

EDITORIAL

EL NIÑO COSTERO 2017 Y SUS IMPACTOS EN EL ECOSISTEMA MARINO
 THE 2017 COASTAL EL NIÑO AND ITS IMPACTS ON THE MARINE ECOSYSTEM

Dimitri Gutiérrez¹ Marilú Bouchon²

<https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.340>

1. INTRODUCCIÓN

El Niño Costero 2017 (ENC 2017) fue uno de los eventos climáticos extremos más importantes del último siglo en el Perú. Su rápido e inusual desarrollo, en un contexto neutro a ligeramente frío del Pacífico Ecuatorial central y occidental (Fig. 1), cuestionó algunos paradigmas, sorprendiendo a la comunidad científica nacional e internacional. A diferencia de los eventos El Niño asociados a la dinámica de El Niño Oscilación del Sur, para ENC 2017 los cambios regionales en la circulación atmosférica habrían tenido un papel determinante en su gestación y desarrollo (GARREAUD *et al.*, 2018; TAKAHASHI *et al.*, 2018; ECHEVIN *et al.*, 2018; PENG *et al.*, 2019).

1. INTRODUCTION

The 2017 coastal El Niño (2017 CEN) was one of the most important extreme weather events of the last century in Peru, whose unusual and fast development, in a neutral to slightly cold context of the central and western Equatorial Pacific (Fig. 1), challenged some established paradigms, thus surprising the national and international scientific community. For 2017 CEN, unlike EN events associated with the ENSO dynamics, regional changes in atmospheric circulation would have played a key role in generating and developing the event (GARREAUD *et al.*, 2018; TAKAHASHI *et al.*, 2018; ECHEVIN *et al.*, 2018; PENG *et al.*, 2019).

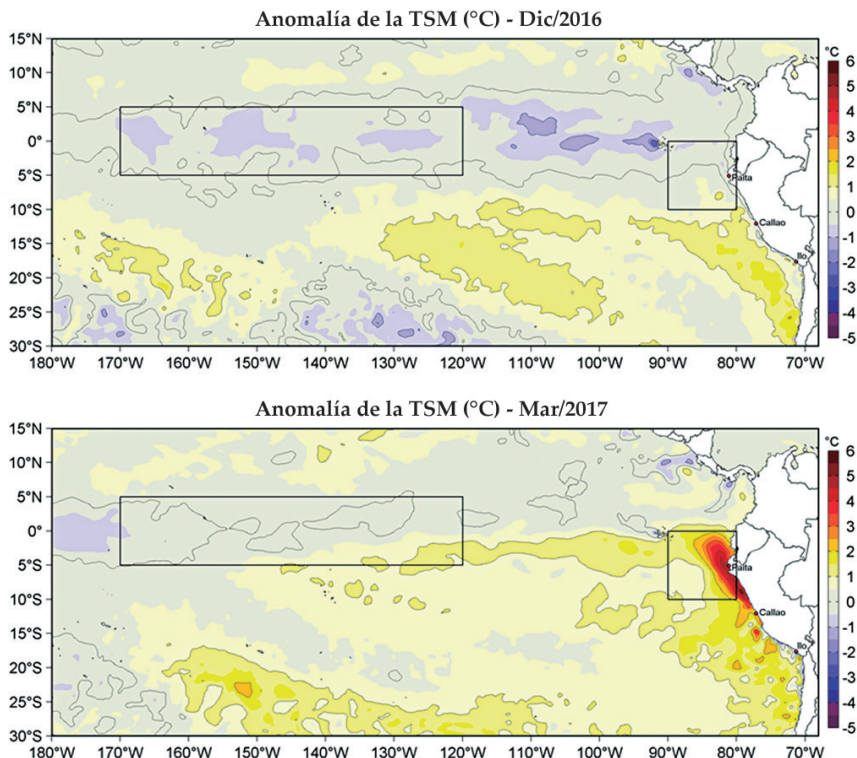


Figura 1.- Distribución de la anomalía menade la TSM en el Pacífico ecuatorial central y oriental en diciembre 2016 y marzo 2017. Fuente: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon *et al.*, 2012) disponible en <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/UKMO-L4HRfnd-GLOB-OSTIA>. Las anomalías se estimaron de acuerdo a la climatología para el periodo 2007-2016. Procesamiento: LHFm/DGIOCC/IMARPE

Figure 1. Distribution of the Menade SST anomaly (SSTA) in the central and eastern equatorial Pacific in December 2016 and March 2017. Source: OSTIA-UKMO-L4-GLOB-v2.0 (UK Met Office, 2012; Donlon *et al.*, 2012) available at <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/UKMO-L4HRfnd-GLOB-OSTIA>. Anomalies were estimated according to climatology for the period 2007-2016. Processing: LHFm/DGIOCC/IMARPE

1 Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático. IMARPE. dgutierrez@imarpe.gob.pe
 2 Dirección General de Investigaciones de Recursos Pelágicos. IMARPE
 IMARPE, Instituto del Mar del Perú, Esq. Gamarra y Gra. Valle, Callao, Perú

La velocidad e intensidad del calentamiento que caracterizó a ENC 2017 permiten catalogarlo como una ola de calor marina (TAKAHASHI *et al.*, 2018; PIETRI *et al.*, 2021). Según las últimas proyecciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2019, 2021), se espera que la frecuencia de las olas de calor marina aumente con el cambio climático. En tal sentido, profundizar el conocimiento de las causas y mecanismos que dieron lugar a ENC 2017, así como caracterizar sus manifestaciones oceanográficas e impactos biogeoquímicos, ecológicos y biológico-pesqueros, son tareas que aportan a mejorar la previsión y la alerta temprana ante este tipo de fenómenos.

En el marco de esta problemática, el Instituto del Mar del Perú – IMARPE, organizó entre el 7 y 9 de febrero 2018 un Taller Científico denominado “El Niño Costero 2017: manifestaciones oceanográficas e impactos en los recursos y ecosistemas marinos-costeros”. El actual Boletín Especial incluye una muestra representativa de las contribuciones presentadas, abarcando aspectos oceanográficos, biológicos y pesqueros y aplicando distintos enfoques metodológicos, como modelado numérico, análisis de series de tiempo y análisis de datos en general.

Desarrollo de El Niño Costero 2017

ENC 2017 tuvo un rápido desarrollo frente a la costa peruana, asociado al debilitamiento de los vientos costeros del sudeste y al colapso del afloramiento costero, los cuales, de un lado, permitieron la advección de las aguas oceánicas hacia la zona costera y de las aguas ecuatoriales superficiales hacia el sur (Fig. 2), mientras por otro, gatillaron procesos locales océano-atmósfera que retroalimentaron el calentamiento durante el verano de 2017, el cual se concentró en la capa superficial. Ciertamente, al comparar el desarrollo de ENC 2017 con eventos EN fuertes o extraordinarios del pasado, destaca el carácter más superficial del calentamiento (Fig. 3). Dado que el pico del calentamiento del mar coincidió con la temporada de lluvias, el impacto sobre las precipitaciones de El Niño Costero 2017 fue comparable al de los Niños extraordinarios de 1982/1983 y 1997/1998 (ENFEN, 2017).

Si bien es cierto que las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar (TSM) estaban presentes desde diciembre 2016, el desarrollo propio del evento puede caracterizarse en tres fases. En su primera fase (hasta febrero), el desarrollo del evento fue veloz al norte de los 10°S, concentrándose en la capa superficial (30 m) con anomalías de +5 °C dentro de las primeras 100 millas y la desaparición del frente térmico costero. En marzo, el arribo de una onda Kelvin cálida contribuyó a profundizar el calentamiento anómalo a los 100 m y hasta los 16°S. En su última fase, al normalizarse los vientos costeros, el efecto de la onda Kelvin cálida sostuvo la duración de

2017 CEN was characterized as a marine heatwave due to the speed and intensity of the warming during that period (TAKAHASHI *et al.*, 2018; PIETRI *et al.*, 2021). The latest projections of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019, 2021) indicate that the frequency of marine heatwaves is expected to increase with climate change. Therefore, our tasks to improve forecasting and early warning of this type of phenomenon require a deeper understanding of the causes and mechanisms behind 2017 CEN, as well as the characterization of its oceanographic manifestations and its biogeochemical, ecological, and biological-fishery impacts.

Given this problem, the *Instituto del Mar del Perú* - IMARPE, organized between February 7 and 9, 2018, a Scientific Workshop entitled “*El Niño Costero 2017: oceanographic manifestations and impacts on marine-coastal resources and ecosystems*”. This Special Bulletin includes a representative sample of the contributions presented, covering oceanographic, biological, and fisheries aspects and applying different methodological approaches, such as numerical modeling, time series analysis, and general data analysis.

Development of the 2017 coastal El Niño

2017 CEN was an event of rapid development off the Peruvian coast, associated with the weakening of the southeasterly coastal winds and the collapse of the coastal upwelling, which allowed the advection of oceanic waters towards the coastal zone and the equatorial surface waters towards the south (Fig. 2). On the other hand, this weakening triggered local ocean-atmosphere processes that contributed to the surface warming in the summer of 2017. The shallower character of the warming stands out when comparing the development of 2017 CEN with strong or extraordinary EN events in the past (Fig. 3). Since the peak of sea warming coincided with the rainy season, 2017 CEN had an impact on precipitation comparable to that of the extraordinary ENs of 1982/1983 and 1997/1998 (ENFEN, 2017).

