



# DISTRIBUCIÓN DE INDICADORES BIOLÓGICOS DE MASAS DE AGUA EN EL FITOPLANCTON EN LA COSTA NORTE DEL PERÚ DURANTE EL PERÍODO 2014–2019

## DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON-BASED BIOLOGICAL INDICATORS OF WATER MASSES ON THE NORTHERN COAST OF PERU (2014–2019)

Elcira Delgado<sup>1,\*</sup>

Flor Chang<sup>1</sup>

Tony Anculle<sup>1</sup>

Jorge Quispe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático. Callao, Perú.

\*Correspondencia. E-mail: [edelgado@imarpe.gob.pe](mailto:edelgado@imarpe.gob.pe)

Recibido: 08-01-2024, Aceptado: 03-03-2025, Publicado: 31-03-2025

### RESUMEN

Se analiza la variación oceanográfica asociada a la distribución de especies fitoplanctónicas indicadoras de masas de agua, dentro de las 100 millas náuticas frente a Paita (5°S) y Chicama (7°S), en la costa norte del Perú. Las muestras recolectadas a nivel superficial, provienen de prospecciones bioceanográficas efectuadas en forma mensual, estacional e interanual entre febrero 2014 y diciembre 2019. La variación oceanográfica estuvo asociada a la sucesión de eventos El Niño (EN) 2015-16, El Niño Costero (ENC) 2017 y La Niña (LN) 2017-18 que mostraron características diferenciadas. Principalmente de enero a abril 2017, la distribución de los indicadores fitoplanctónicos fue inusual, sobre todo frente a Paita; durante ENC la temperatura superficial del mar (TSM) varió de 25 °C a 29 °C, con anomalías entre +4 °C y +5 °C, la salinidad superficial del mar (SSM) estuvo entre 33,0 y 34,8 indicando presencia de Aguas Tropicales Superficiales (ATS) y Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES). Se confirmó la relación de los intervalos de tolerancia de algunos organismos del fitoplancton con las características de las masas de agua dominantes en la capa superficial del mar: aguas costeras frías (ACF), aguas ecuatoriales superficiales (AES) y aguas subtropicales superficiales (ASS), que validan el uso de estas especies como indicadores biológicos eficientes de masas de agua. Se confirmó que los intervalos de tolerancia de temperatura y salinidad de los dinoflagelados *Protoperdinium obtusum* (Karsten) Parke & Dodge (ACF), *Tripos brevis* (Ostenfeld & Schmidt) F. Gómez (AES) (= *Ceratium breve* Schröder) (AES) y *Tripos praelongus* (Lemmermann) F. Gómez (ASS) (= *C. praelongum*) fueron los mismos encontrados en los intervalos estimados.

PALABRAS CLAVE: indicadores biológicos, variación oceanográfica 2014-2019, El Niño (EN), El Niño Costero (ENC), La Niña (LN), norte peruano

### ABSTRACT

This study investigates oceanographic variability and its influence on the distribution of phytoplankton species used as biological indicators of water masses within 100 nm off Paita (5°S) and Chicama (7°S) on the coast of northern Peru. Surface water samples were collected during monthly, seasonal, and interannual bio-oceanographic surveys conducted between February 2014 and December 2019. Oceanographic changes were driven by the sequential occurrence of the 2015/16 El Niño (EN), the 2017 coastal El Niño (CEN), and the 2017/18 La Niña (LN), each exhibiting distinct characteristics. From January to April 2017, the distribution of phytoplankton indicators was notably anomalous, particularly off Paita. During the CEN event, sea surface temperature (SST) ranged from 25 °C to 29 °C, with anomalies between +4 °C and +5 °C. In contrast, sea surface salinity (SSS) varied from 33.0 to 34.8, indicating the presence of Subtropical Surface Waters (STSW) and Surface Equatorial Waters (SEW). The results confirm a strong relationship between the tolerance ranges of certain phytoplankton species and the dominant water masses in the surface layer, namely cold coastal waters (ccw), Surface Equatorial Waters (SEW), and Surface Subtropical Waters (SSW). These findings reinforce the use of these species as reliable biological indicators of water masses. Furthermore, the temperature and salinity tolerance ranges of the dinoflagellates *Protoperdinium obtusum* (Karsten) Parke & Dodge (ccw), *Tripos brevis* (Ostenfeld & Schmidt) F. Gómez (SEW) (= *Ceratium breve* Schröder) (SEW) and *Tripos praelongus* (Lemmermann) F. Gómez (STSW) (= *C. praelongum*) were consistent with previously established estimates.

KEYWORDS: biological indicators, oceanographic variation 2014-2019, El Niño (EN), coastal El Niño (CEN), La Niña (LN), northern Peru

COMO REFERENCIAR ESTE ARTÍCULO (APA 7ed): Delgado, E., Chang, F., Anculle, T. & Quispe, J. (2025). Distribución de indicadores biológicos de masas de agua en el fitoplancton en la costa norte del Perú durante el período 2014–2019. *Bol Inst Mar Perú*, 40(1), e428. <https://doi.org/10.53554/boletin.v40i1.428>

## 1. INTRODUCCIÓN

La estructura de la comunidad del fitoplancton en el mar peruano cambia durante el año, dependiendo de las condiciones oceanográficas y de las masas de agua que dominan en la región y, cuando se presentan eventos como El Niño o La Niña que contrastan significativamente, teniendo un efecto inmediato en el primer nivel de la malla trófica (OCHOA, 1988). El Niño (EN) es conocido como un evento océano atmosférico que se presenta a intervalos de tiempo irregulares que causa el incremento de la temperatura superficial del mar (TSM) a lo largo del Pacífico ecuatorial (TODD *et al.*, 2011; GAJARDO *et al.*, 2013), afectando las costas de Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Centroamérica y México (TARAZONA *et al.*, 1999; RODRÍGUEZ, 2004; TAPIA, 2007; BRUGNOLI-OLIVERA & MORALES-RAMÍREZ, 2008; GARCÍA & MÁLIKOV, 2003; GAXIOLA-CASTRO *et al.*, 2008). Por el contrario, La Niña (LN) provoca la disminución de la TSM (ESCALANTE *et al.*, 2013; GAJARDO *et al.*, 2013); durante un evento de LN afloran aguas subsuperficiales más frías que las normales en el centro y este del Océano Pacífico ecuatorial (GARCÍA & MÁLIKOV, 2003; ESCALANTE *et al.*, 2013; GAJARDO *et al.*, 2013), provocando que la corriente fría de Humboldt fluya a lo largo de la costa sudamericana, transportando aguas ricas en nutrientes que propician un aumento de la producción primaria (GAJARDO *et al.*, 2013).

Muchas especies de dinoflagelados son cosmopolitas, pero existe también un alto porcentaje que se caracteriza por su gran sensibilidad a factores oceanográficos como la temperatura, salinidad, entre otros, siendo útiles para identificar las masas de agua donde ellas normalmente se desarrollan. Debido a la superficie relativamente grande donde se encuentran, a la fragilidad evidente de algunas especies y a su libre suspensión en las masas de agua, pueden considerarse *a priori* como indicadores primarios (BALECH & FERRANDO, 1964).

Estudios sobre indicadores biológicos de masas de agua en el mar peruano, se han realizado para entender los cambios ocurridos en los componentes del fitoplancton y sus implicancias bioceanográficas provocadas por El Niño (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1981, 1985; OCHOA *et al.*, 1985; ANTONIETTI *et al.*, 1993; OCHOA & GÓMEZ, 1997; DELGADO & VILLANUEVA, 1998 a y b; DELGADO *et al.*, 2001). GUTIÉRREZ *et al.* (2005) estimaron intervalos

## 1. INTRODUCTION

The structure of the phytoplankton community in the Peruvian sea varies throughout the year, driven by oceanographic conditions and the prevailing water masses in the region. These changes become particularly evident during extreme climatic events such as El Niño and La Niña, which significantly impact the base of the marine trophic web (OCHOA, 1988). El Niño (EN) is a large-scale ocean-atmosphere phenomenon that occurs at irregular intervals, leading to a rise in sea surface temperature (SST) across the equatorial Pacific (TODD *et al.*, 2011; GAJARDO *et al.*, 2013). This warming affects the coastal regions of Chile, Peru, Ecuador, Colombia, Central America, and Mexico (TARAZONA *et al.*, 1999; RODRÍGUEZ, 2004; TAPIA, 2007; BRUGNOLI-OLIVERA & MORALES-RAMÍREZ, 2008; GARCÍA & MÁLIKOV, 2003; GAXIOLA-CASTRO *et al.*, 2008). In contrast, La Niña (LN) triggers a cooling of SST (ESCALANTE *et al.*, 2013; GAJARDO *et al.*, 2013). During LN events, colder-than-usual subsurface waters upwell in the central and eastern equatorial Pacific Ocean (GARCÍA & MÁLIKOV, 2003; ESCALANTE *et al.*, 2013; GAJARDO *et al.*, 2013), strengthening the Humboldt Current along the South American coast. This process transports nutrient-rich waters, enhancing primary production (GAJARDO *et al.*, 2013).

While many dinoflagellate species are cosmopolitan, a substantial proportion exhibit high sensitivity to oceanographic variables such as temperature and salinity, making them useful indicators of water masses. Their widespread distribution, certain species' fragility, and passive suspension within water masses position them as primary biological indicators (BALECH & FERRANDO, 1964).

Studies on biological indicators of water masses in the Peruvian sea have been conducted to assess phytoplankton community shifts and their bio-oceanographic implications during El Niño (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1981, 1985; OCHOA *et al.*, 1985; ANTONIETTI *et al.*, 1993; OCHOA & GÓMEZ, 1997; DELGADO & VILLANUEVA, 1998 a y b; DELGADO *et al.*, 2001). GUTIÉRREZ *et al.* (2005) estimated several biological indicators'

de tolerancia de temperatura y salinidad de varios indicadores biológicos. Así mismo, se observó que la distribución de las especies indicadoras coincidió con el desplazamiento de las masas de agua durante El Niño Costero en 2017 (DELGADO *et al.*, 2019).

En el marco del Programa Presupuestal 0068 denominado “Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por desastres”, el presente estudio contribuye con información sobre cambios en el patrón de distribución de los dinoflagelados indicadores de masas de agua, así como su relación con los parámetros oceanográficos (temperatura y salinidad) en las secciones de Paita y Chicama durante el período 2014 a 2019.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y periodicidad de muestreo

El área de estudio comprende las secciones oceanográficas realizadas por IMARPE frente a Paita (5°S) y Chicama (7°69'S) en el mar peruano, efectuadas a bordo del BIC Flores, BIC Olaya, L/P IMARPE IV y L/P IMARPE V. En ambas secciones, se realizaron recolecciones mensuales de muestras de fitoplancton desde febrero 2014 hasta diciembre 2019 en siete estaciones establecidas, hasta 100 millas náuticas (mn) de la costa (Fig. 1). El material y la información fue obtenida de 126 muestreos a nivel de superficie del mar, que corresponden 62 a Paita y 64 a Chicama (Tabla 1, Anexo) registrando datos de temperatura (TSM, °C) y muestras para determinar la salinidad (SSM).

### Parámetros oceanográficos

La temperatura superficial del mar (TSM) fue registrada mediante un termómetro de superficie. Para la determinación de salinidad superficial del mar (SSM) las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico de 250 mL y procesadas mediante el Salinómetro 8410A Portasal.

### Muestreo biológico

El muestreo de fitoplancton, se realizó mediante arrastres horizontales con una red estándar de fitoplancton (malla 75 µm) a velocidad de tres nudos durante cinco minutos. Las muestras fueron fijadas y preservadas a bordo con formaldehído neutralizado a concentraciones finales de 2% de acuerdo a THRÖNDSSEN (1978) obteniendo 952 muestras de red.

temperature and salinity tolerance intervals. Additionally, research showed that the indicator species distribution closely followed the water masses' displacement during the 2017 coastal El Niño (DELGADO *et al.*, 2019).

As part of the Budgetary Program 0068 (PP0068), “Reduction of Vulnerability and Emergency Response to Disasters,” this study provides new insights into the distribution patterns of dinoflagellate indicators of water masses and their relationship with oceanographic parameters (temperature and salinity) in the Paita and Chicama regions between 2014 and 2019.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### Study area and sampling period

This study was conducted in the oceanographic sections surveyed by IMARPE off Paita (5°S) and Chicama (7°69'S) in the Peruvian sea. Surveys were carried out aboard the R/V Flores, R/V Olaya, and the vessels IMARPE IV and IMARPE V. In both regions, monthly phytoplankton sampling was conducted from February 2014 to December 2019 at seven established stations, extending up to 100 nm offshore (Fig. 1). A total of 126 surface seawater samples were collected—62 from Paita and 64 from Chicama (Table 1, Annex). During these surveys, sea surface temperature (SST, °C) was recorded, and water samples were taken for sea surface salinity (SSS) analysis.

### Oceanographic parameters

SST was measured using a surface thermometer, while SSS was determined from 250 mL water samples collected in plastic bottles and analyzed using a Portasal 8410A Salinometer.

