

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 2



Julio - Diciembre 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

EL INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (IMARPE)

Publicaciones científicas:

BOLETÍN (ISSN 0458-7766) desde 1964.- Es la publicación de rigor científico, que constituye un aporte al mejor conocimiento de los recursos acuáticos, las interacciones entre éstos y su ambiente, y que permite obtener conclusiones preliminares o finales sobre las investigaciones. El BOLETÍN constituye volúmenes y números semestrales, y la referencia a esta publicación es: **Bol Inst Mar Perú**.

INFORME (ISSN 0378 – 7702) desde 1965.- Es la publicación que da a conocer los resultados preliminares o finales de una operación o actividad, programada dentro de un campo específico de la investigación científica y tecnológica y que requiere difusión inmediata. El INFORME ha tenido numeración consecutiva desde 1965 hasta el 2001, con referencia del mes y el año, pero sin reconocer el *Volumen*. A partir del 2004, se consigna el *Volumen 32*, que corresponde al número de años que se viene publicando, y además se anota el fascículo o número trimestral respectivo. La referencia a esta publicación es: **Inf Inst Mar Perú**.

ANUARIO CIENTÍFICO TECNOLÓGICO IMARPE (ISSN 1813-2103) desde 2004.- Es una publicación anual que se considera un RESUMEN DE LOS INFORMES DE LAS DIRECCIONES Y DE LAS SEDES DESCENTRALIZADAS DEL IMARPE durante un año calendario. Estos resultados se editan para su difusión y conocimiento de la comunidad científica y empresarial. La referencia a esta publicación es **Anu cient tecnol IMARPE**, seguida del año. Para el volumen 18 será Anu cient tecnol IMARPE Vol 18, 2019.

The PERUVIAN MARINE RESEARCH INSTITUTE (IMARPE)

Scientific publications:

BOLETÍN (ISSN 0458-7766) (IMARPE BULLETIN).- Published since 1964. This is a strictly scientific journal that provides information as a contribution in the field of aquatic resources and the interactions between these and their environment. It also presents preliminary or final conclusions on these investigations. The BOLETÍN is published and numbered in volumes by semesters, and its reference will be: **Bol Inst Mar Perú**.

INFORME (ISSN 0378-7702) (IMARPE REPORT).- Published since 1965. These journals contain preliminary or final results of research activities within a specific scientific and/or technological field that requires immediate circulation. During 31 years, the INFORME has had consecutive numeration from N° 1 until N° 164, without correspondence between the volume and publication year. Beginning in 2004, quarterly numbers are being published beginning with Volume 32, which corresponds to the number of years since being in print. The reference will be **Inf Inst Mar Peru**.

ANUARIO CIENTÍFICO TECNOLÓGICO IMARPE (ISSN 1813-2103) (IMARPE SCIENTIFIC and TECHNOLOGICAL YEARBOOK).- Published since 2004. This is a yearly Publication edited as a SUMMARY of the REPORTS OF THE DIVISIONS AND OF THE REGIONAL HEADQUARTERS OF THE PERUVIAN MARINE RESEARCH INSTITUTE (IMARPE), published each year, and distributed among the scientific and professional community in general. The reference to this publication will be **Anu cient tecnol IMARPE**, following the year. For volume 18, it will be Anu cient tecnol IMARPE Vol 18, 2019.

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 2



Julio – Diciembre 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

BOLETÍN IMARPE ISSN 0458-7766
Bol Inst Mar Perú Vol. 34 N° 2, Julio - Diciembre 2019



PORTADA: Punta Coles

FOTOGRAFÍA: Ing. Pesq. Beatriz Aragón, IMARPE Ilo

ILUSTRACIÓN: ARTURO SANDOVAL NAVARRO, VIOLETA VALDIVIESO MILLA

© 2019 Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

Esquina Gamarra y General Valle s/n

Casilla postal 22. Callao, Perú

Teléfono 208 8650, Fax: 429.9811

C. electrónico: imarpe@imarpe.gob.pe

Consejo Directivo IMARPE 2019

PRESIDENTE

Valm. AP (r) JAVIER GAVIOLA TEJADA

DIRECTOR EJECUTIVO CIENTÍFICO

Blgo. RENATO GUEVARA CARRASCO

COMITÉ EDITORIAL

Coordinadora

LIC. MIRYAM ARCE VENTOCILLA

Editora

VIOLETA VALDIVIESO MILLA

Co-Editoras

EMIRA ANTONIETTI VILLALOBOS

Diagramación

ARTURO SANDOVAL NAVARRO

COMITÉ EDITOR

Blgo. NIQUEN CARRANZA, Miguel Angel, IMARPE

Blgo. YAMASHIRO GUINOZA, Carmen Rosario, IMARPE

Dr. GUTIERREZ AGUILAR, Dimitri Alexey, IMARPE

Ing. CASTILLO VALDERRAMA, Pedro Ramiro, IMARPE

Blgo. YEPEZ PINILLOS, Victor Eduardo, IMARPE

Indizada en Aquatic Science Fisheries Abstracts (ASFA)

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2013 -19833

Reservados todos los derechos de reproducción, publicación

total o parcial, los de traducción y de la página Web.

Tiraje: 500 ejemplares

Terminado de imprimir: Diciembre 2019

Distribución: canje, suscripción o compra

Inversiones Iakob S.A.C.

Av. Iquitos 1481- La Victoria, Lima-Perú

R.U.C. 20562618008

La información estadística, los mapas, figuras, términos y designaciones empleados en esta publicación científica son referenciales, no tienen valor oficial, y son de completa responsabilidad de los autores.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

BOLETÍN

ISSN 0458-7766

Volumen 34, Número 2 Julio - Diciembre 2019
[Bol Inst Mar Perú 34 (2)]

CONTENIDO

1. **Identificación de genes inmunitarios en *Penaeus vannamei* estimulados con *Ulva lactuca* e infectados con el virus del síndrome de las manchas blancas**
Identification of immune genes in Penaeus vannamei stimulated with Ulva lactuca and infected with white spot syndrome virus
BEDER RAMÍREZ, MERVIN GUEVARA, VANESSA MONTOYA, MARÍA SERNA..... 319
2. **Biodiversidad marina en el norcentro de la costa de Perú: un enfoque para la evaluación de planes de manejo**
Marine biodiversity in the North-central coast of Peru: an approach for the evaluation of management plans
ROBERTO A. URIBE, ÁNGEL PEREA, VÍCTOR GARCÍA, MARIO HUERTO..... 332
3. **Alimentación de krill *Euphausia superba* Dana, 1850. Expedición ANTAR XVII**
Feeding of Antarctic krill Euphausia superba Dana, 1850 ANTAR XVII Expedition
DAVID CASTILLO, PEPE ESPINOZA 351
4. **Dieta de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, 1954) en otoño 2012**
Peruvian hake (Merluccius gayi peruanus Ginsburg, 1954) diet in autumn 2012
DAVID CASTILLO..... 355
5. **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**
El Niño costero 2017: impact on population of Tagelus dombeii (Lamarck, 1818) and community structure of macrobenthos in the Isla Blanca-ENAPU, Peru
PEDRO BERRÚ PAZ, ÁNGEL PEREA DE LA MATTA 369
6. **Corrientes marinas y niveles de oxígeno frente a la costa norte del Perú 2015-2016**
Marine currents and oxygen levels off the northern coast of Peru 2015-2016
ROBERTO FLORES, IVONNE MONTES, LUÍS VÁSQUEZ, JORGE QUISPE, NOEL DOMÍNGUEZ..... 385
7. **Validación de información satelital de temperatura superficial del mar con registros *in situ* dentro de las 60 millas del mar del Perú**
Validation of satellite sea surface temperature information with in situ records within 60 miles of the Peruvian sea
DANIEL QUISPE, DIMITRI GUTIÉRREZ, LUIS VÁSQUEZ..... 392
8. **Calidad del ambiente marino y costero en la Región Áncash, 2018**
Quality of the coastal and marine environment of the Ancash Region, 2018
VÍCTOR GARCÍA NOLAZCO, RITA OROZCO MOREYRA, MIGUEL PEREA DE LA MATTA 406