Even though it is true that positive SSTA occurred since December 2016, the event's development can be characterized by three phases. During the first phase (until February), the development of the event was rapid north of 10°S, being concentrated in the surface layer (30 m) with anomalies of +5 °C within the first 100 miles and the disappearance of the coastal thermal front. In March, the arrival of a warm Kelvin wave contributed to the deepening of the anomalous warming at 100 m and up to 16°S. In its last phase, as the coastal winds normalized, the effect of the warm Kelvin wave sustained the duration of

las anomalías hasta el mes de mayo. Estas características contrastan con el desarrollo típico de un evento El Niño de origen ecuatorial frente a la costa peruana, que suele tener una duración de 9 a 12 meses, y anomalías máximas de TSM inferiores a las registradas en 2017 (salvo en los Niños extraordinarios), pero con un alcance mayor en latitud y en profundidad.

the anomalies until May. These characteristics differ from the typical development of an equatorial EN event off the Peruvian coast, which usually has a duration between 9 and 12 months, and maximum SSTa lower than those recorded in 2017 (except in the extraordinary Niños), but with a greater range in latitude and depth.

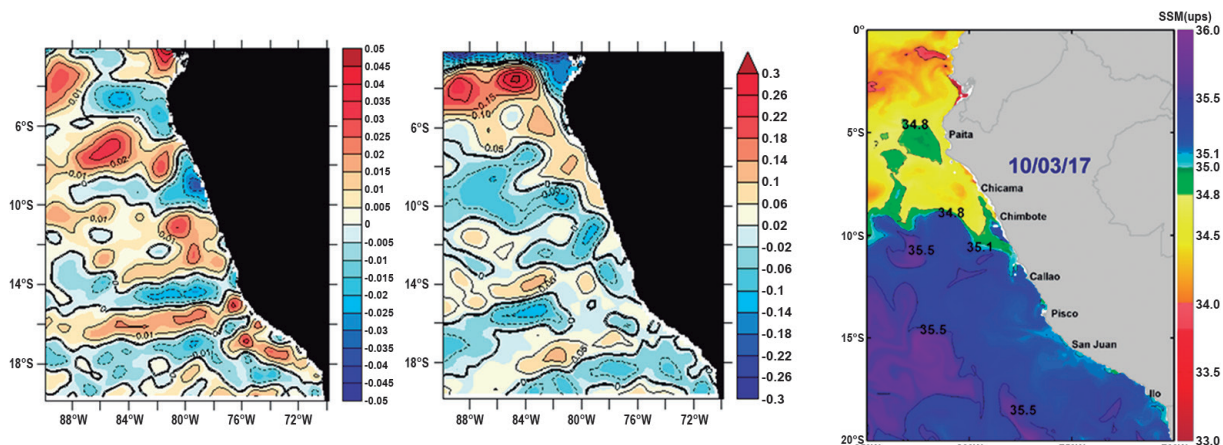


Figura 2.- Flujos geostrofic zonales frente a la costa: A) promedio multianual (2009 – 2016); B) promedio enero-marzo 2017, indicando el predominio de los flujos con dirección a la costa al norte de los 10°S y con ello el colapso del afloramiento costero. Fuente: datos de altimetría satelital de AVISO (CMEMS, Copernicus Marine Service). Distribución de la salinidad superficial el 10 de marzo 2017 frente a la costa (C), de acuerdo al modelo HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model; <https://www.hycom.org/>), evidenciando la advección de aguas ecuatoriales superficiales hacia el sureste y de las aguas subtropicales superficiales hacia la costa

Figure 2. Offshore zonal geostrophic flows: A) multi-year average (2009 – 2016); B) January-March 2017 average, indicating the predominance of offshore-directed flows north of 10°S and with it the collapse of coastal upwelling. Source: satellite altimetry data from AVISO (CMEMS, Copernicus Marine Service). Surface salinity distribution on March 10, 2017 offshore (C), according to the HYCOM model (HYbrid Coordinate Ocean Model; <https://www.hycom.org/>), which shows the advection of surface equatorial waters to the southeast and of surface subtropical waters to the coast

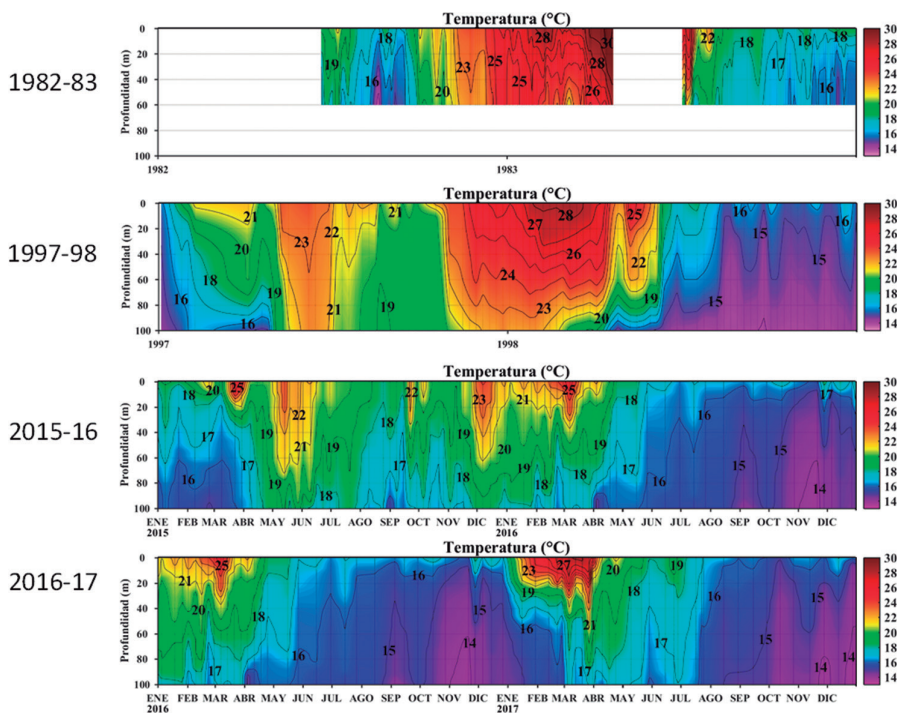


Figura 3.- Series de tiempo versus profundidad de la temperatura en la estación fija costera de Paita (05°04'S y 81°16'W) para los eventos EN 1982-83, 1997-98, 2015-16 y ENC 2017

Figure 3. Time series versus depth of temperature at the Paita coastal fixed station (05°04'S and 81°16'W) for EN events of 1982/83, 1997/98, 2015/16, and 2017 CEN

Procesos oceanográficos e impactos en la productividad

En el presente volumen, *QUISPE et al.* (2021) describe el desarrollo de ENC 2017 frente a la costa norte, acorde con las tres fases del evento arriba mencionadas. Destaca el debilitamiento anómalo del viento del sudeste frente a la costa norte desde inicios del verano, seguido por el incremento de la estratificación térmica de la capa superficial que se evidencia hacia fines de enero. A ello le sucede la advección desde el norte de Aguas Tropicales Superficiales frente a Paita, y de las Aguas Ecuatoriales Superficiales frente a Chicama, principalmente en febrero. En marzo se producen las máximas anomalías térmicas superficiales promedio (+5 °C), las cuales se extendieron hasta la costa central, profundizándose además el calentamiento en la columna de agua. Cabe indicar que las anomalías promedio registradas en marzo fueron muy superiores a las registradas durante EN 2015-16 para el mismo mes (+1 a +2 °C) (*LEDESMA et al.*, 2021). El calentamiento subsuperficial se prolongó hasta mayo 2017, asociado a flujos del norte en la misma capa, mientras que en la capa superficial las condiciones tendieron a normalizarse gradualmente (*QUISPE et al.*, 2021).

Por su parte, en este volumen, *CORREA et al.* (2021) documentan el debilitamiento anómalo de los vientos costeros del sudeste frente a Lambayeque (06°45'S - 07°00'S) desde octubre 2016, proceso que alcanzó una condición extrema en enero 2017, cuando en 20 de los 31 días del mes, la velocidad del viento promedio fue de apenas 1,3 m/s. La predominancia de vientos débiles del sudeste hasta la primera quincena de marzo y la ocurrencia de algunos eventos de vientos del norte, contribuyeron al calentamiento anómalo de la TSM costera hasta +7 °C en marzo. Por otra parte, el incremento de los caudales provocó la disminución de la salinidad en el litoral a valores por debajo de 30 en el mismo mes.

Los roles de los forzantes remotos y locales en el desarrollo de ENC 2017 son analizados por *QUISPE-CALLUARI et al.* (2021) y *ANCULLE et al.* (2021), contrastándolos con el caso de EN 2015-16. Para este último, se registró el arribo de seis ondas Kelvin ecuatoriales cálidas y su propagación como ondas atrapadas a la costa (OAC), jugando el principal papel en el desarrollo del calentamiento anómalo a lo largo de la costa. En cambio, para ENC 2017, la primera OAC cálida, de débil intensidad, fue registrada en febrero, cuando el calentamiento anómalo superficial ya se había desarrollado por las anomalías del viento; esta onda no generó un impacto adicional significativo sobre las condiciones

Oceanographic processes and impacts on productivity

QUISPE et al. (2021) describe in this volume the development of 2017 CEN off the north coast, which is consistent with the three phases of the above-mentioned event. They highlight the anomalous weakening of the southeast wind off the north coast since the beginning of the summer, followed by the increase in the thermal stratification of the surface layer that becomes evident by late January. This is followed by the advection from the north of Surface Tropical Waters off Paita, and of Surface Equatorial Waters off Chicama, mainly in February. In March, the maximum average surface thermal anomalies (+5 °C) occurred and extended to the central coast, while the warming of the water column deepened. It is noteworthy that in March the recorded average anomalies were much higher than those recorded during EN 2015/16 for the same month (+1 to +2 °C) (*LEDESMA et al.*, 2021). The subsurface warming continued until May 2017, associated with northerly flows in the same layer, while in the surface layer conditions were gradually returning to normal (*QUISPE et al.*, 2021).