### Biological sampling

Phytoplankton samples were collected through horizontal tows using a standard plankton net (75 µm mesh) at a speed of three knots for five minutes. Samples were immediately fixed and preserved onboard using neutralized formaldehyde at a final concentration of 2%, following THRÖNDSSEN (1978). In total, 952 net samples were obtained.

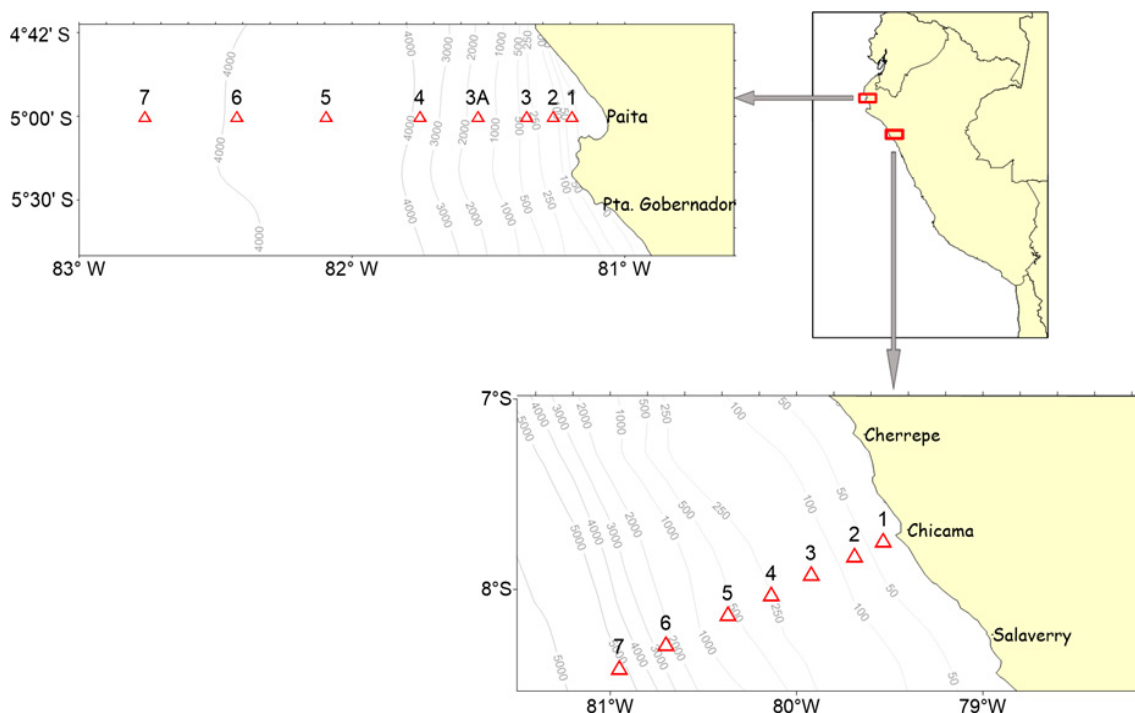


Figura 1.- Carta de estaciones de muestreo frente a la sección Paita y Chicama (2014-2019)

Figure 1.- Chart of sampling stations off the Paita and Chicama section (2014-2019)

Se realizaron análisis semicuantitativos considerando la proporción de los grupos del plancton y la abundancia relativa de las especies del fitoplancton con valores determinados en la siguiente escala: Ausente = 0; Presente = 1; Escaso = 2; Abundante = 3 y Muy abundante = 4 (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1985) (Tabla 2).

A semi-quantitative analysis was performed to assess the relative abundance of phytoplankton groups and species, using a scale ranging from 0 to 4: Absent = 0, Present = 1, Scarce = 2, Abundant = 3, and Very Abundant = 4 (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1985) (Table 2).

Tabla 2.- Escala de abundancia relativa del análisis semicuantitativo de fitoplancton (1985)

Table 2. Relative abundance scale of the semi-quantitative analysis of phytoplankton (1985)

Células contadas / campo observado (100X) Cells counted / field observed (100X)	Símbolo/ Symbol	Significado/ Meaning
0	0	Ausente / Absent
1 a 5	1	Presente / Present
6 a 15	2	Escaso / Scarce
16 a 25	3	Abundante / Abundant
> 25	4	Muy abundante / Very abundant

Cél/C= células por campo /  
cells per field

La identificación taxonómica fue con base en la consulta de publicaciones nacionales e internacionales especializadas como los de HUSTEDT (1930), HENDEY (1964), BALECH y FERRANDO (1964), SOURNIA (1967), SCHILLER (1971), THRÖNDSSEN (1978), ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1985), BALECH (1988), OCHOA (1988), ANTONIETTI *et al.* (1993), HASLE y SYVERTSEN (1996), STEIDINGER y TANGEN (1996), DELGADO *et al.* (2001).

### Procesamiento de datos

Para el análisis de datos, se utilizaron estadísticos descriptivos y estadística inferencial de los intervalos de tolerancia en los indicadores de masas de agua de la comunidad de fitoplancton. Se realizaron diagramas de cajas y bigotes de la TSM y SSM que muestran el promedio de los datos (con un círculo), la mediana (con la línea central horizontal de la caja), los márgenes inferior y superior de la caja son los percentiles 25 y 75 (cuartiles), respectivamente y, los límites de los bigotes son los percentiles 5 y 95. Así mismo, se complementó con la elaboración de diagramas de los límites de confianza al 90%.

## 3. RESULTADOS

Durante el período de estudio (2014 – 2019), se evidenció la presencia de eventos cálidos como El Niño (EN) 2015-2016, El Niño Costero (ENC) 2017 y eventos fríos como La Niña (LN) 2017-2018.

### Condiciones oceanográficas

#### Paita

**2014.** Durante el verano (enero-marzo), en febrero y por fuera de las 30 mn, la TSM varió entre 18 °C y 21 °C, con anomalías de TSM negativas hasta -4 °C y concentraciones en la SSM entre 34,7 y 35,0 indicando la presencia de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES). En marzo, se notó presencia de aguas costeras frías (ACF) dentro de las 50 mn y aguas de mezcla (AES-ACF) entre 50 y 60 mn. Durante el otoño (abril-junio) e inicios del invierno (julio-agosto), la TSM presentó fluctuaciones de 20 °C a 24 °C, con ATSM positivas de +2 °C a +4 °C; la SSM mostró valores entre 34,8 y 35,1 indicando predominio de aguas de mezcla (ACF-ASS). A inicios de abril se detectó la presencia de AES por fuera de las 70 mn; mayo se caracterizó por

Taxonomic identification was conducted using specialized national and international references, including HUSTEDT (1930), HENDEY (1964), BALECH & FERRANDO (1964), SOURNIA (1967), SCHILLER (1971), THRÖNDSSEN (1978), ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1985), BALECH (1988), OCHOA (1988), ANTONIETTI *et al.* (1993), HASLE & SYVERTSEN (1996), STEIDINGER & TANGEN (1996), DELGADO *et al.* (2001).

### Data processing

Data analysis involved descriptive and inferential statistical methods to assess the tolerance intervals of phytoplankton indicators in different water masses. Box-and-whisker plots were generated for SST and SSS, where the mean was represented by a circle, the median by a central horizontal line, and the lower and upper box margins corresponded to the 25th and 75th percentiles (quartiles), respectively. The whiskers extended to the 5th and 95th percentiles. Additionally, 90% confidence limit diagrams were generated to enhance the analysis.

## 3. RESULTS

During the study period (2014–2019), noticeable oceanographic anomalies were observed, including warm events such as El Niño (EN) 2015/16 and coastal El Niño (CEN) 2017, as well as a cold event, La Niña (LN) 2017/18.

### OCEANOGRAPHIC CONDITIONS

#### Paita

**2014.** During the summer (January–March), sea surface temperature (SST) in February ranged from 18 °C to 21 °C beyond 30 nm, with negative SST anomalies reaching -4 °C. Sea surface salinity (SSS) varied between 34.7 and 35.0, indicating the presence of Surface Equatorial Waters (SEW). By March, cold coastal waters (ccw) were detected within 50 nm, while a mixing zone (SEW-ccw) extended between 50 and 60 nm. In autumn (April–June) and early winter (July–August), SST fluctuated between 20 °C and 24 °C, with positive anomalies of +2 °C to +4 °C. SSS values ranged from 34.8 to 35.1, suggesting a predominance of mixed waters (ccw-STSW). In

la presencia de ASS dentro de las 40 mn. Entre octubre 2014 y marzo 2015, la TSM presentó variaciones de 18 °C a 25 °C, con ATSM positiva promedio de +1 °C por fuera de las 20 mn y la SSM entre 34,3 y 34,9 valores que indicaron la presencia de AES y aguas de mezcla (AES- acf), por fuera de las 20 mn y acf en la zona costera (Fig. 2a, b, c, d).

**El Niño (EN) 2015-2016.** De abril 2015 a marzo 2016, la TSM exhibió valores de hasta 25 °C por fuera de las 55 mn y ATSM positivas entre +1 °C y +5 °C; la SSM registró valores entre 34,7 y 35,3 lo que evidenció el predominio de ASS durante el invierno 2015 y, aguas de mezcla (AES-ASS) entre primavera 2015 y verano 2016 (Fig. 2a, b, c, d).

**El Niño Costero (ENC) 2017.** Entre enero y abril, la TSM varió entre 25 °C y 29 °C con anomalías positivas entre +4 °C y +5 °C, mientras que, la SSM presentó valores entre 33,0 y 34,8 lo cual indicó presencia de AES. Asimismo, desde febrero hasta abril, se detectaron aguas tropicales superficiales (ATS) dentro de las 40 mn (Fig. 2a, b, c, d).

early April, SEW was detected beyond 70 nm, while in May, Subtropical Surface Waters (STSW) were observed within 40 nm. From October 2014 to March 2015, SST varied between 18 °C and 25 °C, with an average SSTA of +1 °C beyond 20 nm. SSS values ranged from 34.3 to 34.9, indicating the presence of SEW and mixed waters (SEW-ccw) beyond 20 nm, while ccw was dominant in coastal areas (Fig. 2a, b, c, d).

**El Niño (EN) 2015/16.** Between April 2015 and March 2016, SST reached up to 25 °C beyond 55 nm, with SSTA between +1 °C and +5 °C. SSS values ranged from 34.7 to 35.3, indicating the predominance of STSW during winter 2015 and mixed waters (SEW-STSW) between spring 2015 and summer 2016 (Fig. 2a, b, c, d).

**Coastal El Niño (CEN) 2017.** From January to April, SST ranged between 25 °C and 29 °C, with positive anomalies between +4 °C and +5 °C. SSS varied from 33.0 to 34.8, indicating the presence of SEW. Additionally, from February to April, Tropical Surface Waters (TSW) were detected within 40 nm (Fig. 2a, b, c, d).

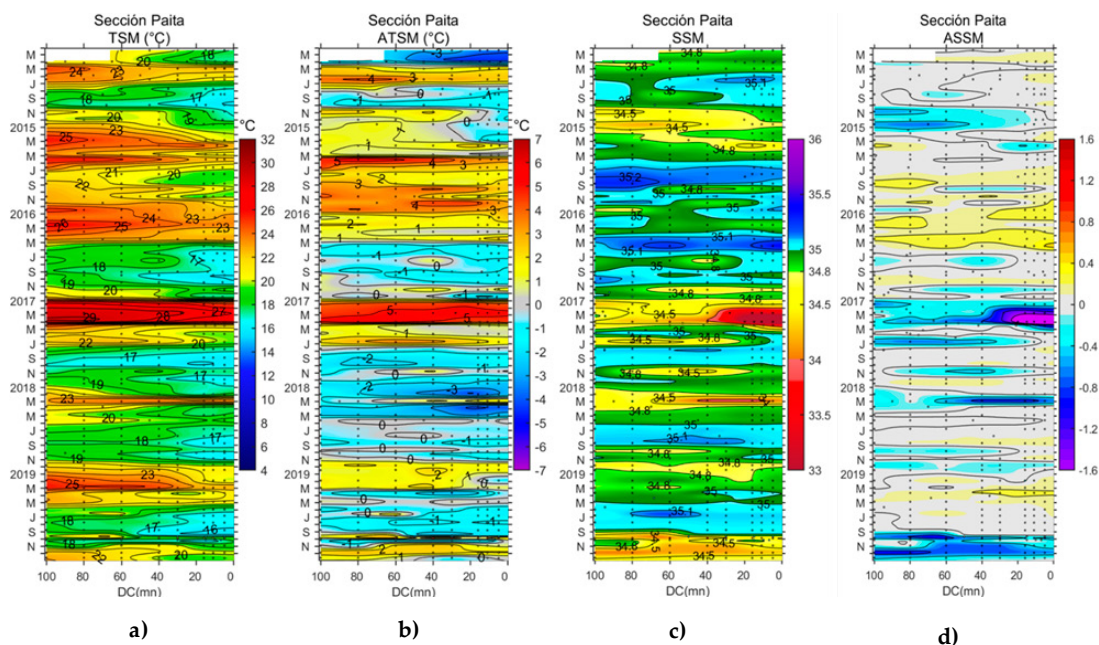


Figura 2.- Diagrama de Hovmöller de a) Temperatura Superficial del Mar (TSM), b) Anomalía de TSM (ATSM), c) Salinidad Superficial del Mar (SSM), d) Anomalía de SSM, frente a Paita. Climatología 1991-2020

Figure 2. Hovmöller plot of a) Sea Surface Temperature (SST), b) SST Anomaly (SSA), c) Sea Surface Salinity (SSS), d) SSS Anomaly, off Paita. Climatology 1991-2020

**La Niña (LN) 2017-2018.** Desde octubre 2017 hasta abril 2018, la TSM varió entre 17 °C y 23 °C, con anomalías ATSM promedio negativas de -2 °C; al final de febrero e inicios de marzo, se pudo observar ATSM positivas de hasta +1 °C. La SSM mostró valores entre 34,0 y 35,0 indicando el predominio de acf dentro de las 60 mn, sin embargo, también se pudo notar incursiones de ATS y AES durante el verano 2018, asociadas a anomalías positivas de TSM.