9. Biodiversidad del microfitoplancton frente a Callao (12°S) <i>Biodiversity of microphytoplankton off Callao (12°S)</i>	
ELCIRA DELGADO LOAYZA	432
10. Volúmenes del zooplancton, distribución y abundancia de ictioplancton, eufáusidos y paralarvas, verano 2018 <i>Zooplankton volumes, distribution, and abundance of ichthyoplankton, euphausiids, and paralarvae, summer 2018</i>	
JONATHAN CORREA, CARMELA NAKAZAKI	456
11. Ictioplancton y eufáusidos frente a la costa peruana durante el Otoño 2015 <i>Ichthyoplankton and euphausiids off the Peruvian coast in autumn 2015</i>	
KATIA ARONÉS FLORES, CARMELA NAKAZAKI	473
12. Biovolúmenes del zooplancton. Distribución y abundancia de eufáusidos e ictioplancton frente a la costa peruana. Otoño 2016 <i>Zooplankton biovolumes. Distribution and abundance of euphausiids and ichthyoplankton off the Peruvian coast. Autumn 2016</i>	
KATIA ARONÉS FLORES, JONATHAN CORREA ACOSTA.....	489
13. Ictioplancton y eufáusidos frente a la costa peruana durante el Otoño 2017 <i>Ichthyoplankton and euphausiids off the Peruvian coast, autumn 2017</i>	
KATIA ARONÉS FLORES, ELDA PINEDO, CARMELA NAKAZAKI	503
14. Análisis de las condiciones oceanográficas y biológicas del afloramiento costero frente a Callao en períodos contrastantes durante el 2018 <i>Analysis of oceanographic and biological conditions of the coastal upwelling off Callao in contrasting periods during 2018</i>	
MICHELLE GRACO, TONY ANCULLE, VICTOR ARAMAYO, AVY BERNALES, WILSON CARHUAPOMA, DAVID CORREA, JUAN CARLOS ERNESTO FERNÁNDEZ, WALTER GARCÍA, JESÚS LEDESMA, ROBERT MARQUINA, LUIS QUIPÚZCOA, DENNIS ROMERO, MIGUEL SARMIENTO, JUANA SOLÍS.....	519
15. Nota científica. Registro de los bivalvos <i>Cyclinella subquadrata</i> (Hanley, 1844) y <i>Raeta undulata</i> (Gould, 1851) en el litoral de la Región Áncash, Perú <i>Register of bivalves Cyclinella subquadrata (Hanley, 1844) and Raeta undulata (Gould, 1851) on the coast of the Ancash Region, Peru</i>	
PEDRO BERRU PAZ, JHONATAN RIOS PEÑA	544
Instrucciones para los autores	556

IDENTIFICACIÓN DE GENES INMUNITARIOS EN *Penaeus vannamei* ESTIMULADOS CON *Ulva lactuca* E INFECTADOS CON EL VIRUS DEL SÍNDROME DE LAS MANCHAS BLANCAS

IDENTIFICATION OF IMMUNE GENES IN *Penaeus vannamei* STIMULATED WITH *Ulva lactuca* AND INFECTED WITH WHITE SPOT SYNDROME VIRUS

Beder Ramírez

Mervin Guevara

Vanessa Montoya

María Serna

RESUMEN

RAMÍREZ B, GUEVARA M, MONTOYA V, SERNA M. 2019. Identificación de genes inmunitarios en *Penaeus vannamei* estimulados con *Ulva lactuca* e infectados con el virus del síndrome de las manchas blancas. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 319-331.- El Virus del síndrome de las manchas blancas (VSMB) es uno de los principales patógenos que afecta al cultivo de langostinos. Una estrategia eficaz para reducir el impacto de esta infección es fortalecer la respuesta inmunitaria en langostinos administrando compuestos inmunoestimulantes. En este trabajo se identificó los genes inmunitarios de *Penaeus vannamei* que son estimulados por la inclusión en su dieta de harina de *Ulva lactuca*. Durante 21 días se alimentaron ejemplares de 7,25 ±0,87 g y 11,33 ±0,89 g con alimento balanceado comercial y, suplementado con 8% y 15% de harina de *U. lactuca*. Los langostinos fueron expuestos, mediante *Per os*, al VSMB. Se evaluó la supervivencia por un periodo de 10 días post-infección. Además, en los ejemplares de 11,33 ±89 g se evaluó la expresión de genes inmunitarios a las 0 h y 72 h post-infección mediante PCR en tiempo real. La supervivencia en ambos grupos de edad varió entre 25% y 37,5% en langostinos alimentados con las dietas suplementadas, en cambio el grupo que recibió solo la dieta comercial varió entre 6,25% y 12,5%. Se identificaron 3 genes (Stylicin, Crustin, Mas) cuya expresión disminuye (Tukey, $P < 0,05$) en el grupo de langostinos infectados que fueron alimentados solo con balanceado, mientras que los langostinos alimentados con balanceado y harina de *U. lactuca* se mantienen en forma similar a ejemplares sanos. Estos resultados demuestran que *U. lactuca* presenta compuestos inmunoestimulantes que permiten mejorar la supervivencia de *P. vannamei* frente a la infección por el VSMB.

PALABRAS CLAVE: PCR en tiempo real, expresión de genes, inmunoestimulantes

ABSTRACT

RAMÍREZ B, GUEVARA M, MONTOYA V, SERNA M. 2019. Identification of immune genes in *Penaeus vannamei* stimulated with *Ulva lactuca* and infected with white spot syndrome virus. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 319-331.- White Spot Syndrome Virus (WSSV) is one of the main pathogens affecting shrimp culture. An effective strategy to reduce the impact of this infection is to strengthen the immune response in shrimp by administering immunostimulant compounds. In this work, the immune genes of *Penaeus vannamei* that are stimulated by the inclusion of *Ulva lactuca* flour. During 21 days, specimens of 7.25 ±0.87 g and 11.33 ±0.89 g were fed with commercially balanced feed and supplemented with 8% and 15% of *U. lactuca* flour. The shrimps were exposed, through *Per os*, to the WSSV. Survival was evaluated for a period of 10 days post-infection. In addition, in specimens of 11.33 ±89 g, the gene expression at 0 h and 72 h post-infection was evaluated by real-time PCR. Survival in both age groups varied between 25% and 37.5% in shrimps fed with supplemented diets, whereas the group that received only the commercial diet varied between 6.25% and 12.5%. Three genes were identified (Stylicin, Crustin, Mas) whose expression decreases (Tukey, $P < 0.05$) in the group of infected shrimps that were fed only with balanced feed, while the shrimps fed with balanced feed and *U. lactuca* flour are maintained in a similar way to healthy specimens. These results demonstrate that *U. lactuca* presents immunostimulant compounds that allow improving the survival of *P. vannamei* against WSSV infection.

KEYWORDS: real-time PCR, gene expression, immunostimulants

1. INTRODUCCIÓN

El langostino blanco (*Penaeus vannamei* Boone, 1931) es una de las principales especies de crustáceos tropicales que se cultiva a nivel mundial. En Perú, su producción ha tenido una tendencia creciente durante los últimos años, pasando de 9.257 toneladas en 2006 a 22.183 toneladas en el año 2015 (PRODUCE, 2016). Este crecimiento se debe, principalmente, a una mayor disposición de áreas para la producción, así como a mejoras tecnológicas adoptadas que permiten incrementar los rendimientos productivos (DÍAZ, 2008).

1. INTRODUCTION

The whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei* Boone, 1931) is one of the main tropical crustacean species cultivated worldwide. In Peru, its production has increased from 9,257 tons in 2006 to 22,183 tons in 2015 (PRODUCE, 2016), mainly due to the greater availability of areas for production, as well as technological improvements that allow increasing productive yields (DÍAZ, 2008).

1 IMARPE, Laboratorio Costero de Tumbes, Zorritos, Perú, bramirez@imarpe.gob.pe

Estas mejoras también se han visto reflejadas en el aspecto sanitario con la reducción de la incidencia de la enfermedad causada por el virus del síndrome de las manchas blancas (VSMB), que del 2000 al 2001 estuvo a punto de hacer colapsar la industria (QUISPE y BERGER, 2005). Sin embargo, frecuentemente aún aparecen brotes de la enfermedad en algunos campos de cultivo. Si bien, los brotes son controlados por las medidas de bioseguridad implementadas, todavía afectan a la rentabilidad del sistema productivo.

La infección recurrente por el VSMB es favorecida debido a la presencia de múltiples factores que dificultan la erradicación de la enfermedad. Se ha detectado que los langostinos silvestres de áreas naturales adyacentes a los campos de cultivo, son portadores asintomáticos del VSMB (ALFARO, GUEVARA y GONZALES, 2010). Además este virus tiene alta virulencia (CHANG, 1996) y capacidad de infectar un amplio rango de especies que pueden albergar y propagar la enfermedad (DE LA PEÑA *et al.*, 2007). Estos factores en condiciones de estrés ambientales generan el desarrollo de la enfermedad (JHA *et al.*, 2016).

Una estrategia para reducir el impacto de las infecciones con el VSMB que está dando buenos resultados es el potenciamiento de la respuesta inmune en langostinos mediante la inmunoestimulación (CITARASU *et al.*, 2006; BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2008; TREJO-FLORES *et al.*, 2016). Así mismo, se ha señalado que una de las fuentes importantes de compuestos inmunoestimulantes son las algas marinas como *Ulva lactuca* que posee polisacáridos con propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiviral e inmunomodulador (DECLARADOR *et al.*, 2014; YU-QUING *et al.*, 2016).