CORREA et al. (2021) documented in this volume the anomalous weakening of southeasterly coastal winds off Lambayeque (06°45'S - 07°00'S) since October 2016, a process that reached an extreme condition in January 2017, when in 20 of the 31 days of the month, the average wind speed was just 1.3 m/s. The predominance of weak southeasterly winds until mid-March and the occurrence of some northerly wind events contributed to the anomalous warming of the coastal SST up to +7 °C in March. On the other hand, the increase in flow rates led to a decrease in salinity along the coast to values below 30 during the same month.

QUISPE-CALLUARI et al. (2021) and *ANCULLE et al.* (2021) analyzed the roles of remote and local forcings in the development of 2017 CEN, by comparing them with EN 2015/16. For the latter, the arrival of six warm equatorial Kelvin waves and their propagation as coastal-trapped waves (CTWs) were recorded, playing the main role in the development of anomalous warming along the coast. On the other hand, during 2017 CEN, the first warm CTW, of weak intensity, was recorded in February for 2017 CEN, when the anomalous surface warming had already developed due to wind anomalies; this wave did not generate a significant additional impact on thermal conditions. The second warm CTW,

térmicas. La segunda OAC cálida, que se propagó a lo largo de la costa en marzo 2017, sí tuvo un impacto importante, el cual se manifestó en los flujos del norte y el calentamiento anómalo de la capa subsuperficial (QUISPE *et al.*, 2021), reforzando y prolongando la duración del evento cálido. ANCULLE *et al.* (2021) también señalan que el debilitamiento de los vientos del sur e intensificación de los vientos del Golfo de Panamá, asociado a un dipolo formado por las anomalías de vientos zonales al norte y al sur de la línea ecuatorial, propiciaron el calentamiento de la capa superficial frente a Paita y a Chicama, mientras que la propagación de las OAC tuvo un papel secundario.

En cuanto a los procesos del afloramiento costero y sus impactos en la productividad primaria, a través de un enfoque de modelado, en este volumen ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.* (2021) analizan los procesos del afloramiento costero y de la productividad durante ENC 2017. Las simulaciones reprodujeron el patrón espacial y temporal observado de la reducción de la productividad en la capa superficial, limitado a la costa norte y central (LEDESMA *et al.*, 2021). ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.* (2021) señalan que a diferencia de un evento El Niño asociado al ENOS, en el cual típicamente la productividad disminuye por la profundización de la capa de mezcla (verano) y de la nitraclina (otoño/invierno), la disminución de la productividad en ENC 2017 habría obedecido al colapso del afloramiento y a un aumento de la limitación por luz, ocasionado por el fuerte incremento de la nubosidad frente a la costa norte. En tal sentido, la reducción de la concentración de nutrientes (principalmente fosfatos y silicatos (LEDESMA *et al.*, 2021)) habría resultado del consumo de nutrientes en la capa superficial y a la falta de renovación de estos por el debilitamiento de los flujos ascendentes (ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.*, 2021).

Si bien es cierto que por su corta duración, el efecto integral de ENC 2017 habría supuesto una reducción integral de solo 7% del área productiva, especialmente frente a la costa norte y central, contrastando con la reducción de 14% durante EN 2015–16, la máxima reducción del área productiva (49%), en marzo 2017, fue superior a la máxima reducción del área productiva en cualquier mes durante EN 2015–16, y fue comparable con el impacto en el área productiva reportada para EN 1997–98, que fue del orden del 50%. En cambio, a escala del verano la reducción del área productiva (-25%) fue similar a la ocurrida en el mismo período durante El Niño 2015–16 (LEDESMA *et al.*, 2022).

which propagated along the coast in March 2017, did have an important impact, which was manifested in the northerly flows and anomalous subsurface layer warming (QUISPE *et al.*, 2021), reinforcing and prolonging the duration of the warm event. ANCULLE *et al.* (2021) also indicated that the weakening of the southerly winds and intensification of the winds from the Gulf of Panama, associated with a dipole formed by the zonal wind anomalies to the north and south of the equator, favored the warming of the surface layer off Paita and Chicama, while the propagation of the CTWs played a secondary role.

Regarding coastal upwelling processes and their impacts on primary productivity, ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.* (2021) through a modeling approach, analyzed coastal upwelling processes and productivity during 2017 CEN in this volume. The simulations reproduced the observed spatio-temporal pattern of productivity reduction in the surface layer, limited to the northern and central coast (LEDESMA *et al.*, 2021). ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.* (2021) point out that unlike an ENSO-associated EN event, in which productivity typically decreases due to the deepening of the mixing layer (summer) and nitracline (autumn/winter), the decrease in productivity during 2017 CEN would have been caused by upwelling collapse and an increase in light limitation, resulting from the strong increase in cloudiness off the coast of northern Peru. Thus, the reduction in the nutrient concentration (mainly phosphates and silicates (LEDESMA *et al.*, 2021)) would have been due to the consumption of nutrients in the surface layer and the lack of nutrient turnover due to the weakening of the upward fluxes (ESPINOZA-MORRIBERÓN *et al.*, 2021).

Although it is true that due to its short duration, the overall effect of 2017 CEN would have meant only a 7% reduction in the productive area, especially off the north and central coast, compared to the 14% reduction during EN 2015/16, in March 2017, the maximum reduction in productive area (49%) was higher than the maximum reduction in productive area in any month during EN 2015/16, and was comparable to the impact on productive area reported for EN 1997/98, which was on the order of 50%. On the other hand, at the summer scale, the reduction in productive area (-25%) was similar to that which occurred in the same period during El Niño 2015/16 (LEDESMA *et al.*, 2021).

Efectos en las comunidades del plancton

Observaciones del fitoplancton frente a la costa norte (Paita y Chicama) por parte del IMARPE dieron cuenta de la desaparición de indicadores de aguas costeras frías en enero 2017, siendo reemplazados por el dinoflagelado *Ceratium breve*, indicador de Aguas Ecuatoriales Superficiales entre enero y marzo 2017. Para marzo e inicios de abril 2017, DELGADO *et al.* (2019) reportó valores promedio $<0,5 \text{ mL m}^{-3}$ de volumen del plancton entre las 30 y 60 mn de la costa al norte de Pisco y condiciones similares dentro de las 30 mn entre Pisco y Chicama. Estas concentraciones fueron menores a las registradas en el verano 2016, pero similares a las del verano 2015. En cambio, al sur de Pisco, el volumen de plancton alcanzó valores promedio significativamente mayores (1,0 – 2,5 m^{-3}), coincidiendo con el patrón espacial de la concentración de clorofila-a. En la zona sur la comunidad también presentaba una composición típica de las aguas del afloramiento costero, destacando el dinoflagelado indicador *Protooperidinium obtusum*.

Por otro lado, para la franja adyacente a la costa, en este volumen, SÁNCHEZ *et al.* (2021) reportan un total de 40 floraciones algales nocivas (FAN) durante El Niño Costero 2017, con una distribución entre Paita y Bahía Independencia. El número total de FAN fue más del doble de lo registrado en el mismo período del año anterior y la mayoría de eventos se desarrollaron en enero y febrero, período caracterizado por una rápida estratificación de la capa superficial entre Paita y Callao (ENFEN, 2017; QUISPE *et al.*, 2021). 14 de las 16 especies formadoras de FAN fueron dinoflagelados. Entre Paita y Chimbote destacaron las floraciones de *Noctiluca scintillans*, *Dinophysis acuminata* y *Prorocentrum cordatum*, entre otras, mientras que entre Callao y bahía Independencia predominaron las floraciones de *Heterosigma akashiwo*, *Akashiwo sanguinea*, *Heterocapsa* sp. y *Dinophysis* sp.

La composición del zooplancton también se vio alterada durante ENC 2017, asociada a la redistribución de las masas de agua. TORRES *et al.* (2021) en este volumen señalan la desaparición frente a la costa norte, al menos entre febrero y octubre de 2017 (es decir hasta 5 meses después de concluido el evento) del copépodo *Centropages brachiatus*, especie característica de las aguas costeras frías (GUTIÉRREZ *et al.*, 2005). La desaparición de *C. brachiatus* fue seguida por la aparición de los copépodos *Centropages furcatus* (indicador de AES), *Acartia danae* y *Oncaea conifera* (ASS) frente a las costas de Lambayeque y Chicama.

Effects on plankton communities

IMARPE observations of phytoplankton off the north coast (Paita and Chicama) reported the disappearance of cold coastal water (CCW) indicators in January 2017, being replaced by the dinoflagellate *Ceratium breve*, which is an indicator of Surface Equatorial Waters (SEW), between January and March 2017. For March and early April 2017, DELGADO *et al.* (2019) reported mean values $<0.5 \text{ mL m}^{-3}$ plankton volume between 30 and 60 nm offshore north of Pisco with similar conditions within 30 nm between Pisco and Chicama. These concentrations were lower than those recorded in summer 2016 but similar to those of summer 2015. Conversely, south of Pisco, the plankton volume reached significantly higher mean values (1.0 – 2.5 m^{-3}), coinciding with the spatial pattern of chlorophyll-a concentration. In the southern zone, the community also presented a composition typical of coastal upwelling waters, with the indicator dinoflagellate *Protooperidinium obtusum* standing out.