**2018-2019.** Entre noviembre 2018 y febrero 2019, la TSM registró intervalos de variación entre 19 °C y 25 °C con anomalías positivas promedio de +1 °C y SSM entre 34,6 y 34,9, indicando predominio de aguas de mezcla (AES-ASS-ACF) y presencia de AES. Finalmente, entre septiembre y diciembre 2019, se registró valores de TSM entre 16 °C y 22 °C, con ATSM positivas de hasta +2 °C asociados a valores de SSM entre 34,2 y 34,9 lo que indicó el predominio de AES durante ese período (Fig. 2a, b, c, d).

### Chicama

**2014.** De mayo a junio se observó una variación de la TSM de 20 °C a 23 °C, con anomalías positivas de +2 °C y +4 °C, la SSM mostró valores entre 34,9 y 35,0. Estos valores, indican la presencia de aguas de mezcla (AES-ASS-ACF) (Fig. 3a, b, c, d).

**El Niño 2015-16.** Durante el invierno 2015 y verano 2016, la TSM varió entre 19 °C y 27 °C, con anomalías positivas de +1 °C a +3 °C, respectivamente, mientras que, valores entre 35,0 y 35,3 para la SSM, indicaron predominio de ASS.

**El Niño Costero (ENC) 2017.** Entre enero y abril la TSM varió de 21 °C a 28 °C con anomalías positivas de +3 °C a +4 °C. Dentro de las 40 mn, la SSM presentó valores de 34,5 a 35,0 indicando la presencia de AES y aguas de mezcla (AES-ASS).

**La Niña 2017-18.** En este período, la TSM varió de 17 °C a 25 °C, presentando anomalías negativas y positivas de -2 °C a +1 °C y valores de la SSM entre 34,8 y 35,2 indicando predominio de acf dentro de las 30 mn y ASS entre las 50 y 100 mn.

**2018-2019.** Entre noviembre 2018 y agosto 2019, la TSM fluctuó de 17 °C a 26 °C, con anomalías positivas entre +1 °C y +3 °C y valor máximo de SSM 35,2, lo que indicó la presencia de ASS en-

**La Niña (LN) 2017/18.** Between October 2017 and April 2018, SST ranged from 17 °C to 23 °C, with an average negative anomaly of -2 °C. However, by late February and early March, positive SSTA of up to +1°C were recorded. SSS values ranged from 34.0 to 35.0, indicating the dominance of ccw within 60 nm. Nonetheless, incursions of TSW and SEW were observed during summer 2018, associated with positive SSTA.

**2018-2019.** Between November 2018 and February 2019, SST ranged from 19 °C to 25 °C, with an average SSTA of +1 °C, while SSS varied between 34.6 and 34.9, indicating a predominance of mixed waters (SEW-STSW-ccw) and the presence of SEW. Finally, between September and December 2019, SST ranged from 16 °C to 22 °C, with positive anomalies of up to +2 °C, associated with SSS values between 34.2 and 34.9, suggesting the dominance of SEW during this period (Fig. 2a, b, c, d).

### Chicama

**2014.** Between May and June, SST ranged from 20 °C to 23 °C, with positive anomalies of +2 °C to +4 °C, while SSS values varied between 34.9 and 35.0. These conditions indicated the presence of mixed waters (SEW-STSW-ccw) (Fig. 3a, b, c, d).

**El Niño 2015/16.** During winter 2015 and summer 2016, SST ranged from 19 °C to 27 °C, with positive anomalies between +1 °C and +3 °C. Meanwhile, SSS values between 35.0 and 35.3 indicated the predominance of STSW.

**Coastal El Niño (CEN) 2017.** Between January and April, SST varied from 21 °C to 28 °C, with SSTA of +3 °C to +4 °C. Within 40 nm, SSS ranged from 34.5 to 35.0, indicating the presence of SEW and mixed waters (SEW-STSW).

**La Niña 2017/18.** During this period, SST fluctuated between 17 °C and 25 °C, with anomalies ranging from -2 °C to +1 °C. SSS values between 34.8 and 35.2 indicated the predominance of ccw within 30 nm and STSW between 50 and 100 nm.

**2018-2019.** From November 2018 to August 2019, SST ranged from 17 °C to 26 °C, with positive anomalies of +1 °C to +3 °C. The highest SSS value

entre las 25 y 100 mn y aguas de mezcla (ASS-ACF) dentro de las 20 mn. Finalmente, en diciembre 2019, los intervalos de variación para la TSM fluctuaron entre 20 °C y 23 °C, con anomalías positivas de hasta +2 °C que estuvo asociada a valores de SSM entre 34,6 y 35,0 indicando predominio de AES y aguas de mezcla (ASS-ACF) (Figs. 3a, b, c, d).

**Intervalos de tolerancia a condiciones oceanográficas de las especies indicadoras**

Los indicadores biológicos asociados a las características de: aguas costeras frías (ACF) *Protoperidinium obtusum* (Karsten) Parke & Dodge, Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), *Triplos brevis* (Ostenfeld & Schmidt) F. Gómez (=Ceratium breve Schröder) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), *Triplos praelongus* (Lemmermann) F. Gómez (=Ceratium praelongum) presentan intervalos de tolerancia variables a la temperatura y salinidad.

Frente a **Paita**, se registró al dinoflagelado *P. obtusum* relacionado a TSM de 18,06 ± 0,57 °C y SSM de 34,93 ± 0,12. También se observó a *T. brevis* en TSM de 21,42 ± 0,37 °C y SSM de 34,07 ± 0,06 y *T. praelongus* en TSM de 22,05 ± 0,86 °C y SSM de 34,93 ± 0,10 (Fig. 4).

recorded was 35.2, indicating the presence of STSW between 25 and 100 nm and mixed waters (STSW-ccw) within 20 nm. In December 2019, SST fluctuated between 20 °C and 23 °C, with positive anomalies of up to +2 °C, associated with SSS values ranging from 34.6 to 35.0, indicating the predominance of SEW and mixed waters (STSW-ccw) (Figs. 3a, b, c, d).

**Tolerance intervals of indicator species to oceanographic conditions**

Indicator species associated with distinct water masses exhibited variable tolerance intervals to temperature and salinity: for cold coastal waters (ccw) *Protoperidinium obtusum* (Karsten) Parke & Dodge; Surface Equatorial Waters (SEW), *Triplos brevis* (Ostenfeld & Schmidt) F. Gómez (=Ceratium breve Schröder), and Subtropical Surface Waters (STSW), *Triplos praelongus* (Lemmermann) F. Gómez (=Ceratium praelongum).

Off **Paita**, the dinoflagellate *P. obtusum* was recorded at an SST of 18.06 ± 0.57 °C and an SSS of 34.93 ± 0.12. *T. brevis* was observed at an SST of 21.42 ± 0.37 °C and an SSS of 34.07 ± 0.06, while *T. praelongus* was found at an SST of 22.05 ± 0.86 °C and an SSS of 34.93 ± 0.10 (Fig. 4).

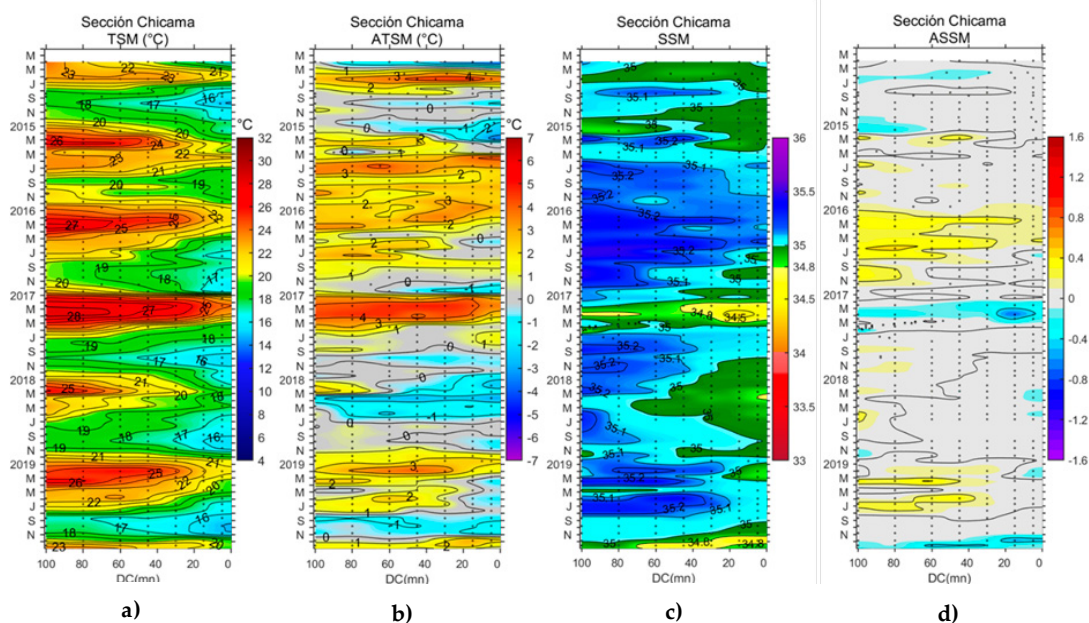


Figura 3.- Diagrama de Hovmöller de a) Temperatura Superficial del Mar (TSM), b) Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM), c) Salinidad Superficial del Mar (SSM), d) Anomalía de la Salinidad Superficial frente a Chicama. Climatología 1991-2020

Figure 3. Hovmöller plot of a) Sea Surface Temperature (SST), b) Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA), c) Sea Surface Salinity (SSS), d) Surface Salinity Anomaly off Chicama. Climatology 1991-2020



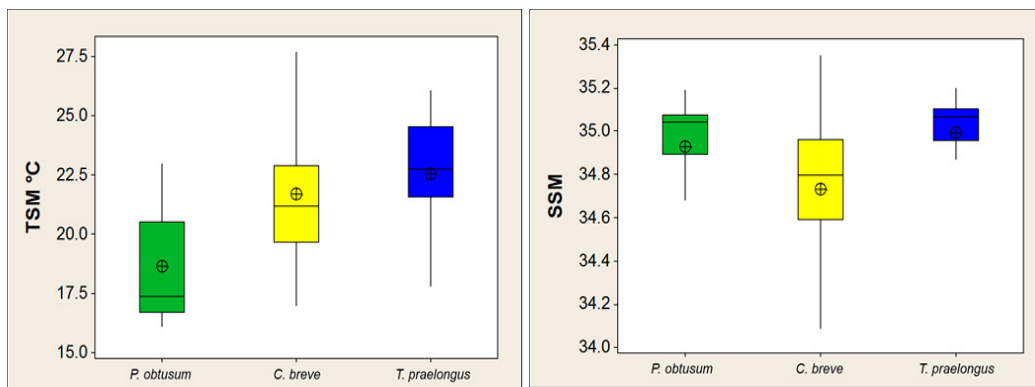


Figura 4.- Diagramas de Box Plot de temperatura y salinidad, para los dinoflagelados asociados a masas de aguas frente a Paita, período 2014-2019

Figure 4. Box Plot diagrams of temperature and salinity for dinoflagellates associated with water masses off Paita (2014-2019)

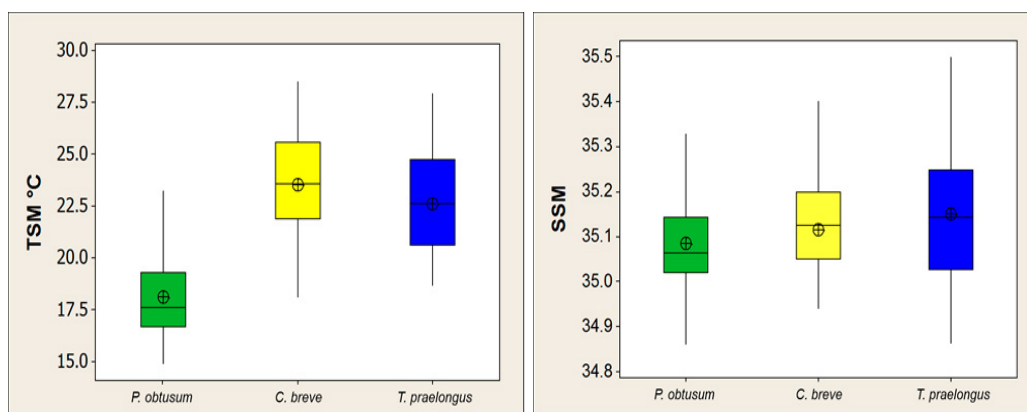


Figura 5.- Diagramas de Box Plot de temperatura y salinidad de especies de dinoflagelados asociados a masas de agua frente a Chicama, 2014-2019

Figure 5. Box Plot diagrams of temperature and salinity of dinoflagellate species associated with water masses off Chicama (2014-2019)

Según los intervalos intercuartiles, se determinó que *P. obtusum* (TSM =3,82114) y *T. brevis* (SSM=0,3694) presentaron mayor variación en su distribución. En cuanto a las medianas determinadas, *T. praelongus* alcanzó mayor valor de TSM= 22,8 °C y de SSM= 35,064. En cambio *P. obtusum* presentó mayor variación en la distribución de las medianas, valores que estuvieron acorde con las masas de agua predominantes (Fig. 4)

Frente a **Chicama**, se observó la presencia de *P. obtusum* (ACF) asociado a TSM de  $18,31 \pm 0,61$  °C y SSM de  $35,01 \pm 0,02$ ; también se determinó a *T. brevis* (AES) con TSM de  $23,26 \pm 1,13$  y SSM de  $35,14 \pm 0,10$  y *T. praelongus* (ASS) con TSM de  $22,68 \pm 0,97$  °C y SSM de  $35,22 \pm 0,08$  (Fig. 5).

