiembre y d) octubre de 2017. Datos: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon et al, 2012) disponible en https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0). Las escalas de colores de la TSM como de las anomalías térmicas se presentan a la derecha de cada gráfico. Procesamiento: IMARPE.	36
Figura 16.	Distribución mensual compuesta del promedio diario de las anomalías del nivel del mar (cm) y los flujos geostróficos (FG, cm/s) en el Pacífico sudeste para los meses de a) septiembre y b) octubre de 2017. Fuente de datos: CMEMS V3.0. Las anomalías del nivel medio del mar se estimaron de acuerdo a la climatología para 1993-2012 y se presentan en matices de colores (a la derecha) mientras que la intensidad y dirección de los flujos geostróficos se presentan con flechas. Procesamiento: IMARPE.	37
Figura 17.	Series de tiempo de Índices climáticos: a) Índice LABCOS, b) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), c) Índice Costero El Niño (ICEN) y d) Índice Niño Oceánico desde el año 2000. La metodología para estimar estos índices se encuentra en Quispe y Vásquez (2015), Quispe et al (2016), Takahashi, et al. (2014) y Huang et al (2017), respectivamente. La barra en color amarillo indica el periodo en que se realizó el XX Crucero Oceanográfico. Preparado por: IMARPE.	38
Figura 18.	Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las ondas Kelvin en el océano Pacífico ecuatorial (0°N): (a) Modo 1, (b) Modo 2, (c) Modos 1+2. La línea discontinua horizontal, en verde, indica el inicio del pronóstico sin el forzante de vientos. Fuente: IMARPE, forzado con vientos del National Center for Environmental Prediction.	39

TABLAS

Tabla 1.	Comité Coordinador del XX Crucero Oceanográfico Regional	40
Tabla 2.	Plataformas de investigación y fechas de inicio y término de los cruceros	40
Tabla 3.	Especialistas participantes - Programa de Intercambio de investigadores	40
Tabla 4.	Personal científico participante	41
Tabla 5.	Cruceros realizados por cada país, fechas, número de estaciones, variables medidas	43

CONDICIONES OCÉANO-ATMOSFÉRICAS EN EL OCÉANO PACÍFICO TROPICAL ORIENTAL EN SEPTIEMBRE Y OCTUBRE DE 2017

Vigésimo Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste

ARC Gorgona (CCCP/Colombia), BAE Orión (INOCAR/Ecuador), BIC José Olaya y Humboldt
(IMARPE/Perú) y B/I Abate Molina (IFOP/Chile)
15 de septiembre – 09 de noviembre, 2017

RESUMEN

El Vigésimo Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el océano Pacífico Tropical Oriental se realizó del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017 a bordo de los buques ARC Gorgona del CCCP/DIMAR (Colombia), BAE Orión del INOCAR (Ecuador), BIC José Olaya del IMARPE (Perú) y el B/I Abate Molina del IFOP (Chile).

La misión del crucero regional fue caracterizar las condiciones físicas, químicas y biológicas (plancton) en el Pacífico Sudeste. Para este fin se realizaron registros extensivos de variables físicas del océano y la atmósfera y se recolectaron muestras de agua a diferentes profundidades sobre los 1000 metros superiores desde 8°N en la Cuenca Pacífica Colombiana hasta 26°S en Chile, y desde el margen costero sudamericano hasta 93°W.

Los resultados del XX Crucero Oceanográfico Regional indicaron escenarios diferenciados frente a las costas occidentales de Sudamérica, particularmente persistencia de un escenario neutral en la región ecuatorial (Colombia y Ecuador), mientras que en el Perú se presentaron condiciones frías de leve a intensas. Hacia el sur, en Chile, ocurrieron condiciones propias del periodo, pero en transición a una condición de enfriamiento.

Las Aguas Superficiales Subtropicales fueron dominantes en el sector oceánico frente a Perú, mientras que en el sector costero la contribución del Agua Subsuperficial Ecuatorial se distinguió a lo largo de las costas peruana y chilena debido al afloramiento costero en el Sistema de Corrientes de Humboldt.

PALABRAS CLAVES: océano Pacífico sudeste, oceanografía, meteorología, termoclina, surgencia costera.

ABSTRACT

The Twentieth Joint Oceanographic Regional Joint Research Cruise in the Eastern Tropical Pacific Ocean was held from September 15 to November 9, 2017 aboard the research vessels ARC Gorgona of the CCCP/ DIMAR (Colombia), BAE Orión of the INOCAR (Ecuador), BIC José Olaya from IMARPE (Perú) and B/I Abate Molina from IFOP (Chile).

The mission of the regional cruise was to characterize the physical, chemical and biological (plankton) conditions in the Southeast Pacific. For this purpose extensive records of ocean-atmosphere variables were made and water samples were collected at different depths over the upper 1000 meters from 8 °N in the Colombian Pacific Basin to 26 °S in Chile, and from the South American coastal margin to 93 °W.

The results of the XX Regional Oceanographic Cruise indicated different scenarios along the western coasts of South America, particularly, the persistence of a neutral scenario in the equatorial region (Colombia and Ecuador), while in Peru prevailed cold conditions from mild to intense. To the south, in Chile, conditions were proper of the period but in transition to a cooling condition.

Subtropical Surface Waters were dominant in the oceanic sector off Perú, while in the coastal sector the contribution of Equatorial Subsurface Water was distinguished along the Peruvian and Chilean coasts due to the coastal upwelling in the Humboldt Current System.

KEYWORDS: Southeast Pacific ocean, oceanography, meteorology, thermocline, coastal upwelling.

I | INTRODUCCIÓN

El océano Pacífico Sudeste (PSE) comprende la costa occidental del continente americano donde se distinguen el Gran Ecosistema Marino del océano costero del Pacífico centroamericano y el Gran Ecosistema Marino de la corriente de Humboldt. Dada su importancia, el océano costero del PSE es investigado desde el año 1998 con una base anual de manera cooperativa, sinérgica y sincronizada en el tiempo por instituciones científicas de Colombia, Ecuador, Perú y Chile en el marco del Programa Estudio Regional del Fenómeno El Niño (ERFEN) de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS).

Esta iniciativa se sustenta en programas de investigación oceanográfica de largo plazo del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CIOH) de la Dirección General Marítima (DIMAR) de Colombia, del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) del Ecuador, del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) del Perú y el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) de Chile de acuerdo con el protocolo ERFEN (CPPS, 2003) con el fin de mejorar la comprensión del clima regional y sus procesos como las implicancias del forzamiento remoto ecuatorial a escala regional y local, contribuyendo así al monitoreo y a la vigilancia integrada del Pacífico oriental en apoyo a la gestión del riesgo de desastres. Una mejor comprensión de los procesos oceanográficos en la región de estudio, y en particular, de la conexión tropical-subtropical es necesaria para conocer las interacciones entre el clima y los ecosistemas marinos y contribuir a reducir el persistente sesgo observado en modelos numéricos globales del clima (Manganello and Huang, 2008).

El Vigésimo Crucero Oceanográfico tuvo el propósito de documentar la variabilidad de las propiedades del océano y la atmósfera adyacente en el océano PSE en septiembre-octubre de 2017 con la finalidad de anticipar -de manera oportuna- la presencia de condiciones El Niño de noviembre-diciembre de 2017 a marzo-abril de 2018. Los objetivos específicos fueron:

- 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 sur oriental registradas durante el periodo del crucero.
- Analizar las condiciones océano-atmosféricas durante el periodo del crucero para contribuir al diagnóstico y previsión de condiciones El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la región.

Estas actividades científicas se realizaron a bordo de los buques ARC Gorgona de la CIOH/DIMAR de Colombia (Bermúdez-Rivas et al, 2017), BAE Orión del INOCAR/Ecuador (INOCAR, 2017), BIC José Olaya y Humboldt del IMARPE/Perú (Domínguez et al, 2017) y B/I Abate Molina del IFOP/Chile (Bustamante et al, 2017), (Tablas 1-4).

El presente informe expone el escenario atmosférico y oceanográfico físico y químico (contenido de oxígeno disuelto) del PSE en septiembre y octubre de 2017.

II | ANTECEDENTES

Luego de concluido el XIX Crucero Oceanográfico Regional en octubre de 2016, el escenario de macroescala en la zona ecuatorial continuó presentando condiciones propias de un evento La Niña de magnitud débil en noviembre (NOAA, 2016 a) y diciembre (NOAA, 2016 b). Sin embargo, en enero de 2017, las anomalías de variables atmosféricas y oceánicas indicaron un periodo de transición de La Niña hacia condiciones neutrales (NOAA, 2017 a), prevaleciendo condiciones neutrales en los meses siguientes de acuerdo a la evolución del Índice Niño Oceánico. Sin embargo, se inició un periodo de calentamiento.

A nivel subsuperficial, el contenido de las anomalías de calor del océano sobre 300 m de profundidad indicó la presencia de anomalías térmicas de febrero a mayo de 2017 en los sectores Occidental y Oriental del Pacífico ecuatorial, con presencia de ondas Kelvin de hundimiento que modularon la variabilidad térmica en el Pacífico Central y Oriental. El calentamiento disminuyó en julio declinando abruptamente a fin de mes. Durante el segundo semestre, la intensificación de los vientos alisios en el Pacífico Central y Occidental generó ondas Kelvin de afloramiento que se propagaron hacia el este, contribuyendo a la disminución de la temperatura superficial del mar (TSM) y a la elevación de la termoclina en el Pacífico Central y Oriental, persistiendo durante los meses de septiembre y octubre cuando se emitió una alerta de la posible ocurrencia del evento La Niña aunque de carácter débil, condición que se mantendría hasta el verano 2017-2018 (NOAA, 2017 b).

Frente a la costa occidental de Sudamérica, el calentamiento del mar se mantuvo entre diciembre de 2016 y mayo de 2017 debido a la presencia de “El Niño costero”, evento de índole local para el Perú y que alcanzó una magnitud moderada en este país (ENFEN, 2017), mientras que en la costa chilena, también continuó una condición cálida post El Niño prolongándose hasta julio/agosto de 2017 (IFOP, 2017). Al norte, en la Cuenca Pacífica Colombiana y el mar ecuatoriano no se presentaron mayores efectos durante y luego del evento “El Niño costero”.

A escala regional, por su parte, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS), una de las forzantes de la dinámica atmosférica en la región, exhibió debilitamiento y una configuración alejada de la costa en los primeros meses de 2017, tendiendo a normalizarse entre marzo y abril. En mayo, el APS presentó una fuerte intensificación, alcanzando una anomalía positiva de hasta 8 hPa en su núcleo, coincidiendo con la finalización de “El Niño Costero”. En los meses siguientes, el APS continuó presentando condiciones más intensas que el promedio climatológico, particularmente en el mes de julio, favoreciendo el retorno a la normalidad del Pacífico sudoriental frente a Chile y Perú. En este escenario, de condiciones casi normales con tendencia a enfriamiento, se realizó el presente crucero.

III | DATOS Y MÉTODOS

Zona de estudio. El estudio se realizó entre las latitudes 6°30'N y 26°S, y de la costa sudamericana a las islas Galápagos del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017 (Figura 1, Tabla 1 y 2).

Actividades. Durante el crucero se registraron variables físicas del océano y la atmósfera. Se colectaron muestras de agua de mar para análisis químicos y biológicos distribuidos en transectas zonales como meridionales con una extensión variable y sobre 500 m (Chile, Perú, Ecuador) y 1000 m (Colombia) de profundidad (Figura 1). En total, se realizaron 1054 estaciones (75 en el océano colombiano, 40 en el sector ecuatoriano, 120 en el mar peruano y 819 en la zona norte frente a Chile). El resumen de las actividades realizadas, las variables registradas y las muestras de agua colectadas como las metodologías aplicadas se presentan en la Tabla 5.

Este informe presenta los perfiles oceanográficos frente a Buenaventura (4°N) y Tumaco (2°N) en Colombia; las transectas meridionales de 82°W, 86°W y 89°W en el mar ecuatoriano; los perfiles frente a Paita (5°S), Chimbote (9°S), Callao (12°S) y Atico (16°20'S) en Perú y las transectas frente a Arica (18°25'S), Punta Gruesa (Iquique, 20°20'S), Bahía Moreno (23°40'S) y Rada Paposos (25°S) en Chile.

Procesamiento de la información del crucero. Los datos meteorológicos obtenidos durante la ejecución de las estaciones oceanográficas se emplearon para elaborar, en cada caso, mapas de distribución de las diferentes variables con fines de interpretación del escenario oceanográfico superficial. Dada la naturaleza variable de los vientos superficiales y el período de evaluación no estrictamente coincidente, se caracterizaron las condiciones dominantes de parámetros meteorológicos como la presión atmosférica a nivel del mar y los vientos y sus anomalías con datos del satélite ASCAT de IFREMER/CERSAT (2005) considerando la climatología para 2000-2014. Para el nivel superficial, se estimaron valores de anomalías de la TSM para cada ½ grado de acuerdo con la climatología de CSIRO Atlas of Regional Seas (CARS2009) de Ridgway, et. al. (2002) y Dunn and Ridgway (2002).

La información del CTD se procesó de acuerdo al procedimiento estándar recomendado (<http://www.seabird.com/products/>, CPPS (2015)). Los valores de salinidad se presentan en forma adimensional, siguiendo las recomendaciones de UNESCO (1981a). El cálculo de la densidad se realizó utilizando la ecuación internacional de estado del agua de mar de 1980 (UNESCO, 1981a, 1981b). Para visualizar los datos se empleó el software Ocean Data View v. 4.7.6 (Schlitzer, 2015).

Caracterización del escenario regional. La condición térmica promedio para septiembre y octubre 2017 se obtuvo empleando el producto OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon et al, 2012) disponible en <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0> y las anomalías se calcularon tanto a escala espacial según los promedios climatológicos diarios para el periodo de 2007-2016. La distribución mensual compuesta en base al promedio diario de las anomalías del nivel del mar y los flujos geostróficos en el Pacífico

sudeste para los meses de septiembre y octubre de 2017 se calcularon con el producto CMEMS V3.0. Las anomalías del nivel del mar se estimaron de acuerdo a la climatología para 1993-2012 (Schaeffer et. al, 2016; Pujol et. al, 2016).

Series de tiempo climáticas y oceanográficas desde el año 2000 a diciembre de 2017 se emplearon para contextualizar el escenario actual con la variabilidad interanual. Para el análisis de macroescala se emplearon dos índices: el Índice Multivariado ENOS (Wolter and Timlin, 1993, 1998) que estima la condición ecuatorial referente a periodos fríos o cálidos basado en la presión atmosférica a nivel del mar, las componentes zonal y meridional del viento, la TSM, la temperatura superficial del aire y la fracción total de nubosidad en la zona ecuatorial y el Índice Niño Oceánico (ONI en inglés) de acuerdo a Huang et al, 2017 (J. Climate). Para el análisis regional se empleó, respectivamente, el Índice Costero El Niño (ICEN) estimado en base a las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 de acuerdo a ENFEN (2012) y Takahashi, et al (2014). A escala local, para caracterizar el impacto en el afloramiento costero (e. g. Perú) se consideró el Índice Térmico Costero Peruano (ITCP, Quispe-Ccalluari, C. et al. (2016)) que se estima empleando los promedios mensuales de la TSM obtenidos del producto NOAA NCDC OISST v2 para el periodo 1982-2014 (Reynolds et al, 2007). En esta publicación se considera como “límite del área de afloramiento” al máximo gradiente zonal del promedio anual de la TSM, el cual determina el frente térmico entre las aguas costeras y las oceánicas. El ITCP se calcula como la media móvil de tres meses de la primera componente principal (CP1) reducida de las anomalías térmicas de la zona costera. Para la zona litoral se empleó el Índice LABCOS (Quispe y Vásquez, 2015) basado en la anomalía promedio de la TSM registrada en estaciones costeras seleccionadas del IMARPE entre Paita (5°S) y Pisco (13°S) además de la estación Punta San Juan de la DHN permitiendo evaluar los efectos de ENOS en el litoral.

Con el fin de detectar la propagación de las Ondas Kelvin Ecuatoriales (OKEs), se ejecutó un modelo oceánico de complejidad intermedia con 3 modos baroclínicos forzado con vientos del National Center for Environmental Prediction (Kalnay, et al. 1996), siguiendo la metodología de Illig et al (2004) y Dewitte et al (2002). La señal de la OKE puede ser descompuesta en modos normales de oscilación que se propagan a diferentes velocidades. Los primeros dos modos (modo 1, modo 2) sumados proporcionan la mayor contribución a la anomalía del nivel del mar.

Finalmente, el escenario climático de macroescala y su efecto en la condición regional en la cual se ejecutó el crucero regional se realizó con base a la información del proyecto Tropical Ocean Array (TAO) para la capa superior de la columna de agua del PSE.

IV | RESULTADOS

4.1. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

En septiembre de 2017, el eje de la **Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)** osciló entre 10°N y 8°N, con escasa presencia de precipitaciones al sur de esta posición, tanto en la parte oceánica como en la marítima. El cielo varió de parcial nublado a nublado durante la mayor parte de los días. En octubre, la ZCIT persistió alrededor de 10°N y se presentó como una banda extensa, con ligera actividad convectiva, influenciando las costas occidentales de Colombia y zona norte de Ecuador. Cerca de las islas Galápagos, se observó un centro de alta presión que desplazó a la ZCIT ligeramente al norte. La **Radiación de Onda Larga**, indicador clave del acoplamiento océano-atmósfera, mantuvo valores cercanos a lo normal en septiembre y debajo de lo normal en octubre en el Pacífico oriental, caracterizándose en ambos casos por el predominio de condiciones secas.