Al igual que otros invertebrados, en langostinos el sistema inmune depende exclusivamente de una respuesta innata para defenderse de patógenos invasores (SONG & LI, 2014). Esta respuesta involucra procesos de fagocitosis, nodulación, encapsulación y comunicación a nivel celular (LIU *et al.*, 2005; ZHANG, SHAO & HO, 2006) y procesos de coagulación de hemolinfa, sistema de prophenoloxidasa (proPO), péptidos antimicrobianos, (AMPs), sintasa de óxido nítrico inducible (iNOS), proteínas inhibitoras y factores tipo citoquinas a nivel humoral (LI & XIANG, 2012; QIAO *et al.*, 2015).

La regulación de todo este sistema inmunitario puede ser activado y modulado a nivel genético (WANG *et al.*, 2007) permitiendo su estudio mediante el análisis de la expresión de genes relacionados con

Such improvements also resulted in a decrease in the incidence of disease caused by the White Spot Syndrome Virus (WSSV), which from 2000 to 2001 nearly caused the industry to collapse (QUISPE & BERGER, 2005). On the other hand, outbreaks of the disease still frequently occur in some crop fields. While biosecurity measures are implemented to control outbreaks, they continue to undermine the profitability of the production system.

The presence of multiple factors hindering the eradication of the disease has contributed to recurrent WSSV infection. Wild prawns from natural areas adjacent to crop fields have been found to be asymptomatic carriers of WSSV (ALFARO, GUEVARA, & GONZALES, 2010). In addition, this virus is highly virulent (CHANG, 1996) and capable of infecting a wide range of species that can host and spread the disease (DE LA PEÑA *et al.*, 2007). These factors in conditions of environmental stress generate the development of the disease (JHA *et al.*, 2016).

Boosting the immune response in shrimp through immunostimulation is a promising strategy to reduce the impact of WSSV infections (CITARASU *et al.*, 2006; BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2008; TREJO-FLORES *et al.*, 2016). Moreover, marine algae such as *Ulva lactuca*, which has polysaccharides with antioxidant, antimicrobial, antiviral, and immunomodulatory properties, are one of the important sources of immunostimulant compounds (DECLARADOR *et al.*, 2014; YU-QUING *et al.*, 2016).

In shrimps, the immune system depends exclusively on an innate response to defend against invading pathogens; this process is similar to that in other invertebrates (SONG & LI, 2014). This response involves processes of phagocytosis, nodulation, encapsulation, and communication at the cell level (LIU *et al.*, 2005; ZHANG, SHAO & HO, 2006) and processes of hemolymph coagulation, prophenoloxidase system (proPO), antimicrobial peptides, (AMPs), inducible nitric oxide synthase (iNOS), inhibitory proteins, and cytokine-like factors at the humoral level (LI & XIANG, 2012; QIAO *et al.*, 2015).

Genetic regulation of this entire immune system can be activated and modulated (WANG *et al.*, 2007) thus enabling its study by analyzing the

el sistema inmunológico (Liu *et al.*, 2005). En este sentido la presente investigación buscó identificar los genes inmunitarios que pueden ser estimulados con una dieta que incluye harina de *U. lactuca* en su composición.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención de muestras de *Ulva lactuca*

Una muestra de aproximadamente 5 kg de *U. lactuca* fue recolectada en el noroeste de Perú, en la bahía de Puerto Pizarro, Región Tumbes (Fig. 1) durante el periodo de marea seca del mes de mayo. La muestra fue lavada con agua marina del mismo medio y transportada al Laboratorio para su procesamiento.

gene expression related to the immune system (Liu *et al.*, 2005). Therefore, this research was aimed at identifying the immune genes that can be stimulated with a diet that includes *U. lactuca* flour in its composition.

2. MATERIAL AND METHODS

Sampling of *Ulva lactuca*

During the dry tide period (May), a sample of approximately 5 kg of *U. lactuca* was collected in northwestern Peru, in the Puerto Pizarro Bay, Tumbes Region (Fig. 1). The sample was washed with seawater from the same source and transported to the laboratory for processing.



Figura 1.- Ubicación de la zona de recolección de *Ulva lactuca*

Figure 1. Location of the *Ulva lactuca* collection area

Preparación de dietas

Las dietas fueron elaboradas utilizando un alimento balanceado comercial para engorde de langostinos de 35% de proteína (Marca Balnova, Ecuador) suplementado con diferentes concentraciones (0, 5, 8, 10, 12 y 15%) de harina de la macroalga *Ulva lactuca* y ligante Pegabinf-uf (Marca Lander Vaker) en concentraciones de 0% y 0,25%. La macroalga fue secada por 4 días a temperatura ambiente bajo sombra y finalmente secada en una estufa a 80 °C por 24 horas. El alimento balanceado y la macroalga seca fueron molidos, por separado, en forma de harina y mezclados junto con el ligante de acuerdo a la concentración requerida. A la mezcla generada se agregó agua destilada [proporción 8 a 1 de volumen

Diet preparation

The diets were prepared by using a commercial balanced feed for fattening shrimps of 35% protein (Balnova brand, Ecuador) supplemented with different concentrations (0, 5, 8, 10, 12, and 15%) of *Ulva lactuca* flour and Pegabinf-uf binder (Lander Vaker brand) in concentrations of 0% and 0.25%. The macroalgae were dried for 4 days at room temperature under shade and finally dried in an oven at 80 °C for 24 hours. The balanced feed and dried macroalgae were ground separately into flour and mixed together with the binder according to the required concentration. Distilled water was added to the generated mixture [ratio 8 to 1 of water volume

de agua (mL) y peso de alimento (g)] a temperatura de ebullición y se mezcló hasta formar una pasta para luego ser peletizado con una jeringa de 50 mL (Fig. 2). Se evaluó su estabilidad en agua marina hasta por 24 horas y la palatabilidad de todas las dietas elaboradas, en langostinos de 7 ± 1 g. De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionaron las dietas de 0%, 8% y 15% de suplementación de harina de *U. lactuca* para evaluar el efecto estimulador de genes inmunitarios en *P. vannamei*. Estas muestras seleccionadas, así como la harina de macroalga fueron analizadas para determinar su composición proximal y de ácidos grasos, con apoyo del Laboratorio de Análisis Instrumental de la sede central del IMARPE.

Cultivo e infección experimental con el VSMB

Se realizaron 2 ensayos de cultivo e infección experimental con langostinos (*P. vannamei*) sanos de $7,25 \pm 0,87$ g y $11,33 \pm 0,89$ g que fueron negativos por PCR anidada para el VSMB.

(mL) and feed weight (g)] at boiling temperature and mixed to form a paste to be pelletized with a 50 mL syringe (Fig. 2). Its stability in seawater for up to 24 hours and the palatability of all processed diets were evaluated in shrimps of 7 ± 1 g. According to the results obtained, diets of 0%, 8%, and 15% of *U. lactuca* flour supplementation were selected to evaluate the stimulating effect of immune genes in *P. vannamei*. These selected samples, as well as the macroalga flour, were analyzed to determine their proximal and fatty acid composition, with the support of the Instrumental Analysis Laboratory of the IMARPE headquarters.

Culture and experimental infection with WSSV

Two trials of culture and experimental infection with healthy shrimps (*P. vannamei*) of 7.25 ± 0.87 g and 11.33 ± 0.89 g were carried out, their results were negative for PCR nested for WSSV.



Figura 2.- Peletización de dietas suplementadas con harina de *U. lactuca* para *P. vannamei*

Figure 2. Pelletization of diets supplemented with *U. lactuca* flour for *P. vannamei*

En cada experimento se utilizaron 16 langostinos por tratamiento, los que fueron mantenidos por 21 días en peceras de vidrio (4 langostinos por pecera) con 45 L de agua marina a 33 g/L de salinidad, 25 ± 1 °C de temperatura y aireación constante. Antes de iniciar con la aplicación de los tratamientos los ejemplares fueron aclimatados durante una semana en condiciones de laboratorio.

Durante el periodo de cultivo experimental los langostinos fueron alimentados con las 3 dietas seleccionadas [0% (Tratamiento control), 8% (Tratamiento 1) y 15% (Tratamiento 2)]. Para la infección con el VSMB, en lugar de la dieta establecida se alimentó con 2 g de músculo homogenizado de langostinos positivos para el VSMB (donado por el Centro de Investigación y desarrollo de post-larvas de *Penaeus vannamei*- Marinasol). En los 2 ensayos realizados se evaluó el crecimiento de los langostinos y la supervivencia frente al VSMB. Mientras que los análisis de expresión de genes inmunitarios fue realizado con muestras obtenidas solo del ensayo con langostinos de $11,33 \pm 0,89$ g.