SÁNCHEZ *et al.* (2021) reported 40 harmful algal blooms (HABs) during the 2017 coastal El Niño in the coastal strip, with a distribution between Paita and Independencia Bay. The total number of HABs was more than double that recorded in the same period of the previous year and most events developed in January and February, a period characterized by rapid stratification of the surface layer between Paita and Callao (ENFEN, 2017; QUISPE *et al.*, 2021). A total of 14 of the 16 HAB-forming species were dinoflagellates. Blooms of *Noctiluca scintillans*, *Dinophysis acuminata*, and *Prorocentrum cordatum*, among others, were prominent between Paita and Chimbote, while blooms of *Heterosigma akashiwo*, *Akashiwo sanguinea*, *Heterocapsa* sp., and *Dinophysis* sp were predominant between Callao and Independencia Bay.

The zooplankton composition was also altered during 2017 CEN, associated with the redistribution of water masses. TORRES *et al.* (2021) report the disappearance off the north coast, at least between February and October 2017 (i. e. up to 5 months after the end of the event) of the copepod *Centropages brachiatus*, a species characteristic of CCW (GUTIÉRREZ *et al.*, 2005). This disappearance was followed by the occurrence of the copepods *Centropages furcatus* (SEW indicator), *Acartia danae*, and *Oncaea conifera* (SSW) off the coasts of Lambayeque and Chicama.

Efectos en el sistema bentónico

Estudios previos han descrito múltiples impactos de El Niño sobre el ambiente y comunidades del bentos intermareal y submareal destacando como principales factores el calentamiento y los cambios en la oxigenación del fondo (TARAZONA *et al.*, 1985, 1988; ARNTZ *et al.*, 2006). A nivel de las comunidades se ha descrito que la oxigenación asociada a El Niño de los fondos submareales y sublitorales normalmente expuestos a condiciones hipóxicas favorece la colonización del fondo por la macrofauna bentónica, reflejándose en el incremento de la biomasa y diversidad (TARAZONA *et al.*, 1988; ARNTZ *et al.*, 2006; GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Por otro lado, el incremento de la temperatura ha sido señalado como uno de los principales factores que causa la mortalidad de algunos invertebrados intermareales (TARAZONA *et al.*, 1985) pero también el aumento de la fecundidad y reclutamiento en los bancos naturales de concha de abanico *Argopecten purpuratus* en bahía Independencia en el Niño extraordinario 1982-83 (WOLFF *et al.*, 1987).

A diferencia de los factores mencionados, poco se ha estudiado respecto al efecto ecológico de las descargas de los ríos en las zonas marino-costeras asociado a los eventos cálidos. En el presente volumen, VELAZCO *et al.* (2021) documentan el incremento significativo de los flujos de material particulado y cambios asociados en el origen de la materia orgánica particulada durante ENC 2017 en la plataforma interna frente a la bahía del Callao, de modo que el evento habría impreso una huella distinguible en el registro sedimentario. La caracterización sedimentológica y biogeoquímica de esta huella abre posibilidades para la reconstrucción de eventos climáticos similares en el pasado.

Como se ha mencionado, el aumento de los caudales también generó cambios locales en la salinidad en varias zonas marino-costeras (ENFEN, 2017; CORREA *et al.*, 2021), cuya disminución pudo contribuir a la estratificación y a la hipoxia costera en determinadas áreas, como Sechura (CUETO *et al.*, 2021). Cabe indicar que en el litoral de Lambayeque y La Libertad (ca. 6°00' – 8°30'S) se registraron varamientos de peces costeros, crustáceos y moluscos bentónicos en febrero y marzo, cuando las descargas de los ríos y las temperaturas superficiales aumentaban a sus mayores niveles (ENFEN, 2017; CORREA *et al.*, 2021).

En tal sentido, los efectos de ENC 2017 en el sistema bentónico mostraron similitudes y ciertas diferencias con los de otros eventos cálidos. Respecto a efectos poblacionales, BERRÚ y PEREA (2019) describieron una mortandad masiva del banco natural intermareal y submareal de “navajuela” *Tagelus dombeii* (Isla

Effects on the benthic system

Previous studies have described multiple impacts of EN on the environment and communities of the intertidal and subtidal benthos, identifying warming and changes in bottom oxygenation as the main factors (TARAZONA *et al.*, 1985, 1988; ARNTZ *et al.*, 2006). At the community level, it has been described that EN-associated oxygenation of subtidal and sublittoral bottoms normally exposed to hypoxic conditions favors bottom colonization by benthic macrofauna, reflected in increased biomass and diversity (TARAZONA *et al.*, 1988; ARNTZ *et al.*, 2006; GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Moreover, the increase in temperature has been pointed out as one of the main factors causing the mortality of some intertidal invertebrates (TARAZONA *et al.*, 1985) but also the increase in fecundity and recruitment in the natural banks of Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* in Independencia Bay during the extraordinary Niño 1982/83 (WOLFF *et al.*, 1987).

Unlike the aforementioned factors, little has been studied on the ecological effect of fluvial discharges into coastal-marine zones associated with warm events. In this volume, VELAZCO *et al.* (2021) recorded the noticeable increase in particulate matter fluxes and associated changes in the origin of particulate organic matter during 2017 CEN on the inner shelf off Callao Bay, whereby the event would have left a distinguishable imprint on the sedimentary record. The sedimentological and biogeochemical characterization of this footprint opens up possibilities for the reconstruction of similar past climatic events.

The increase in flows also generated local changes in salinity in several marine-coastal zones (ENFEN, 2017; CORREA *et al.*, 2021), whose decrease may have contributed to stratification and coastal hypoxia in certain areas, such as Sechura (CUETO *et al.*, 2021). We should note that along the coast of Lambayeque and La Libertad (ca. 6°00' – 8°30'S), strandings of coastal fish, crustaceans, and benthic mollusks were recorded in February and March when fluvial discharges and surface temperatures increased to their highest levels (ENFEN, 2017; CORREA *et al.*, 2021).

Therefore, the effects of 2017 CEN on the benthic system showed similarities and certain differences with those of other warm events. In relation to population effects, BERRÚ & PEREA (2019) described mass mortality of the natural intertidal and subtidal bank of the hard razor clam

Blanca, Bahía Ferrol) asociada al calentamiento extremo durante el evento. Asimismo, KLUGER *et al.* (2019) y CUETO *et al.* (2021) documentaron eventos de mortalidad en las zonas de cultivo de concha de abanico en las bahías de Sechura y de Paracas, donde la exposición a la hipoxia habría jugado un rol importante. En el presente volumen, GALINDO y QUISPE (2021) observaron una disminución de la extracción de la concha de abanico en bahía Independencia durante 2017 (donde el calentamiento fue moderado respecto a la costa norte) que sería más bien consecuencia de prácticas inapropiadas de extracción de semilla que habrían afectado la capacidad de repoblamiento del fondo por la especie en un contexto oceanográfico más favorable.

A nivel comunitario, un reciente estudio de VALQUI *et al.* (2021) no encontró diferencias sustanciales a escala regional de las comunidades del intermareal rocoso entre el verano de 2015 y la primavera de 2017, después de finalizado ENC 2017. Sin embargo, en la zona de transición entre la provincia Panameña y la provincia de Humboldt se detectó un alto recambio de especies así como la inmigración de algunas especies de la provincia Panameña hacia la zona, cuya ubicación se encuentra dentro del área donde se registraron las mayores anomalías térmicas durante ENC 2017. En el presente volumen, ARAMAYO *et al.* (2021) investigaron los cambios de las comunidades del macrobentos, meiobentos metazoario y foraminíferos bentónicos en la plataforma interna de Callao, antes, durante y después de ENC 2017. Aquí, a diferencia de otros eventos cálidos -El Niño asociado al ENSO-, no se detectaron variaciones importantes en la oxigenación del fondo, debido a la ausencia o débil intensidad de las ondas Kelvin cálidas (ANCULLE *et al.*, 2021), por lo cual la estructura comunitaria de la macrofauna bentónica no sufrió variaciones significativas. Una excepción fue la estación más somera, ubicada a 28 m de profundidad y que registró una amplia colonización del bivalvo *Pitar* sp., asociada a la sedimentación terrígena. Por otro lado, los grupos de la meiofauna metazoaria y de foraminíferos bentónicos no exhibieron cambios temporales significativos en el mismo período y más bien mostraron una notoria resiliencia ante los cambios ambientales.

Impactos biológico-pesqueros

Una de las características del impacto de los eventos El Niño en el litoral peruano, es la proyección de áreas de alta agregación de anchoveta hacia el sur, que evidencian el desplazamiento de esta especie a esa región y ha sido ampliamente documentado durante diferentes eventos (ÑIQUEN y BOUCHON, 2004; ÑIQUEN *et al.*, 1999; ZUZUNAGA, 1985).

Tagelus dombeii (Isla Blanca, Ferrol Bay) associated with the extreme warming during the event. Likewise, KLUGER *et al.* (2019) and CUETO *et al.* (2021) documented mortality events in Peruvian scallop culture areas in Sechura and Paracas Bays, where exposure to hypoxia would have played an important role. In this paper, GALINDO & QUISPE (2021) observed a decrease in the extraction of Peruvian scallop in Independencia Bay during 2017 (where the warming was moderate compared to the north coast) that would be more likely a consequence of inappropriate seed extraction practices that would have affected the ability of the species to repopulate the bottom in a more favorable oceanographic context.