En los meses de septiembre y octubre de 2017, el **Anticiclón del Pacífico Sur (APS)** presentó valores de presión de ~1027 hPa (septiembre) y ~1026 hPa (octubre), +2 hPa más intenso que el valor climatológico, en ambos casos. En septiembre, el APS presentó una intensificación de la presión en su núcleo y una distribución zonal, que contribuyó al incremento de los vientos costeros frente a Perú y Chile, sin influenciar sobre la zona marino costera de Ecuador y Colombia. Por el contrario, en octubre, el APS presentó dos núcleos, donde la configuración zonal del núcleo principal ocasionó que su eje de dorsal afecte las costas Centro – Norte de Chile, costas de Perú y, en menor grado, la zona sur de Ecuador e islas Galápagos. La información obtenida en los cruceros indica que, los valores de presión atmosférica en la CCPC oscilaron entre 1008 y 1015 hPa. Entre las latitudes 2°-3°N (noreste) y 6°-7°N (sureste) de 78° a 80°W, se registraron los rangos de presión más bajos (1008, 1009 hPa, respectivamente), mientras que los mayores valores (1014-1015 hPa) se encontraron al sur de la CPC (CCCP, 2017). En el sector ecuatoriano el campo de presión atmosférica estuvo de acuerdo a su climatología (INOCAR, 2017). Al sur, frente al Perú, la PAS osciló entre 1 006,8 y 1 019,5 hPa, presentando valores de hasta >1015 hPa frente a 13°S, 8°S y 6°S.

El campo de **vientos** a 1020 hPa en la CPC presentó intensidades de 2 a 7 m/s en el área central, incrementando hasta 12 m/s en los sectores sur y occidental. La dirección predominante del viento fue del suroeste, particularmente sobre el sector oriental y occidental de la cuenca. En Ecuador, la intensidad y dirección del viento fue conforme lo esperado para el periodo evaluado. Frente al Perú, el viento osciló entre 0,2 y 19,5 m/s presentando mayor intensidad (>8 m/s) por fuera de 60 mn de la costa entre 7-13°S, mientras que cerca a la costa entre 4-13°S y 17-18°S la magnitud del viento disminuyó (<4 m/s). La dirección predominante del viento fue del sureste.

4.2. CONDICIONES FÍSICAS

a. Temperatura y salinidad superficial del mar

Durante el XX Crucero Oceanográfico Regional, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) presentó valores de 28.31°C (sector costero norte de la CPC) a 13.10°C (costa sur de Perú), (Figura 2). Temperaturas mayores a 24°C ocurrieron al norte del ecuador geográfico así como en la zona costera al sur de Ecuador y al norte de 4°S. En la zona ecuatorial se distinguieron: i) una zona de mayor gradiente térmico conformado por las isoterms de 20°C a 24°C entre 1°S y 1°N localizado en 85°W, proyectándose hacia el sector costero entre el Golfo de Guayaquil y 4°S y ii) la surgencia ecuatorial al oeste de las islas Galápagos producto de la divergencia de los vientos alisios.

Hacia el sur, la TSM disminuyó significativamente en el sector costero donde ocurrieron dos áreas extensas con valores menores de 16°C (7°S-16°30'S) frente a Perú y Arica y al sur de Punta Lobos (22°S) frente a Chile ocupando extensas áreas hacia mar adentro.

Las anomalías térmicas (ATSM) indicaron enfriamiento del mar de 1°N al sur, particularmente en la zona sur de Perú como de Arica (18°25'S) a Punta Junín (19°40'S) y de Punta Lobos (21°S) al sur de la región evaluada, especialmente en el extremo sur del Perú como en Mejillones (23°S), en Chile, donde ocurrió el máximo enfriamiento (-3°C) del mar. Mar adentro, frente a la costa central y sur del Perú, persistió enfriamiento (-1°C), mientras que al norte de Punta Lobos (21°S) ocurrieron anomalías cercanas a cero.

La Salinidad Superficial del Mar (SSM) presentó valores de 19.93 (frente al litoral norte de la CPC) a 35.2 (mar adentro frente a la costa central de Perú y zona norte de Chile). Por fuera del sector costero de la CPC, la salinidad fue incrementándose alcanzando 31.8 en la zona central de la CPC, valores propios de las Aguas Tropicales Superficiales. En el ecuador geográfico fue notorio el gradiente halino más intenso (33.75-34.75) concordante con el mayor gradiente térmico, característica del Frente Ecuatorial. El sector costero del mar peruano de 4°S a 18°S presentó valores de salinidad de 34.8-34.9, propio de la surgencia costera, alcanzando una mayor amplitud (hasta 80 mn) en el sur del Perú. Frente a Chile, los valores mínimos de salinidad (<34.6) se registraron en torno a las 20 mn entre 22°20'S y 25°S (Antofagasta), extendiendo su cobertura hasta 40 - 60 mn de la costa en el sector sur evaluado (Figura 3).

El frente ecuatorial estuvo definido entre 1°S y 1°N y desde 86°W hacia el oeste, con un gradiente de temperatura de 2°C; hacia el borde costero el frente se presentó desde la zona sur del golfo de Guayaquil hasta 84°W paralelo a la zona ecuatorial.

b. Caracterización de la estructura termohalina

El perfil Buenaventura (4°N) presentó condiciones contrastantes de 19°C en el borde costero a 27.56°C mar adentro. Al sur, el perfil Tumaco (2°N) presentó valores de 27.5°C. En ambos casos, la termoclina se localizó entre 30 y 50 m y estuvo conformada por 6 isoterms (20-26°C) en el primer caso y 8 isoterms (24.47- 16.75°C) en el segundo caso. El campo térmico se presentó

estratificado. Frente a Ecuador se realizaron 3 perfiles entre 1°N y 3°S en los meridianos 82°W (Figura 7 c), 86°W (Figura 7 d) y 89°W (Figura 7 e). La TSM presentó mayor intensidad (27°C) cerca a la costa, disminuyendo hacia el sur, siendo notable el ascenso de aguas de 18-19°C a la superficie en el perfil 89°W. Por otro lado, la isoterma de 15°C ascendió en 50 m desde 2.50°N hasta 3.5°S, encontrándose ~100 m en el perfil 86°W.

La estructura halina presentó la misma configuración de la temperatura, con valores propios de Aguas Tropicales Superficiales (ATS) frente a Colombia y predominio de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) frente a Ecuador, mientras que en los perfiles 86°W y 89°W ocurrieron aguas oceánicas del oeste con valores de 35.05 y 35.1. La base de la termoclina oceánica se localizó a 45 m en la zona norte, ascendiendo a la superficie en ~1.5°S. La salinidad varió desde 33.5 hasta 34.5 (Figura 9).

En el Perú se ejecutaron los perfiles Paita (5°S), Chimbote (9°S), Callao (12°S) y Atico (16.20°S). La estructura térmica de Paita a Ilo indicó un escenario propio de la surgencia costera. En la zona costera fueron característicos valores de 16°C con una extensión de 40 (Paita), 55 (Chimbote, Callao) y 10 km de extensión (Atico). Por fuera de este sector, predominaron aguas de 17-18°C en el perfil Chimbote, Callao y, especialmente, donde estas isotermas se presentaron hasta 25 km de la costa. En Atico la isoterma de 15°C ascendió a la superficie (Figuras 8 a-d). La estructura halina (Figura 10 a-d) mostró cambios de norte a sur en la capa sobre 100 m de profundidad. Por un lado, la configuración de las isohalinas en el perfil Paita indicó la presencia de mezcla entre las Aguas Costeras Frías (ACF) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). Frente a Chimbote y Callao ocurrieron concentraciones propias del periodo, mientras que mar adentro se presentaron aguas oceánicas hasta 85 km de la costa con concentraciones de salinidad de hasta 35.3 (Chimbote) y 35.2 (Callao). El perfil Atico, por el contrario, se distinguió por valores de salinidad relativamente menores al promedio en la capa superficial y por la presencia de núcleos con concentraciones relativamente bajas en subsuperficie asociado con la presencia de Aguas Subantárticas (ASAA) que se proyectaron a la costa.

En el sector costero frente a Chile (Figuras 8 e-h, 9 e-h), afloramientos de agua de distinta intensidad se produjeron en toda la zona. Aguas de menor temperatura, mayor concentración de sales y densidad ocurrieron al norte de Punta Junín (19°40'S) y entre Tocopilla (22°04'S) y Antofagasta (23°40'S), asociadas a una mayor presencia del AEES. De Punta Moreno (23°40'S) al sur, la surgencia fue comparativamente de menor intensidad. En el sector más costero de Antofagasta, una inversión de TSM indicaría aguas retenidas, de mayor temperatura y salinidad, en la bahía, por ende, menos densas. Por el contrario, en el área entre Punta Colorada y Punta del Urcu (21°45'S), una relajación de los vientos habría favorecido el acercamiento de aguas oceánicas menos densas, de tipo subtropical, al sector costero. La intrusión de esta masa de agua desde el sector oceánico sin embargo, estuvo dentro de lo esperado para la zona, donde las anomalías de la TSM, aunque positivas, estuvieron cercanas al promedio de la variable. En el sector oceánico entre 23-24°S, un aumento en la profundidad de la isoterma de 15°C, en relación al promedio histórico, coincidió con los mayores espesores de la capa de mezcla lo que estaría asociado a una mayor intensidad del viento.

c. Profundidad de las isotermas de 20°C y 15°C

El escenario subsuperficial, se analizó mediante la profundidad de las isotermas de 20°C y 15°C. La profundidad de la isoterma de 20°C refiere o caracteriza la parte media de la termoclina ecuatorial y se ubica, de acuerdo con Blanco, et al (1998), al norte de 6°S. Durante el XX Crucero Oceanográfico, la isoterma de 20°S (Figura 5) se encontró al norte de 4°S. Su batimetría presentó profundidades someras (≤ 15 m) entre 3°S y el ecuador geográfico, incrementando a 35 m hacia el Noroeste del área de estudio, mientras que en la CPC se profundizó hasta 62 m.

La profundidad de la isoterma de 15°C, proxy de la base de la termoclina permanente, en periodos normales se ubica en el área entre 6°S y 24°S (Blanco, et al., 1998). La distribución de 215°C denotó los procesos de surgencia tanto en el sector occidental ecuatorial como en el océano costero de Perú y Chile. Así, de Chimbote (9°S) a Callao (12°S) en Perú y frente a Arica (18°S) en Chile, la isoterma de 15°C se presentó muy somera (20 m), mientras que de Chicama (7°50'S) a Chimbote y de Punta Lobos (21°S) a Paposó (25°S) esta característica ocurrió a 10 m de profundidad, presentando una mayor amplitud en las zonas de afloramiento de Pisco-San Juan y en menor grado frente a Paposó. Mar adentro de Pisco a Manta (0°57'S) así como al norte de Tumaco (2°N) se ubicó a profundidades mayores de 100 m.

d. Distribución meridional de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto

El perfil meridional de la temperatura del mar refiere de la gran variabilidad térmica regional, con valores en la superficie de 27.75°C en el extremo norte evaluado (6.5°N) a 15.5°C en el extremo sur (25.83°S). La zona con mayor temperatura (27°C) se localizó entre 5°N y 1°N sobre 40 m de profundidad. El sector de mayor gradiente se apreció entre el ecuador geográfico y 1°S (25-22°C) y entre 3°-4.50°S (21-17°C). De Paita al sur se presentó una capa de agua de 16-17°C frente a la costa central de Perú, disminuyendo 1 °C frente a la costa norte de Chile. La isoterma de 15°C, base de la termoclina permanente, se presentó de 90 m (6°N) y 50 m (26°S). En niveles más profundos, es notorio el ascenso de las isotermas de norte a sur, especialmente de 20°S al sur (Figura 14 a).

Las variaciones halinas (Figura 14 b) presentaron los contrastes asociados con las distintas masas de agua presentes en el Pacífico oriental. En el extremo norte, la concentración de sales presentó valores de 20-25, propios del océano costero colombiano, incrementando hacia mar adentro y al sur hasta 30.81 (6.5°N) y alcanzando 34.03 en 1°S. El límite de las aguas procedentes del norte se ubicó en 4°S precedido por un frente halino. Las aguas salinas del oeste de hasta 35.3 ocurrieron de 6°S a 19.5°S. Hacia el sur fue notoria la presencia de los núcleos de aguas procedentes de la Subantártica ($S < 34.7$).

La concentración de oxígeno disuelto (Figura 14 c) presentó valores de 3-4 mL/L que caracterizaron la zona al norte de Paita, mientras que al sur ocurrieron valores de 5 mL/L exceptuando dos zonas frente a la costa central del Perú. La isoterma de 1 mL/L presentó mayor profundización en el sector entre 4°N y 4°S, siendo más superficial (60 m en promedio) frente a la costa central y sur de Perú y costa norte de Chile. El tope superior de la ZMO se presentó más superficial en el mar peruano (60 m) profundizándose en el sector ecuatorial (150 m).

e. Masas de agua

En términos generales, en los primeros 500 m superiores, frente a la costa sudamericana, se distinguieron seis masas de agua (Figura 13): Agua de la Cuenca Colombiana (ACC), Agua Tropical Superficial (ATS) con valores menores de 33.8 se ubicaron en la zona norte del área de estudio, el Agua Ecuatorial Superficial (AES) con valores mayores a 33.8 se localizó por fuera de las 20 mn de 3°30'S a Talara (4°S) extendiéndose hacia el oeste. Aguas SubTropicales Superficiales (ASTS) con altos valores de salinidad se observaron, principalmente, mar adentro, desde 4°S hasta 20°S, presentando una mayor proximidad a la costa central de Perú, y sur del Perú y norte de Chile. A nivel subsuperficial, el Agua Ecuatorial Subssuperficial (AESS) se presentó a lo largo del área evaluada centrada en 200 m de profundidad y disminuyendo en temperatura y salinidad de norte a sur. El Agua Subantártica (ASAA), representada en la columna de agua con un valor mínimo de salinidad alrededor de 100 m, se notó en la parte superior de las Aguas Ecuatoriales Subssuperficiales (AESS).

A nivel local, se presentan diferencias entre las nomenclaturas y los rangos para cada masa. En la CPC se identificaron 5 masas de agua. A nivel superficial se identificaron las masas de Agua Costera Colombiana (ACC) hasta 30 m de profundidad con concentraciones de salinidad de < 28 y temperaturas potenciales superiores a 27 °C; Agua Superficial Tropical con temperaturas potenciales de 25.5°C a 27°C, salinidades de 28 a 33 que se localizan de ~30 a ~40 m de profundidad; Agua Ecuatorial Superficial (AES) la cual tiene una temperatura potencial entre 16° C y 25° C y salinidad entre 32.5 y 34.5 y se ubicaron entre 50 y 80 m. A nivel subsuperficial se distinguieron: las Aguas SubSuperficiales SubTropicales (ASTSS) en profundidades superiores a 100 m, con temperaturas entre 6° y 17 °C y valores de salinidad de 32-34.5 y el Agua Antártica Intermedia (AAI) que se caracterizó por tener aguas muy frías entre 4.5 y 6 °C, salinidades >35 por debajo de 500 m.

En el mar ecuatoriano las masas de agua superficiales (0-30 m) identificadas fueron el Agua Tropical Superficial (ATS) y el Agua Ecuatorial Superficial (AES). En la columna de agua se identificaron las Aguas SubSuperficiales SubTropicales (ASTSS) y las Aguas Intermedia Antártica (AAI) (Enfield, 1975), así como el Agua Central del Pacífico.

Frente a Chile (Pizarro et al, 2017), el agua Sub Tropical (AST) mostró un foco de 70% de participación en el extremo norte occidental, porcentaje que se debilitó hacia el sur, a valores de 30% desde Punta Lobos (21°S) a Punta Gruesa (22°20'S). En la costa, porcentajes de participación de esta masa de agua (PPMA) del 30% se registraron entre Iquique y Punta del Urcu (21°45'S), disminuyendo a <20% hacia el norte y sur. En la costa de Antofagasta (30%) se observó un aumento de un 10% en relación a las estaciones aledañas. El agua Sub Antártica (ASAA) estuvo ausente en el extremo nor-occidental de la zona, aumentando a 10-20% hacia el sector costero al norte de Punta Lobos. Hacia el sur de esta localidad los PPMA aumentaron hasta un 40% en el área de Punta del Urcu los que se extendieron hasta el límite sur, sin embargo, un foco <40% dominó fuera de las 40 mn entre los 23 y 25°S. El Agua Ecuatorial Sub superficial (AESS) estuvo presente en toda la zona con PPMA entre 20 y 70%. En el sector oceánico primaron PPMA <40%, salvo en las 100 mn entre Punta Junín y el sur de Iquique con >50%. En las primeras 5-10 mn del sector costero, PPMA >50% se registraron desde Punta Junín

al norte, entre Punta del Urcu y Mejillones (max.>70%), fuera de las 5 mn en Antofagasta y en la costa de caleta Esmeralda.

4.3. CONDICIONES QUÍMICAS

a. Oxígeno disuelto en la superficie

La concentración de Oxígeno Superficial del Mar (OSM) presentó valores de 2.2 mL/L (en el Sureste de la CPC) a 7 mL/L (núcleo adyacente a la costa norte de Chile). Entre Ecuador y las islas Galápagos, el oxígeno disuelto en superficie mostró concentraciones entre 5.2-4.8 mL/L, excepto al oeste de las islas Galápagos que mostraron concentraciones relativamente más bajas, probablemente producto del afloramiento ecuatorial. En la zona costera del Perú y Chile fueron característicos valores relativamente bajos de OSM (<4 y 5 mL/L, respectivamente) asociados con la activación de la surgencia costera, con concentraciones mínimas de hasta 2.52 mL/L (Perú) y 3 mL/L (22°15'S-23°10'S en el norte de Chile) y de 4 mL/L que ocurrieron al oeste de la isla Isabela (91°W-92°W), producto de la surgencia ecuatorial (Figura 4).

b. Oxígeno disuelto en subsuperficie

El extremo norte del PSE presentó bajos valores de oxígeno (3.0 mL/L) en los primeros 40 m superiores. La iso-oxígena de 1 mL/L osciló entre 75 y 125 m, presentando mayor profundidad en Tumaco (Figura 11 a, b). En los perfiles meridionales a lo largo de 82°W, 86°W y 89°W, presentaron valores de 4 mL/L en los primeros metros, sin embargo, los mayores cambios ocurrieron en niveles más profundos donde se aprecia una mayor profundización de la isolinia de 1 mL/L en 89°W (Figura 11).