Extracción de ARN

El ARN fue extraído de hemocitos de una muestra de hemolinfa obtenida a las 0 y 72 horas utilizando el kit comercial *QIAmp RNA Mini Kit* (Marca Qiagen). Se recuperó 200 µL de hemolinfa del seno ventral con jeringas estériles de 1 mL provistas con 200 µL de solución anticoagulante Alsever que contiene 27 mM Citrato de Sodio (Marca Merck), 33 mM NaCl (Marca Merck), 115 mM glucosa (Marca Merck), 9 mM EDTA (Marca Applichem), pH 4,6 a 28 °C (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2008). La centrifugación de la hemolinfa fue a 800 g por 10 min a 4 °C (RUBIO-CASTRO *et al.*, 2016) se eliminó el sobrenadante y los hemocitos fueron re-suspendidos en 600 µL de una solución que contiene *buffer RLT Plus* del Kit de extracción de ARN y β -mercaptoetanol (Marca Applichem) al 0,1% para continuar con el proceso de extracción de ARN de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del kit. La concentración y pureza del ARN total se determinó midiendo la absorbancia a 260/280 nm en un espectrofotómetro Nanodrop (Marca, Thermo scientific).

Síntesis de ADN complementario (ADNc)

Para la síntesis del ADNc se realizó una mezcla inicial utilizando 2 µL del ARN extraído (25 ug/µL), 1 µL de dNTPs (10 mM, marca GeneOn), 1 µL de oligo dT₁₅ (0,5 ug/ µL, marca GeneOn), y 10,5 µL

In each experiment, a total of 16 shrimps per treatment were used, which were kept for 21 days in glass aquariums (4 shrimps per aquarium) with 45 L of seawater at 33 g/L of salinity, 25 ± 1 °C of temperature, and constant aeration. The specimens were acclimatized for one week under laboratory conditions before starting with the application of the treatments.

During the experimental culture period, the shrimps were fed with the 3 selected diets [0% (Control treatment), 8% (Treatment 1), and 15% (Treatment 2)]. For infection with WSSV, instead of the established diet, they were fed with 2 g of the homogenized shrimp's muscle positive to WSSV (donated by the *Penaeus vannamei*-Marinasol Post-Larvae Research and Development Center). Shrimp growth and survival against WSSV were evaluated in the 2 trials conducted. While the analysis of immune gene expression was performed with samples obtained only from the trial with shrimps of 11.33 ± 0.89 g.

RNA extraction

RNA was extracted from hemocytes belonging to a hemolymph sample obtained at 0 and 72 hours by using the commercial *QIAmp RNA Mini Kit* (Qiagen brand). A total of 200 µL of ventral sinus hemolymph was recovered with sterile 1 mL syringes provided with 200 µL of Alsever anticoagulant solution containing 27 mM Sodium Citrate (Merck brand), 33 mM NaCl (Merck brand), 115 mM glucose (Merck brand), 9 mM EDTA (Applichem brand), pH 4.6 at 28 °C (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2008). The hemolymph centrifugation was at 800 g for 10 min at 4 °C (RUBIO-CASTRO *et al.*, 2016) the supernatant was removed and the hemocytes were re-suspended in 600 µL of a solution containing RLT Plus buffer from the RNA and β -mercaptoethanol extraction kit (Applichem brand) at 0.1% to continue the RNA extraction process according to the kit manufacturer's recommendations. The concentration and purity of total RNA were determined by measuring absorbance at 260/280 nm in a Nanodrop spectrophotometer (Thermo scientific brand).

Complementary DNA Synthesis (cDNA)

For cDNA synthesis, an initial mixture was made using 2 µL of extracted RNA (25 ug/µL), 1 µL of dNTPs (10 mM, GeneOn brand), 1 µL of dT15 oligo (0.5 ug/ µL, GeneOn brand), and 10.5 µL of

de agua libre de nucleasa tratada con DEPC (Marca Ambion) y se incubó a 70 °C por 5 minutos. Después de este periodo se agregaron los reactivos del kit *RevertAid Reverse transcriptase* (Marca Thermo Scientific) constituidos por 4 µL de solución *buffer* (5X), 0,5 µL de inhibidor de ARNasa *Ribolock* (20 U) y 1 µL de transcriptasa reversa *RevertAid* (200U), se incubó a 42 °C por 60 min y se detuvo la reacción por calentamiento a 70 °C por 10 min. El ADNc sintetizado fue conservado a -20 °C hasta su uso en la PCR.

Análisis de expresión de genes por PCR en tiempo real

Los ensayos fueron desarrollados en el equipo *QuantStudio 5 real time PCR system* (Marca Thermo Fisher Scientific) en placas de 96 pocillos con un volumen de reacción final de 20 µL, conteniendo 10 µL de *PowerUp SYBR Green Master Mix* (Marca Applied Biosystems), 1 µL de cada iniciador (Sentido y antisentido, a una concentración de 2,5 µM, Marca Biobasic Inc), 7 µL de agua libre de nucleasa (Marca Ambion) y 1 µL de ADNc.

Se realizó un análisis preliminar de la expresión de 25 genes relacionados con el sistema inmunitario de langostinos utilizando iniciadores específicos y normalizados contra la expresión del gen factor de elongación (*efa*) como gen de referencia. Estos análisis fueron realizados utilizando solo una muestra de cada tratamiento.

De este ensayo se seleccionaron 4 genes (*Stylicin*, *Crustin*, *IMD*, *Mas*) que mostraron diferencia del valor de ciclo umbral (C_T) entre las muestras de 0 horas y 72 post-infección y se realizó un segundo ensayo de PCR en tiempo real por triplicado para cada tratamiento. La expresión relativa de cada gen frente al gen de referencia *efa* fue determinado por el método $2^{-\Delta\Delta CT}$ (LIVAK *et al.*, 2001).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de crecimiento y de expresión relativa de los genes *Stylicin*, *Crustin*, *IMD* y *Mas*, fueron procesados con el programa estadístico SPSS 24.0 para determinar diferencias significativas entre cada tratamiento. Los análisis fueron realizados aplicando análisis de varianza (ANOVA) y el test de Tukey con $P < 0,05$.

nuclease-free water treated with DEPC (Ambion brand) and incubated at 70 °C for 5 minutes. After this period, the reagents of the *RevertAid Reverse transcriptase kit* (Thermo Scientific brand) were added, consisting of 4 µL of buffer solution (5X), 0.5 µL of *Ribolock* RNAase inhibitor (20 U) and 1 µL of *RevertAid* reverse transcriptase (200U), incubated at 42 °C for 60 min and the reaction was stopped by heating at 70 °C for 10 min. The synthesized cDNA was stored at -20 °C until use in PCR.

Real-time PCR gene expression analysis

The trials were developed in the *QuantStudio 5* real-time PCR system (Thermo Fisher Scientific brand) in 96-well plates with a final reaction volume of 20 µL, containing 10 µL of *PowerUp SYBR Green Master Mix* (Applied Biosystems brand), 1 µL of each initiator (Sense and antisense, at a concentration of 2.5 µM, Biobasic brand Inc), 7 µL of nuclease-free water (Ambion brand) and 1 µL of cDNA.

A preliminary analysis of the expression of 25 genes related to the shrimp immune system was performed by using specific and normalized initiators against the expression of the elongation factor gene (*efa*) as the reference gene. These analyses were performed using only one sample of each treatment.

A total of 4 genes (*Stylicin*, *Crustin*, *IMD*, *Mas*) were selected from this trial and they showed a difference in the cycle threshold value (CT) between the 0-hour and 72-hour post-infection samples, and a second real-time PCR test was performed in triplicate for each treatment. The relative expression of each gene versus the *efa* reference gene was determined by the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method (LIVAK *et al.*, 2001).

Statistical analysis

The growth and relative expression data of the *Stylicin*, *Crustin*, *IMD*, and *Mas* genes were processed with the SPSS 24.0 statistical software to determine significant differences between each treatment. Analyses were performed using analysis of variance -ANOVA- and the Tukey test ($P < 0.05$).

3. RESULTADOS

Las dietas formuladas que utilizaron 0,25% de ligante tuvieron estabilidad de 100%. En las dietas que no utilizaron ligante, se observó 100% de estabilidad en los tratamientos de 0%, 5% y 8% mientras que los tratamientos de 10%, 12% y 15% presentaron estabilidad aproximada de $85 \pm 5\%$. Los langostinos evaluados tuvieron un comportamiento de respuesta similar frente al alimento balanceado comercial (control) así como a todas las dietas formuladas, no viéndose afectada la palatabilidad del alimento mediante la suplementación con harina de *U. lactuca*.

Los análisis proximales de los insumos y las dietas preparadas mostraron que los componentes nutricionales (lípidos, carbohidratos y proteínas) de la harina de *U. lactuca* así como de las dietas formuladas son inferiores al alimento balanceado (Tabla 1).