*T. praelongus* (ASS), presentó mayores intervalos intercuartiles con valores de TSM = 4,1575, SSM= 0,2225 y medianas de TSM= 22,5 °C y SSM= 35,1425. Tomando en cuenta las medianas calculadas,

Interquartile intervals analysis indicated that *P. obtusum* (SST =3,82114) and *T. brevis* (SSS =0,3694) exhibited the greatest distribution variability. *T. praelongus* had the highest median SST (22.8 °C) and SSS (35.06), whereas *P. obtusum* showed greater variability in median distribution, aligning with the predominant water masses (Fig. 4)

Off **Chicama**, *P. obtusum* (ccw) was associated with an SST of  $18.31 \pm 0.61$  °C and an SSS of  $35.01 \pm 0.02$ . *T. brevis* (SEW) was found at an SST of  $23.26 \pm 1.13$  °C and an SSS of  $35.14 \pm 0.10$ , while *T. praelongus* (STSW) was recorded at an SST of  $22.68 \pm 0.97$  °C and an SSS of  $35.22 \pm 0.08$  (Fig. 5).

*T. praelongus* exhibited the highest interquartile interval (SST = 4.16 °C, SSS = 0.22). The highest median values were recorded for *P. obtusum*

el indicador *P. obtusum* (ACF) presentó mayor variación en los parámetros ambientales (TSM =17,6 °C y SSM=35,064), mientras que, los otros indicadores (*T. brevis* y *T. praelongus*) presentaron menor variación en la diferencia de medias (Fig. 5).

**Distribución de especies indicadoras de masas de agua**

En el período de estudio, ocurrieron eventos como El Niño (EN) 2015-2016, El Niño Costero

(SST = 17.6 °C, SSS = 35.06), while *T. brevis* and *T. praelongus* showed lower variability in mean differences (Fig. 5).

**Distribution of water mass indicator species**

During the study period, oceanographic events such as the 2015/16 El Niño, the 2017 coastal El Niño (CEN), and the 2017/18 La Niña influenced the spatial distribution of dinoflagellate indicator species (Figs. 6a, b).

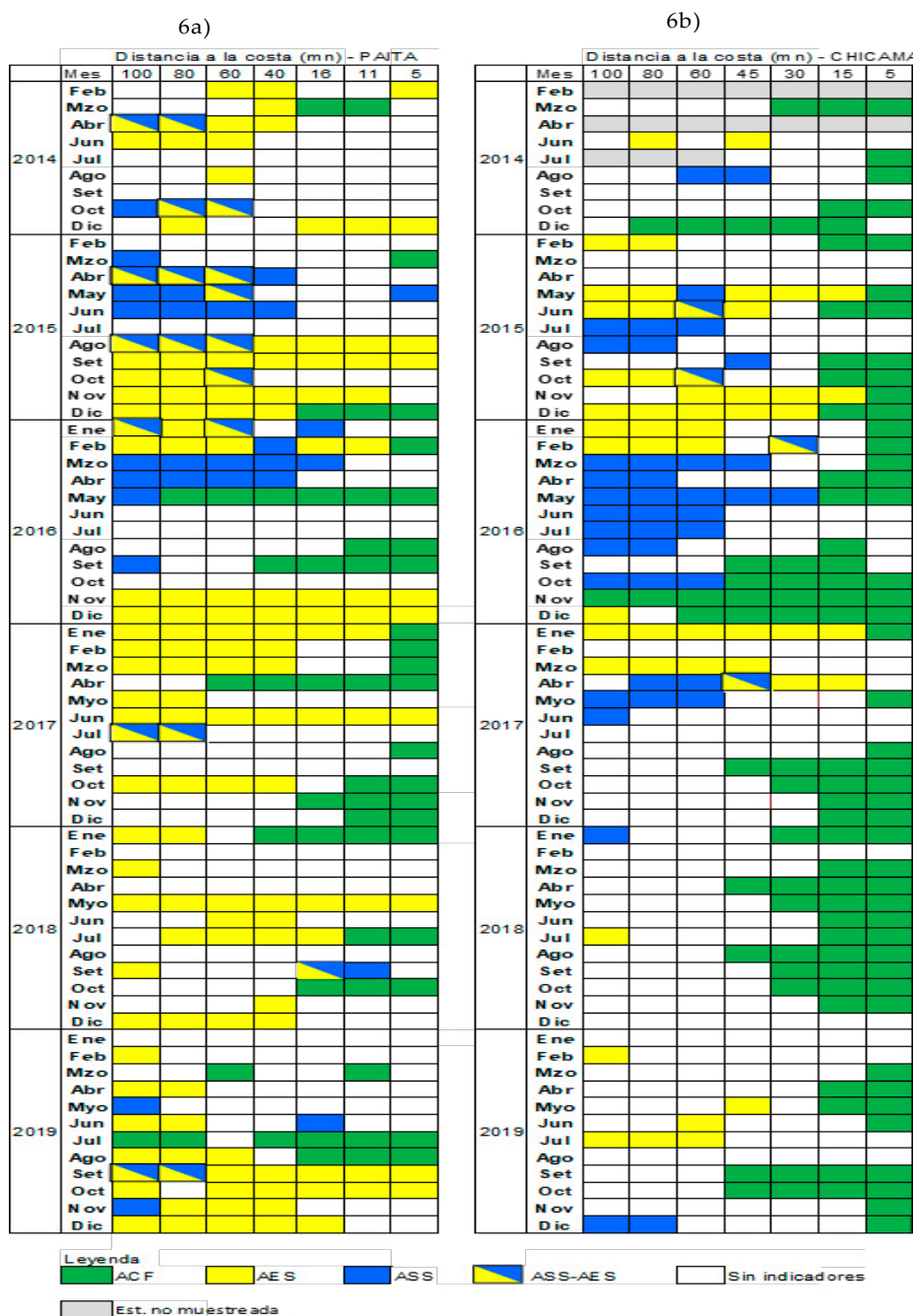


Figura 6.- Distribución de indicadores biológicos del fitoplancton en la sección a) Paita, b) Chicama, periodo 2014-2019

Figure 6. Distribution of phytoplankton biological indicators in the a) Paita, b) Chicama, sections (2014-2019)

(ENC) 2017 y La Niña (LN) 2017-2018, cada uno con sus características oceanográficas típicas, que permitieron determinar cómo se distribuyeron zonal y latitudinalmente los dinoflagelados indicadores de masas de agua (Figs. 6a, b).

Entre febrero 2014 y diciembre 2019, las secciones frente a Paita y Chicama presentaron cambios en la capa superficial del mar determinados por presencia de especies indicadoras de masas de agua como *P. obtusum* (acf), *T. brevis* (AES) y *T. praelongus* de ASS, mostrando abundancias relativas de categoría "Presente". Frente a **Paita**, se observó mayor presencia de *T. brevis*, indicador de AES, tanto en la zona costera (0-40 mn) como en la oceánica (60 - 100 mn) lo que se puede relacionar con la ocurrencia de los eventos EN que se desarrollaron en la época en estudio. A diferencia de **Chicama** donde se registró a *P. obtusum*, indicador de ACF, principalmente en la zona costera (0-30 mn) (Figs. 6a, b).

#### 4. DISCUSIÓN

##### Variabilidad de la temperatura y salinidad en la capa superficial del mar

En la variación estacional e interanual de la temperatura y la salinidad frente a Paita y Chicama se evidenció condiciones cálidas (EN y ENC), condiciones frías (LN) y condiciones normales (neutras) durante el período 2014-2019.

Durante El Niño 2015-2016, según la COMISIÓN MULTISECTORIAL DE ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO [ENFEN] (2016), frente a Paita y Chicama, se registraron ATSM hasta +4 °C y +3 °C, respectivamente. Este calentamiento estuvo influenciado por el paso de ondas Kelvin cálidas (ANCULLE *et al.*, 2021). Frente a Paita se evidenció la presencia de ASS en invierno 2015 y aguas de mezcla entre AES-ACF-ASS en verano 2016. En cambio, frente a Chicama predominaron ASS. Estas condiciones generaron las mayores anomalías halinas de +0,2 y +0,3, frente a Paita y Chicama, respectivamente. Sin embargo, durante el evento cálido EN 1997-98 de febrero y julio 1997 las AES se extendieron hasta el sur del Callao con ATSM máxima de +6,2 °C; de agosto a octubre 1997, predominó la presencia de ASS con valores de ATSM entre +3 °C y +5 °C, registrándose en febrero, la máxima ATSM de +7,9 °C con proyección hacia el sur de ATS (MORÓN & SARMIENTO, 2001).

Between February 2014 and December 2019, the surface layer of the ocean off Paita and Chicama exhibited variations driven by the presence of water mass indicator species, including *Protoperdinium obtusum* (ccw), *Tripes brevis* (SEW), and *Tripes praelongus* (STSW), all recorded with relative abundances classified as "Present". Off **Paita**, *T. brevis* was more abundant in both the coastal zone (0–40 nm) and the oceanic zone (60–100 nm), a distribution likely influenced by the El Niño events observed during the study period. In contrast, off **Chicama**, *P. obtusum* was predominantly found in the coastal zone (0–30 nm) (Figs. 6a, b).

#### 4. DISCUSSION

##### Variability of temperature and salinity in the surface ocean layer

The seasonal and interannual variability of temperature and salinity off Paita and Chicama between 2014 and 2019 revealed alternating warm (EN and CEN), cold (LN), and neutral (normal) conditions.

During the 2015/16 El Niño event, the COMISIÓN MULTISECTORIAL DE ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO [ENFEN] (2016) reported sea surface temperature anomalies (SSTA) reaching +4 °C off Paita and +3 °C off Chicama. This warming was attributed to the passage of down welling Kelvin waves (ANCULLE *et al.*, 2021). Off Paita, STSW was observed in winter 2015, while a mixture of SEW, ccw, and STSW dominated in summer 2016. In contrast, STSW prevailed off Chicama. These conditions led to peak positive salinity anomalies of +0.2 and +0.3 off Paita and Chicama, respectively. By comparison, during the 1997/98 El Niño, SEW expanded southward to Callao between February and July 1997, with a maximum recorded SSTA of +6.2 °C. From August to October 1997, STSW became dominant, with SSTAs ranging from +3 °C to +5 °C. The highest SSTA, +7.9 °C, was recorded in February 1998, with a southward extension of TSW (MORÓN & SARMIENTO, 2001).

En el período del evento cálido de categoría moderada EN 1991-92, los máximos de la ATSM se registraron frente a la costa peruana de febrero a mayo 1992, con valores de ATSM entre +3 °C y +5 °C, condiciones que evidenciaron la presencia de ATS del Golfo de Panamá (ZUTA & OTINIANO, 1999). La disminución rápida en los valores de la ATSM se registró en junio 1992, con anomalías que se intensificaron en invierno (agosto-setiembre 1992) y retorno a las condiciones normales a fines de 1992 (CALIENES, 2014).

Durante el año 2017, que se inició como un año de LN con registros de TSM por debajo de sus valores medios en el océano Pacífico central y oriental indicados por el Centro de Predicción Climática de la NOAA (DI LIBERTO, 2017); sin embargo, la TSM en la región 1+2 se incrementó desde mediados de febrero lo que dio origen a El Niño Costero 2017, siendo diferente durante el desarrollo y evolución en el tiempo. De este evento cálido, además, no se descartó la presencia de aguas continentales debido a las intensas precipitaciones que se registraron (QUISPE *et al.*, 2021; ENFEN, 2017)

A pesar de que las anomalías positivas de la TSM son indicadores de la presencia de eventos EN extremos y ENC 2017, el patrón de distribución de ambos fue diferente. Durante eventos EN extremo (en la costa peruana hasta aproximadamente 16°S) se registró las máximas ATSM de hasta +4 °C. En cambio, durante ENC 2017, las máximas ATSM +4 °C se registraron al norte de los 10°S (ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.*, 2021), resultado que coincide con lo reportado por TAKAHASHI y MARTÍNEZ (2017), quienes señalaron que eventos de calentamiento con características similares han sido registradas frente a Perú durante 1891 y 1925.