At the community level, a recent study by VALQUI *et al.* (2021) found no significant differences at the regional scale of the rocky intertidal communities between summer 2015 and spring 2017, after the end of 2017 CEN. Nevertheless, in the transition zone between the Panamanian and Humboldt provinces, a high species turnover was detected as well as the immigration of some species from the Panamanian province to the zone, whose location is within the area where the highest thermal anomalies were recorded during 2017 CEN. ARAMAYO *et al.* (2021) investigated the changes in macrobenthos, metazoan meiobenthos, and benthic foraminifera communities in the inner shelf of Callao, before, during, and after 2017 CEN. Unlike other warm events -EN associated with ENSO-, no important variations in bottom oxygenation were detected, due to the absence or weak intensity of warm Kelvin waves (ANCULLE *et al.*, 2021), so the community structure of the benthic macrofauna did not undergo significant variations. The shallowest station, located at 28 m depth, was an exception and recorded extensive colonization of the bivalve *Pitar* sp., associated with terrigenous sedimentation. Furthermore, the metazoan meiofauna and benthic foraminifera groups did not show significant temporal changes during the same period and rather showed a notorious resilience to environmental changes.

Biological-fisheries impacts

One of the characteristics of the impact of EN events on the Peruvian coast is the projection of areas of high anchoveta aggregation southward, which is evidence of the displacement of this species to that region and has been widely documented during different events (ÑIQUEN & BOUCHON, 2004; ÑIQUEN *et al.*, 1999; ZUZUNAGA, 1985).

Durante El Niño Costero 2017, en el subsistema pelágico, *Engraulis ringens* “anchoveta”, su principal especie, se desplazó hacia el sur de 8°S, con las principales áreas de concentración frente a Chicama y Pisco, replegándose hacia la costa. Además, disminuyó su contenido graso y su actividad reproductiva con desoves tempranos como estrategia reproductiva (TAKAHASHI *et al.*, 2018). El contenido graso, exhibió valores por debajo del promedio para la temporada, sugiriendo que la anchoveta priorizó el gasto de energía al desplazamiento a otras áreas más adecuadas a su nicho ecológico. El desplazamiento de la anchoveta hacia el sur, ocasionó la falta de alimento para aves guaneras, las cuales sufrieron grandes mortandades en la zona entre Pimentel y Salaverry (ENFEN, 2017). En general estos impactos también se registran en la condición somática de la anchoveta, debido a que los eventos cálidos como EN generan estrés en la población, produciendo una pérdida de peso individual por la pobre oferta alimenticia o cambio en las presas alimenticias al que se encuentra sometida; además de gastos energéticos producto de su desplazamiento hacia el sur, incremento del metabolismo y la mayor competencia por la presencia de otros recursos en el ecosistema, todo lo cual merma su condición somática (BOUCHON, 2018).

El evento ENC 2017, caracterizado por su alta intensidad, corta duración y por manifestarse principalmente en la parte superficial de la columna de agua, no tuvo un fuerte impacto sobre la biomasa del stock Norte-Centro de la anchoveta, situación que generó las condiciones necesarias para el desarrollo de la primera temporada de pesca del 2017 (IMARPE, 2017). Cabe indicar que los niveles de biomasa de anchoveta observados durante los años 2015-2017 (periodo con ocurrencias de El Niño 2015-2016 y El Niño Costero 2017) fueron superiores a los observados durante los años 1997-1999 (periodo con ocurrencia de El Niño 1997-1998), situación que evidencia que, durante el último periodo, los eventos de naturaleza cálida generaron un menor impacto sobre la condición del stock que en oportunidades anteriores.

El débil impacto de ENC 2017 sobre la biomasa de la anchoveta podría explicarse también, porque el calentamiento extremo no afectó la costa sur, donde más bien persistió el afloramiento costero y una alta productividad, generando condiciones en el hábitat y en la disponibilidad de alimento favorables para el refugio y mantenimiento de los stocks (ESPINOZA-MORRIBERON *et al.*, 2021).

During 2017 CEN, in the pelagic subsystem, the anchoveta *Engraulis ringens*, its main species, moved south of 8°S, with the main concentration areas located off Chicama and Pisco, and retreated towards the coast. Furthermore, it decreased its fat content and reproductive activity with early spawning as a reproductive strategy (TAKAHASHI *et al.*, 2018). Fat content showed below-average values for the season, which suggests that anchoveta prioritized energy expenditure over moving to other areas more suitable to their ecological niche. The southward displacement of anchoveta caused a lack of food for guano birds, which suffered large mortality in the area between Pimentel and Salaverry (ENFEN, 2017). These impacts are also generally recorded in the somatic condition of the anchoveta since warm events such as EN generate stress in the population, producing a loss of individual weight due to the poor food supply or change in their food prey; besides energy costs resulting from their southward displacement, increased metabolism, and greater competition for the presence of other resources in the ecosystem, all of which reduces their somatic condition (BOUCHON, 2018).

2017 CEN, characterized by its high intensity, short duration, and by manifesting itself mainly in the shallow part of the water column, did not have a strong impact on the biomass of the anchoveta's North-Central stock, a situation that generated the necessary conditions for the development of the first fishing season of 2017 (IMARPE, 2017). It is noteworthy that the levels of anchoveta biomass observed during the years 2015-2017 (period with the occurrence of EN 2015/16 and 2017 CEN) were higher than those observed between 1997-1999 (period with the occurrence of EN 1997/98). This situation shows that, during the last period, the warm events generated a lower impact on the condition of the stock than in previous opportunities.

The weak impact of 2017 CEN on anchoveta biomass could also be explained since the extreme warming did not affect the coast of southern Peru, where coastal upwelling and high productivity persisted, generating habitat conditions and food availability favorable for refuge and stock maintenance (ESPINOZA-MORRIBERON *et al.*, 2021).

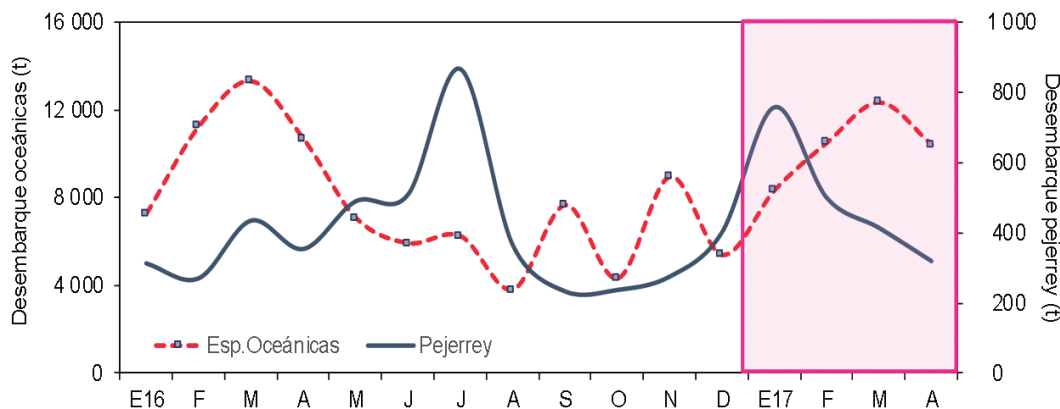


Figura 4.- Desembarques de recursos oceánicos (atunes, bonito y barrilete) y costeros (pejerrey) durante el periodo de enero del 2016 a mayo 2017. Fuente: PRODUCE/IMARPE

Figure 4. Landings of ocean (tuna, bonito, and skipjack) and coastal (silverside) resources between January 2016 and May 2017. Source: PRODUCE/IMARPE

Durante ENC 2017, la proyección de las aguas ecuatoriales y oceánicas hacia la costa se reflejó en la distribución más costera y amplia a lo largo de la costa de *Scomber japonicus* “caballa”, *Sarda chiliensis* “bonito”, *Thunnus albacares* “atún aleta amarilla”, *Xiphias gladius* “pez espada” y *Katsuwonus pelamis* “barrilete”, favoreciendo su disponibilidad a la pesquería. En cambio, algunas especies de aguas frías, como *Odontesthes regia* “pejerrey”, registraron disminución en los desembarques, aunque *Pleuroncodes monodon* “munida”, considerada indicador de aguas costeras frías, continuó extrayéndose frente a la costa sur (ENFEN, 2017) (Fig. 4). En el presente volumen se reporta la presencia de un juvenil de *Coryphaena hippurus* “perico” a 34 mn frente a la costa sur (Punta de Bombón, Arequipa) en febrero 2017, lo cual sugiere que el desove y cría de esta especie en la región habría sido favorecidas por la ocurrencia de ENC 2017 (CAMPOS *et al.*, 2021).

Por otro lado, BARRIGA *et al.* (2021) reportan en este volumen la presencia de *Merluccius gayi peruanus* “merluza” como captura incidental en operaciones de pesca de la flota pesquera artesanal frente a Arequipa entre abril 2016 y julio 2017, es decir entre la fase terminal de EN 2015-16 y la fase post ENC 2017. Cabe indicar, que los registros del 2016 fueron de individuos juveniles de merluza, mientras que los de julio 2017 fueron de individuos adultos en estado avanzado de madurez. Estas observaciones sugieren que ENC 2017 habría favorecido la persistencia de un sector de la población de merluza frente a la costa sur, cuya inmigración se habría producido desde EN 2015-16.

Como se ha mencionado, algunos de los mayores impactos de ENC 2017 se dieron sobre las especies costeras y litorales de la costa norte más expuesta al calentamiento extremo. En el presente volumen, CORREA *et al.* (2021) realizan una descripción detallada de varamientos, floraciones algales nocivas e impactos

During 2017 CEN, the shoreward projection of equatorial and oceanic waters was reflected in the more coastal and wider distribution along the coast of chub mackerel *Scomber japonicus*, eastern Pacific bonito *Sarda chiliensis*, yellowfin tuna *Thunnus albacares*, swordfish *Xiphias gladius*, and skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*, favoring their availability to the fisheries. Instead, some cold-water species, such as Peruvian silverside *Odontesthes regia*, recorded declines in landings, although squat lobster *Pleuroncodes monodon*, which is considered a CCW indicator, continued to be extracted off the southern coast (ENFEN, 2017) (Fig. 4). We report in this volume the presence of a juvenile mahi-mahi *Coryphaena hippurus* at 34 nm off the south coast (Punta de Bombón, Arequipa) in February 2017, thus suggesting that spawning and rearing of this species in the region would have been favored by the occurrence of 2017 CEN (CAMPOS *et al.*, 2021).