El alimento balanceado mostró una composición de hasta 8 ácidos grasos, los que también estuvieron presentes en las dietas formuladas, pero en cantidad ligeramente inferior. De estos 8 ácidos grasos, 4 también estuvieron presentes en la harina de *U. lactuca* (Tabla 2).

3. RESULTS

Formulated diets using 0.25% binder had 100% stability. In the diets that did not use a binder, 100% stability was observed in the 0%, 5%, and 8% treatments while the 10%, 12%, and 15% treatments presented stability of approximately $85 \pm 5\%$. The evaluated shrimps had a similar response behavior to commercial balanced feed (control) as well as to all formulated diets, and the palatability of the feed was not affected by supplementation with *U. lactuca* flour.

Proximal analyses of inputs and prepared diets showed that the nutritional components (lipids, carbohydrates, and proteins) of *U. lactuca* flour, as well as formulated diets, are inferior to balanced feed (Table 1).

The balanced feed showed a composition of up to 8 fatty acids, which were also present in the formulated diets, but in a slightly lower amount. Only 4 of these 8 fatty acids were also present in *U. lactuca* flour (Table 2).

Tabla 1.- Composición proximal de las dietas utilizadas en cada tratamiento

Table 1. Proximal composition of diets used in each treatment

Código de Muestra Sample Code	Humedad Moisture (%)	Lípidos Lipids (%)	Cenizas Ashes (%)	Carbohidratos Carbohydrates (%)	Proteínas Proteins (%)
Ha-U	12,91 ± 0,00	0,84 ± 0,17	31,68 ± 2,03	15,97 ± 1,06	14,65 ± 0,81
AABB	9,86 ± 0,57	5,94 ± 0,19	7,83 ± 0,35	31,1 ± 1,91	27,29 ± 0,31
AABB + 8% Ha-U	10,66 ± 0,73	4,75 ± 0,27	11,70 ± 0,06	27,94 ± 0,85	24,15 ± 1,63
AABB + 15% Ha-U	10,62 ± 0,33	4,35 ± 0,14	11,89 ± 0,18	26,08 ± 1,11	23,99 ± 0,15

Tabla 2.- Composición de ácidos grasos de las dietas utilizadas en cada tratamiento

Table 2. Fatty acid composition of the diets used in each treatment

Ácidos grasos Fatty acids	Ha-U (mg/g)	AABB + 0% Ha-U (mg/g)	AABB + 8% Ha-U (mg/g)	AABB + 15% Ha-U (mg/g)
C 16:0	0,19 ± 0,08	9,44 ± 0,19	8,60 ± 0,53	7,66 ± 0,07
C 16:1n-7	0,03 ± 0,01	1,00 ± 0,00	0,83 ± 0,09	0,76 ± 0,02
C 18:0	ND	2,37 ± 0,03	2,09 ± 0,10	1,83 ± 0,04
C 18:1n-7	0,06 ± 0,02	0,78 ± 0,00	0,68 ± 0,06	0,62 ± 0,01
C 18:1n-9	0,02 ± 0,02	9,82 ± 0,04	7,91 ± 0,69	7,10 ± 0,04
C 18:2n-6	ND	17,59 ± 0,08	11,51 ± 1,87	10,62 ± 0,14
C 18:3n-3	ND	1,76 ± 0,01	1,05 ± 0,20	0,98 ± 0,02
C 22:6n-3 (DHA)	ND	1,01 ± 0,02	0,48 ± 0,11	0,45 ± 0,00

El cultivo experimental en ambos ensayos (langostinos de 7,25 y 11,33 gramos) mostró que el crecimiento es mayor con la dieta elaborada solo con alimento balanceado (0% de harina de *U. lactuca*), disminuyendo con el aumento de porcentaje de suplementación con harina de *U. lactuca* (Tabla 3).

En cambio el factor de conversión alimenticio (FCA) es menor en el grupo de langostinos alimentados con la dieta elaborada solo con alimento balanceado (0% de harina de *U. lactuca*) y es mayor en la medida que aumenta el porcentaje de suplementación con harina de *U. lactuca* (Tabla 3).

The experimental culture in both trials (shrimps of 7.25 and 11.33 grams) showed that the growth is greater with the diet elaborated only with balanced feed (0% of *U. lactuca* flour), decreasing with the increase in the percentage of supplementation with *U. lactuca* flour (Table 3).

On the other hand, the feed conversion factor (FCF) is lower in shrimps fed with the diet elaborated only with balanced feed (0% of *U. lactuca* flour) and is higher as the percentage of supplementation with *U. lactuca* flour increases (Table 3).

Tabla 3.- Crecimiento y FCA de *P. vannamei* de 21 días de cultivo experimental con las dietas elaboradas
 Table 3. Growth and FCF of *P. vannamei* after 21 days of experimental culture with processed diets

Tratamiento Treatment	Langostinos de 7,25 g Shrimps of 7.25 g		Langostinos de 11,33 g Shrimps of 11.33 g	
	Crecimiento Growth (g)	FCA FCF	Crecimiento Growth (g)	FCA FCF
AABB (T0)	2,75 ± 0,50	2,25 ± 0,49	2,50 ± 0,58	2,86 ± 0,67
AABB + 8% Ha-U (T1)	2,50 ± 0,58	2,50 ± 0,56	2,25 ± 0,50	3,20 ± 0,67
AABB + 15% Ha-U (T2)	2,00 ± 0,00	3,00 ± 0,18	1,50 ± 0,58	4,35 ± 1,17

En la prueba de desafío experimental con el VSMB se observó (Fig. 3) que los langostinos de 7,25 y 11,33 gramos presentan mayor supervivencia cuando son alimentados con dietas suplementadas con 8% y 15% de harina de *U. lactuca*.

El análisis mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$) de los datos de CT obtenidos por PCR en tiempo real de las muestras antes del desafío con el VSMB (0 h), mostraron que los langostinos alimentados con balanceado suplementado con 15% de harina de *U.*

Greater survival was observed in the experimental challenge test with the WSSV (Fig. 3) when shrimps of 7.25 and 11.33 grams were fed with diets supplemented with 8% and 15% of *U. lactuca* flour.

The analysis by Tukey's test ($P < 0.05$) of the CT data obtained by real-time PCR of the samples before the challenge with the WSSV (0 h), showed that the shrimps fed with balanced supplemented feed with 15% of *U. lactuca* flour presents higher

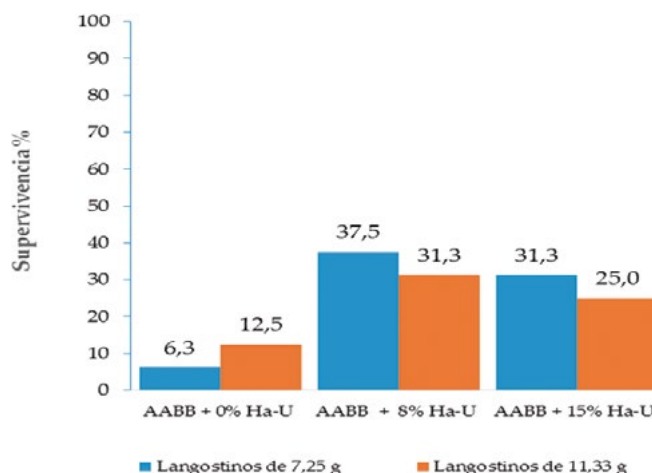


Figura 3.- Supervivencia de *P. vannamei* alimentados con las dietas elaboradas y desafiados con el Virus del síndrome de las manchas blancas

Figure 3. Survival of *P. vannamei* fed on elaborated diets and challenged with the White Spot Syndrome Virus

lactuca presenta mayor nivel de expresión del gen Stylicin en comparación con los otros tratamientos (Fig. 4A).

La expresión del gen Crustin no varió significativamente entre cada tratamiento (Fig. 4B), mientras que el gen IMD redujo su expresión frente al tratamiento con 0% de harina de *U. lactuca* (Fig. 4C). La expresión del gen Mas fue superior en el tratamiento que contenía 8% de harina de *U. lactuca* (Fig. 4D). 72 h post-infección con WSSV, la Stylicin, Crustin y Mas genes expression in shrimps that did not receive *U. lactuca* flour in their diet is lower as compared to those that received 8% and 15% of *U. lactuca* flour (Fig. 4A, B, D) while the IMD gene expression in the 3 treatments had no statistical difference (4C).

level of Stylicin gene expression when compared to the other treatments (Fig. 4A).