Durante El Niño Costero 2017 frente a Paita y Chicama, se observaron ATSM de +5 °C y +4 °C, respectivamente y estuvo asociado inicialmente a un debilitamiento de los vientos frente a la costa norte y, por ende, la disminución del afloramiento costero posterior al paso de ondas Kelvin cálidas (ANCULLE *et al.*, 2021). También, se observaron anomalías halinas negativas dentro de las 100 mn frente a Paita y Chicama, con anomalías negativas de -1,6 y -0,6 dentro de las 30 mn, respectivamente, siendo estas las de mayor intensidad respecto al período 2014-2019. Estas condiciones indicaron la presencia de AES

During the moderate 1991/92 El Niño, peak SSTAs were recorded along the Peruvian coast between February and May 1992, with values between +3 °C and +5 °C, indicating the presence of TSW originating from the Gulf of Panama (ZUTA & OTINIANO, 1999). A rapid decrease in SSTAs occurred in June 1992, with intensified cooling anomalies in winter (August–September), followed by a return to normal conditions by late 1992 (CALIENES, 2014).

In 2017, the year began under La Niña conditions, with below-average sea surface temperatures (SST) in the central and eastern Pacific, as reported by NOAA's Climate Prediction Center (DI LIBERTO, 2017). However, by mid-February, SSTs in region 1+2 increased, triggering the 2017 coastal El Niño. This event exhibited distinct characteristics in its evolution, and its effects were exacerbated by continental water influx due to intense precipitation (QUISPE *et al.*, 2021; ENFEN, 2017)

Although positive SSTAs are typically indicative of extreme EN and the 2017 CEN events, their spatial distribution differed. Extreme EN events off Peru (extending to approximately 16°S) recorded maximum SSTAs of up to +4 °C, whereas in the 2017 CEN, peak SSTAs of +4 °C were observed north of 10°S (ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.*, 2021). These findings align with previous reports by TAKAHASHI & MARTÍNEZ (2017), who documented similar warming events off Peru in 1891 and 1925.

During the 2017 coastal El Niño, SSTAs of +5 °C off Paita and +4 °C off Chicama were initially linked to weakened coastal winds in the northern region, leading to a subsequent reduction in coastal upwelling following the passage of warm Kelvin waves (ANCULLE *et al.*, 2021). Negative salinity anomalies were also recorded within 100 nm off Paita and Chicama, reaching -1.6 and -0.6, respectively, within 30 nm—representing the most intense anomalies observed between 2014 and 2019. These conditions indicated the presence of SEW and TSW off Paita and SEW off Chicama, relative to their climatologi-

y ATS frente a Paita y de AES frente a Chicama respecto a su climatología y período 2014-2019. En general, esto se debió a la advección de aguas cálidas y de menor salinidad del norte e incremento del aporte de aguas continentales y de precipitación (QUISPE *et al.*, 2021) (Figs. 2 y 3).

En el evento La Niña 2017-2018, se observaron anomalías negativas de TSM de hasta  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  frente a Paita y Chicama, respectivamente. Aun así, en Paita se registraron AES y ATS durante el verano 2018 (febrero - marzo), con anomalías halinas de hasta  $-0,8$ ; mientras que, en Chicama se observó presencia de ACF en la zona costera y ASS en la zona oceánica (Figs. 2 y 3).

Finalmente, entre setiembre y diciembre 2019, frente a Paita se registró ATSM positivas de hasta  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con valores de salinidad y anomalías halinas ( $34,4$  y  $-0,6$ ) dentro de las 100 mn, condiciones que indicaron la presencia de AES hasta las 100 mn frente a la costa, superior a lo observado durante El Niño 2015-2016 (ENFEN, 2016), y comparable a lo observado en la zona oceánica durante El Niño costero 2017 (ENFEN, 2017) (Figs. 2, 3). Frente a Chicama, entre noviembre y diciembre 2019, se observaron anomalías de TSM positivas de hasta  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y anomalías halinas de hasta  $-0,4$ ; valores que indicó presencia de AES hasta las 70 mn respecto a lo habitual, las que también se observaron durante El Niño Costero 2017.

#### Validación de intervalos de tolerancia de aspectos oceanográficos en los indicadores de masas de agua

Frente a Paita y Chicama, se validó la ocurrencia de indicadores de ACF (*P. obtusum*), AES (*T. brevis*) y ASS (*T. praelongus*) con los parámetros ambientales de TSM y SSM, estableciéndose los siguientes intervalos de tolerancia de temperatura y salinidad:  $17,81$  a  $19,30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $34,82$  a  $35,0$ ;  $21,32$  a  $24,14\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $34,68$  a  $35,16$ ;  $21,80$  a  $23,32\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $34,90$  a  $35,20$ , respectivamente (Fig. 7). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por OCHOA y GÓMEZ (1997), OCHOA *et al.* (1985), ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1981) y DELGADO *et al.* (2001) quienes localizaron al indicador de ACF con intervalos menores de temperatura y salinidad ( $<20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $35,1$ ). Asimismo, GRADOS *et al.* (2018) determinaron las características de masas de AES con intervalos de temperatura y salinidad de  $20 - 24\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $34,6 - 35,0$ . Al comparar

cal patterns for the study period. This pattern resulted from the advection of warm, low-salinity waters from the north, coupled with increased freshwater input from continental runoff and precipitation (QUISPE *et al.*, 2021) (Figs. 2 and 3).

During the 2017/18 La Niña, negative SSTAs of up to  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  were recorded off Paita and Chicama, respectively. Despite this, SEW and TSW were still present off Paita in summer 2018 (February–March), with salinity anomalies reaching  $-0.8$ . Meanwhile, off Chicama, ccw was predominant in coastal waters, while STSW dominated offshore (Figs. 2 and 3).

Between September and December 2019, positive SSTAs of up to  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  were recorded off Paita, along with salinity values of  $34.4$  and negative salinity anomalies of  $-0.6$  within 100 nm. These conditions indicated SEW extending up to 100 nm offshore, surpassing observations during the 2015/16 El Niño (ENFEN, 2016) and comparable to oceanic conditions during the 2017 coastal El Niño (ENFEN, 2017) (Figs. 2, 3). Similarly, between November and December 2019, SSTAs of up to  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  and negative salinity anomalies of up to  $-0.4$  off Chicama suggested SEW extending up to 70 nm offshore, comparable to conditions observed during the 2017 coastal El Niño.

#### Validation of oceanographic tolerance intervals in water mass indicators

The occurrence of ccw (*P. obtusum*), SEW (*Triplos brevis*), and STSW (*T. praelongus*) off Paita and Chicama was validated against environmental parameters, specifically sea surface temperature (SST) and sea surface salinity (SSS). The following tolerance intervals were established:  $17.81\text{--}19.30\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $34.82\text{--}35.00$  for ccw;  $21.32\text{--}24.14\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $34.68\text{--}35.16$  for SEW; and  $21.80\text{--}23.32\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $34.90\text{--}35.20$  for STSW (Fig. 7). These findings align with previous studies by OCHOA & GÓMEZ (1997), OCHOA *et al.* (1985), ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1981), and DELGADO *et al.* (2001), which reported ccw indicators in lower temperature and salinity intervals ( $<20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $35.1$ ).

con el presente estudio, *T. brevis* estuvo asociado a salinidades con un intervalo ligeramente alto (34,68 - 35,16) posiblemente debido a que las AES se distribuyeron ampliamente llegando a 16 mn y en algunos casos el desplazamiento fue de hasta 5 mn, produciéndose aguas de mezcla entre las AES+ASS. No obstante, cabe indicar que durante EN 1982-83 esta especie fue registrada a temperaturas >19 °C y salinidades <35,20, valores que coinciden con los registrados en este estudio (OCHOA *et al.*, 1985; ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1981). Es importante resaltar que, en condiciones normales *T. brevis* se distribuye en AES, relacionada al frente ecuatorial de la zona norte del Perú (OCHOA & GÓMEZ, 1997). Del mismo modo, GRADOS *et al.* (2018) señalaron las características de masas de ASS con intervalos de temperatura de 19 - 23,5 °C y salinidad >35,4. En este estudio, coinciden con los intervalos de temperatura entre 21,8 y 23,32 °C y difiere con los valores de salinidad entre 34,90 y 35,20, lo que se podría atribuir a las aguas de mezcla entre ASS+AES. Sin embargo, los valores de temperatura (>19 °C) y salinidad (>35,1) hallados por OCHOA *et al.* (1985) coinciden con los resultados para el indicador *T. praelongus* (ASS). Este organismo en condiciones normales presenta distribución oceánica (OCHOA & GÓMEZ, 1997; ZUTA & GUILLÉN, 1970).

Similarly, GRADOS *et al.* (2018) characterized SEW within 20–24 °C and 34.6–35.0. In our study, *T. brevis* was associated with slightly higher salinities (34.68–35.16), possibly due to a broader SEW distribution extending up to 16 nm, with occasional displacements of up to 5 nm, leading to SEW-STSW mixing. Notably, during the 1982/83 EN, this species was recorded at temperatures >19 °C and salinities <35.20, consistent with findings from this study (OCHOA *et al.*, 1985; ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1981). Under normal conditions, *T. brevis* is associated with SEW, linked to the equatorial front in northern Peru (OCHOA & GÓMEZ, 1997). GRADOS *et al.* (2018) described STSW characteristics within a temperature interval of 19–23.5 °C and salinity >35.4. This study found similar temperature intervals (21.8–23.32 °C) but slightly lower salinity values (34.90–35.20), which may result from SEW-STSW mixing. However, the temperature (>19 °C) and salinity (>35.1) values reported by OCHOA *et al.* (1985) correspond well with those found for *T. praelongus* (STSW) in this study. Under normal conditions, this species has an oceanic distribution (OCHOA & GÓMEZ, 1997; ZUTA & GUILLÉN, 1970).

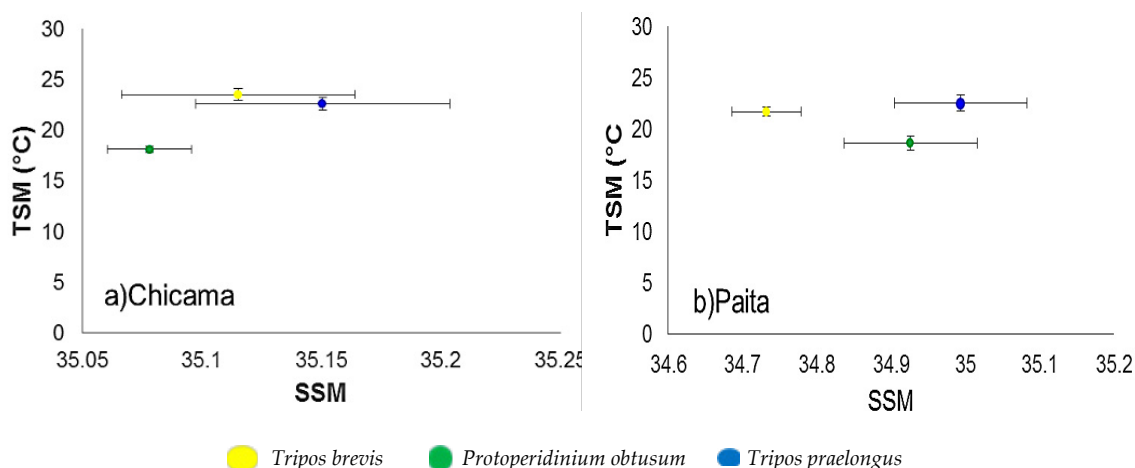


Figura 7.- Límites de confianza ( $\alpha = 0,01$ ) de los rangos de temperatura y salinidad de especies de fitoplancton asociadas a masas de agua

Figure 7. Confidence limits ( $\alpha = 0.01$ ) of temperature and salinity ranges of phytoplankton species associated with water masses

## Cambios de distribución de las especies indicadoras de masas de agua

Es conocida la existencia de organismos planctónicos tan sensibles a las variaciones ambientales que reaccionan ante tenues cambios, difíciles de identificar, aún, mediante el uso de instrumental de alta precisión para mediciones de variables físicas y químicas del agua de mar, en particular en lo referente a la determinación de oligoelementos (AVARIA, 1993). Así, el fitoplancton marino tiene gran importancia en los estudios sobre los eventos El Niño y La Niña ya que permite evaluar su efecto en la actividad biológica. Algunos organismos fitoplanctónicos pueden ser indicadores biológicos de cambios en las condiciones físicas y químicas durante los eventos cálidos y fríos, debido a que son organismos estrictos en requerimiento de salinidad y temperatura, siendo así tipificadores de las masas de agua (BALECH & FERRANDO, 1964). En tal sentido, frente al mar de Perú ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1981) y OCHOA *et al.* (1985) determinaron dinoflagelados indicadores de ACF, AES y ASS los que, hasta la fecha, permiten comparar la eficacia de estos indicadores de masas de agua respecto a la variabilidad temporal de la temperatura y salinidad cuando se presentan anomalías en estos parámetros ambientales.