A nivel subsuperficial, la oxiclina mostró un comportamiento variado, ubicándose a 75 m en 3°S de la sección 86° W. En los perfiles meridionales de 82°W, 86°W y 89°W, se evidenció una profundización de la isolinia de 2.5 mL/L, alcanzando 90 m en las secciones 82°W y 86°W en sentido sur-norte, profundizándose aún más en la parte central de la sección 92°W en el ecuador geográfico. La Zona Mínima de Oxígeno (ZMO ≤ 0.5 mL/L) se ubicó entre 200 y 600 m.

Frente al Perú, las concentraciones de oxígeno oscilaron entre 5 y 0.1 mL/L. Frente a Paita (Figura 12 a) se presentó un intenso afloramiento caracterizado por valores de 3-2 mL/L sobre 50 m de profundidad y en las 100 mn. Hacia el sur, frente a Chimbote (Figura 12 b) ocurrió un escenario similar al del perfil Paita en las primeras 40 mn y con una oxiclina sobre 60-40 m de profundidad. En las secciones frente a Callao (Figura 12 c) y Atico (Figura 12 d) la distribución del oxígeno presentó concentraciones de 4 a 2 mL/L en la región costera entre 25 y 15 mn donde irrumpieron en la superficie asociado con la surgencia costera. Mar adentro, ocurrieron los mayores valores de 4.5 y 5 mL/L. La oxiclina se presentó entre 100 y 170 mn y entre 50 y 100 m de profundidad. A nivel subsuperficial, la ZMO ocurrió entre 200 y 400 m de profundidad. Frente al Perú, el límite superior de la ZMO se presentó más superficial con la latitud registrándose a profundidades de 180-200 m (Paita), 40-60 m (Chimbote), 100-25 m (Callao) y 85-25 m (Atico).

V | DISCUSIÓN

En octubre de 2016, concluido el XIX Crucero Oceanográfico Regional, el escenario de macroescala en la zona ecuatorial continuó presentando condiciones propias de La Niña de magnitud débil en noviembre (NOAA, 2016 a) y diciembre (NOAA, 2016 b). Sin embargo, en enero de 2017, las anomalías atmosféricas y oceánicas indicaron un periodo de transición de La Niña a condiciones neutrales (NOAA, 2017 a). En tanto, durante enero y febrero de 2017 aguas más cálidas se extendieron al Pacífico oriental persistiendo hasta mayo modulados, en gran parte, con la presencia de ondas Kelvin de hundimiento. En agosto de 2017, una onda Kelvin de enfriamiento contribuyó a la normalización del escenario oceanográfico en el sector oriental del Pacífico en septiembre de 2017. En este escenario de normalización y enfriamiento del mar se realizó el XX Crucero Regional. Si bien en Colombia y Ecuador este calentamiento abrupto y temporal del océano no tuvo mayores repercusiones, en el Perú el calentamiento fue clasificado como “El Niño Costero” con importantes efectos socio-económicos (ENFEN, 2017). No obstante, el INO, referente para estimar la presencia de El Niño en la región Niño 3.4, durante estos meses mantuvo valores dentro de su rango neutral aunque con incrementos de hasta 0.3 (MAM) y 0.4 en AMJ y MJJ.

Durante el XX Crucero, los vientos alisios de niveles bajos, por ejemplo, se fortalecieron a través del Pacífico ecuatorial occidental en septiembre, mientras que en octubre ocurrieron vientos cercanos al promedio. La TSM en el Pacífico ecuatorial central prevaleció cercana al promedio en septiembre, mientras que en el sector oriental ocurrió enfriamiento. Sin embargo, la activación de la lengua de agua fría ecuatorial se extendió hacia el sector central en octubre. Así, índices para las regiones Niño 3.4 declinaron de -0.4°C para septiembre a -0.5°C para octubre, mientras que para la región Niño 1+2 la anomalía fue de -0.7°C (septiembre) y -1.3°C (octubre). A una mayor escala, el Índice de Oscilación del Sur tuvo un valor de +6.9 (septiembre) y +9.1 (octubre) indicando condiciones neutras y frías de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), respectivamente.

Una característica importante como la profundidad de la termoclina oceánica ($Z_{20^{\circ}\text{C}}$) indicó enfriamiento de -1°C en septiembre y octubre, con máximos valores de hasta -3°C (septiembre) y de -4°C (octubre) asociado con el paso de una onda Kelvin de enfriamiento (ENFEN, 2017).

A escala regional, el eje de la ZCIT en la segunda quincena de septiembre osciló entre 10°N y 8°N , con escasa presencia de precipitaciones al sur de esta posición, tanto en la parte oceánica como en la marítima, mientras que en octubre, la ZCIT se ubicó alrededor de 10°N y se presentó como una banda extensa, con ligera actividad convectiva, influenciando las costas occidentales de Colombia y norte de Ecuador. Cerca de las islas Galápagos, se observó un centro de alta presión que desplazó a la ZCIT ligeramente al norte.

Al inicio del XX Crucero Oceanográfico Regional, en septiembre, en el borde costero predominaron vientos superficiales de tipo meridional. Hacia el oeste se observó el fortalecimiento de la componente zonal del viento activándose el afloramiento en la zona costera de Chile (Pizarro et al, 2017) y Perú (IMARPE, 2017) así como la lengua de agua fría

ecuatorial, proceso que continuó en octubre cuando se intensificó el enfriamiento en el sector ecuatorial oriental y frente a la costa norte del Perú, alcanzándose anomalías de hasta -3°C . En octubre, persistieron vientos superficiales de tipo meridional en la zona costera, prevaleciendo también por fuera de 80°W con velocidades entre 6 y 16 nudos. Cabe precisar que, durante este periodo, en la zona adyacente a la costa entre 4°S y sur de Ecuador persistió calentamiento de carácter local con valores entre $+1^{\circ}\text{C}$ y $+2^{\circ}\text{C}$ en septiembre declinando a $+0.5^{\circ}\text{C}$ y 1.5°C en octubre (IMARPE, 2017). No obstante, en la costa occidental de Sudamérica, las anomalías de TSM se mantuvieron positivas entre diciembre de 2016 y mayo de 2017 debido a la presencia de “El Niño costero” de índole local para el Perú alcanzando una magnitud moderada (ENFEN, 2017). En la costa chilena, también continuó una condición cálida post El Niño prolongándose hasta julio/agosto de 2017 (IFOP, 2017).

Los resultados del XX Crucero Oceanográfico Regional confirmaron el término de la condición cálida frente al Perú, iniciándose un periodo de transición hacia una condición neutral y predominio de condiciones frías frente a Perú y Chile, en contraste a las condiciones cálidas de hasta $+1^{\circ}\text{C}$ que caracterizaron el mismo periodo un año previo, según fue reportado por Pizarro et al. (2017). Frente a Colombia, por ejemplo, las condiciones térmicas en el XX Crucero fueron similares a la condición promedio para septiembre y octubre con valores de 26.7°C (Rodríguez-Rubio & Giraldo, 2011) y 26.5°C (DIMAR, 2002). De acuerdo con los autores citados, la salinidad también ocurrió de acuerdo al promedio con valores de 33 en la zona oceánica, aunque disminuyendo a 19.93 en la zona costera.

La SSM frente a Ecuador mostró valores normales para el periodo, especialmente en la línea ecuatorial, sólo al oeste de la isla Isabela y al sur de la línea ecuatorial entre 82°W y 86°W ocurrió calentamiento leve. En los cortes meridionales (82°W , 86°W , 89°W y 92°W) se observó una intrusión de aguas cálidas y menos salinas en la capa superficial hasta 30 m. Aguas con estas características tuvieron influencia más al sur en el meridiano 89°W donde se registró menos profunda hasta 1°S . Cabe anotar que en la siguiente capa menor de 50 m de profundidad, se observaron anomalías negativas de temperatura y anomalías positivas de salinidad. En 92°W se evidenció afloramiento típico al oeste de la isla Isabela ($1^{\circ}\text{S}-0^{\circ}$) con el afloramiento de aguas de menor temperatura. En el Pacífico ecuatorial oriental monitoreado por el BAE Orión se distinguió el Frente Ecuatorial, con una razón de incremento de 2°C por grado de latitud en la transecta de 82°W y 86°W . Al oeste de la isla Isabela el frente ecuatorial fue interrumpido por la presencia de la surgencia ecuatorial. Ambos procesos, Frente y surgencia ecuatorial fueron propios de la época del año.

En el sector costero de la corriente de Humboldt, se activaron las celdas de afloramiento con distinta intensidad en la zona costera de Chile y Perú, notándose aguas de menor temperatura, menor concentración de oxígeno disuelto, mayor salinidad y densidad que estarían asociados a una mayor presencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial (Pizarro, et al, 2017).

El Oxígeno Superficial del Mar (OSM) presentó valores de 3.52 mL/L, disimiles para la CPC de acuerdo con CPPS (2012), o incluso muy superior alcanzando 6.07 mL/L (Jaimes & López, 2014), mientras que para el Perú, y sectores costeros frente a Chile, la concentración de oxígeno confirmó la presencia de la surgencia costera.

Los datos del crucero confirman predominio de anomalías negativas tanto de temperatura como salinidad, a diferencia de lo reportado para el mismo período de 2016 cuando dominaron ATSM $>+1^{\circ}\text{C}$ (Pizarro *et al.*, 2017). Estas anomalías están asociadas a una notable disminución en los porcentajes de participación del agua Subtropical, correspondiendo a los menores porcentajes de los últimos cuatro años en la época de primavera. En el sector oceánico entre los 23° - 24°S , un aumento en la profundidad de la isoterma de 15°C , en relación al promedio histórico, coincidió con los mayores espesores de la capa de mezcla lo que debe estar asociados a una mayor intensidad del viento en la zona de estudio.

VI | CONCLUSIONES

1. Los resultados del crucero evidenciaron un escenario oceanográfico normal frente a Colombia y Ecuador. En el Perú se presentaron condiciones frías de leve a intensas mientras que en Chile las condiciones oceanográficas fueron propias de una condición neutral pero en transición a un escenario de enfriamiento.
2. La Temperatura Superficial del Mar varió de 28.31°C (zona norte de la CPC) y 13.10°C (costa sur de Perú). Valores mayores a 24°C ocurrieron al norte del ecuador geográfico así como en la zona costera al sur de Ecuador y norte de 4°S . Hacia el sur, la TSM disminuyó significativamente en el sector costero donde ocurrieron dos áreas extensas con valores menores de 16°C frente a Perú y menores de 15°C al sur de 22°S .
3. Las anomalías térmicas indicaron enfriamiento del mar de 1°N al sur, particularmente en la zona sur de Perú como de Arica ($18^{\circ}25'\text{S}$) a Punta Junín ($19^{\circ}40'\text{S}$) y de Punta Lobos (21°S) al sur de la región evaluada, especialmente en el extremo sur del Perú como en Mejillones (23°S) en Chile donde ocurrió el máximo enfriamiento (-3°C) del mar.
4. La Salinidad Superficial del Mar presentó valores de 19.93 (próximos al litoral norte de la CPC) a 35.2 (frente a la costa central de Perú y extremo norte de Chile). El sector costero del mar peruano de 4°S a 18°S presentó valores de salinidad de 34.8-34.9, propio de la surgencia costera, alcanzando una mayor amplitud (hasta 80 mn) en el sur del Perú. Frente a Chile, los valores mínimos de salinidad (<34.6) se registraron en torno a las 20 mn entre $22^{\circ}20'\text{S}$ y Antofagasta, abarcando hacia el sur las primeras 40 - 60 mn desde la costa.
5. La concentración de oxígeno en la superficie del mar en la zona ecuatorial presentó valores de 2.2 mL/L (en el Sureste de la CPC) y hasta 9.30 mL/L siendo característico la presencia de núcleos costeros con valores menores de 4 mL/L debido a la activación de la surgencia costera.
6. En el sistema de afloramiento de la Corriente de Humboldt, el escenario frente a Perú es comparable con los años 2015 y 2016. La presencia de aguas del oeste fue dominante

frente al Perú en el sector oceánico, mientras que en el sector costero se distinguió el aporte del Agua Ecuatorial Subsuperficial debido al afloramiento costero.

7. El Frente Ecuatorial se presentó entre 1°S y 1°N y desde 86°W hacia el oeste, con un gradiente de temperatura de 2°C; hacia el borde costero el Frente se presentó desde la zona sur del golfo de Guayaquil hasta alrededor de 84°W y estuvo definido por la presencia de Agua Tropical y Ecuatorial Superficial, lo que fue acorde con la climatología de las masas de agua.

VII | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermúdez-Rivas Christian, José Iriarte-Sánchez, Francisco Gambin-Carrasquilla, Rainiero Zurita-Murillo, Carolina Durango-Osorio, Daniel Lasso-Vivas. 2017. Informe del Crucero Oceanográfico CPC LVI – Estudio Regional del Fenómeno El Niño XX. Área de Oceanografía Operacional, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CIOH-Pacífico). Informe Interno.
- Bustamante Maino Adrián, Úrsula Cifuentes Ojeda, Catherine Grendi Celedón y Milena Pizarro Revello. 2017. Condiciones Bio-oceanográficas y Evaluación del Stock Desovante de anchoveta entre la XV y II regiones, IFOP. Informe Interno.
- Carrit D, Carpenter J. 1966. Comparing and evaluation of currently employed modification of the Winkler method for determining dissolved oxygen in the sea water. J. Mar. Res. N°24:286-318.
- 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.
- 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.
- DIMAR. (2002). Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. Tumaco, Colombia. Dirección General Marítima de Colombia.
- DIMAR-CIOH, 2017. Informe Preliminar Crucero Oceanográfico Cuenca Pacífica Colombiana LVI/Vigésimo Crucero Regional Conjunto CPPS. Informe Interno.
- Domínguez Noel, Enrique Tello, Luis Pizarro, Flor Chang Loo Kung, Liz Romero Guardamino, Jesús Ledesma. 2017. Crucero 1709-10 de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos. Dirección General de Investigaciones Oceanográficas, IMARPE. Informe Interno.
- Domínguez, N., C. Grados, L. Vásquez, D. Gutiérrez, A. Chaigneau. 2017. Climatología Termohalina frente a las costas del Perú. Periodo: 191-2010. IMARPE Boletín.
- 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.

- Dunn, J. R., and K. R. Ridgway (2001). Mapping ocean properties in regions of complex topography. *Deep-Sea Res.*, 24, 591-604.
- 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, 2017. Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN. El Niño Costero 2017. http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_inftco_informe_tecnico_extraordinario_001_2017.pdf
- ENFEN. 2017. Comunicado oficial ENFEN N°14-2017. <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/oceanografia/enfen/comunicado-oficial/14-2017.pdf>.
- Enfield, D. 1975. Oceanografía de la región norte del Frente Ecuatorial, Aspectos Físicos. Instituto Oceanográfico de la Armada.
- IFOP. 2017. Boletín Bio-Oceanográfico N°12, agosto de 2017. http://www.ifop.cl/wp-content/uploads/boletines/OCE/BOLETIN_N_12_agosto_2017.pdf.
- IFREMER/CERSAT. 2005. NSCAT Level 3 Gridded Mean Wind Fields (IFREMER). Ver. 1. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [YYYY-MM-DD]. <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/cersat/products/gridded/MWF/L3/ASCAT/Daily/>.
- Illig S., B. Dewitte, N. Ayoub, Y. du Penhoat, G. Reverdin, P. De Mey, F. Bonjean and G.S. E. Lagerloef, 2004: Interannual Long Equatorial Waves in the Tropical Atlantic from a High Resolution OGCM Experiment in 1981-2000. *J. Geophys. Research*, 109, C02022, doi: 10.1029/2003jc001771.
- IMARPE, 2017. Informe preliminar del Crucero 1709-10 de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos. BIC José Olaya y BIC Humboldt, 22 de septiembre-09 de noviembre de 2017. Informe Interno.
- INOCAR, 2017. Informe del Crucero Oceanográfico: Condiciones Océano-Atmosféricas en el mar ecuatorial, CR-01-2017", Informe Técnico.
- IRI, 2017. Anomalías mensuales de temperatura superficial del mar, en base a la climatología (1971-2000). International Research Institute for Climate and Society, Septiembre-Octubre 2017. http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/ENSO/SST_Plots/Weekly_Anomaly.html.
- Jaimes, J. C., & López, R. H. (2014). Biomasa y abundancia de Copepoda (Crustacea) en aguas superficiales del océano Pacífico colombiano durante septiembre de 2007. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(1), 31–41. doi:10.4067/S0718-19572014000100004

- 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.
- Manganello, J. V., and B. Huang, 2008: The influence of systematic errors in the Southeast Pacific on ENSO variability and prediction in a Coupled GCM. *Clim. Dyn.* DOI 10.1007/s00382-008-0407-5.
- NOAA, 2016 a. Climate Diagnostic Bulletin, November 2016. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_html/bulletin_112016/Tropics/tropics.shtml.
- NOAA, 2016 b. Climate Diagnostic Bulletin, December 2016. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_html/bulletin_122016/Tropics/tropics.shtml.
- NOAA, 2017 a. Climate Diagnostic Bulletin, January 2017. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_html/bulletin_012017/Tropics/tropics.shtml
- NOAA. 2017a. El Niño/Oscilación del Sur (ENSO). Discusión Diagnóstica, 12 de enero de 2017. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_jan2017/enso_disc_Sp.pdf.
- NOAA. 2017b. El Niño/Oscilación del Sur (ENSO). Discusión Diagnóstica, 12 de octubre de 2017. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_oct2017/enso_disc_Sp.pdf.
- Pizarro, M., C. Grendi, U. Cifuentes, A. Bustamante y H. Reyes. 2017. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas y evaluación del stock desovante de anchoveta entre la XV y II Regiones, año 2016. Informe Pre-Final. Convenio de desempeño 2016.
- 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.