The Crustin gene expression did not vary significantly between treatments (Fig. 4B), while the IMD gene reduced its expression with the 0% *U. lactuca* flour treatment (Fig. 4C). The Mas gene expression was higher in the treatment containing 8% of *U. lactuca* flour (Fig. 4D). 72 h post-infection with WSSV, the Stylicin, Crustin, and Mas genes expression in shrimps that did not receive *U. lactuca* flour in their diet is lower as compared to those that received 8% and 15% of *U. lactuca* flour (Fig. 4A, B, D) while the IMD gene expression in the 3 treatments had no statistical difference (4C).

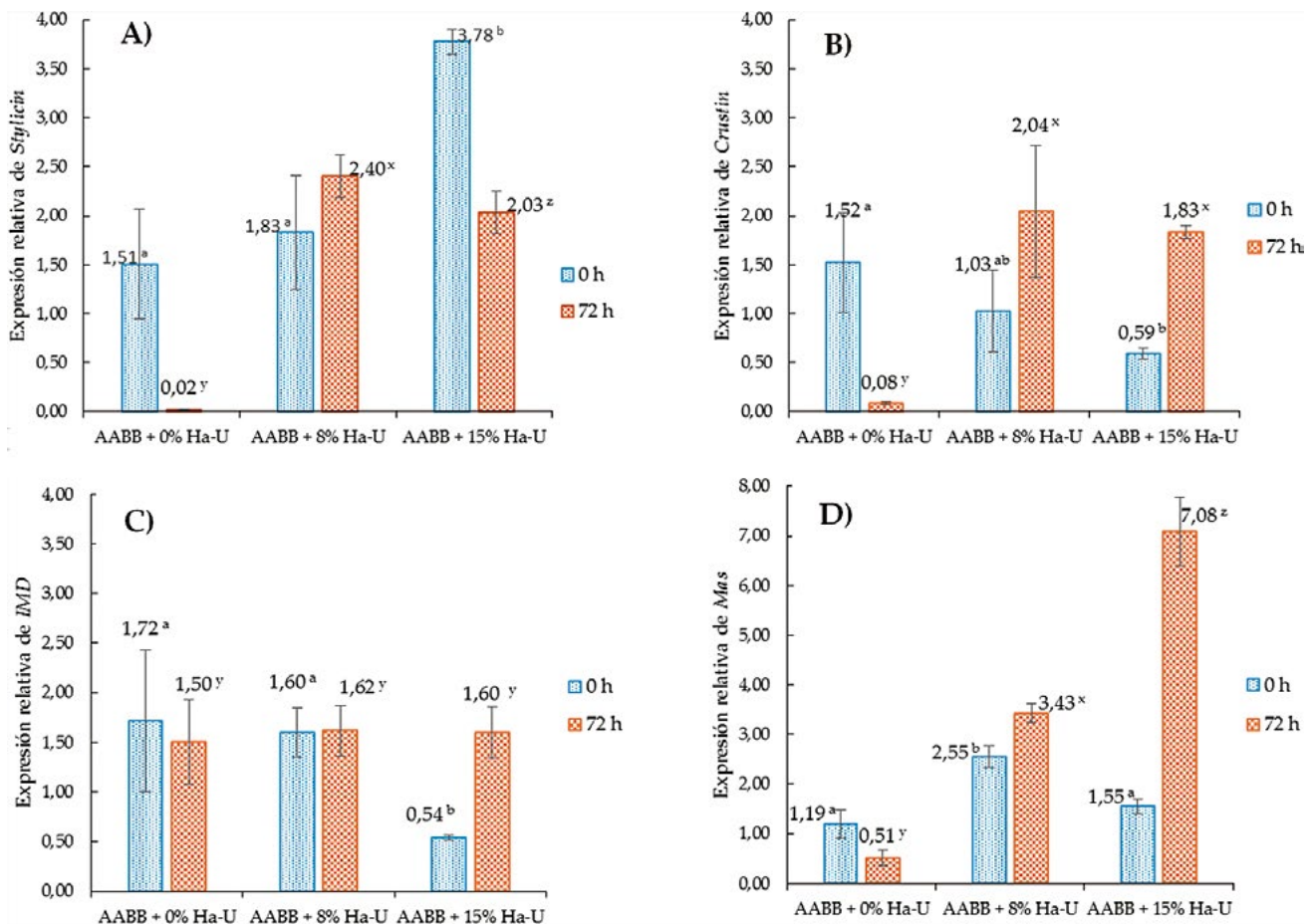


Figura 4.- Expresión relativa de genes inmunitarios en hemocitos de *P. vannamei* alimentados con diferentes dietas y desafiados con el VSMB. A) gen Stylicin. B) gen Crustin. C) gen IMD, D) gen Mas. AABB + 0% Ha-U, AABB + 8% Ha-U y AABB + 15% Ha-U: Tratamientos alimentados con balanceado suplementado con 0%, 8% y 15% de harina de *U. lactuca*. 0 h y 72 h: Muestras analizadas a las 0 horas y 72 horas del desafío con VSMB. Columna en barras muestra el promedio y la desviación estándar (n=3). Letras diferentes para cada serie (0 h y 72 h) indican diferencia significativa ($P < 0,005$) de acuerdo a la prueba de Tukey

Figure 4. Relative expression of immune genes in hemocytes of *P. vannamei* fed with different diets and challenged with WSSV. A) Stylicin gene. B) Crustin gene. C) IMD gene, D) Mas gene. AABB + 0% Ha-U, AABB + 8% Ha-U and AABB + 15% Ha-U: Treatments fed with supplemented balance feed with 0%, 8% and 15% of *U. lactuca* flour. 0 h and 72 h: Samples analyzed at 0 hours and 72 hours after the challenge with WSSV. Bar column shows mean and standard deviation (n = 3). Different letters for each series (0 h and 72 h) indicate significant difference ($P < 0.005$) according to the Tukey test

4. DISCUSIÓN

Diversas investigaciones han demostrado que la administración de compuestos inmunoestimulantes en *Penaeus vannamei* es una estrategia efectiva para disminuir el impacto de las infecciones causadas por el Virus del síndrome de las manchas blancas (VSMB) (CITARASU *et al.*, 2006; BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2008; DECLARADOR *et al.*, 2014; TREJO-FLORES *et al.*, 2016). Esto ha sido corroborado en el presente trabajo utilizando harina de *U. lactuca* como suplemento en la dieta alimenticia de *P. vannamei*.

Con estas dietas se logró mejorar la supervivencia (Fig. 3) y estimulación de la expresión de los genes inmunitarios Stylicin, Crustin y Mas (Fig. 4A, B, C) cuando los langostinos son desafiados experimentalmente con el VSMB. Los productos de los 2 primeros genes mencionados son péptidos antimicrobianos (AMP) ricos en cisteína (GONCALVES *et al.*, 2014)), mientras que el producto del gen Mas es una serina proteasa tipo mascarada (QIAO *et al.*, 2015).

Los AMPs son el mayor componente de la defensa inmune innata y tienen un efecto antimicrobial contra un amplio rango de microorganismos, incluidos bacterias, levaduras, hongos y virus envueltos (ROSA & BARRACO, 2010).

Diferentes investigaciones en *P. vannamei* han reportado que los cambios en la expresión de los AMPs, Stylicin y Crustin varían de acuerdo al tipo de patógeno, GONCALVES *et al.* (2014) encontraron que la expresión de estos AMPs disminuye cuando los langostinos son expuestos a una dosis letal del hongo *Fusarium solani* pero no muestra variación significativa cuando se expone a la dosis letal con el VMB.

Sin embargo, en nuestra investigación la expresión del ARNm de ambos AMPs disminuye notablemente a 72 h post-infección con el VMB en langostinos alimentados solo con balanceado comercial, pero se mantiene estable cuando se agrega harina de *U. lactuca* a la dieta.

La baja expresión de Crustin también ha sido observado por OKAMURA (2007) después de desafiar a *P. vannamei* con lipopolisacáridos (LPS). De igual manera esta disminución también se ha observado con la exposición a *Vibrio alginolyticus* (VARGAS-ALBORES *et al.*, 2004). La disminución en los niveles de ARNm de Stylicin y Crustin en los langostinos que no recibieron harina de *U. lactuca* podría estar relacionada con el deterioro de la respuesta inmune de estos langostinos (reacciones celulares y humorales) y/o la producción de hemocitos y la maduración por los tejidos hematopoyéticos, tal

4. DISCUSSION

Research has shown that the administration of immunostimulant compounds in *Penaeus vannamei* is an effective strategy to decrease the impact of infections caused by the White Spot Syndrome Virus (WSSV) (CITARASU *et al.*, 2006; BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2008; DECLARADOR *et al.*, 2014; TREJO-FLORES *et al.*, 2016). This has been corroborated in the present work by using *U. lactuca* flour as a supplement in the *P. vannamei* diet.