Moreover, BARRIGA *et al.* (2021) report the presence of Peruvian hake *Merluccius gayi peruanus* as a bycatch in fishing operations of the artisanal fishing fleet off Arequipa between April 2016 and July 2017, *i.e.*, between the end of EN 2015/16 and the post 2017 CEN phase. It is worth noting that the 2016 records were of juvenile individuals, while those of July 2017 were of adult individuals in an advanced stage of maturity. These observations suggest that 2017 CEN would have favored the persistence of a sector of the Peruvian hake population off the south coast, whose immigration would have occurred since EN 2015/16.

As mentioned, some of the greatest impacts of 2017 CEN were on coastal and littoral species of the northern coast that were most exposed to extreme warming. In this publication, CORREA *et al.* (2021) described in detail strandings, harmful algal blooms, and impacts on key artisanal fishery resources off

en recursos clave de la pesca artesanal frente al litoral de Lambayeque. Destacó el incremento promedio en tres veces de los desembarques, especialmente en el verano en relación con el promedio histórico, de *Mugil cephalus* "lisa", especie cuyo hábitat está asociado a las desembocaduras de los ríos; asimismo los individuos capturados presentaban una composición adulta con tallas superiores al promedio histórico de la zona. En cambio, la especie demersal costera *Cynoscion analis* "cachema" presentó disminución en sus desembarques en el verano y aumento en la proporción de juveniles, mientras que los desembarques de *Scomber japonicus peruanus* "caballa", especie oceánica, superaron al promedio histórico en verano y otoño, para luego caer por debajo de este valor en el resto del año. Las tres especies mostraron además alteraciones en su actividad reproductiva.

Para la zona de Sechura, KLUGER *et al.* (2019) reportaron que en varias localidades la actividad pesquera artesanal se paralizó en febrero y marzo de 2017 debido a los graves daños en la infraestructura por las inundaciones, que afectaron inclusive las vías de comunicación y con ello el acceso a los mercados. La disponibilidad de muchas especies pelágicas y demersales habituales para la pesca artesanal disminuyó, como *Sarda chiliensis* "bonito", *C. analis* "cachema", *Paralanchurus peruanus* "soco", entre otros, mientras que aumentaron las capturas de atunes (*Katsuwonus pelamis* y *Thunnus albacares*) y langostinos (*Penaeus californiensis* y *P. vannamei*). Asimismo, se capturó *M. cephalus* "lisa" en una laguna formada por las grandes lluvias que asolaron la región durante el verano. La composición de la pesca artesanal recién tendió a normalizarse en el segundo semestre del 2017.

2. DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS

Los índices usualmente empleados para cuantificar las anomalías térmicas superficiales, como el ICEN (ENFEN, 2012), ITCP (QUISPE-CALLUARI *et al.*, 2018) y LABCOS (QUISPE y VÁSQUEZ, 2015), cuyas escalas temporal y espacial abarcan varios meses y un área regional como la región Niño 1+2 o la franja costera peruana, no capturaron totalmente la dimensión del evento ENC 2017. Esto se debió a que el máximo calentamiento superficial fue de dos meses y se concentró en una franja marina adyacente a la costa ubicada entre aproximadamente 5°S y 9°S, alcanzando las máximas anomalías diarias, de entre +9 y +10 °C, en Chicama (7°45'S) y Salaverry (8°12'S). Sin embargo, el evento se disipó rápidamente, ya que las ondas Kelvin cálidas tuvieron una magnitud débil y el afloramiento costero se reactivó desde abril, mitigando el calentamiento en la superficie. En la capa subsuperficial, persistieron algunas anomalías cálidas, pero estas también se disi-

the Lambayequean coast. They highlighted the average three-fold increase in landings, especially in the summer compared to the historical average, of flathead mullet *Mugil cephalus*, a species whose habitat is associated with river mouths. Likewise, the individuals caught had an adult composition with sizes greater than the historical average for the area. In contrast, the coastal demersal species Peruvian weakfish *Cynoscion analis* showed a decrease in its landings in the summer and an increase in the number of juveniles, while the landings of chub mackerel *Scomber japonicus peruanus*, an oceanic species, exceeded the historical average in summer and autumn, and then fell below this value during the rest of the year. The three species also showed alterations in their reproductive activity.

For Sechura, KLUGER *et al.* (2019) reported that in several localities artisanal fishing activity was halted in February and March 2017 because of severe damage to infrastructure due to flooding, which even affected communication routes and thus access to markets. The availability of many pelagic and demersal species usual for artisanal fishing decreased, such as eastern Pacific bonito *Sarda chiliensis*, Peruvian weakfish *C. analis*, Peruvian banded croaker *Paralanchurus peruanus*, among others, while catches of tuna (*Katsuwonus pelamis* and *Thunnus albacares*) and prawns (*Penaeus californiensis* and *P. vannamei*) increased. The flathead mullet *M. cephalus* was also caught in a lagoon formed by the heavy rains that hit the region during the summer. The composition of the artisanal fisheries has only tended to normalize during the second half of 2017.

2. DISCUSSION AND PERSPECTIVES

The indexes that are usually employed to quantify surface thermal anomalies, such as ICEN (ENFEN, 2012), ITCP (QUISPE-CALLUARI *et al.*, 2018), and LABCOS (QUISPE & VÁSQUEZ, 2015) and whose spatio-temporal scale span several months and a regional area such as the Niño 1+2 region or the Peruvian coastal strip, did not fully capture the dimension of the 2017 CEN event. This was because the maximum surface warming lasted two months and was concentrated in a coastal marine strip located between approximately 5°S and 9°S, reaching the maximum daily anomalies, of between +9 and +10 °C, at Chicama (7°45'S) and Salaverry (8°12'S). Nonetheless, the event dissipated quickly, as the warm Kelvin waves had a weak magnitude, and the coastal upwelling reactivated in April, mitigating the warming at the surface. In the subsurface layer, some warm anomalies persisted, but these also dissipated due to the propagation of cold Kelvin waves in spring 2017 (Fig. 3).

paron debido a la propagación de ondas Kelvin frías en la primavera de 2017 (Fig. 3).

La corta duración, fuerte intensidad y limitada cobertura de ENC 2017 tanto en la superficie como en la columna de agua, sumados a sus mecanismos de origen y desarrollo, distintos a los de eventos EN, determinaron la magnitud, complejidad y alcance de los impactos biogeoquímicos y ecológicos en la columna de agua y en el sistema bentónico. Por ejemplo, si bien se detectó la intrusión de Aguas Tropicales Superficiales (QUISPE *et al.*, 2021), su advección al sur parece haber sido mucho menor que en los eventos EN extraordinarios (MORÓN, 2012). Esto abre la cuestión del papel de las interacciones locales océano-atmósfera que alimentaron el desarrollo de ENC 2017 sobre los patrones observados de distribución de la salinidad superficial, los cuales tienen consecuencias en la calidad del hábitat para muchas especies del plancton y necton.

Por otro lado, la evidencia reunida por las diferentes contribuciones a este volumen especial indica que en la franja litoral entre Lambayeque y La Libertad se presentó la mayor disminución de la productividad, así como la emigración al sur de la anchoveta y la mortalidad de peces costeros, aves guaneras e invertebrados bentónicos (CORREA *et al.*, 2021). En cambio, de Pisco hacia el sur, en la franja adyacente a la costa, las anomalías cálidas fueron débiles, el afloramiento persistió, se desarrollaron núcleos de alta productividad y la biomasa pesquera se concentró, en parte por el desplazamiento al sur de la anchoveta y en parte por la inmigración de especies de aguas cálidas por la franja oceánica (ENFEN, 2017).

A diferencia de los eventos El Niño fuertes y extraordinarios, la oxigenación de la capa subsuperficial durante ENC 2017 fue débil, debido a la baja intensidad de ondas Kelvin cálidas que se presentaron después de iniciado el calentamiento anómalo (ARAMAYO *et al.*, 2021). Por ello, la oxigenación de origen remoto no tuvo un rol significativo en la sucesión bentónica frente a la costa central. Sin embargo, la estratificación termohalina en algunas áreas de la costa norte, como Sechura, pudo haber amplificado la deficiencia de oxígeno sobre el fondo (CUETO *et al.*, 2021). Este mecanismo debe ser más estudiado, considerando además el posible enriquecimiento orgánico del fondo a causa de la intensa actividad acuícola en el área. Por su parte, debe profundizarse la investigación de los efectos de las descargas de agua dulce y sedimentos sobre el ambiente y comunidades bentónicas de las áreas de influencia, un aspecto que no ha merecido suficiente atención hasta el presente.

The short duration, strong intensity, and limited coverage of 2017 CEN both at the surface and in the water column, coupled with its mechanisms of origin and development, different from those of EN events, determined the magnitude, complexity, and extent of the biogeochemical and ecological impacts on the water column and the benthic system. For example, although the intrusion of Surface Tropical Waters was detected (QUISPE *et al.*, 2021), its advection to the south seems to have been much less than in extraordinary EN events (MORÓN, 2012). This raises the question of the role of local ocean-atmosphere interactions that contributed to the development of 2017 CEN on the observed patterns of surface salinity distribution, which have consequences on habitat quality for many plankton and nekton species.