- Ridgway, K. R., J. R. Dunn., and J. L. Wilkin (2002), Ocean Interpolation by Four-Dimensional Weighted Least Squares - Application to the Waters around Australia. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Volume 19, 1357-1375.
- Rodríguez-Rubio, E., y Giraldo, A. (2011). Características oceanográficas en la isla malpelo y su relación con la cuenca oceánica del pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas Costeras*, 40, 19–32.
- Schaeffer P., I. Pujol, Y. Faugere, A. Guillot, N. Picot, The CNES CLS 2015 Global Mean Sea surface. Presentation OSTST 2016, http://meetings.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/tx_auysclsseminar/files/GEO_03_Pres_OSTS_T2016_MSS_CNES_CLS2015_V1_16h55.pdf (last access 2017/01/10).
- Schlitzer, R., Ocean Data View v4.7.6, <http://odv.awi.de/>, 2015.
- Takahashi, K., K. Mosquera y J. Reupo. El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. *Boletín Técnico - Vol. 1 N° 2* Febrero del 2014. Instituto Geofísico del Perú. http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2014/ElNino_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 a. The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci., N°36.
- UNESCO, 1981 b. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci. N°38.
- 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, 1993: Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, OK, NOAA/N MC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor., Univ. of Oklahoma, 52-57.

RECONOCIMIENTOS

The Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRST) Multi-scale Ultra-high Resolution (MUR) Level 4 OSTIA Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (GDS version 2). Ver. 2.0 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>).

IFREMER/CERSAT. 2005. ERS-1 Level 3 Gridded Mean Wind Fields (IFREMER). Ver.1.PO.DAAC, CA, USA (<ftp://anonymous@ftp.ifremer.fr/ifremer/cersat/products/gridded/mwf-ers1>).

The Ssalto/Duacs altimeter products were produced and distributed by the Copernicus Marine and Environment Monitoring Service (CMEMS) (<http://www.marine.copernicus.eu>).

El Vigésimo Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el océano Pacífico Tropical Oriental fue posible gracias al financiamiento de los Gobiernos de Colombia, Ecuador, Perú y Chile.

FIGURAS

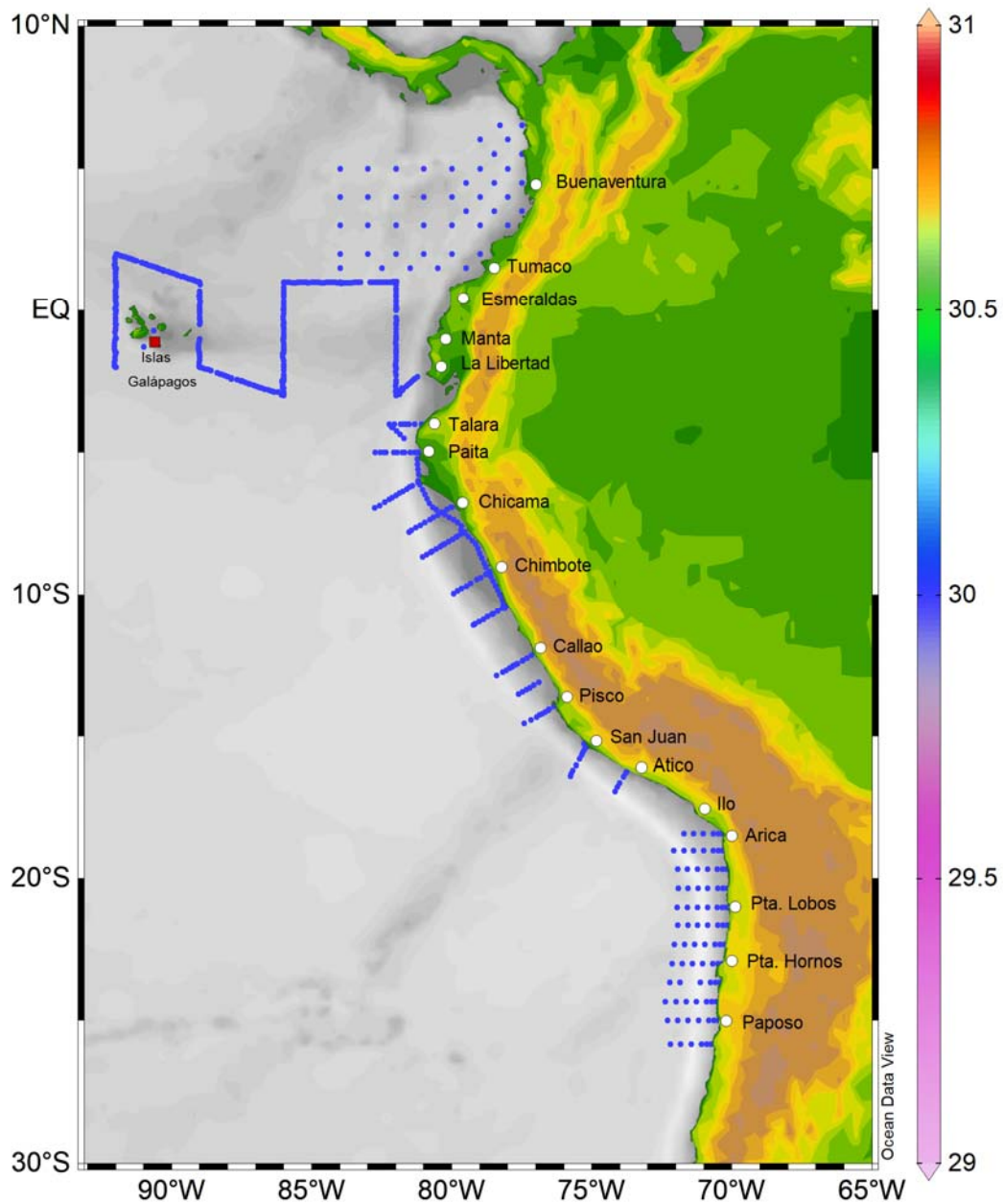


Figura 1. Estaciones oceanográficas realizadas durante el XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017.

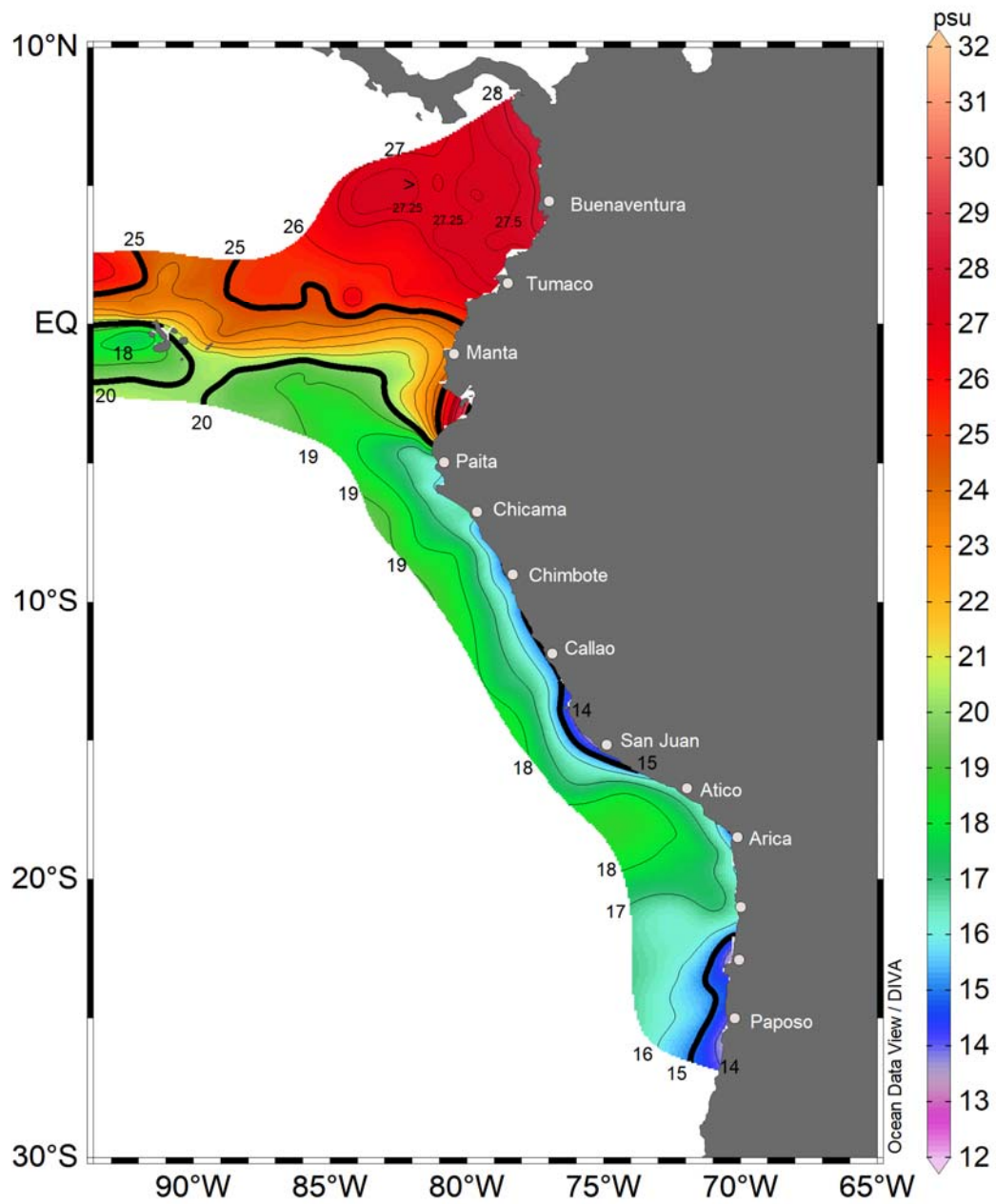


Figura 2. Temperatura Superficial del Mar (°C). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.

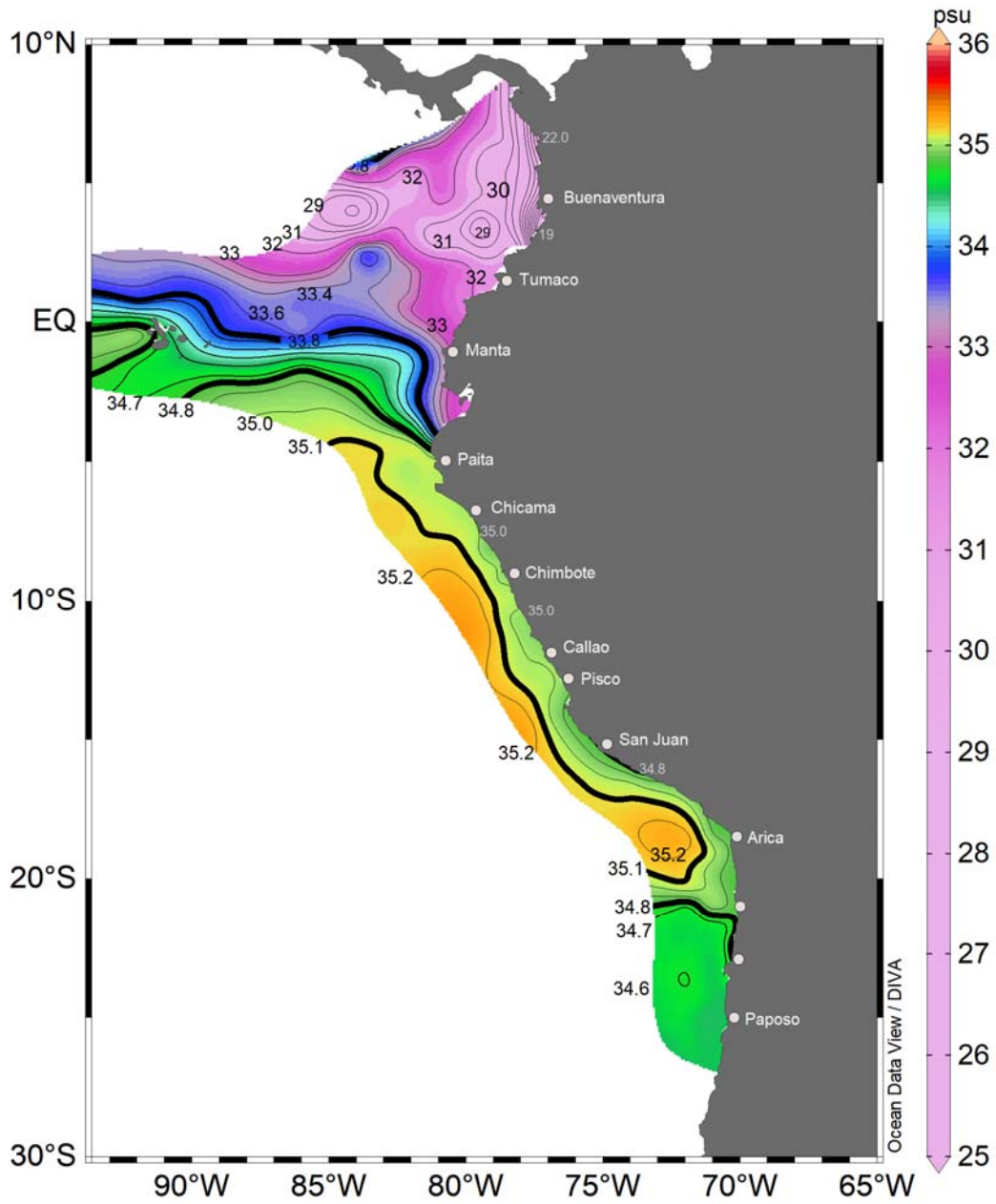


Figura 3. Salinidad Superficial del Mar. XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.

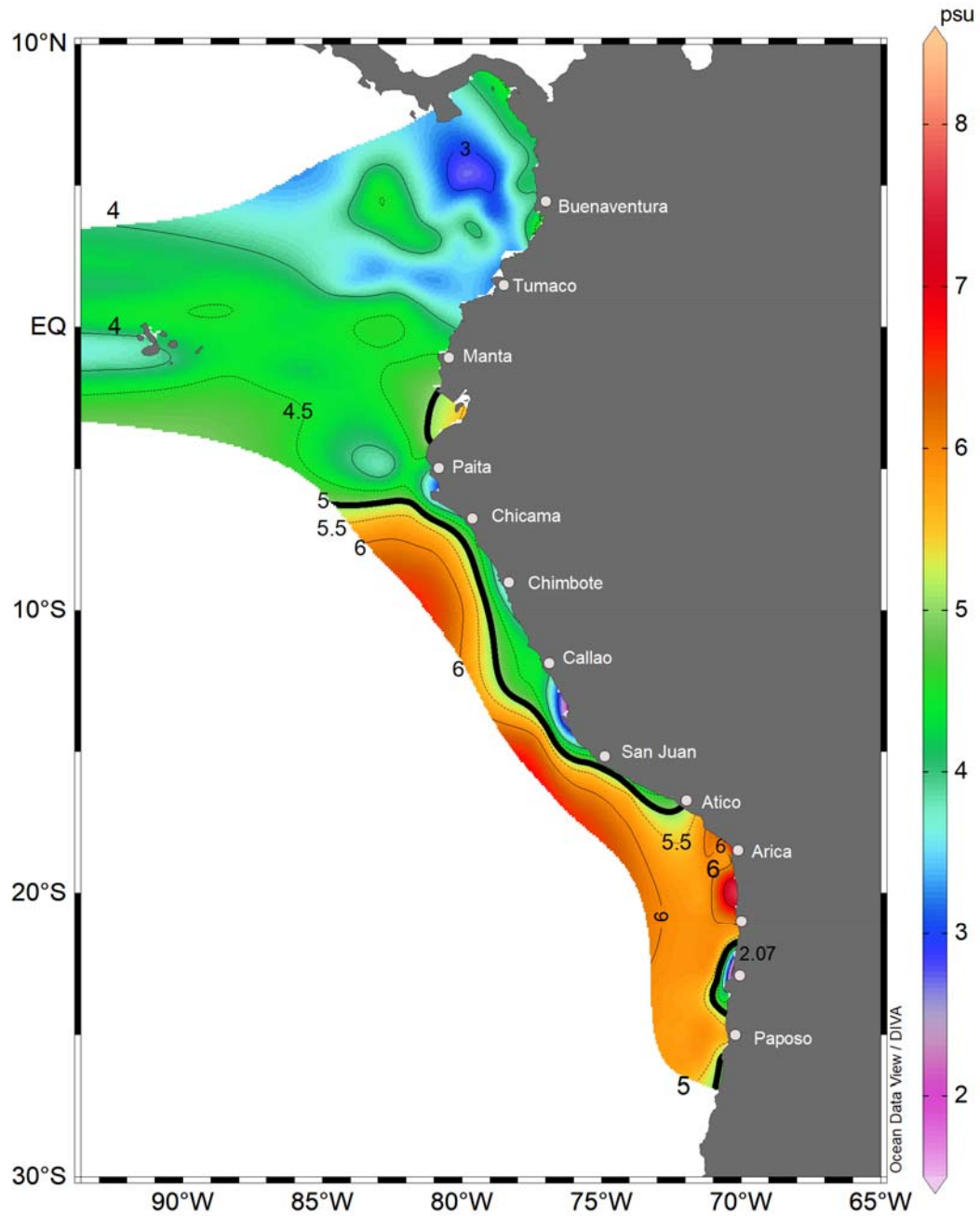


Figura 4. Oxígeno Superficial del Mar (ml/L). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.