Survival (Fig. 3) and stimulation of the Stylicin, Crustin, and Mas immune genes expression (Fig. 4A, B, C) of shrimps experimentally challenged with WSSV were improved with these diets. The products of the first 2 mentioned genes are antimicrobial peptides (AMP) rich in cysteine (GONCALVES *et al.*, 2014), while the product of the Mas gene is a masked serine protease type (QIAO *et al.*, 2015).

AMPs are the main component of innate immune defense and have an antimicrobial effect against a wide range of microorganisms, including bacteria, yeasts, fungi, and enveloped viruses (ROSA & BARRACO, 2010).

Different researches on *P. vannamei* have reported that changes in the expression of AMPs, Stylicin, and Crustin vary according to the type of pathogen. GONCALVES *et al.* (2014) found that the expression of these AMPs decreases when shrimps are exposed to a lethal dose of the fungus *Fusarium solani* but does not show a significant variation when exposed to lethal dose with WSSV.

Nevertheless, in our investigation, the expression of the mRNA of both AMPs decreases notably to 72 h post-infection with WSSV in shrimps fed only with commercially balanced feed but remains stable when *U. lactuca* flour is added to the diet.

The low expression of Crustin has also been observed by OKAMURA (2007) after challenging *P. vannamei* with lipopolysaccharides (LPS). This decrease has also been observed with exposure to *Vibrio alginolyticus* (VARGAS-ALBORES *et al.*, 2004). The decrease in Stylicin and Crustin mRNA levels in shrimps that did not receive *U. lactuca* flour could be related to the deterioration of

como lo sugiere GONCALVES *et al.*, (2014) para los AMPs en general, no obstante son favorecidos con la suplementación de *U. lactuca* en su dieta.

Las serinas proteasas tipo mascaradas (Mas) están relacionadas con el control de la melanización mediante la regulación de la cascada de activación de profenol-oxidasa (proPO) (QIAO *et al.*, 2015) y del sistema fenol-oxidasa (PO) (JEARAPHUNT *et al.*, 2015). En esta investigación se determinó que la expresión del gen Mas es mucho mayor en langostinos alimentados con una dieta suplementada con harina de *U. lactuca* en comparación con la dieta comercial (Fig. 4D).

Sin embargo, en langostinos más pequeños (1,5 ±0,2 g) y mantenidos a mayor temperatura (27-29 °C) QIAO *et al.*, (2015) observaron que los niveles de expresión en langostinos inyectados con el VSMB también incrementan su nivel de expresión luego de las 48 y 72 horas a pesar que en su experimento solo alimentaron con un balanceado comercial. El contraste de los resultados entre estos experimentos hace sugerir que la regulación positiva del gen Mas está ordenado por otros factores además de la incorporación de harina de *U. lactuca* en su dieta.

El favorecimiento de la respuesta inmunitaria de *P. vannamei* con la alimentación de dietas suplementadas con *U. lactuca* también se corrobora con el mayor nivel de supervivencia obtenida (de 25% a 37%) en los desafíos experimentales con el VSMB (Fig. 2) hasta 10 días después de la infección. Estos resultados fueron similares al 20% de supervivencia obtenido por DECLARADOR *et al.* (2014) cuando desafiaron con el VMB a langostinos (*P. monodon*) alimentados con una dieta que contenía *Ulvan* purificado (1 g/kg de alimento) en comparación al grupo control que tuvo 100% de mortalidad. Sin embargo, son inferiores al 77% de supervivencia reportado por TAKAHASHI *et al.* (1998) al administrar fucoidan semi-puro de la macroalga *Cladosiphon okamuranus* (60 a 100 mg/kg de alimento) en *Penaeus japonicus*.

En contraste a los resultados de estimulación de genes inmunitarios en *P. vannamei*, los rendimientos de crecimiento son inferiores a lo alcanzado por el tratamiento que utiliza solo balanceado comercial (Tabla 3). Resultados similares fueron reportados por RODRÍGUEZ-GONZALES *et al.* (2014) al utilizar un porcentaje de inclusión de harina de *U. lactuca* de 10% y 15% en dietas para juveniles de *P. vannamei* reduciendo notablemente su crecimiento, mientras que la inclusión de 5% no presentó diferencia significativa con la dieta comercial. Del mismo modo

their immune response (cellular and humoral reactions) and/or the production of hemocytes and maturation by hematopoietic tissues, as suggested by GONCALVES *et al.*, (2014) for AMPs in general, however they are favored with the supplementation of *U. lactuca* in their diet.

Masked protease serins (Mas) are related to the control of melanization by regulating the activation cascade of prophenoloxidase (proPO) (QIAO *et al.*, 2015) and the phenoloxidase system (PO) (JEARAPHUNT *et al.*, 2015). Herein, it was determined that the Mas gene expression is much higher in shrimps fed with a diet supplemented with *U. lactuca* flour in comparison with the commercial diet (Fig. 4D).

Nonetheless, in smaller shrimps (1.5 ±0.2 g) which were kept at a higher temperature (27-29 °C) QIAO *et al.*, (2015) observed that the expression levels in shrimps injected with WSSV also increased their expression level after 48 and 72 hours despite the fact that in their experiment they only were fed with a commercially balanced diet. The contrast of the results between these experiments suggests that the positive regulation of the Mas gene is ordered by other factors besides the incorporation of *U. lactuca* flour in their diet.

The favoring of the immune response of *P. vannamei* fed with diets supplemented with *U. lactuca* is also corroborated with the higher survival level obtained (from 25% to 37%) in the experimental challenges with WSSV (Fig. 2) until 10 days post-infection. These results were similar to the 20% survival obtained by DECLARADOR *et al.* (2014) when they challenged shrimps (*P. monodon*) that were fed with a diet containing purified *Ulvan* (1 g/kg of food) with WSSV versus the control group that had a mortality of 100%. Nevertheless, they are lower than the 77% survival reported by TAKAHASHI *et al.* (1998) when administering semi-pure fucoidan from the macroalgae *Cladosiphon okamuranus* (60 to 100 mg/kg of food) in *Penaeus japonicus*.

Unlike the results of immune gene stimulation in *P. vannamei*, growth yields are lower than those achieved by the treatment using only commercially balanced feed (Table 3). Similar results were reported by RODRÍGUEZ-GONZALES *et al.* (2014) when using an inclusion percentage of *U. lactuca* flour of 10% and 15% in diets for

SERRANO *et al.* (2015) reportan reducción significativa del crecimiento de *P. monodon* al utilizar 15% y 30% de harina de *U. lactuca* en la dieta.

El crecimiento inferior obtenido en los tratamientos que contenían *U. lactuca* se debería a la dilución que experimentan los nutrientes del alimento balanceado al incorporar directamente la harina de *U. lactuca* ya que ésta presenta una composición de nutrientes menor a la encontrada en el alimento balanceado (Tablas 1 y 2). Además, la harina de *U. lactuca* tiene un elevado nivel de cenizas ($31,68\% \pm 2,03$) incrementando su composición en la dietas, de acuerdo a YANG *et al.* (2009) un alto contenido de ceniza disminuye la digestibilidad del alimento.

Los resultados encontrados en este trabajo demuestran que *U. lactuca* presenta compuestos inmunoestimulantes que permiten mejorar la supervivencia de *P. vannamei* frente a la infección por el VSMB así como la expresión de los genes Stylicin, Crustin y Mas. Sin embargo, es necesario desarrollar nuevas estrategias para incorporar los compuestos inmunoestimulante purificados para no incrementar el contenido de cenizas propias de la harina de *U. lactuca* en la Sdieta de los langostinos el cual podría estar interfiriendo en el crecimiento de éstos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección General de Investigaciones Acuícolas del IMARPE por el financiamiento de este proyecto. Así mismo, al Laboratorio de Análisis Instrumental de la sede central del IMARPE por los análisis proximales realizados a las dietas y al Centro de Investigación y desarrollo de post-larvas de *Penaeus vannamei*-Marinasol por la donación de músculo de *P. vannamei* positivo al VSMB.

juveniles' *P. vannamei* significantly reducing their growth, while the inclusion of 5% did not present significant difference with the commercial diet. Similarly, SERRANO *et al.* (2015) report a significant reduction of *P. monodon* growth by using 15% and 30% of *U. lactuca* flour in the diet.

The lower growth obtained in treatments containing *U. lactuca* is attributable to the dilution experienced by the nutrients of the balanced feed by directly incorporating the *U. lactuca* flour as it has a lower nutrient composition than that found in the balanced feed (Tables 1 and 2). Moreover, *U. lactuca* flour has a high ash level ($31.68\% \pm 2.03$) increasing its composition in diets; according to YANG *et al.* (2009), high ash content decreases the digestibility of the feed.

The results found in this work show that *U. lactuca* presents immunostimulant compounds that improve the survival of *P. vannamei* against WSSV infection as well as the Stylicin, Crustin, and Mas gene expression. New strategies need to be developed to incorporate the purified immunostimulant compounds so as not to increase the ash content of *U. lactuca* flour in the shrimp diet, which could be interfering in the growth of the shrimp.