The evidence gathered by the different contributions to this special volume indicates that the coastal strip between Lambayeque and La Libertad showed the greatest decrease in productivity, as well as the southward migration of anchoveta and the mortality of coastal fish, guano birds, and benthic invertebrates (CORREA *et al.*, 2021). However, from Pisco to the south, in the coastal strip, the warm anomalies were weak, upwelling persisted, high productivity nuclei developed, and the fish biomass was concentrated, partly due to the southward movement of the anchoveta and the immigration of warm-water species through the oceanic strip (ENFEN, 2017).

Unlike strong and extraordinary EN events, oxygenation of the subsurface layer during 2017 CEN was weak, due to the low intensity of warm Kelvin waves and occurred after the anomalous warming began (ARAMAYO *et al.*, 2021). Thus, remote-source oxygenation did not play a significant role in the benthic succession off the central coast. Thermohaline stratification in some areas of the north coast, such as Sechura, may have amplified the oxygen deficiency over the bottom (CUETO *et al.*, 2021). This mechanism should be further studied, including the possible organic enrichment of the bottom due to the intense aquaculture activity in the area. Further research is needed on the effects of freshwater and sediment discharges on the environment and benthic communities in the areas of influence, an aspect that has not received sufficient attention to date.

In a recent study, CHAMORRO *et al.* (2021) forecasted a weakening of up to 30% of southeasterly winds

En un reciente estudio, CHAMORRO *et al.* (2021) proyectaron un debilitamiento en hasta 30% de los vientos del sudeste frente a la costa norte en el verano para fines de siglo XXI respecto a fines del siglo XX, bajo el escenario climático RCP 8.5 (pesimista). Dicho debilitamiento, sumado al calentamiento marino proyectado frente a la costa peruana según diversos estudios climáticos (BROCHIER *et al.*, 2013; ECHEVIN *et al.*, 2020) aumentaría la probabilidad de ocurrencia de eventos El Niño Costero en la región, lo cual es congruente con las predicciones de aumento en la frecuencia e intensidad de olas de calor marinas a nivel global (IPCC, 2019).

Sin embargo, CHAMORRO *et al.* (2021) también proyectaron que el aumento esperado del gradiente térmico norte-sur favorecería la intensificación de los vientos paralelos a la costa, generando posiblemente una retroalimentación negativa del calentamiento. Es de resaltar que durante ENC 2017 se registraron los máximos gradientes térmicos entre Paita y San Juan de Marcona para el verano en al menos 45 años -lo cual habría contribuido a la reactivación del viento y a la rápida declinación del evento-, pero además este pico del gradiente se superpone a una ligera tendencia positiva de largo plazo (Fig. 5). En tal sentido, de continuar las tendencias presentes y los escenarios planteados, podría esperarse una mayor frecuencia de eventos extremos de calentamiento de corta duración, generando consecuencias sobre la biodiversidad y ciclos de vida de la biota bentónica y costera principalmente. En cualquier caso, la ocurrencia de ENC 2017 revela brechas de conocimiento científico aún por superar y lecciones para la gestión que deben ser asimiladas para reducir la vulnerabilidad actual y futura de los ecosistemas marinos-costeros y las actividades pesqueras y acuícolas.

off the north coast in the summer by the end of the 21st century compared to the end of the 20th century, under the RCP 8.5 (pessimistic) climate scenario. This weakening added to the projected marine warming off the Peruvian coast according to various climate studies (BROCHIER *et al.*, 2013; ECHEVIN *et al.*, 2020) would increase the probability of occurrence of CEN events in the region, which is consistent with the forecasts of an increase in the frequency and intensity of marine heatwaves globally (IPCC, 2019).

Nevertheless, CHAMORRO *et al.* (2021) also projected that the expected increase in the north-south thermal gradient would favor the intensification of winds parallel to the coast, thus possibly generating negative feedback on warming. It is noteworthy that during 2017 CEN we recorded the maximum thermal gradients between Paita and San Juan de Marcona for summer in at least 45 years -which would have contributed to the wind reactivation and rapid decline of the event- but also this gradient peak is superimposed on a slight positive long-term tendency (Fig. 5). In this sense, if the present tendencies and the proposed scenarios continue, a greater frequency of extreme warming events of a short duration could be expected, generating consequences mainly on biodiversity and life cycles of benthic and coastal biota. At all events, the occurrence of 2017 CEN reveals that we still have scientific knowledge gaps to overcome and lessons for management that must be assimilated to reduce the current and future vulnerability of marine-coastal ecosystems and fishing and aquaculture activities.

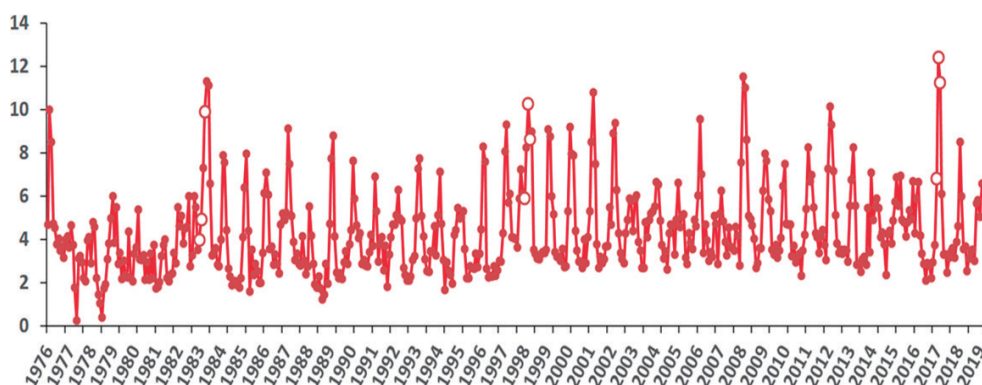


Figura 5.- Serie de tiempo mensual de la diferencia entre la TSM de Paita (5°S) y la TSM de San Juan de Marcona (15°20'S). Los círculos abiertos grandes señalan los meses de enero, febrero y marzo durante los EN extraordinarios 1982-83, 1997-98 y ENC 2017

Figure 5. Monthly time series of the difference between Paita's SST (5°S) and San Juan de Marcona's SST (15°20'S). The large open circles indicate the months of January, February, and March during the extraordinary ENs 1982/83, 1997/98, and 2017 CEN

Agradecimientos

Los editores agradecen a todos los colegas que de manera entusiasta contribuyeron al desarrollo del Taller Científico, en especial a las Dras. Ursula Mendoza, Sandra Cahuín y Cinthia Arellano, quienes apoyaron la organización del evento y a la revisión de los resúmenes alcanzados. Asimismo, se agradece a los Fís. Carlos Romero, Tony Anculle y Katherine Vásquez y a la Blga. Elcira Delgado por aportar con figuras, tablas y observaciones personales.

Acknowledgments

The editors would like to thank all the colleagues who enthusiastically contributed to the development of the Scientific Workshop, especially Dr. Ursula Mendoza, Dr. Sandra Cahuín, and Dr. Cinthia Arellano, who supported the organization of the event and the review of the abstracts. We would also like to thank Phys. Carlos Romero, Tony Anculle, and Katherine Vásquez and to Biol. Elcira Delgado for contributing with figures, tables, and personal observations.

3. 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.
- ARAMAYO, V., ROMERO, D., QUIPÚZCOA L., GRACO, M., MARQUINA, R., SOLÍS J., F. VELAZCO, F. (2021). Respuestas del bentos marino frente a El Niño Costero 2017 en la plataforma continental de Perú central (Callao, 12°S). *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 476 - 509.
- ARNTZ, W. E., GALLARDO V. A., GUTIÉRREZ, D., ISLA, E., LEVIN, L. A., MENDO, J., NEIRA, C., ROWE G. T., TARAZONA J., WOLFF, M. (2006). El Niño and similar perturbation effects on the benthos of the Humboldt, California, and Benguela Current upwelling ecosystems. *Advances in Geosciences*, 6, 243–265.
- BARRIGA, E., CAMPOS, S., RAMOS, E., CHAMBILLA, J., QUIROZ, M. (2021). Distribución de merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg 1954) frente al litoral sur de Perú durante El Niño 2015-2016 y El Niño Costero 2017. *Nota Científica*. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 534 -546.
- BERRÚ, P., PEREA, A. (2019). El Niño costero 2017: Impacto sobre población de *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818) y estructura comunitaria del macrobentos en el banco natural de isla Blanca-ENAPU, Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 369-384.
- BOUCHON, M. (2018). La pesquería de anchoveta en Perú. Universidad de Alicante. Tesis para optar el grado académico de Doctor en ciencias del Mar y Biología Aplicada. España. 131 p.
- BROCHIER, T., ECHEVIN, V., TAM, J., CHAIGNEAU, A., GOUBANOVA, K., BERTRAND, A. (2013). Climate change scenario experiment predict a future reduction in small pelagic fish recruitment in the Humboldt Current system, *Global Change Biol.*, 19, 1841–1853, <https://doi.org/10.1111/gcb.12184>
- CAMPOS, S., BARRIGA, E., CHAMBILLA, J., RAMOS E., QUIROZ, M. (2021). Presencia de juvenil de perico *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 frente a la costa sur de Perú durante El Niño Costero 2017. *Nota Científica*. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 541 - 546.
- CHAMORRO, A., ECHEVIN, V., DUTHEIL, C., TAM, J., GUTIÉRREZ, D., COLAS, F. (2021) Projection of upwelling-favorable winds in the Peruvian upwelling system under the RCP8.5 scenario using a high-resolution regional model. *Climate Dynamics*, 57:1–16, <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05689-w>
- CORREA, D., CASTAÑEDA, J., CASTRO, J., RAMÍREZ, P., DE LA CRUZ, J., BANCES S., TORRES, D. (2021). Impacto de El Niño Costero 2017 sobre el ambiente marino y en recursos pesqueros de mayor importancia en Lambayeque (lisa, cachema y caballa). *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 510 -523.
- CUETO-VEGA, R., FLYE-SAINTE-MARIE, J., AGUIRRE-VELARDE, J., JEAN, F., GIL-KODAKA P., THOUZEAU, G. (2021). Size-based survival of cultured *Argopecten purpuratus* (L, 1819) under severe hypoxia. *J. World Aquac. Soc.* 2021;1–23. DOI: 10.1111/jwas.12777
- 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 Luis Flores*. *Bol Inst Mar Perú*. 34(1): 61-79.
- ECHEVIN V., COLAS, F., ESPINOZA-MORRIBERON, D., VÁSQUEZ, L., ANCULLE T., GUTIÉRREZ, D. (2018). Forcings and Evolution of the 2017 Coastal El Niño Off Northern Peru and Ecuador. *Front. Mar. Sci.* 5:367. doi: 10.3389/fmars.2018.00367
- ECHEVIN, V., GÉVAUDAN, M., ESPINOZA-MORRIBERÓN, D., TAM, J., AUMONT, O., GUTIÉRREZ, D., COLAS, F. (2020). Physical and biogeochemical impacts of RCP8.5 scenario in the Peru upwelling system. *Biogeosciences*, 17, 3317–3341. <https://doi.org/10.5194/bg-17-3317-2020>
- ENFEN, 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. *Nota Técnica ENFEN*. 2 pp. <http://enfen.gob.pe/notas-tecnicas/>
- ENFEN, 2017. Informe Técnico Extraordinario N°001-2017 – El Niño Costero 2017. <http://enfen.gob.pe/download/informe-tecnico-el-nino-costero-2017/>
- ESPINOZA-MORRIBERÓN, D., ECHEVIN, V., 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, afloramiento, productividad y anchoveta. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 329 - 348.
- GALINDO, O., QUISPE, S. (2021). Estimación de la pérdida económica por extracción de semilla de concha de abanico *Argopecten purpuratus* en la Bahía Independencia (14°15'S), durante el período cálido 2015 a 2017. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 524 - 533.