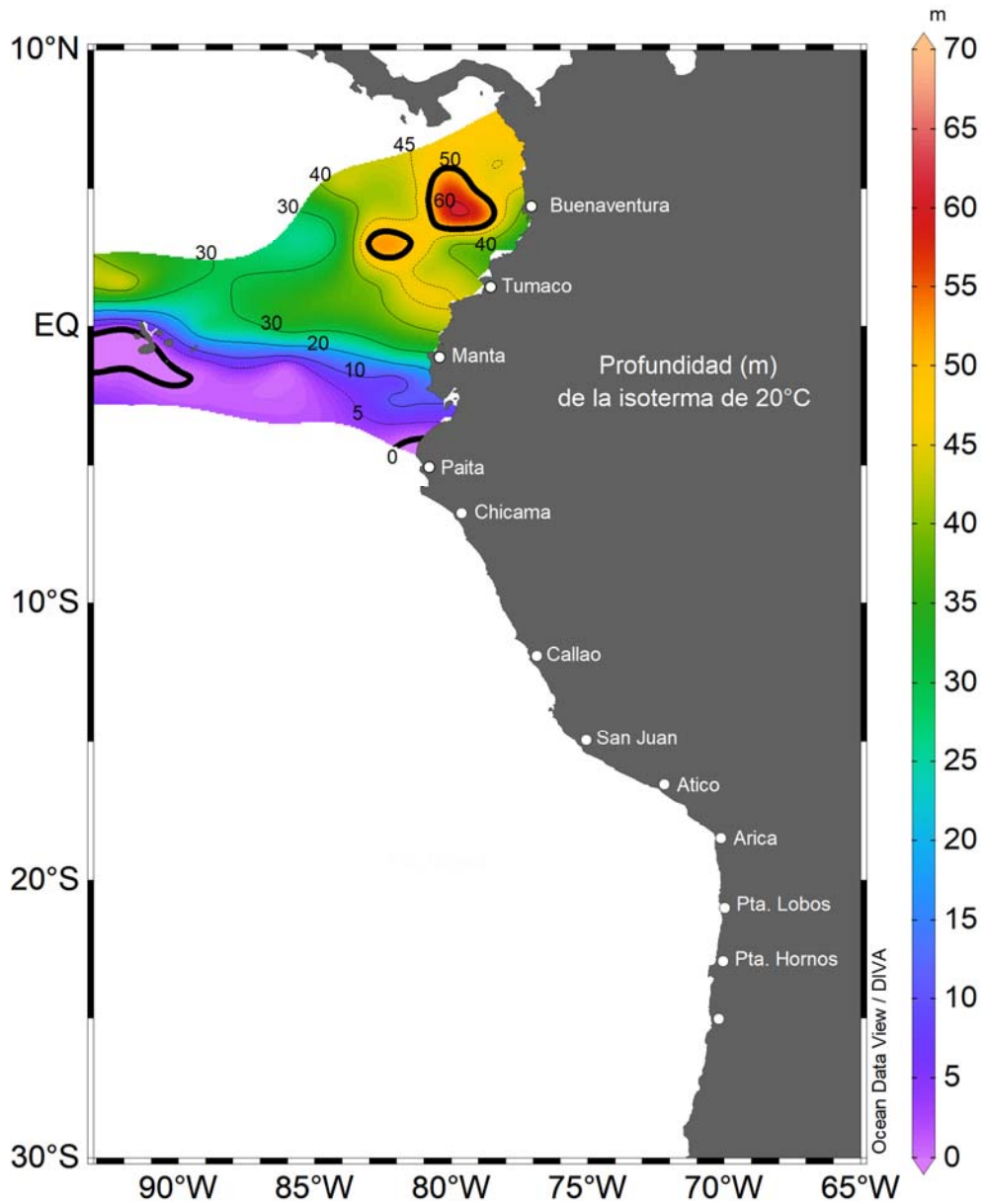


Figura 5. Profundidad de la isoterma de 20°C (m). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.

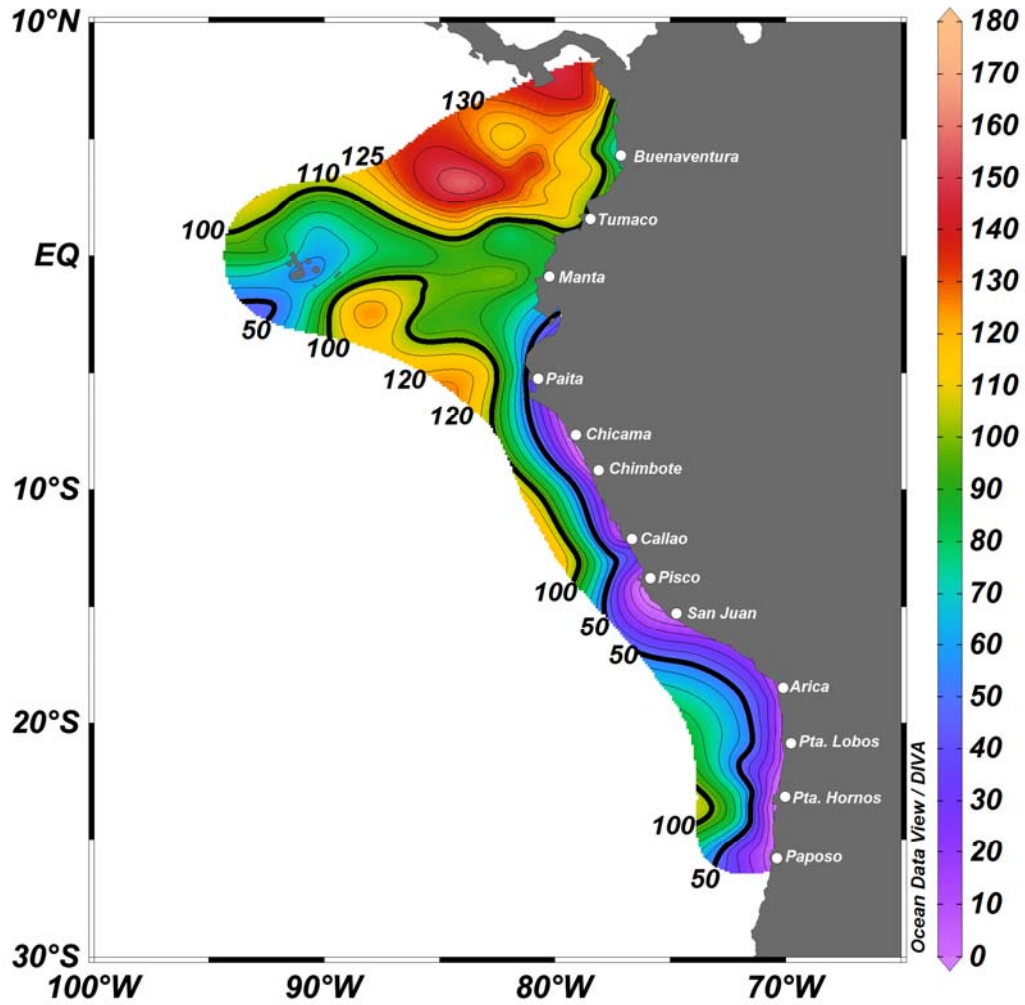


Figura 6. Profundidad de la isoterma de 15°C (m). XX Crucero Oceanográfico en el Pacífico sudeste realizado del 15 de septiembre al 09 de noviembre de 2017. La escala de colores se presenta a la derecha de la figura.

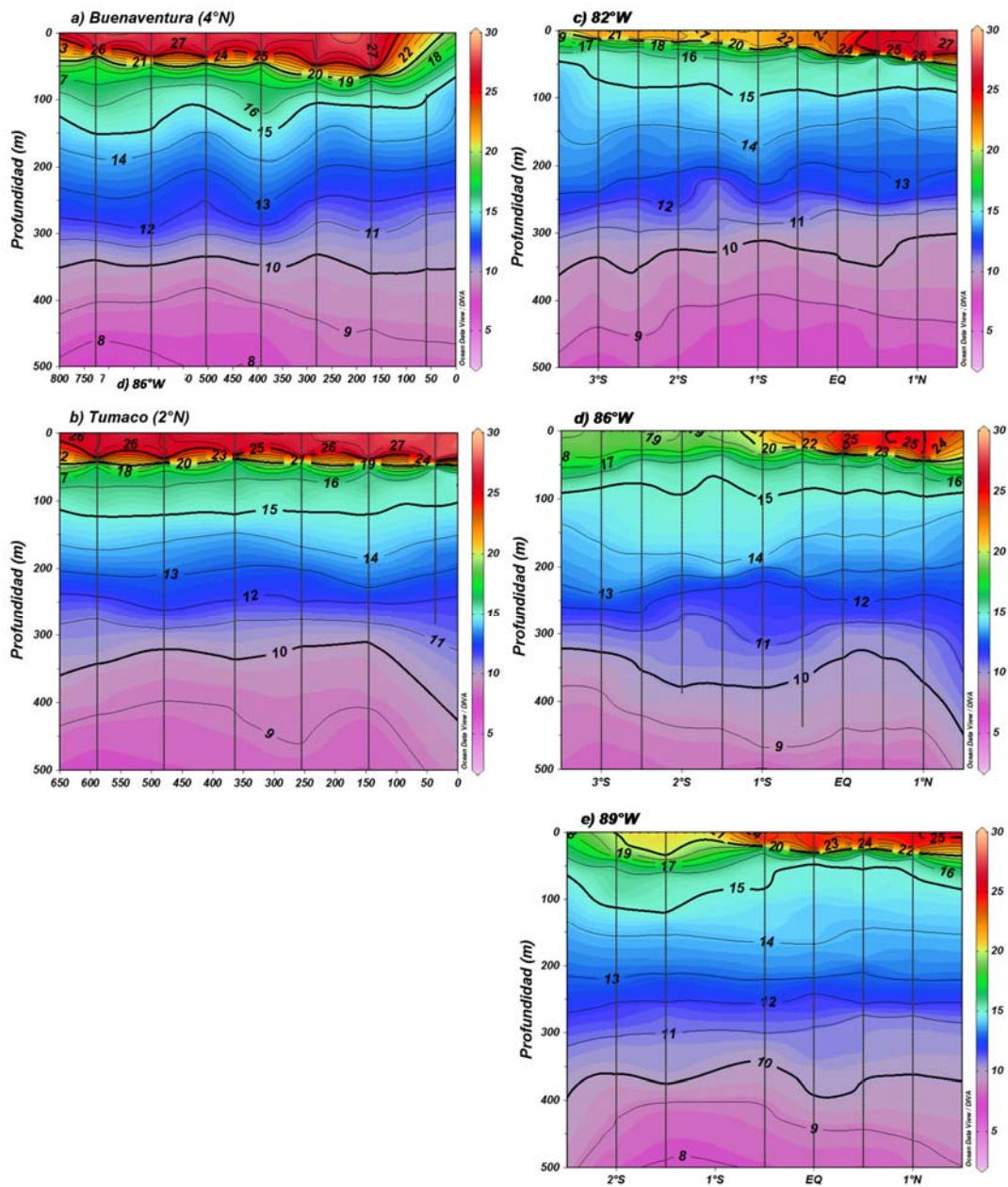


Figura 7. Estructura de la temperatura del agua de mar ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas frente a a) Buenaventura (4°N) y b) Tumaco (2°N) en Colombia y en los perfiles meridionales en c) 83°W , d) 86°W y e) 89°W en Ecuador durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.

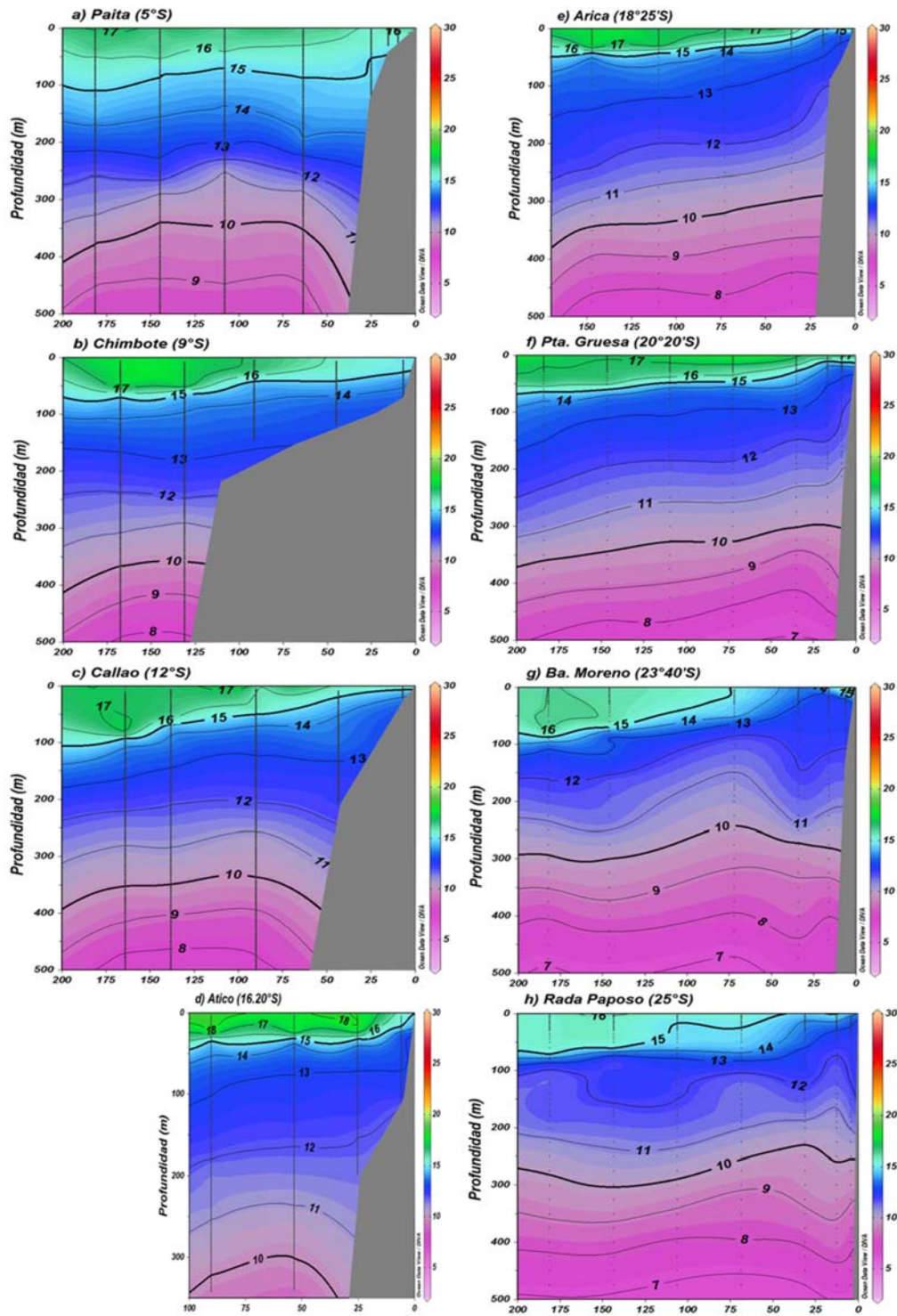


Figura 8. Distribución vertical de la temperatura del agua de mar (°C) en las transectas perpendiculares a a) Paíta (5°S), b) Chimbote (9°S), c) Callao (12°S), d) Atico (16.20°S) en Perú y e) Arica (18°25'S), f) Punta Gruesa (Iquique, 20°20'S), g) Bahía Moreno (Antofagasta, 23°30'S) y h) Rada Paposo (25°S) en Chile durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.

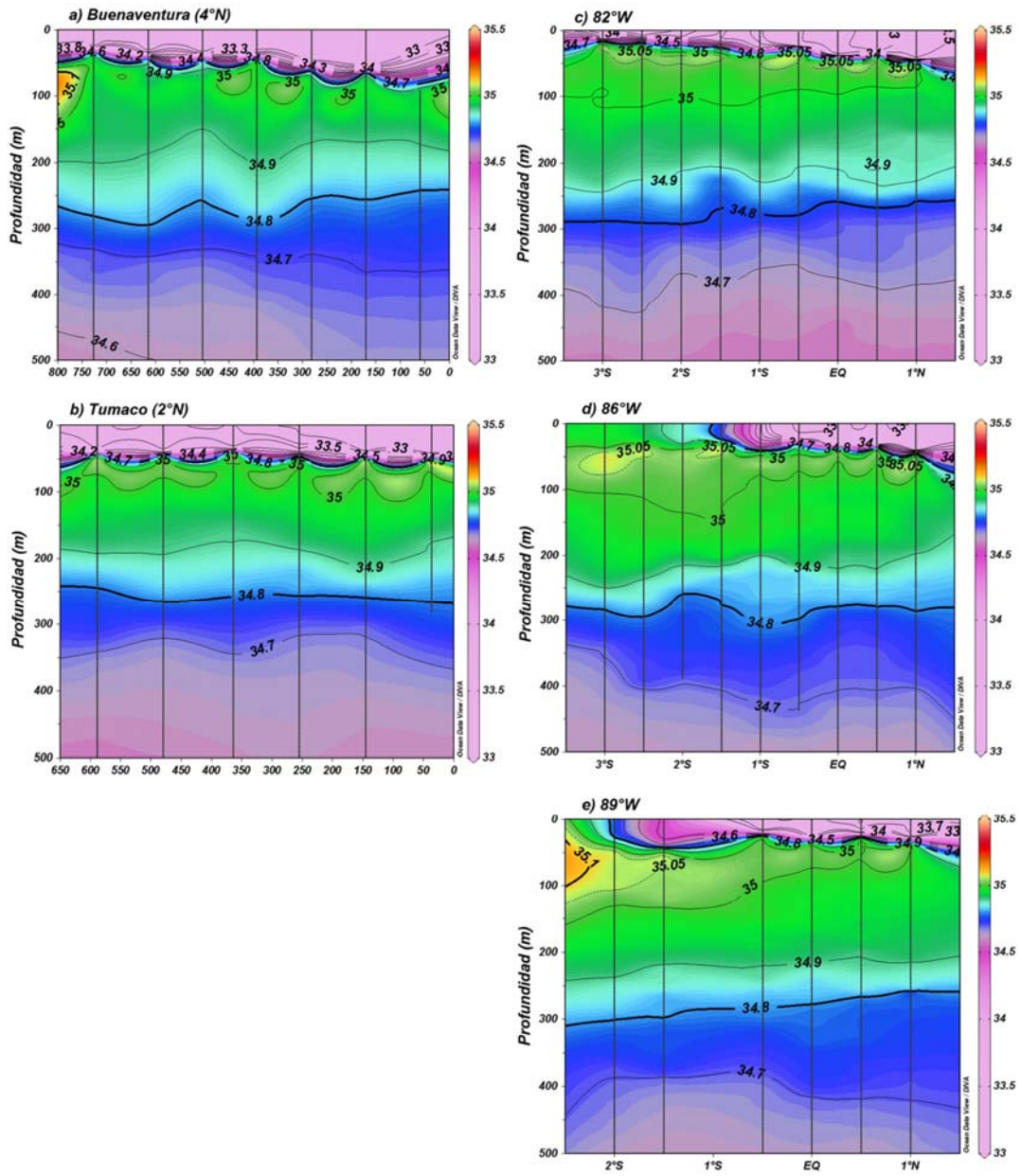


Figura 9. Distribución vertical de la salinidad del agua de mar en las transectas frente a a) Buenaventura (4°N) y b) Tumaco (2°N) en Colombia y en c) 83°W, d) 86°W y e) 89°W en Ecuador durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.