Relacionando el desplazamiento de las masas de agua con el cambio en los patrones de distribución de las especies indicadoras del fitoplancton se ha observado que, durante El Niño 2015-2016 (de categoría Fuerte) se encontró a *Triplos praelongus* (ASS) en otoño (abril a junio), cuando inició su desplazamiento hacia la zona costera, llegando en mayo 2015 hasta 5 mn frente a Paita y a 60 mn frente a Chicama; en el verano 2016 (enero a marzo) continuó con acercamientos hasta 16 mn frente a Paita, a diferencia de EN 1982-83 cuando esta especie, se acercó a la costa en la zona norte y sur desde la primavera 1982 (setiembre) y, en noviembre y diciembre del mismo año, se distribuyó en toda la franja costera. Durante enero y febrero 1983 mantuvo esa distribución, pero en marzo y abril 1983 fue registrado de Chicama a Ilo junto a *Triplos brevis* indicando aguas de mezcla (ASS+AES). En los meses posteriores, hasta agosto de 1984, se distribuyó en forma dispersa: oceánico en el norte y nerítico en el sur (OCHOA & GÓMEZ, 1997; OCHOA *et al.*, 1985).

## Distributional changes in indicator species of water masses

It is well known that certain planktonic organisms are highly sensitive to environmental variations, responding to subtle changes that are often undetectable even with advanced instrumentation for measuring physical and chemical variables in seawater, particularly in the determination of trace elements (AVARIA, 1993). Marine phytoplankton, therefore, plays a crucial role in studies of El Niño and La Niña events, as it serves as a biological indicator of their impact on biological activity. Some phytoplankton species act as biological markers of shifts in physical and chemical conditions during warm and cold events, given their strict requirements for salinity and temperature, making them reliable indicators of water masses (BALECH & FERRANDO, 1964). In this context, off the Peruvian coast, ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1981) and OCHOA *et al.* (1985) identified dinoflagellate species as indicators of CCW, SEW, and STSW water masses, which have since been used to assess their effectiveness in tracking temporal variations in temperature and salinity anomalies.

The relationship between the movement of water masses and changes in the distribution patterns of phytoplankton indicator species has been observed in various EN events. During the strong 2015/16 EN, *Triplos praelongus* (STSW) was recorded in autumn (April–June) moving toward the coastal zone, reaching 5 nm off Paita and 60 nm off Chicama in May 2015. By summer 2016 (January–March), it had moved further inshore, reaching 16 nm off Paita. This distribution differed from the 1982/83 EN, when *T. praelongus* approached the coast in both northern and southern regions from September 1982, eventually spreading across the entire coastal zone by November–December of that year. The species maintained this distribution until March–April 1983, when it was recorded from Chicama to Ilo alongside *Triplos brevis*, indicating the presence of mixed waters (STSW+SEW). In subsequent months, until August 1984, *T. praelongus* exhibited a dispersed distribution—remaining oceanic in the north and neritic in the south (OCHOA & GÓMEZ, 1997; OCHOA *et al.*, 1985).

Difiere de EN 1991-92 que, en su etapa de mayor efecto, organismos indicadores de ASS (junio 1991) se distribuyeron con mayor frecuencia entre Callao y Morro Sama por fuera de las 10 mn y muy cerca de la franja costera en todo el litoral desde setiembre 1991 hasta febrero 1992, observándose aguas de mezcla entre AES+ASS desde el extremo norte hasta Supe y, al sur de Callao estuvieron mezcladas con ACF (ANTONIETTI *et al.*, 1993). En cambio, durante EN 1997-98 en otoño (1997) *Tripes praelongus* estuvo distribuido por fuera de las 30 mn en Paita y San Juan; juntamente con AES por fuera de las 60 mn entre Caleta La Cruz y Callao. A final del invierno e inicios de primavera (1997) se distribuyó de Chimbote a Pisco, por fuera de las 30 mn, mientras que entre Casma-Huarmey, se encontró en áreas de mezcla con AES+ASS (30 mn). En primavera (1997) estuvo ampliamente distribuido de Callao hasta Atico (30 mn). En verano (1998) fue registrado en Pisco (30 mn) y junto a *T. brevis* (ASS+AES) en Chimbote y Callao (a 90 mn). En otoño (1998) se desplazó hasta Chimbote y Callao (a 60 mn), entre San Juan y Matarani (30-60 mn) y aunado a *T. brevis* (AES) se presentó en Punta Chao (ASS+AES, 30-60 mn). Finalmente, para invierno (1998) las condiciones retornaron a su normalidad, pero las ASS estuvieron en la franja costera frente a Paita, Punta Falsa, Callao y por fuera de las 30 mn frente a Chicama y Chimbote (DELGADO *et al.*, 2001).

Durante EN 2015-16, en otoño (2015), se registró fuerte presencia de *Tripes brevis* (AES) en la zona costera frente a Paita acercándose a 5 y 11 mn (en agosto, setiembre y noviembre 2015) y 11 mn (febrero 2016). Situación diferente se presentó durante EN 1982-83, que desde setiembre 1982, *T. brevis* se encontraba ampliamente distribuida en el área norte (fuera de las 60 mn), un poco más al sur de su distribución normal, indicando el inicio de su desplazamiento hacia el sur de AES que, en noviembre-diciembre 1982 llegaron hasta el Callao y continuó su desplazamiento durante el verano 1983 llegando frente a Pisco por el área costera y hasta Ilo por fuera de las 60 mn. A partir de marzo (1983) redujo su área de distribución encontrándose en el norte, indicando el retroceso hacia su área normal de distribución (OCHOA & GÓMEZ, 1997). Entre tanto, durante EN 1991-92 *T. brevis* se distribuyó desde la frontera norte hasta Paita y

This pattern differs from the 1991/92 EN, when STSW indicators were more frequently observed between Callao and Morro Sama, beyond 10 nm, and near the coastal zone across the entire Peruvian coast from September 1991 to February 1992. Mixed waters (SEW+STSW) were recorded from the northernmost areas to Supe, while to the south of Callao, these indicators were found mixed with ccw (ANTONIETTI *et al.*, 1993). In contrast, during the 1997/98 EN, *T. praelongus* was recorded beyond 30 nm off Paita and San Juan in autumn 1997, along with SEW beyond 60 nm from Caleta La Cruz to Callao. By late winter and early spring, it was distributed from Chimbote to Pisco beyond 30 nm, with mixed waters (SEW+STSW) recorded between Casma and Huarmey. By spring 1997, *T. praelongus* was widely distributed from Callao to Atico (30 nm offshore). During summer 1998, it was recorded off Pisco (30 nm) and, together with *T. brevis* (STSW+SEW), off Chimbote and Callao (90 nm). In autumn 1998, *T. praelongus* was observed further offshore, reaching Chimbote and Callao (60 nm) and mixing with *T. brevis* (SEW) in Punta Chao (STSW+SEW, 30–60 nm). By winter 1998, conditions had returned to normal, but STSW indicators remained near the coast off Paita, Punta Falsa, and Callao, and beyond 30 nm off Chicama and Chimbote (DELGADO *et al.*, 2001).

During the 2015/16 El Niño (EN), *Tripes brevis* (SEW) exhibited a significant presence along the coastal waters off Paita in autumn 2015, reaching 5 to 11 nm (August, September, and November 2015) and remaining at 11 nm in February 2016. This distribution contrasts with the 1982/83 EN, when, as early as September 1982, *T. brevis* was already widely distributed beyond 60 nm in the northern region—slightly south of its usual range—indicating its initial southward displacement. By November–December 1982, SEW populations had extended as far as Callao, continuing their expansion during the summer of 1983, reaching Pisco in coastal waters and Ilo beyond 60 nm. From March 1983 onward, the species' distribution contracted northward, signaling a return to its typical range (OCHOA & GÓMEZ, 1997). During the 1991/92 EN, *T.*



entre Pimentel y Chicama (30 mn) en junio 1991; a partir de ese mes las condiciones se intensificaron, las AES se distribuyeron ampliamente en la zona norte. En setiembre, llegaron hasta Salaverry (60 mn) y en octubre a Chimbote. En enero y febrero 1992, se observó desde Punta Falsa hasta Supe por fuera de las 30 mn y cercana a la zona costera frente a Chimbote (ANTONIETTI *et al.*, 1993).

A diferencia de EN 1997-98 que, en verano (1997) *T. brevis* (AES) inició su desplazamiento hasta Paita (30 mn) y frente a Punta Falsa (70 mn), durante el otoño (1997), las características mencionadas se intensificaron (haciendo más evidente la incursión de las AES) llegando hasta San Juan y localizándose dentro de las 30 mn. A finales del invierno e inicios de la primavera (de 1997), las AES mostraron un ligero repliegue, registrándose a *T. brevis* entre Paita-Chicama y Casma-Huarmey. Entre Casma-Huarmey se encontraron en áreas de mezcla con AES+ASS (30 mn). En la primavera (1997) AES fueron localizadas desde el sur de Máncora hasta Chimbote (a 300 mn) frente a Pisco (60 mn) y San Juan (90 mn). Diferente al verano de 1998, cuando se registró a *T. brevis* en toda la región norte y centro del litoral (de Caleta La Cruz a Callao) con máximo acercamiento en Punta Falsa y Callao (20 mn). En otoño (1998), se observó un leve repliegue de AES, registrándose a *T. brevis* al norte de Huarmey (dentro de las 60 mn). Finalmente, para el invierno (1998) este indicador fue observado asociado a organismos de ASS frente a Punta Falsa y Chicama por fuera de las 60 mn (DELGADO *et al.*, 2001).

En cuanto a *Protoperidinium obtusum* (ACF) durante EN 2015-16, para otoño (2015) frente a Paita fue evidente su ausencia (de abril a noviembre 2015), solo registrada en primavera, dentro de las 16 mn (diciembre 2015) y verano a 5 mn (febrero 2016). Entre tanto, frente a Chicama su área de distribución fue restringida mayormente a 5 mn (de mayo 2015 a marzo 2016). Al comparar con otros eventos EN se tiene que, durante EN 82-83, para setiembre 1982, al inicio de ese evento, la distribución de *P. obtusum* estuvo restringida al área costera y durante la fase más pronunciada de EN (de noviembre 1982 a abril 1983) fue registrado esporádicamente en áreas costeras. De agosto a diciembre 1983, cuando las condiciones ambientales iniciaron su retorno a la normalidad, incrementó su presencia en el área norte, extendiéndose hasta 60 mn de la costa. En

*brevis* was recorded from the northern border to Paita and between Pimentel and Chicama (30 nm) in June 1991. As oceanic conditions intensified, SEW expanded throughout the northern region. By September, populations reached as far south as Salaverry (60 nm) and Chimbote in October. In January and February 1992, *T. brevis* was observed from Punta Falsa to Supe beyond 30 nm and closer to the coast off Chimbote (ANTONIETTI *et al.*, 1993).

A different pattern emerged during the 1997/98 EN. In summer 1997, *T. brevis* (SEW) began shifting southward, reaching Paita (30 nm) and Punta Falsa (70 nm). By autumn 1997, these patterns intensified, further evidencing SEW incursions, with populations reaching San Juan within 30 nm. By late winter and early spring 1997, SEW exhibited a slight retreat, with *T. brevis* recorded between Paita and Chicama, as well as between Casma and Huarmey, where it co-occurred with SEW+STSW populations (30 nm). By spring 1997, SEW extended from southern Máncora to Chimbote (300 nm), reaching Pisco (60 nm) and San Juan (90 nm) offshore. In summer 1998, *T. brevis* was widely distributed along the northern and central coast (from Caleta La Cruz to Callao), reaching its closest proximity to shore at Punta Falsa and Callao (20 nm). In autumn 1998, SEW populations slightly retreated, with *T. brevis* recorded north of Huarmey (within 60 nm). By winter 1998, this indicator species was found associated with STSW organisms off Punta Falsa and Chicama, beyond 60 nm (DELGADO *et al.*, 2001).

During the 2015/16 EN, *Protoperidinium obtusum* (ccw) was notably absent off Paita from April to November 2015, appearing only in spring within 16 nautical miles (December 2015) and in summer at 5 nautical miles (February 2016). Off Chicama, its distribution remained largely restricted to 5 nautical miles (May 2015–March 2016). In the 1982–1983 EN, *P. obtusum* was initially confined to coastal areas (September 1982). During the peak warming phase (November 1982–April 1983), it was recorded only sporadically. As conditions began to normalize (August–December 1983), its presence increased in the northern region, extending up to 60 nm offshore, though it

el sur continuaba ausente, posiblemente debido a la presencia de las ASS que permanecieron hasta noviembre de 1983 (OCHOA & GÓMEZ, 1997). Entre tanto, durante EN 1991-92, en su etapa de mayor efecto (junio 1991) la especie se distribuyó desde Callao al sur en zonas costeras (10 mn), y estuvo ausente en la zona norte. En setiembre, octubre y diciembre se registró en todo el litoral en zonas muy costeras aunadas a ASS, habiéndose producido aguas de mezcla entre ACF+ASS. Finalmente, para enero y febrero (1992) este indicador registró una distribución muy costera entre Supe y Callao, así como dentro de las 30 mn desde Pisco hasta Mollendo (ANTONIETTI *et al.*, 1993).