- GARREAU, R. D. (2018). A plausible atmospheric trigger for the 2017 coastal El Niño. *Int. J. Climatol.* doi:10.1002/joc.5426.
- GUTIÉRREZ, D., ARONÉS, K., CHANG, F., QUIPÚZCOA, L., VILLANUEVA, P. (2005). Impacto de la variación oceanográfica estacional e inter-anual sobre los ensambles de microfitoplancton, mesozooplancton, ictioplancton y macrozoobentos de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994 y 2002. *Bol Inst Mar Perú*, 22(1-2).
- GUTIÉRREZ, D., ENRÍQUEZ, E., PURCA, S., QUIPÚZCOA, L., MARQUINA, R., FLORES, G., GRACO, M. (2008). Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response. *Progress in Oceanography*, 79, 177-189
- IMARPE. (2017). Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos Crucero 1703-04. Morro Sama-Los Órganos, 03 de marzo al 17 de abril de 2017, BIC José Olaya Balandra/BIC Luis Flores Portugal/LP IMARPE IV/Lanchas Pesqueras. Instituto del Mar del Perú, 38p. www.imarpe.gob.pe
- IPCC. (2019). Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. <https://www.ipcc.ch/srocc/>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>
- KLUGER, L. C., KOCHALSKI, S., AGUIRRE-VELARDE, A., VIVAR, I., WOLFF, M. (2019). Coping with abrupt environmental change: The impact of the coastal El Niño 2017 on artisanal fisheries and mariculture in North Peru. *ICES J. Mar. Sci.*, 76: 1122-1130. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy171>
- LEDESMA, J., GRACO, M., TAM, J., DÍAZ, K., ANCULLE, T., GARCÍA, W., BERNALES, A., QUISPE, D., ESPINOZA-MORRIBERÓN, D., CARHUAPOMA W., GUTIÉRREZ, D. 2021. Efectos de El Niño Costero 2017 sobre la oxigenación, fertilidad y productividad del mar frente a las costas del Perú. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2), 409 - 426.
- MORÓN, O. 2011. Climatología de la salinidad superficial del mar frente a la costa peruana. 1960-2008. *Inf Inst Mar Perú*, 38(1), 7-39.
- ÑIQUEN M., BOUCHON M., CAHUIN, S., VALDEZ, J. (1999). Efectos del fenómeno "El Niño 1997-98" sobre los principales recursos pelágicos en la costa peruana. En: El Niño 1997-98 y su Impacto sobre los Ecosistemas Marino y Terrestre. J. Tarazona y E. Castillo (Eds.). *Rev. peru. Biol. Vol. Extraordinario*: 85-96.
- ÑIQUEN, M., BOUCHON, M. (2004). Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Research II* 51, 563 - 574.
- PENG, Q., XIE, S -P., WANG, D., ZHENG, X -T., ZHANG, H. (2019). Coupled ocean-atmosphere dynamics of the 2017 extreme coastal El Niño. *Nature Communications*. doi:10.1038/s41467-018-08258-8
- PIETRI, A., COLAS, F., MOGOLLON, R., J. TAM J., D. GUTIERREZ, D. (2021). Marine heatwaves in the Humboldt current system: from 5-day localized warming to year-long El Niño. *Sci Rep* 11, 21172 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00340-4>
- QUISPE, J., VÁSQUEZ, L. (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, 14-18.
- 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.
- QUISPE-CCALLUARI, C., TAM, J., DEMARCO, H., CHAMORRO, A., ESPINOZA-MORRIBERÓN, D., ROMERO, C., DOMINGUEZ, N., RAMOS J., OLIVEROS-RAMOS, R. 2018. An index of coastal thermal effects of El Niño Southern Oscillation on the Peruvian Upwelling Ecosystem. *Int. J. Climatol.*, 1-11. <https://doi.org/10.1002/joc.5493>
- QUISPE-CCALLUARI, C., CHAMORRO, A., ARELLANO, C., TAM, J. (2021). Comparación de ondas de Kelvin ecuatoriales y ondas atrapadas a la costa ocurridas durante El Niño 2015 - 16 y durante El Niño Costero 2017 frente a Perú: simulaciones y observaciones. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 349 - 361.
- SÁNCHEZ, S., DELGADO, E., BERNALES, A., JACOBO, N., FRANCO, A., CORREA, D. 2021. Floraciones algales nocivas en la costa peruana durante El Niño Costero 2017 y su relación con las condiciones ambientales. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 452 - 462.
- TAKAHASHI, K., ALIAGA-NESTARES, V., AVALOS, G., BOUCHON, M., CASTRO, A., CRUZADO, I., DEWITTE, B., GUTIÉRREZ, D., LAVADO-CASIMIRO, W., MARENGO, J., MARTÍNEZ, A., MOSQUERA-VÁSQUEZ, K., QUISPE, N. (2018). The 2017 Coastal El Niño. In: [« State of the Climate in 2017 »]. Jessica Blunden, Derek S. Arndt, Gail Hartfield (eds.). *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (2018) 99 (8): S210-S211. <https://doi.org/10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1>
- TARAZONA, J., PAREDES, C., ROMERO, L., BLASKOVICH, V., GUZMAN, S., SANCHEZ, S. (1985). Características de la vida planctónica y colonización de los organismos bentónicos epilíticos durante el fenómeno El Niño. *Bol Inst Mar Perú*, Volumen Extraordinario, 41-49.
- TARAZONA, J., SALZWEDEL, H., ARNTZ, W. E. (1988). Oscillations of macrobenthos in shallow waters of the Peruvian central coast induced by El Niño 1982-83. *J. Mar. Res.*, 46, 593-611.
- TORRES, D., AYÓN, P., CASTRO, J., QUESQUÉN, R., CORREA, D. (2021). Cambios en la distribución y abundancia de *Centropages brachiatus* (Dana, 1849) entre 2016 y 2017 frente a la costa centro-norte del Perú. *Bol Inst Mar Perú*, 36(2): 463 - 475.
- VALQUI, J., IBAÑEZ-ERQUIAGA, B., PACHECO, A. S., WILBUR, L., OCHOA, D., CARDICH, J., PÉREZ-HUARANGA, M., SALAS-GISMONDI, R., PÉREZ, A., INDACOCHEA, A., AVILA-PELTROCHE, J., RIVERA, M., CARRÉ, M. (2021). Changes in rocky intertidal communities after the 2015 and 2017 El Niño events along the Peruvian coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 250, 107142, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107142>

- VELAZCO, F., MENDOZA U., SOLÍS, J., FERNANDEZ, E., CAQUINEAU, S., SIFEDDINE, A., GRACO, M., BOULOUBASSI, I., TURCQ, B., LEIGH, B., SÓCOLA, M., CARHUAPOMA, W., CARRASCO, E., GUTIÉRREZ, D. (2021). Flujos de material particulado y formación de una lámina de sedimentos en la Plataforma Continental interna frente a Callao durante El Niño Costero 2017. Bol Inst Mar Perú, 36(2): 428 - 451.
- WOLFF, M. (1987). Population dynamics of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* during the El Niño phenomenon of 1983, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 1684–1691.
- ZUZUNAGA, J. (1985). Cambios del equilibrio poblacional entre la anchoveta (*Engraulis ringens*) y la sardina (*Sardinops sagax*) en el sistema de afloramiento frente a Perú. W. Arntz, A. Landa, J. Tarazona (eds). Bol Inst Mar Perú, Vol. Extraordinario. El Niño y su Impacto. 108 - 117.