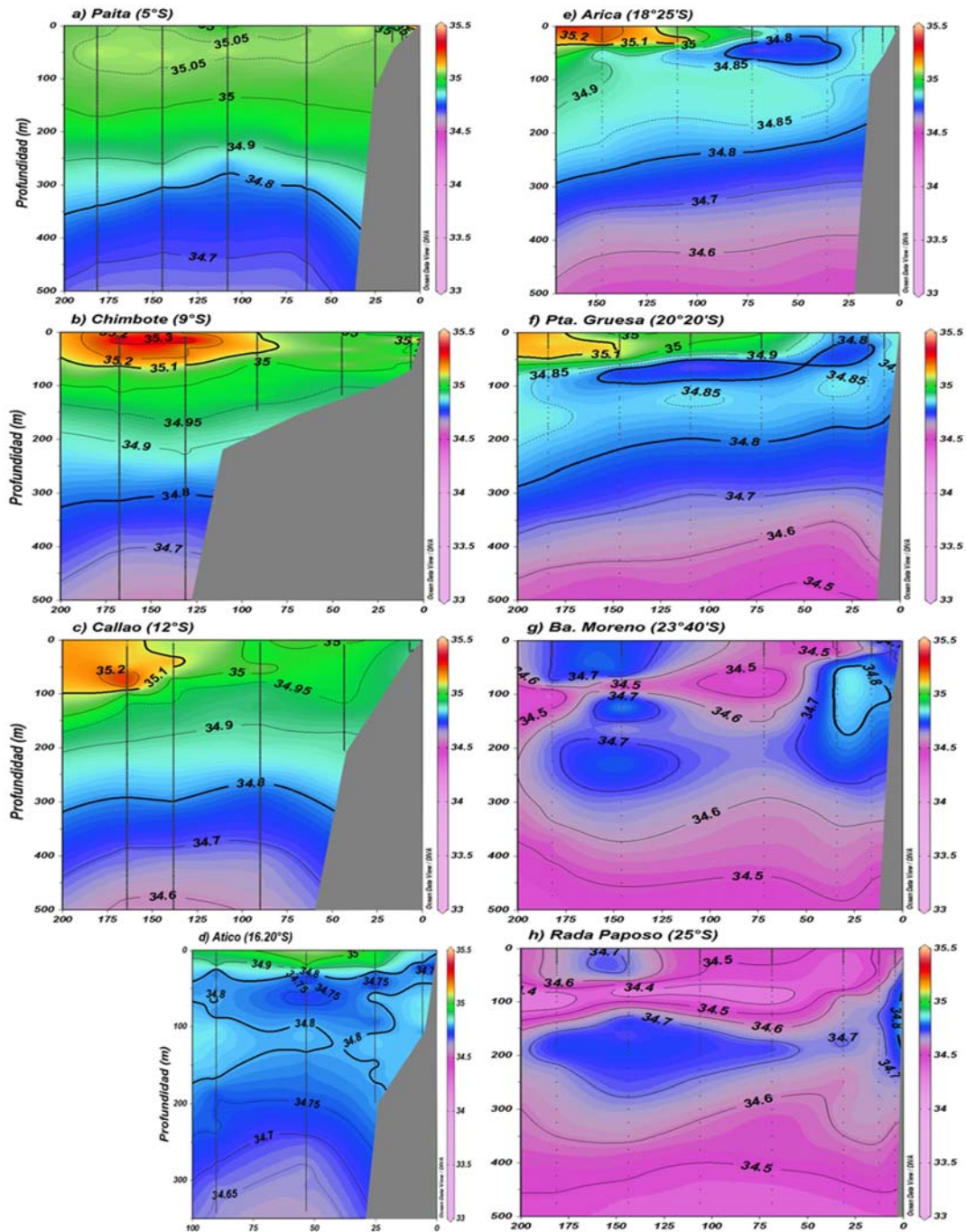


Figura 10. Distribución vertical de la salinidad del agua de mar en las transectas perpendiculares a a) Paita (5°S), b) Chimbote (9°S), c) Callao (12°S), d) Atico (16.20°S) en Perú, y e) Arica (18°25'S), f) Punta Gruesa (Iquique, 20°20'S), g) Bahía Moreno (Antofagasta, 23°30'S) y h) Rada Paposo (25°S) en Chile durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.

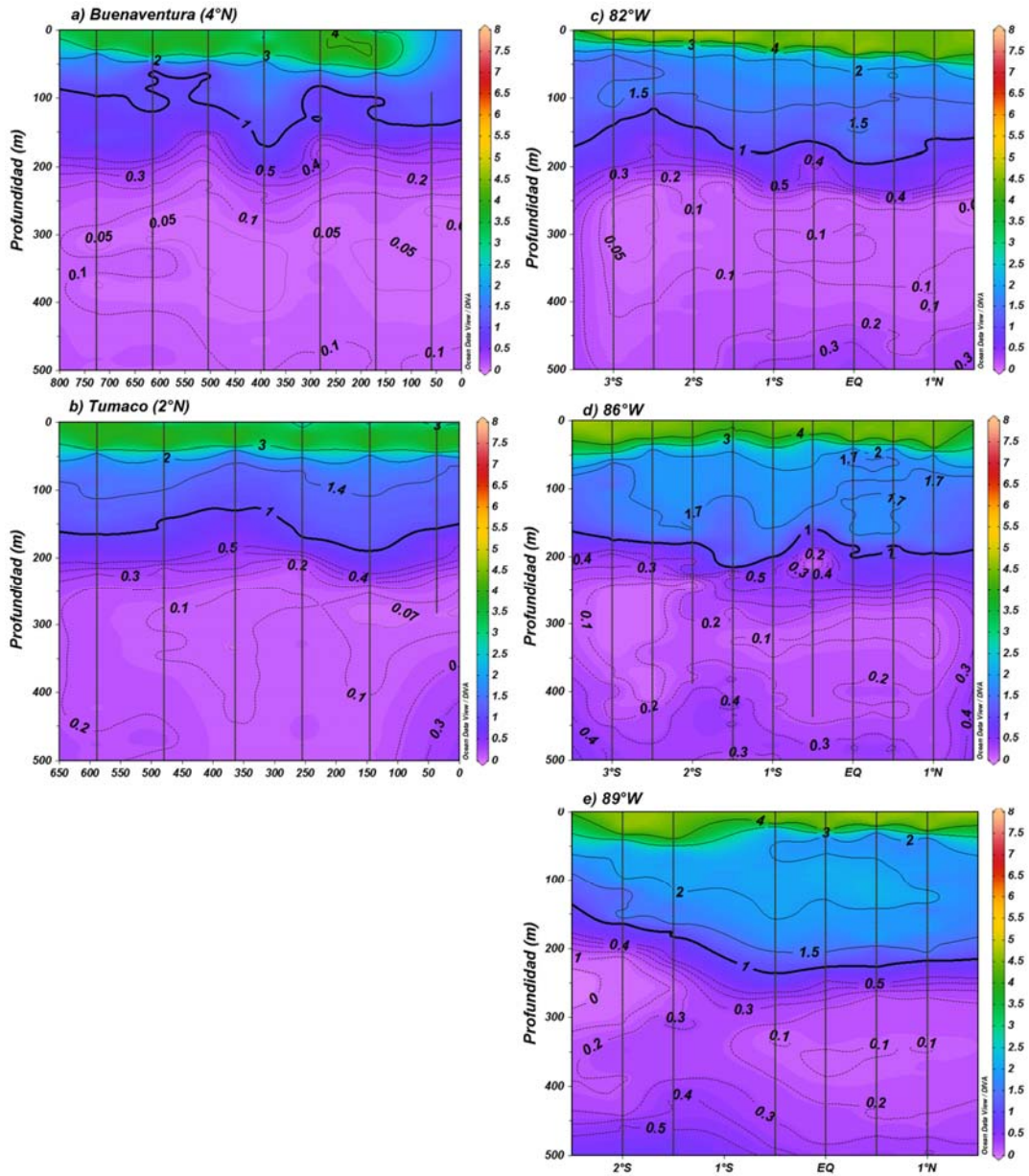


Figura 11. Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas frente a a) Buenaventura (4°N) y b) Tumaco (2°N) en Colombia, y en los paralelos c) 83°W, d) 86°W, e) 89°W en Ecuador durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.

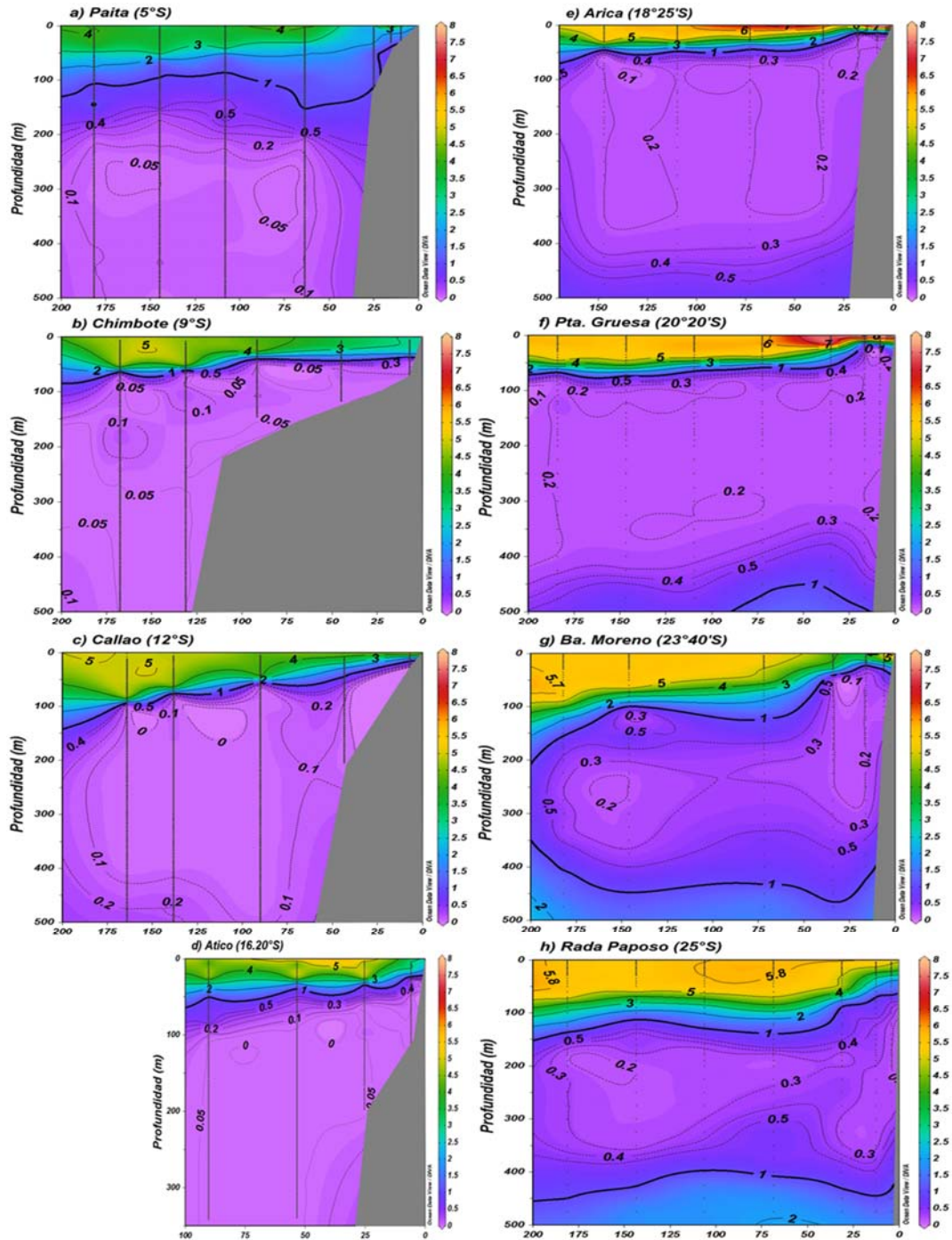


Figura 12. Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas frente a a) Paita (5°S), b) Chimbote (9°S), c) Callao (12°S), d) Atico (16.20°S) en Perú, y e) Arica (18°25'S), f) Punta Gruesa (Iquique, 20°20'S), g) Punta Coloso (Antofagasta, 23°30'S) y h) Rada Paposo (25°S) en Chile durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018.

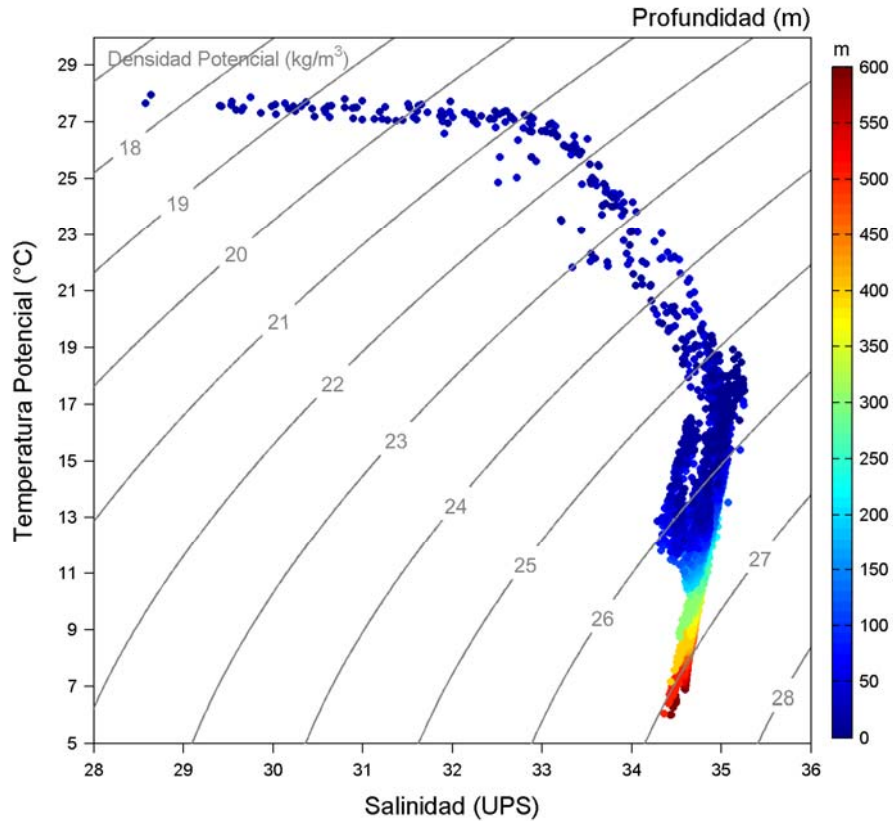


Figura 13. Diagrama T-S y masas de agua durante el XX Crucero Oceanográfico Regional de Investigación Conjunta en el Pacífico Sudeste, septiembre-octubre 2018. Se distinguen en la superficie del mar el Agua Costera Colombiana (ACC), Agua Tropical Superficial (ATS), Agua Ecuatorial Superficial (AES), Agua Subtropical Superficial (ASTS). A nivel subsuperficial se presentan el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), Agua Sub Antártica (ASAA) y Agua Intermedia Antártica (AIAA).