Esta situación difiere con EN 1997-98 que comenzó a manifestarse en el verano (1997) cuando *P. obtusum* (ACF) redujo su área de distribución en comparación a meses anteriores disminuyendo considerablemente en la región norte presentando una distribución inusualmente restringida a 20 mn desde Pimentel hasta San Juan. A finales del invierno e inicios de la primavera (1997) las condiciones ambientales retornaron con tendencia a la normalidad, las áreas de afloramiento ampliaron su distribución entre Pimentel – Callao y Pisco - San Juan, reflejada por la presencia de este indicador a lo largo de la costa peruana con amplia distribución en Callao (35 mn). A diferencia, del verano 1998, cuando fue evidente la ausencia de este indicador. En otoño (1998) presentó distribución dispersa, siendo esporádica y costera entre Huarmey y Punta Mendieta, mientras que, al sur fue notoria su presencia desde Punta Doña María (40 mn) hasta Matarani; cabe destacar que, en esa época estuvo acompañado con indicadores de ASS registrándose aguas de mezcla (ACF+ASS) (DELGADO *et al.*, 2001).

### Comportamiento de las especies de dinoflagelados indicadores de masas de agua durante eventos EN y ENC

Otro aspecto interesante es la comparación entre EN y ENC a través de la distribución de las especies indicadoras de masas de agua que permitieron observar que, el patrón de distribución fue diferente, es decir, durante EN, los indicadores presentaron amplia distribución a lo largo de la zona costera hasta 18°S. Mientras que, durante ENC 2017, (diciembre 2016-mayo 2017) los indicadores se registraron al norte de 10°S, con el calentamiento especialmente en superficie (~ 28 °C)

remained absent in the south, likely due to the persistence of STSWs until November 1983 (OCHOA & GÓMEZ, 1997). During the 1991/92 EN, *P. obtusum* exhibited a highly restricted range at the event's peak (June 1991), occurring only in coastal waters south of Callao (10 nm) and remaining absent in the north. By September, October, and December, it was recorded along the entire coastline in nearshore areas, often in association with STSWs, suggesting the presence of mixed ccw+STSW conditions. In January and February 1992, *P. obtusum* was concentrated in nearshore waters between Supe and Callao, as well as within 30 nm from Pisco to Mollendo (ANTONIETTI *et al.*, 1993).

With the occurrence of the 1997/98 EN, *P. obtusum* displayed a significant contraction in range during summer 1997, showing an unusually restricted distribution (20 nm) between Pimentel and San Juan. By late winter and early spring 1997, as environmental conditions began to normalize, upwelling zones expanded between Pimentel–Callao and Pisco–San Juan. This was reflected in the widespread reappearance of *P. obtusum* along the Peruvian coast, particularly in Callao (35 nm). Nonetheless, by summer 1998, the species was notably absent. In autumn 1998, it exhibited a scattered distribution, appearing sporadically in coastal waters between Huarmey and Punta Mendieta, while in the south, it was consistently recorded from Punta Doña María (40 nm) to Matarani. During this period, it co-occurred with STSW indicators, marking the presence of mixed ccw+STSW waters (DELGADO *et al.*, 2001).

### Behavior of dinoflagellate indicator species during El Niño and coastal El Niño events

A comparative analysis of the El Niño (EN) and coastal El Niño (CEN) events, based on the distribution of dinoflagellate indicator species, reveals distinct patterns. During EN, these indicators exhibited widespread distribution along the coastal zone, reaching as far south as 18°S. However, during the 2017 CEN (December 2016–May 2017), indicators were recorded only north of 10°S, with surface warming (~28 °C) concentrated

encima de 20 m en Paita y presentando menor tiempo de duración, con intensidad de categoría extrema, con anomalías positivas de +8 °C a 10 °C (ENFEN, 2017) y considerado como uno de los eventos más extremos del último siglo en la costa peruana (TAKAHASHI *et al.*, 2014).

### La Niña (LN)

Después de eventos cálidos las condiciones oceanográficas tienden al enfriamiento, pero cuando éstas llegan a un extremo se produce el evento La Niña (LN), el mismo que se observó entre setiembre y diciembre 2016, posterior a EN 2015-16 con las temperaturas del océano en el Pacífico central y oriental por debajo de la media, tal como refiere el Centro de Predicción Climática de la NOAA (DI LIBERTO, 2017). Otro evento de condiciones LN (octubre 2017- abril 2018) se produjo después de ENC 2017, al norte peruano (Paita y Chicama) cuando se observó a *Protoperidinium obtusum* distribuido tanto en el área costera como oceánica (en Chicama), en esas condiciones frías, alcanzaron la categoría de LN tipo moderada (QUISPE & VÁSQUEZ, 2015). Situación similar ocurrió durante el período frío entre marzo 2013 y primer trimestre de 2014 frente a Chicama (QUIPUZCOA *et al.*, 2017).

En el caso de *P. obtusum* su ausencia en el plancton nerítico en condiciones EN confirma la presencia de anomalías térmicas en aguas neríticas, antes que los parámetros físicos puedan detectarlo (OCHOA & GÓMEZ, 1997).

Finalmente, se viene observando ausencia de especies indicadoras de ACF, ASS y AES, en determinados meses, previo a eventos EN, ENC y LN. Estas observaciones deberían continuarse en el tiempo, a fin de demostrar *a priori* posibles alertas de eventos cálidos y fríos.

## 5. CONCLUSIONES

Las condiciones y variaciones de temperatura y salinidad registrados entre los años 2014 y 2019 influyeron sobre los cambios en la distribución de los indicadores de masas de agua componentes de la comunidad de fitoplancton. Fueron los dinoflagelados *Tripos brevis* y *Protoperidinium obtusum* las especies indicadoras de AES y ACF dominantes en todo el período frente a Paita y Chicama, respectivamente. A través, de

in the upper 20 m off Paita. This event was of shorter duration but classified as extreme, with positive temperature anomalies of +8 °C to +10 °C (ENFEN, 2017), ranking among the most intense coastal warming events of the past century (TAKAHASHI *et al.*, 2014).

### La Niña (LN)

Following warm events, oceanographic conditions typically shift toward cooling. When this cooling reaches an extreme, a La Niña (LN) event occurs. This was observed between September and December 2016, following the 2015/16 EN, when ocean temperatures in the central and eastern Pacific dropped below average, as reported by NOAA's Climate Prediction Center (DI LIBERTO, 2017). Another LN event (October 2017–April 2018) followed the 2017 CEN, affecting northern Peru (Paita and Chicama). During this period, *P. obtusum* was recorded in both coastal and oceanic waters off Chicama under moderate LN conditions (QUISPE & VÁSQUEZ, 2015). A similar cooling event occurred between March 2013 and early 2014 off Chicama (QUIPUZCOA *et al.*, 2017).

The absence of *P. obtusum* in neritic waters during EN confirms its sensitivity to thermal anomalies, often detecting these changes before standard physical measurements (OCHOA & GÓMEZ, 1997).

A recurrent pattern has been observed: the absence of ccw, STSW, and SEW indicator species in specific months preceding EN, CEN, and LN events. Continued monitoring of these patterns could serve as an early warning system for upcoming warm and cold anomalies.

## 5. CONCLUSIONS

The temperature and salinity variations observed between 2014 and 2019 significantly influenced the distribution patterns of water mass indicator species within the phytoplankton community. Throughout this period, *Tripos brevis* and *Protoperidinium obtusum* were the dominant indicators of SEW and ccw, respectively, off Paita and Chicama. The distribution of these dinoflagellates provided key insights into the

estos dinoflagelados indicadores se observó el movimiento de masas de agua durante la evolución de eventos cálidos, El Niño 2015-2016 (intensidad fuerte) y El Niño Costero 2017 (intensidad moderada) los que generaron mayor presencia de aguas ecuatoriales superficiales cerca de la línea de costa (5 mn) en su fase de madurez, principalmente frente a Paita. El evento La Niña 2017-2018 se hizo más evidente frente a Chicama con predominancia de aguas costeras frías dentro de las 45 mn.

La comparación entre El Niño y El Niño Costero a través de la distribución de las especies indicadoras de masas de agua permitieron observar que, el patrón de distribución y duración fue diferente. Durante EN los indicadores presentaron amplia distribución a lo largo de la zona costera del mar peruano y con mayor tiempo de duración, mientras que, durante ENC se registraron al norte de los 10°S y con menor tiempo de duración.

Los dinoflagelados indicadores de masas de agua estuvieron presentes acorde a las condiciones oceanográficas, coincidiendo con los intervalos de tolerancia de TSM y SSM de los mismos: *Tripes brevis* como especie indicadora de aguas ecuatoriales superficiales, *Protoperidinium obtusum* como indicadora de aguas costeras frías y *Tripes praelongus* de aguas subtropicales superficiales, sin embargo, respecto a la salinidad tanto de AES como de ASS en este estudio, no coincidió con lo reportado por GRADOS *et al.* (2018).

movement of water masses during warm-phase events, particularly the 2015/16 El Niño (strong intensity) and 2017 coastal El Niño (moderate intensity). These events resulted in a greater intrusion of surface equatorial waters near the coastline (within 5 nm), especially off Paita, during their peak phase. Conversely, the 2017/18 La Niña was more pronounced off Chicama, where ccw predominated within 45 nm.

A comparison between El Niño and coastal El Niño, based on the distribution of water mass indicator species, revealed distinct differences in spatial extent and duration. During EN, these indicators were widely distributed along the Peruvian coast and persisted for a longer period. In contrast, during CEN, their presence was confined to areas north of 10°S and lasted for a shorter duration.

The occurrence of dinoflagellate indicators aligned with prevailing oceanographic conditions, reflecting their tolerance intervals for sea surface temperature (SST) and sea surface salinity (SSS). *Tripes brevis* served as an indicator of surface equatorial waters, *Protoperidinium obtusum* of cold coastal waters, and *Tripes praelongus* of subtropical surface waters. However, the salinity values recorded for SEW and STSW in this study did not match those reported by GRADOS *et al.* (2018).

## 6. REFERENCIAS

- ANCULLE, T., GRACO, M., VÁSQUEZ, L., GARCÍA W. & GUTIÉRREZ D. (2021). Contribución de las ondas Kelvin a las anomalías térmicas de las aguas costeras frente al Perú durante El Niño 2015-2016 y El Niño Costero 2017. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2), 362-384. <https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2>
- ANTONIETTI, E., VILLANUEVA, P., DELGADO, E. & CHANG, F. (1993). Dinoflagelados indicadores del Niño 1991-92. *Bol. ERFEN*, (32-33), 20-24.
- AVARIA, S. (1993). *II Curso internacional de postgrado: Fitoplancton marino con especial énfasis en las Bacillariophyceae, para participantes de América Latina* (22 noviembre – 11 de diciembre 1993). Departamento de Botánica, Universidad de Concepción.
- BALECH, E. (1988). *Los Dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental* (Publicaciones. Especiales del Instituto Español de Oceanografía N° 1). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- BALECH, E. & FERRANDO, H. J. (1964). *Fitoplancton Marino*. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- BRUGNOLI-OLIVERA E. & MORALES-RAMÍREZ, A. (2008). Trophic planktonic dynamics in a tropical estuary, Gulf of Nicoya, Pacific coast of Costa Rica during El Niño 1997 event. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(1), 75-89. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47943108>
- CALIENES, R. (2014). Producción primaria en el ambiente marino del Pacífico sudeste, Perú, 1960-2000. *Bol Inst Mar Perú*, 29(1-2), 8-306. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2302>
- COMISIÓN MULTISECTORIAL DE ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO [ENFEN]. (2016). *Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú, junio 2016* (Informe Técnico Año 2 N°06). <http://enfen.gob.pe/download/informe-tecnico-2016-6>
- COMISIÓN MULTISECTORIAL DE ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO [ENFEN]. (2017). *El Niño Costero 2017* (Informe Técnico Extraordinario N°. 001-2017/ENFEN).