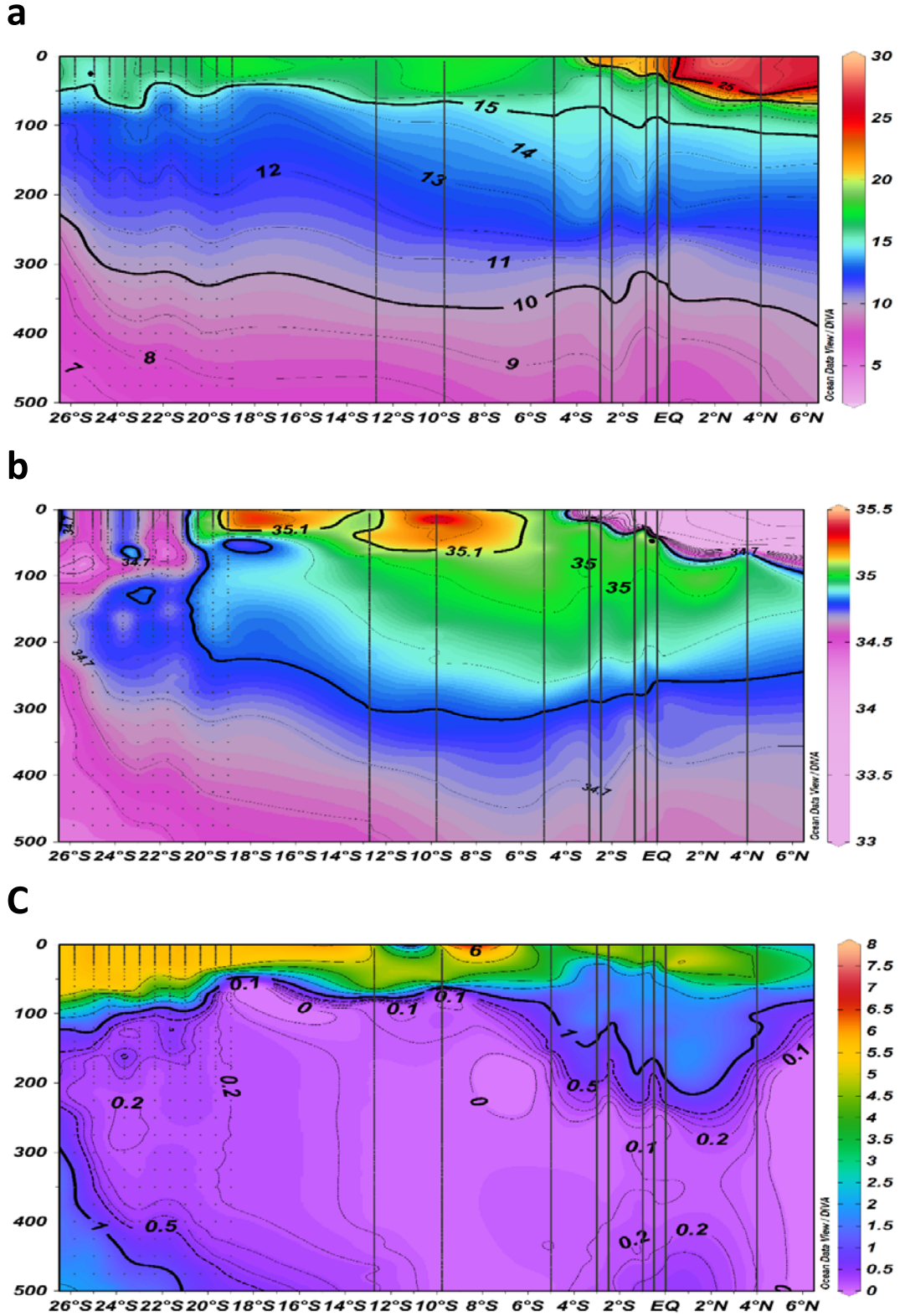


Figura 14. Estructura de a) temperatura del agua de mar (°C), b) salinidad y c) oxígeno disuelto (mL/L) en la transecta meridional a 100 km de la costa sudamericana.

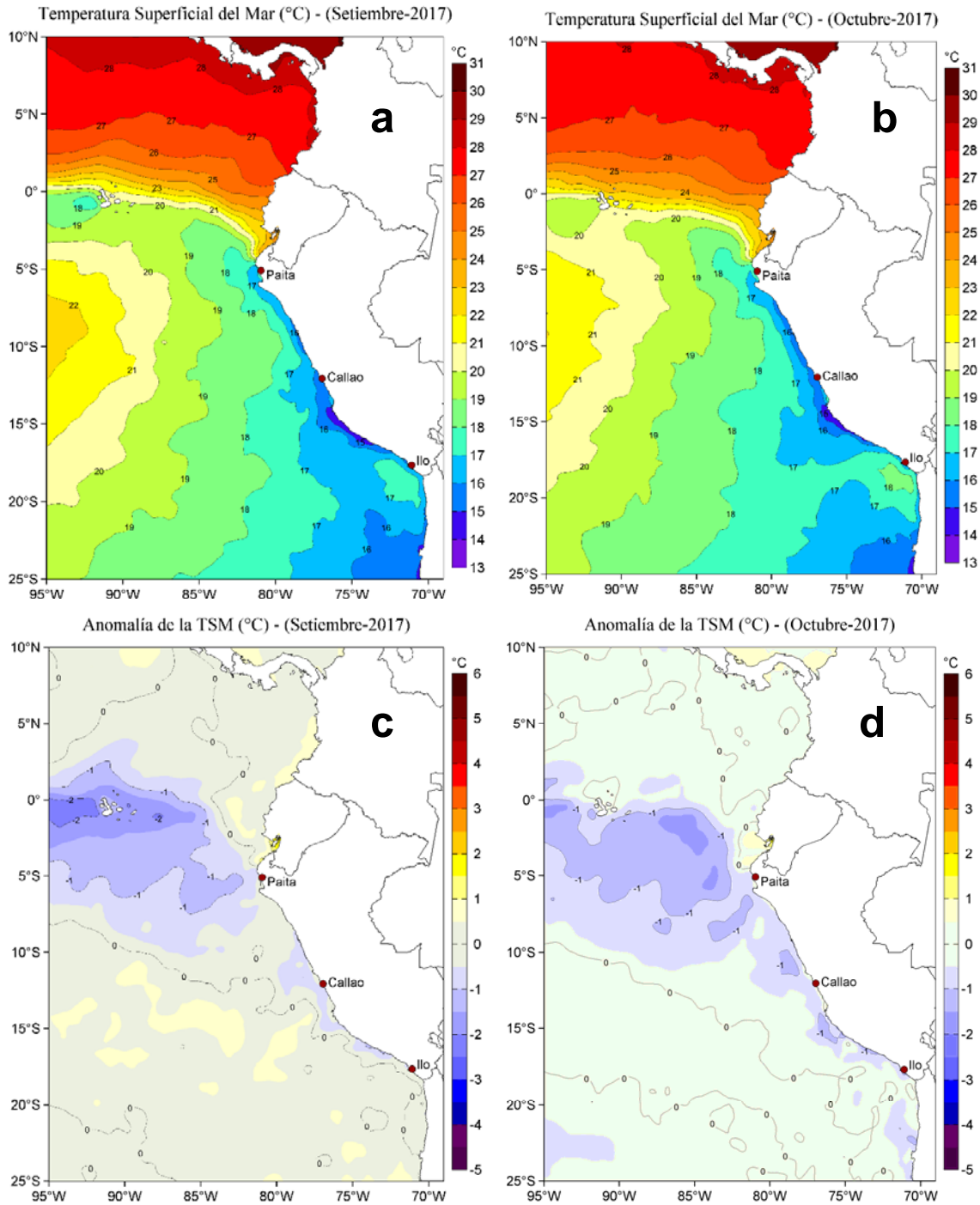


Figura 15. Distribución espacial promedio de la Temperatura Superficial del Mar (TSM, °C) para a) septiembre y b) octubre de 2017, así como las anomalías de la TSM (°C) para los meses de c) septiembre y d) octubre de 2017. Datos: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon et al, 2012) disponible en <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0>). Las escalas de colores de la TSM como de las anomalías térmicas se presentan a la derecha de cada gráfico. Procesamiento: IMARPE.

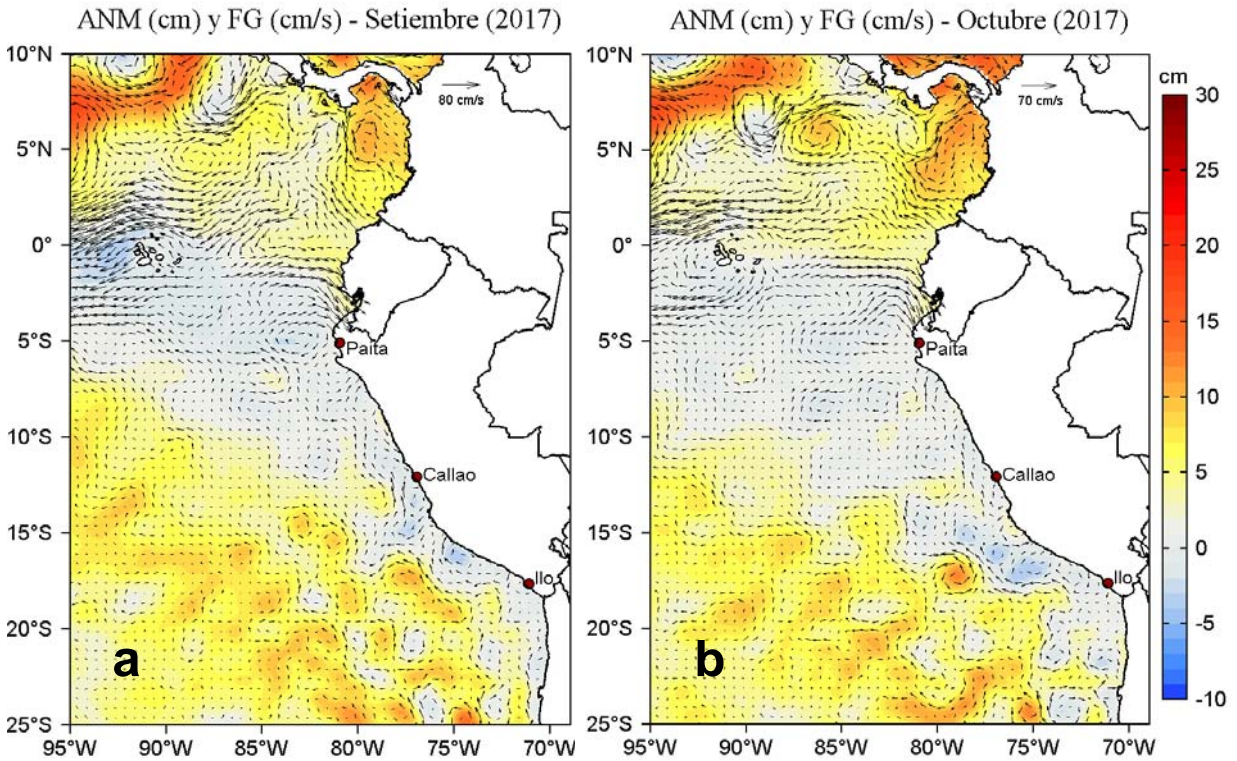


Figura 16. Distribución mensual compuesta del promedio diario de las anomalías del nivel del mar (cm) y los flujos geostroficados (FG, cm/s) en el Pacífico sudeste para los meses de a) septiembre y b) octubre de 2017. Fuente de datos: CMEMS V3.0. Las anomalías del nivel medio del mar se estimaron de acuerdo a la climatología para 1993-2012 y se presentan en matices de colores (a la derecha) mientras que la intensidad y dirección de los flujos geostroficados se presentan con flechas. Procesamiento: IMARPE.

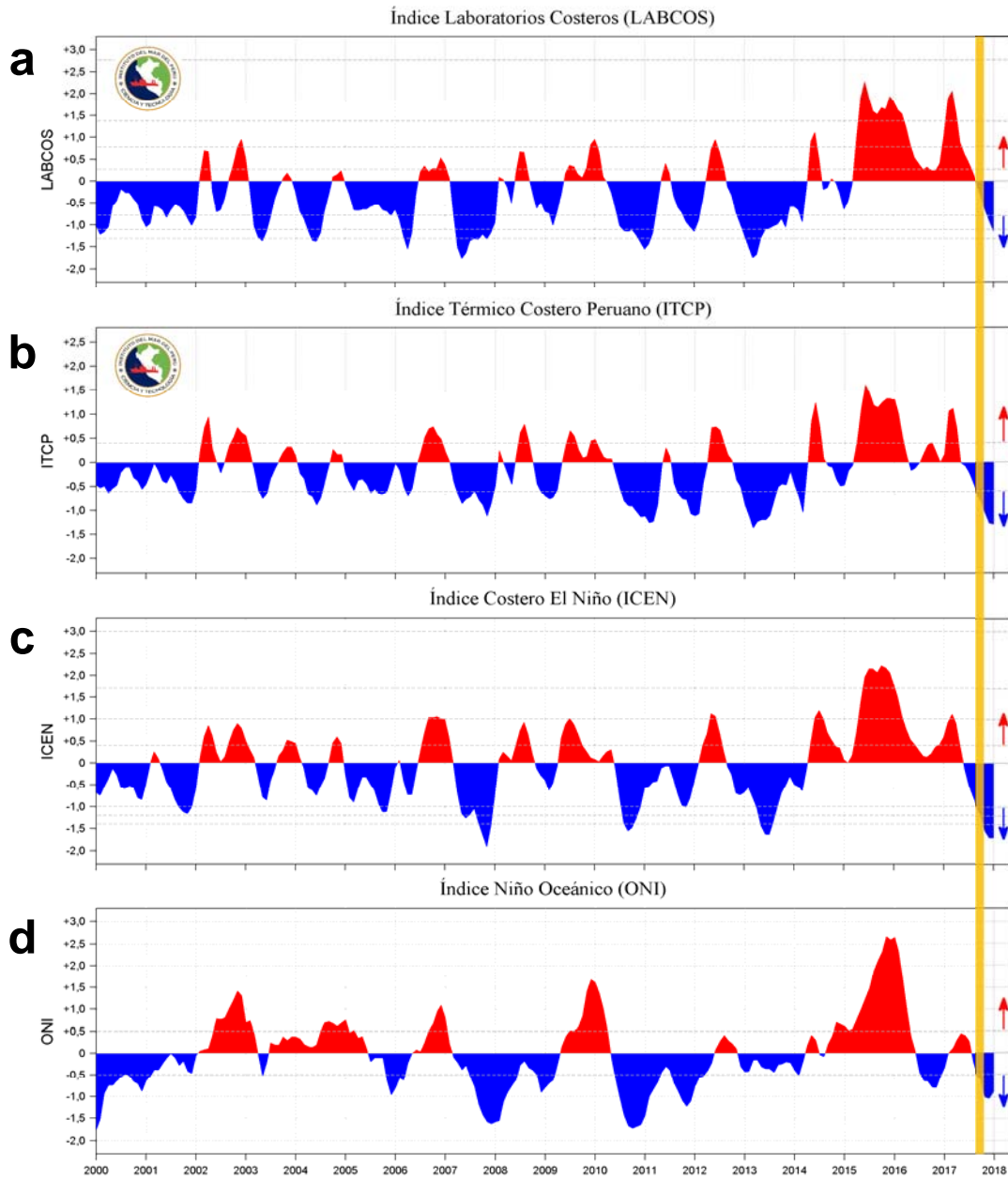


Figura 17. Series de tiempo de Índices climáticos: a) Índice LABCOS, b) Índice Térmico Costero Peruano (ITCP), c) Índice Costero El Niño (ICEN) y d) Índice Niño Oceánico (ONI) desde el año 2000. La metodología para estimar estos índices se encuentra en Quispe y Vásquez (2015), Quispe et al (2016), Takahashi, et al. (2014) y Huang et al (2017), respectivamente. La barra en color amarillo indica el periodo en que se realizó el XX Crucero Oceanográfico. Preparado por: IMARPE.

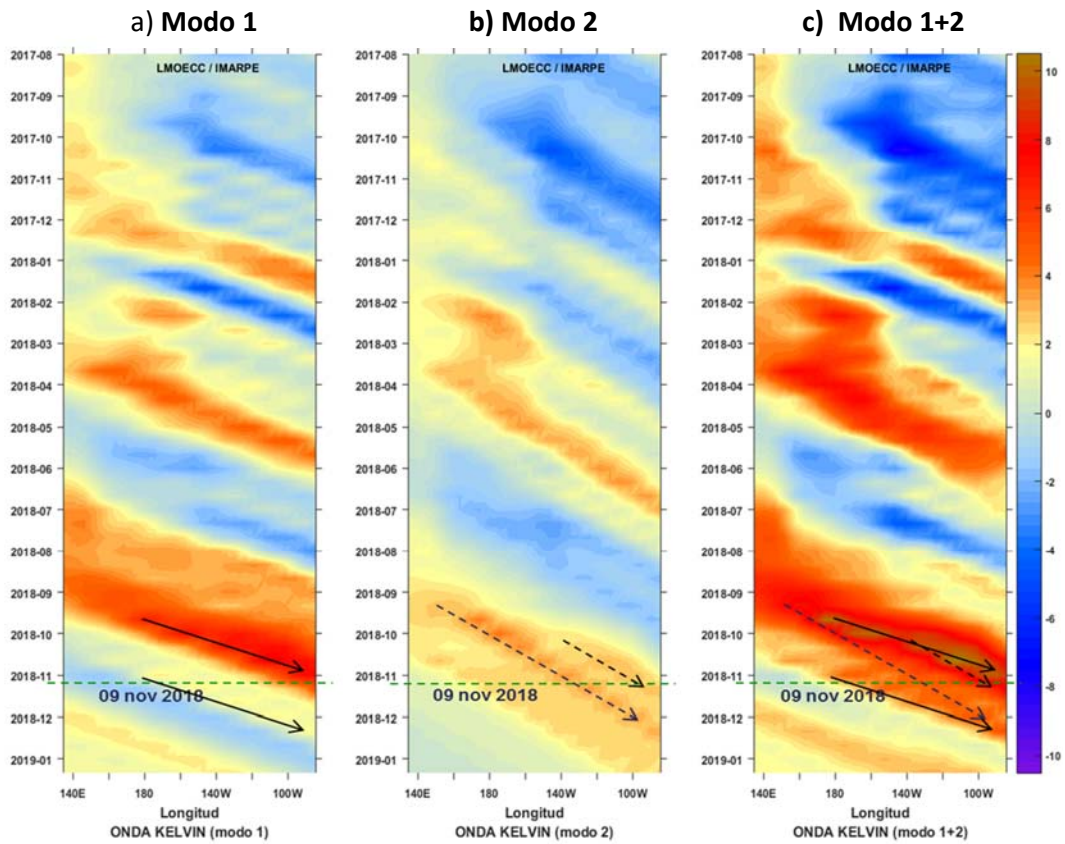


Figura 18. Diagrama Hovmöller longitud-tiempo de las ondas Kelvin en el océano Pacífico ecuatorial (0°N): (a) Modo 1, (b) Modo 2, (c) Modos 1+2. La línea discontinua horizontal, en verde, indica el inicio del pronóstico sin el forzante de vientos. Fuente: IMARPE, forzado con vientos del National Center for Environmental Prediction.

TABLAS

Tabla 1. Comité Coordinador del XX Crucero Oceanográfico Regional

PAÍS	INSTITUCIONES ESPECIALIZADAS	ESPECIALISTA	COORDINACIÓN CIENTÍFICA
COMITÉ COORDINADOR DEL XX CRUCERO REGIONAL			
Colombia	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP) de la Dirección General Marítima (DIMAR)	CF LCEA Leonardo Marriaga Rocha, MSc	Nacional
Ecuador	Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR)	Oce. Sonia Recalde Mosquera, MSc.	Nacional
Perú	Instituto del Mar del Perú (IMARPE)	Oce. Carmen Grados Quispe	Nacional/Regional
Chile	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)	Oce. Hernán Reyes Rivas	Nacional
COORDINACIÓN REGIONAL			
Dirección de Asuntos Científicos y Recursos Pesqueros		Dr. Marcelo Nilo Gatica	Programa ERFEN/ CPPS

Tabla 2. Plataformas de investigación y fechas de inicio y término de los cruceros

PAÍS	INSTITUCIÓN ESPECIALIZADAS	BUQUE	N° DÍAS	FECHA DE INICIO/TÉRMINO	ESTACIONES EJECUTADAS
Colombia	CCCP/DIMAR	ARC Gorgona	30	17/09 - 17/10	75
Ecuador	INOCAR	BAE Orión	24	02 – 26/10	40
Perú	IMARPE	BIC José Olaya, Humboldt	49	22/09 - 09/11	120
Chile	IFOP	B/I Abate Molina	45	15/09 - 30/10 ¹	819

¹ Período de ejecución de estaciones: 20 de septiembre a 27 de octubre (37 días).

Tabla 3. Especialistas participantes - Programa de Intercambio de investigadores

PAÍS	BUQUE	ESPECIALISTA	N° DÍAS NAVEGADOS	FECHA DE INICIO/TÉRMINO
Colombia	ARC Gorgona	Oce. Químico Reynaldo Restrepo (INOCAR, Ecuador)	30	17/09 - 17/10
Ecuador	BAE Orión	Tlgo. Oce. Fís S3 Wilberth Forero (CCCP, Colombia)	24	02-26/10
Perú	BIC José Olaya, Humboldt	Blga. Vivian Valenzuela (IFOP, Chile)	08	08/10 - 15/10
Chile	B/P Abate Molina	-		

Tabla 4. Personal científico participante

PAÍS	COLOMBIA
Crucero CCCP:	CPC No. 56
Buque:	BO "ARC Gorgona"
Jefe de crucero y de Componente Biológico-Química	PD08 Christian Bermúdez Rivas
Comando del buque:	TN Julián Alexander Salgado Mesa
Participantes:	CIOH Pacífico: MA1MOF Francisco Javier Gambin Carrasquilla y MA1MOF Rainiero José Zurita Murillo (Jefes de Estación), MA1MOF Rainiero José Zurita, MA1MOF Daniel Alejandro Lasso Vivas (Auxiliar de Estación).
Especialistas invitados:	Universidad de Antioquía, Sede TURBO: Pasante Carolina Durango Osorio. Programa de intercambio - CPPS: Qco. Reinaldo Restrepo Alvarado (INOCAR).

PAÍS	ECUADOR
Crucero INOCAR:	Del 2 al 26 de octubre de 2017
Buque:	BAE Orión
Jefe científico:	TNFG-SU Geovanny León Naranjo, MSc.
Comando del buque:	CPFG-EM Juan Tapia Aldas
Participantes:	INOCAR: MSc., Ing. Oce. Martha Barahona, Oce. Susy Marín, Oce. Freddy Hernández, Blgo. Raúl Marcillo, Blga. Tania Calderón, Quím. Richard Narea, Verónica Condo Espinel, CBOP-IF César Coronel Camacho. Programa de intercambio - CPPS: Tlgo. Oc. Fís S3 Wilberth Steban Forero Wagner. Pasantes nacionales: Sergio David Mendoza Caicedo, Jehinson Joao Rodríguez Lindao, Edwin Estaling Escobar Villares, Bárbara María Martínez Marcial, Ivanna del Rocío Ramos Castañeda, Dayana Nayiva Bobadilla Córdova, Lenín Rodolfo Cáceres Farías, César Eduardo Añazco Sánchez, Rodrigo Daniel Chiriboga Ortega, Indira Fernandina Black Solís, Luis Alonzo Alfaro Núñez, Joseph Cecilio Villarreal Villarreal, Lucy Ariel Morrillo Mera, Gabriela Yolanda Mejía Mero. Pasantes internacionales: Coral Cepeda Jorge, Maider García Delgado.

PAÍS	PERÚ
Crucero IMARPE:	Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos 2017 09-11
Buque:	BIC José Olaya Balandra
Jefe de crucero:	Blgo. Luis La Cruz Aparco (22-24 septiembre), Ing. Martín Salazar Céspedes (25-27 septiembre), Dr. Ramiro Castillo Valderrama (28 septiembre-16 octubre)
Comando del buque:	Capitán Carlos Herrera Pingo
Participantes:	<p>Grupo de Acústica y Pesca: Blgo. Luis Ángel La Cruz Aparco, Ing. Carlos Alexander Valdez Mego, Ing. Marisela Posada Herrera, Lic. Han Xu.</p> <p>Grupo de Recursos Pelágicos: Blgo. José Luis Salcedo Rodríguez, Blgo. Héctor Rolando Sarmiento Bendezú, Blgo. Pablo Constantino Gonzales Aranda, Téc. Jesús Alejandro Sánchez Puchulán, Ing. Martín Santibañez Yuffra ((Paita-Chimbote), Ing. Aníbal Aliaga Rosales (Chimbote-Callao).</p> <p>Grupo de Biología Reproductiva, Aves y Mamíferos: Blgo. Luis Tito Dávila, Blgo. Pablo Saravia Martínez (Paita-Chimbote), Blgo. Javier Sánchez (Chimbote-Callao), Blga. Massiel Manrique Peralta.</p> <p>Grupo de Oceanografía: Ing. Luis Pizarro Pereyra, Téc. Miguel Sarmiento Díaz, Blga. Flor Chang Loo Kung.</p>

Crucero IMARPE:	Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos 2017 09-11
Buque:	BIC Humboldt
Jefe de crucero:	Dr. Rodolfo Martín Cornejo Urbina
Comando del buque:	C de F Diego Antenor Gago Rojas
Participantes:	<p>Grupo de Acústica y Pesca: Ing. Oswaldo Flores Huamán, Lic. Germán Chacón Nieto, Téc. Jairo Calderón Martell, Ing. Marco Magallanes Lozada.</p> <p>Grupo de Recursos Pelágicos: Blgo. Luis Lau Medrano, Blgo. Leonardo Aldana Jacinto, Blgo. Gilberto Silva Silva, Blgo. Gersson Román Amancio (Callao-Chimbote), Blgo. César Fernández Ojeda (Chimbote-Callao).</p> <p>Grupo de Biología Reproductiva, Aves y Mamíferos: Blgo. Jesús Berrú Beltrán, Téc. José Puchulán Suquilanda (Callao-Chimbote), Téc. Jhadir Alcantarà Guzmán (Chimbote-Callao), Blgo. Miguel Ángel Llapapasca Locla.</p> <p>Grupo de Oceanografía: Ing. Enrique Tello Alejandro, Blgo. Jorge Luis Barturén Silva (Callao-Chimbote), Blga. Liz Romero Guardamino (Chimbote-Callao), Téc. Edwin Joel Pinto Chahua.</p> <p>Programa de intercambio de CPPS: Blga. Vivian Valenzuela (IFOP).</p>

PAÍS	CHILE
Crucero IFOP:	Condiciones bio-oceanográficas y evaluación del stock desovante de anchoveta entre la XV y II regiones, año 2017
Buque:	B/I Abate Molina
Jefe de crucero:	Fase 1: Jorge Angulo A., Fase 2: Hernán Reyes R.
Capitán:	Iván Giakony
Participantes:	<p>Oceanografía: Hernán Reyes, Mónica Alvarado, Carolina Pérez, Marcela Toro, Elda Riquelme, Claudia Rozas.</p> <p>Plancton: Jorge Angulo, Lenin San Martín, Francisca Osorio, Eliana Velasco, Diego Lemus, Débora Albornoz, Darleen Riveros.</p> <p>Mamíferos marinos: Robert Bello, Juan Guerrero.</p> <p>Acústica: Roberto Lorca, Manuel Rojas.</p> <p>Operador marino: Iván Toro, Carlos Mendoza, Andrés Ruiz.</p> <p>Isotopos estables: Carmen Barrios.</p>

Tabla 5: Cruceros realizados por cada país, fechas, número de estaciones, variables medidas

País	Buque	Fecha de inicio-término	Institución ejecutora	Variables medidas	N° Est.
Colombia	ARC Gorgona	17.09.- 17.10.2017	CCCP	<p>Meteorología: Ta, Hr, Pa, Vw/Dw medidos con una estación meteorológica Davis Vantage PRO2.</p> <p>Oceanografía física: T, S (0-500/1000 m). Se empleó un CTDO SBE-19plus v2 (Serie No. 7341).</p> <p>Oceanografía química: Se realizaron 42 estaciones (18 de ellas en áreas insulares) para análisis de nutrientes (Amonio, Nitrito, Nitrato, Fosfatos y Silicatos) del agua de mar. La colección de muestras de agua de mar a profundidades de 0 a 500 m (20) y hasta 1000 m (4) se realizó con una Roseta Muestreadora Subcompacta Modelo 32-6800 metros (Serie N° 0954) con sistema de telemetría modelo DECK UNIT SBE 33.</p> <p>Oceanografía Biológica: Se colectaron 24 muestras superficiales de microplancton (50 µm), mesozooplancton (300 µm) e ictioplancton (500 µm).</p> <p>-Para las muestras de microplancton se usó una red cónica de 50 µm con un flujómetro marca General Oceanics Inc., con la cual se realizaron arrastres horizontales a una velocidad de 2 nudos por 5 minutos. Estas se preservaron en un recipiente de 500 ml y se fijaron con formaldehído buferizado al 5%.</p> <p>-Para las muestras de mesozooplancton e ictioplancton se usó una red bongo con redes de 300 µm y 500 µm con un flujómetro marca General Oceanics Inc. Se realizaron arrastres horizontales a una velocidad de 2 nudos por 5 minutos. Estas se preservaron en un recipiente de 500 ml y se fijaron con formaldehído buferizado al 5%.</p> <p>Estaciones: 44 en la CPC y 31 insulares (12 en la Isla Malpelo y 19 en la Isla Gorgona).</p>	44
Ecuador	BAE Orión	02-26. 10.2017	INOCAR	<p>Meteorología: Temperatura del aire, Humedad Relativa, Viento aparente (respecto al eje del buque), Radiación solar, Radiación UV, Presión Atmosférica.. Se realizaron mediciones horarias de ubicación magnitud y dirección de viento real.</p> <p>Oceanografía física: T, S (0-500 m.) y hasta 1000 m en la transecta 82°W. Se empleó un perfilador CTD Seabird 19plus v2 con sensores externos de Fluorescencia, PH y Oxígeno Disuelto.</p> <p>Oceanografía química: O₂, nutrientes (Nitrito, Nitrato, Silicato, Fosfato), pH, Cl-α. La toma de muestras de aguas se ejecutó a profundidades Estándar (0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 m), tanto para el análisis de nutrientes concentración de oxígeno disuelto, clorofila y conteo celular en la capa superficial. Para ello se emplearon botellas Van Dorn de 6 litros de capacidad. Las muestras recolectadas en cada nivel fueron separadas en tres alícuotas para oxígeno disuelto, pH y nutrientes.</p> <p>El oxígeno disuelto fue determinado in-situ por el método yodométrico-modificación azida según Standard Methods 4500-0 C utilizando botellas DBO de capacidad de 300 ml. Para la medición del pH se utilizó un potenciómetro WTW en alícuota de 25 ml.</p> <p>Las muestras para nutrientes fueron colectadas en botellas de polietileno de capacidad de 500 ml envejecidas y filtradas con filtros millipor de 0.45 µ, analizadas inmediatamente por los métodos descritos en el manual de Strickland & Parsons (1972) y leídas en el espectrofotómetro Génesis 10, obteniéndose concentraciones de nitrito, nitrato, fosfato y silicato.</p> <p>Las muestras de pH se colectaron en botellas plásticas de PVC de 25 ml utilizándose para su análisis un Potenciómetro marca HACH modelo HQ30d.</p> <p>Para la determinación de clorofila α, se colectaron muestras de 1 litro de agua de mar a profundidades estándar de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75 y 100 m de profundidad. Las muestras de agua de mar se filtraron empleando filtros de fibra de vidrio de 0.48 µm, se adicionó 2 ml de carbonato de magnesio para que los pigmentos de la clorofila se adhieran a los filtros. La lectura se realizó con un</p>	40

				<p>fluorómetro digital Marca Turner de acuerdo con el método de fluorometría detallado en el Manual de SCOR (UNESCO, (1966). En las estaciones diurnas se midió la penetración de la luz (disco Secchi).</p> <p>Biología: Para el análisis cualitativo de fitoplancton se efectuaron lances superficiales y verticales empleando una red cilindro cónica simple con una apertura de malla de 50 μ; para análisis de las comunidades de fitoplancton. Así también se efectuaron lances empleando una red cilindro cónica simple con una apertura de malla de 335 μ para análisis de las comunidades del zooplancton. Los lances superficiales se realizaron durante 10 minutos a una velocidad de 2 nudos y los lances verticales se ejecutaron en la columna de agua desde la superficie hasta los 50m de profundidad. Las redes estuvieron equipadas con flujómetros para estimar el volumen de agua filtrada. Las muestras fueron fijadas con formol al 4% previamente neutralizado con bórax.</p> <p>Est. Multidisciplinarias: 19. Estaciones CTD: 19.</p>	
Perú	BIC José Olaya	22.09-09.11.2017	IMARPE	<p>Meteorología: Ta, Hr, Pa, Vw/Dw (estación meteorológica Vaissala Milos 500).</p> <p>Oceanografía física: TSM con termómetros superficiales. Se empleó el CTD-SBE-19plus. Las muestras de salinidad se colectaron para calibrar los datos de CTD y se analizaron con el Portasal Guildline 8410[®]. Oceanografía química: Se colectaron volúmenes de agua de mar a niveles estándar (10 - 500 m) para análisis de O₂, nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato, silicato) y Cl-a. Los nutrientes y clorofila-a se colectaron en superficie, en la mayoría de estaciones de CTD y en las estaciones multidisciplinarias en frascos de polietileno de 250 y 100 ml, respectivamente. Para estimar las concentraciones de O₂ se empleó el método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (1965). Las muestras para clorofila-a se filtraron con filtros de fibra de Vidrio (GF/F) de 0,75 μm de 25 mm de diámetro y se preservaron por congelamiento hasta su análisis con el espectrofotómetro Turner Design 10AU.</p> <p>Biología: Se colectaron muestras de fitoplancton (red/agua) en estaciones seleccionadas con red estándar de 75 μ de poro de malla. Los arrastres superficiales se realizaron durante 5 minutos a 3 nudos de velocidad. Las muestras de red se fijaron y preservaron con formalina neutralizada al 1% para su posterior identificación. Las muestras de zooplancton (red) se colectaron con la red WP-2 mediante arrastres horizontales a nivel superficial a una velocidad de 3 nudos en promedio. La cantidad de agua filtrada se estimó con el medidor de flujo General Oceanic modelo 2030R. El contenido de la bolsa colectora se colocó en frascos de plástico de boca ancha de 300 cc de volumen. Las muestras se fijaron en formaldehído al 2% etiquetándose para su determinación en tierra.</p> <p>Otras observaciones: estado del tiempo y del mar, cantidad y tipo de nubes, visibilidad horizontal.</p> <p>Est. Multidisciplinarias: 120.</p>	799
Chile	B/I Abate Molina	20.09-27.10.2017	IFOP	<p>Se realizaron 12 transectas frente a Arica (18°25'S), punta Madrid (19°00'S), punta Junín (19°40'S), punta Gruesa (20°20'S), punta Lobos (21°00'S), punta Arenas (21°40'S), punta Copaca (22°20'S), punta Hornos (Mejillones, 23°00'S) y bahía Moreno (Antofagasta, 23°40'S), punta Tres Picos (24°20'S), rada Paposos (25°00'S) y punta Ballenita (25°50'S).</p> <p>Oceanografía: Se realizaron estaciones oceanográficas profundas (92) y superficiales (45). En las primeras se recolectó información oceanográfica físico-química y biológica hasta 500 m de profundidad a 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mn de distancia a la costa, con excepción de las estaciones a 100 mn donde se realizó el muestreo con CTD/OF hasta una profundidad de 700 m y del perfil Arica que se extendió hasta 80 mn. Las segundas se ubicaron a 30, 50, 70 y 90 mn y consideraron el muestreo hasta 100 m con CTD/OF.</p> <p>En el muestreo se utilizaron dos equipos CTD/OF de marca SeaBird. El CTD/OF principal es un modelo 911 operado en tiempo real</p>	137

			<p>durante las estaciones oceanográficas profundas y el otro fue un modelo 19plus V2 operado en modo de autocontenido, en las estaciones superficiales y de recolección de huevos de anchoveta.</p> <p>Química: Se realizó un muestreo discreto para el análisis de clorofila y oxígeno disuelto (OD), con botellas Niskin de 5 L, adosadas a un sistema de Roseta, a niveles de profundidades estándar 1, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300 y 500 m. En las estaciones oceanográficas superficiales se tomaron muestras de agua sólo a nivel superficial (1 m), con una botella Niskin de 5 L.</p> <p>La medición de la concentración de oxígeno disuelto (OD) se realizó mediante el método Winkler modificado por Carpenter (1965) empleando una micro-bureta Dosimat (0,001) y dispensadores automáticos.</p> <p>Actividades complementarias: Clorofila, nutrientes, zooplancton, fitoplancton, ictioplancton, acústica de cardúmenes, meteorología y avistamiento de mamíferos marinos. Los resultados parciales de estas actividades no son informados en este documento.</p> <p>Estaciones: 137 (92 profundas y 45 superficiales).</p>	
--	--	--	--	--



COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR
Chile - Colombia - Ecuador - Perú
Guayaquil - Ecuador