- <http://enfen.gob.pe/download/informe-tecnico-el-nino-costero-2017/?wpdmdl=540&ind=1523839300089>
- DELGADO, E. & VILLANUEVA, P. (1998a). La comunidad fitoplanctónica en el litoral peruano durante marzo a mayo 1998. Crucero BIC Humboldt 9803-05 de Tumbes a Tacna. *Inf Inst Mar Perú*, (135), 114-120. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1494>
- DELGADO, E. & VILLANUEVA, P. (1998b). Estructura comunitaria del fitoplancton durante el Crucero BIC Humboldt 9709-10, de Matarani a Paita. *Inf Inst Mar Perú*, (130), 53-57. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1466>
- DELGADO, E., SÁNCHEZ, S., CHANG, F. & VILLANUEVA, P. (2001). El fitoplancton frente a la costa peruana durante El Niño 1997-98. En J. Tarazona, W. E. Arntz & E. Castillo (Eds.), *El Niño en América Latina. Impactos Biológicos y Sociales* (pp. 29-38). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- DELGADO, E., SÁNCHEZ, S., CHANG, F., BERNALES, A. & JACOBO, N. (2019). Cambios del fitoplancton en el mar peruano durante el verano 2017. Crucero 1703-04. BIC José Olaya y Luís Flores. *Bol Inst Mar Perú*, 34(1), 61-79. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3361>
- DI LIBERTO, T. (2017, 10 de marzo). Heavy summer rains flood Peru. NOAA Climate Gov. <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/heavy-summer-rains-flood-peru>
- ESPIÑOZA-MORRIBERÓN, D., ECHEVIN, D., COLAS, F., DÍAZ, E., TAM, J., ANCULLE, T., LEDESMA, J. & GUTIÉRREZ, D. (2021). Diferencias entre los impactos en la costa peruana de los eventos ENSO cálidos y de El Niño Costero 2017: vientos, afloramientos, productividad y anchoveta. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2), 329-348. <https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2>
- ESCALANTE, F., VALDEZ-HOLGUIN, J. E., ÁLVAREZ-BORREGO, S. & LARA-LARA, J. R. (2013). Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll *a*, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39(2), 203-215. <https://doi.org/10.7773/cm.v39i2.2233>
- GARCÍA I. & MÁLIKOV, I. (2003). Comportamiento de diatomeas y dinoflagelados en la bahía de Tumaco bajo la influencia de cambios climáticos durante el período 1995-2000. *Boletín Científico Centro Control Contaminación de Pacífico – CCCP*, (9), 22-33.
- GAJARDO, N., GONZÁLEZ, H. E. & MARCHANT, M. (2013). Characterization of El Niño, La Niña, and normal conditions through planktonic foraminifera (2006-2007) in the southeastern Pacific. *Ciencias Marinas*, 39(3), 253-264. <https://doi.org/10.7773/cm.v39i3.2177>
- GAXIOLA-CASTRO, G., DURAZNO, R., LAVANIEGOS, B., DE LA CRUZ-OROZCO, M. E., MILLÁN-NÚÑEZ, E., SOTOMARDONES, L. & CEPEDA-MORALES, J. (2008). Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California. *Ciencias Marinas*, 34(2), 263-270. <https://doi.org/10.7773/cm.v34i2.1413>
- GUTIÉRREZ, D., ARONÉZ, K., CHANG, F., QUIPUZCOA, L. & VILLANUEVA, P. (2005). Impacto de la variación oceanográfica estacional e interanual sobre los ensambles de microfitorplancton, mesozooplancton, ictioplancton y macrozoobentos de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994 y 2002. *Bol Inst Mar Perú*, 22(1-2), 3-60. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1063>
- GRADOS, C., CHAIGNEAU, A., ECHEVIN, V. & DOMÍNGUEZ, N. (2018). Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in Oceanography*, 165, 123-144. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.05.005>
- HASLE, G. R. & SYVERTSEN, E. E. (1996). Marine diatoms. In C. Tomas (Ed.), *Identifying Marine Phytoplankton* (Cap. 2, pp. 5-385). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012693018-4/50004-5>
- HENDEY, I. (1964). *An introductory account of the smaller algae of British Coastal waters. Part. V. Bacillariophyceae (Diatoms)*. Her Majesty's Stationary.
- HUSTEDT, F. (1930). Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der ubrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meerresgebiete. In L. Rabenhorst (Ed.), *Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz*. Reprint Johnson Rep.
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ [IMARPE]. (2017). Compendio de procedimientos técnicos para la investigación científica en el IMARPE. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3178>
- MORÓN, O. & SARMIENTO, M. (2001). Aspectos oceanográficos de El Niño 1997-98 y su relación con los recursos pelágicos. En J. Tarazona, W. E. Arntz & E. Castillo (Eds.), *El Niño en América Latina. Impactos Biológicos y Sociales* (pp. 5-27). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- OCHOA, N. (1988). *Dinoflagelados del mar peruano y su valor como indicadores de masas de agua*. [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- OCHOA, N. & GÓMEZ O. (1997). Dinoflagelados del mar peruano como indicadores de masas de agua durante los años 1982 a 1985. *Bol Inst Mar Perú*, 16(2), 1-60. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/956>
- OCHOA, N., ROJAS DE MENDIOLA, B. & GÓMEZ, O. (1985). Identificación de fenómeno "El Niño" a través de los organismos fitoplanctónicos. En W. Arntz, A. Ianda & J. Tarazona (Eds.), *El Niño y su impacto en la Fauna Marina*. *Bol Inst Mar Perú* (Boletín Volumen Extraordinario, pp. 23-31). Instituto del Mar del Perú, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit GmbH. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1156>
- QUISPE, J. & VÁSQUEZ, L. (2015). Índice "LABCOS", para la caracterización de eventos El Niño y La Niña frente a la costa del Perú, 1976-2015. *Boletín Trimestral Oceanográfico*, 1(1-4), 12-16. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2957>
- QUISPE, J., VÁSQUEZ, L., GARCÍA, W., CORREA, D., PIZARRO, L., TELLO, E., DOMÍNGUEZ, N., MORÓN, O. & FLORES, R. (2021). Efectos de El Niño Costero 2017 en la estructura termohalina y flujos geostroficados frente a la costa norte del Perú. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2), 385-408. <https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.344>
- QUIPUZCOA, L., ROMERO, D., ARAMAYO, V., MARQUINA, R. & GUTIÉRREZ, D. (2017). Cambios del macrobentos en una estación fija frente a Chicama y su relación con la variabilidad oceanográfica. *Inf Inst Mar Perú*, 44(1), 20-27. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3148>
- ROJAS DE MENDIOLA, B., OCHOA, N. & GÓMEZ, O. (1981). Los dinoflagelados como indicadores biológicos de masas de agua, fenómeno El Niño 1972. In *Seminario*

- sobre indicadores Biológicos del Plancton (pp. 54-73). Inst Mar Perú-UNESCO.
- ROJAS DE MENDIOLA, B., GÓMEZ, O. & OCHOA, N. (1985). Efectos del fenómeno El Niño sobre el fitoplancton. En W. Arntz, A. Landa & J. Tarazona (Eds.). *El Niño, su impacto en la fauna marina* (Boletín Volumen extraordinario, pp. 33-40). Instituto del Mar del Perú, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1212>
- RODRÍGUEZ, L. (2004). Observaciones sobre efectos de El Niño 1997-1998 en el fitoplancton de bahía Antofagasta y durante un fenómeno de surgencia en bahía Mejillones del Sur, Antofagasta, Chile. En S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant & E. Yáñez (Eds.), *El Niño - La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile* (pp. 97-118). Valparaíso, Chile: CONA. [https://www.cona.cl/pub/libro\\_elnino/libro\\_elnino.pdf](https://www.cona.cl/pub/libro_elnino/libro_elnino.pdf)
- TAPIA, M. E. (2007). Variabilidad temporal del fitoplancton en áreas costeras del mar ecuatorial y su interrelación con el evento La Niña 1999-2000, Ecuador. *Acta Oceanogr. Pacífic.*, 14(1), 37-48. <http://hdl.handle.net/1834/2463>
- TARAZONA, J., INDACOCHEA, A., VALLE, S., CÓRDOVA, C., OCHOA, N., SERRANO, W. & PEÑA, T. (1999). Impacto de "El Niño 1997-98" sobre el ecosistema marino somero de la costa central del Perú. *Revista peruana de biología*, 6(3), 18-31. <https://doi.org/10.15381/rpb.v6i3.8427>
- TODD, R. E., RUDNICK, D. L., DAVIS, R. E. & OHMAN, M. D. (2011). Underwater gliders reveal rapid arrival of El Niño effects off California's coast. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L03609. <https://doi.org/10.1029/2010GL046376>
- SCHILLER, J. (1971). Dinoflagellatae (Peridinea) in monographischer Behandlung. In L. Rabenhorst (Ed.), *Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz* (Vol. X, Section III, Part. I). Reprint by Johnson Repr. Corp.
- SOURNIA, A. (1967). Le genre *Ceratium* (Peridinien Planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution a une revision mondiale (fin). *Vie et Milieu*, 441-500. <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-02951606>
- STEIDINGER, K. A. & TANGEN, K. (1996). Dinoflagellates. In C. Tomas (Ed.), *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates* (Cap 3, pp. 387-570). Academic Press, Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012693015-3/50006-1>
- TAKAHASHI, K. & MARTÍNEZ, A. G. (2017). The very strong coastal El Niño 1925 in the far-eastern Pacific. *Clim Dyn*, 52, 7389–7415. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>
- TAKAHASHI, K., MOSQUERA, K. & REUPO, J. (2014). El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. Instituto Geofísico del Perú. *Boletín Técnico*, 1(2). <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4639>
- THRÖNDSSEN, J. (1978). Preservation and storage. In A. Sournia (Ed.), *Phytoplankton manual* (pp. 69-74). UNESCO.
- ZUTA, S. & OTINIANO, J. (1999). Avances del proyecto ECCIP: Estudio de los cambios climáticos y su impacto en el Perú. *Revista de Investigación de Física*, 2, 1-40. <https://doi.org/10.15381/rif.v1i02.8598>
- ZUTA, S. & GUILLÉN, O. (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol Inst Mar Perú*, 2(5), 157-324. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/949>

## ANEXO

Tabla 1.- Relación de prospecciones de mar frente a las secciones Paita y Chicama durante el período 2014-2019

Table 1. List of sea surveys off the Paita and Chicama sections (2014-2019)

Año	Fecha	Paita	Fecha	Chicama	
		Recolección de muestras		Recolección de muestras	
2014	11-Feb-14	x	10-Feb-14	x	
	30-Mzo-14	x	29-Mzo-14	x	
	30-Abr-14	x	29-Abr-14	x	
	27-May-14	x	29-May-14	x	
	13-Jun-14	x	11-Jun-14	x	
	27-Jul-14	x	22-Jul-14	x	
	15-Ago-14	x	13-14 Ago-14	x	
			25-Set-14	x	
		27-Oct-14	x	24-25 Oct-14	x
		19-20 Dic-14	x	17-18 Dic-14	x
2015			26-27 Feb-15	x	
	19-20 Mzo-15	x	17-18 Mzo-15	x	
	26-27 Abr-15	x	24-25 Abr-15	x	
	13-14 Jun-15	x	22-23 Jun-15	x	
	17-18 Jul-15	x	15-16 Jul-15	x	
	26-27 Ago-15	x	24-25 Ago-15	x	
	17-18 Set-15	x	20-Set-15	x	
	20-21 Oct-15	x	18-19 oct-15	x	
	24-25 Nov-15	x	23-Nov-15	x	
	19-Dic-15	x	17-18 Dic-15	x	
2016			26-27 Ene-16	x	
	13-14 Feb-16	x	11-12 Feb-16	x	
	18-19 Mzo-16	x	11-12 Mzo-16	x	
	27-28 Myo-16	x	25-26 May-16	x	
	26-27 Jun-16	x	24-26 Jun-16	x	
	10-Jul-16	x	8-Jul-16	x	
	31-Ago-16	x	24-25 Ago-16	x	
	1-Set-16	x			
	3-4 Oct-16	x	1-2 Oct-16	x	
	27-28 Nov-16	x	25-16 Nov-16	x	
18-19 Dic-16	x	16-Dic-16	x		
2017	27-28 Ene-17	x	25-26 Ene-17	x	
	21-22 Feb-17	x	18-19 Feb-17	x	
	30-31 Mzo-17	x	27-28 Mzo-17	x	
	10-Abr-17	x	11-Abr-17	x	
	19-20 May-17	x	17-18 May-17	x	
	22-23 Jun-17	x	20-21 Jun-17	x	
			20-21 Jul-17	x	
	28-29 Ago-17	x	25-26 Ago-17	x	
			27-28 Set-17	x	
	24-25 Oct-17	x	22-23 Oct-17	x	
27-28 nov-17	x	25-26 Nov-17	x		
15-Dic-17	x	16-Dic-17	x		
2018	28-29 Ene-18	x	26-27 Ene-18	x	
	27-28 Feb-18	x	21-22 Feb-18	x	
	18 Mzo-18	x	18 Mzo-18	x	
	26-27 Abr-18	x	24-25 Abr-18	x	
	19-May-18	x	30-31 May-18	x	
	24-25 Jun-18	x	22-Jun-18	x	
	24-25 Jul-18	x	22-23 Jul-18	x	
	23-24 Ago-18	x	24-25 Ago-18	x	
	26-27 Set-18	x	24-25 Set-18	x	
	26-27 Oct-18	x	24-Oct-18	x	
24-25 Nov-18	x	26-Nov-18	x		
14-15 Dic-18	x	17-18 Dic-18	x		
2019	26-28 Ene-19	x	30-31 Ene-19	x	
	27-28 Feb-19	x	25-26 Feb-19	x	
	21-22 Mzo-19	x	16 Mzo-19	x	
	24-27 Abr-19	x	23-24 Abr-19	x	
	30-31 May-19	x	29-May-19	x	
	24-25 Jun-19	x	22-Jun-19	x	
	23-24 Jul-19	x	21-Jul-19	x	
	24-25 Ago-19	x	21-22 Ago-19	x	
	27-29 Set-19	x	24-25 Set-19	x	
	29-30 Oct-19	x	26-27 Oct-19	x	
27-28 Nov 19	x	25-26 Nov-19	x		
19-20 Dic-19	x	17-18 Dic-19	x		
TOTAL DE MUESTREOS		62		64	