Acknowledgments

The authors thank the IMARPE's Directorate-General of Aquaculture Research for funding this project. Likewise, to the Instrumental Analysis Laboratory at IMARPE headquarters for the proximal analyses performed on diets and to the *Penaeus vannamei*-Marinasol Post-larvae Research and Development Center for the donation of *P. vannamei* muscle positive to WSSV.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ALFARO R, GUEVARA M, GONZALES I. 2010. Prevalencia y distribución de los principales agentes etiológicos que afectan a los langostinos silvestres en Tumbes, Perú. *Rev. peru. biol.* 17(3): 359 - 364.
- BALASUBRAMANIAN G, SARATHI M, VENKATESAN C, JOHN THOMOS D, SAHUL-HAMEED A S. 2008. Oral administration of antiviral plant extract of *Cynodon dactylon* on a large scale production against white spot syndrome virus (WSSV) in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*. 279: 2 - 5.
- ROSA R, BARRACO M. 2010. Antimicrobial peptides in crustaceans. *ISJ*. 7: 262 - 284.
- CHANG P, LO C, WANG Y, KOU G. 1996. Identification of white spot syndrome associated baculovirus ŽWSBV target organs in the shrimp *Penaeus monodon* by *in situ* hybridization. *Dis. Aquat. Org.* 27: 131 - 139.
- CITARASU T, SIVARAM V, GRASIAN I, ROUT N, MURUGAN V. 2006. Influence of selected Indian immunostimulant herbs against white spot syndrome virus (WSSV) infection in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* with reference to haematological, biochemical and immunological changes. *Fish & Shellfish Immunology*. 21: 372 - 384.
- DECLARADOR R, SERRANO J, CORRE L. 2014. Ulvan extract acts as immunostimulant against white spot syndrome virus (WSSV) in juvenile black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *AACL Bioflux*. 7(3): 153 - 161.
- DE LA PEÑA L, LAVILLA-PITOGO C, VILLAR C, PANER M, SOMBITO CH, CAPULOS. 2007. Prevalence of white spot syndrome virus (WSSV) in wild shrimp *Penaeus monodon* in the Philippines. *Dis. Aquat. Org.* 77: 175 - 179.
- DÍAZ M. 2008. Modelo biológico, económico y social del cultivo de *Litopenaeus vannamei* (langostino) en el departamento de Tumbes, Perú 1998-2007. Tesis

- para optar el grado de doctor en ciencias biológicas. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Pp: 11 - 46.
- GONCALVES P, GUERTLER C, BACHERE E, DE SOUZA C, ROSA R, PERAZZOLO L. 2014. Molecular signatures at imminent death: Hemocyte gene expression profiling of shrimp succumbing to viral and fungal infections. *Developmental and Comparative Immunology*. 42: 294 - 301.
- JEARAPHUNT M, AMPARYUP P, SANGSURIYA P, CHAROENSAPSRI W, SENAPIN S, TASSANAKAJON A. 2015. Shrimp Serine Proteinase Homologues PmMasSPH-1 and -2 Play a Role in the Activation of the Prophenoloxidase System. *Plos One*. 20 pp.
- JHA R K, BABIKIAN Y H, BABIKIAN H Y, WISOYO S D, ASIH Y, *et al.* 2016. Effectiveness of Natural Herbal Oil Formulation against White Spot Syndrome Virus in *Penaeus vannamei*. *J. Pharmacogn Nat. Prod.* 2: 123.
- LI F, XIANG J. 2012. Signaling pathways regulating innate immune responses in shrimp. *Fish & Shellfish Immunol.* 34(4): 973 - 980.
- LIU H, PENG H, CHENG Y, YUAN H, YANG-YEN H. 2005. Stabilization and enhancement of the antiapoptotic activity of mcl-1 by TCTP. *Mol. Cell. Biol.* 25: 3117 - 3126.
- LIVAK K J, SCHMITTGEN T D. 2001. Analysis of relative gene expression data using real time quantitative PCR and the 2^{-ΔΔCT} method. *Methods*. 25: 402e8.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (PRODUCE). 2016. Anuario estadístico pesquero y acuícola. Dirección General de políticas y desarrollo pesquero del Ministerio de la Producción. Perú.
- OKAMURA T. 2007. Effects of lipopolysaccharide on gene expression of antimicrobial peptides (penaeidins and crustin), serine proteinase and prophenoloxidase in haemocytes of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish Shellfish Immunol.* 22: 68 - 76.
- QIAO G, XU D, WANG Z, JANG I, ZHITAO Q, ZHANG M, KIM S. 2015. Comparison of immune response of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, after multiple and single infections with WSSV and *Vibrio anguillarum*. *Fish & Shellfish Immunology*. 44: 257 - 264.
- QUISPE M, BERGER C. 2005. Evolución de los cultivos intensivos de camarones peneidos (*Litopenaeus vannamei*) en Perú. *Boletín Nicovita*. 1 - 7 pp.
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ H, ORDUÑA-ROJAS J, VILLALOBOS-MEDINA J P, GARCÍA-ULLOA M, POLANCO-TORRES A, LÓPEZ-ÁLVAREZ E, *et al.* 2014. Partial inclusion of *Ulva lactuca* and *Gracilaria parvispora* meal in balanced diets for white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *J. Appl. Phycol.* 26: 2453 - 2459.
- RUBIO-CASTRO A, LUNA-GONZÁLES A, ALVÁREZ-RUIZ P, ESCAMILLA-MONTES R, FIERRO-CORONADO J, LÓPEZ-LEÓN P, *et al.* 2016. Survival and immune-related gene expression in *Litopenaeus vannamei* co-infected with WSSV and *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture*. 464: 692 - 698.
- SERRANO A, SANTIZO R, TUMBOKON B. 2015. Potential use of the sea lettuce *Ulva lactuca* replacing soybean meal in the diet of the black tiger shrimp *Penaeus monodon* juvenile. *Int. J. Bioflux Soc.* 8: 245 - 252.
- SONG Y, LI C. 2014. Shrimp immune system-special focus on penaeidin. *Journal of Marine Science and Technology*. 22(1): 1 - 8.
- TAKAHASHI Y, UEHRA K, WATANABE R, OKUMURA T, YAMASHITA T, OMURA H, *et al.* 1998. Efficacy of oral administration of fucoidan, a sulphated polysaccharide, in controlling white spot syndrome in kumura shrimp in Japan. En: *Advances in shrimp biotechnology*. Ed. Flegel T. national Center for Genetic Engineering and Biotechnology. 171 - 173 pp.
- TREJO-FLORES V, LUNA-GONZÁLEZ A, ÁLVAREZ-RUIZ P, ESCAMILLA-MONTES R, PERAZA-GÓMEZ V, DIARTE-PLATA G, *et al.* 2016. Protective effect of *Aloe vera* in *Litopenaeus vannamei* challenged with *Vibrio parahaemolyticus* and white spot syndrome virus. *Aquaculture*. 465: 60 - 64.
- VARGAS-ALBORES F, YEPIZ-PLASCENCIA G, JIMÉNEZ-VEGA F, AVILA-VILLA A. 2004. Structural and functional differences of *Litopenaeus vannamei* crustins. *Comp. Biochem. Physiol.* 138: 415 - 22.
- WANG Y C, CHANG P S, CHEN H Y. 2007. Tissue expressions of nine genes important to immune defense of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish Shellfish Immunol.* 23: 1161 - 1177.
- YANG Q, ZHOU X, ZHOU Q, TAN B, CHI S, DONG X. 2009. Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei* Boone. *Aquac. Res.* 41: 78 - 86.
- YU-QUING T, MAHMOOD K, SHEHZADI R, FURQAN M. 2016. *Ulva lactuca* and its polysaccharides: Food and biomedical aspect. *Journal of Biology Agriculture and Healthcare*. 6(1): 140 - 151.
- ZHANG Z, SHAO M, KANG H. 2006. Classification of haematopoietic cells and haemocytes in Chinese prawn *Fenneropenaeus chinensis*. *Fish Shellfish Immunol.* 21: 159 - 169.

BIODIVERSIDAD MARINA EN EL NORCENTRO DE LA COSTA DE PERÚ: UN ENFOQUE PARA LA EVALUACIÓN DE PLANES DE MANEJO

MARINE BIODIVERSITY IN THE NORTH-CENTRAL COAST OF PERU: AN APPROACH FOR THE EVALUATION OF MANAGEMENT PLANS

Roberto A. Uribe

Ángel Perea

Victor García²Mario Huerto²

RESUMEN

URIBE R, PEREA A, GARCÍA V, HUERTO M. 2019. *Biodiversidad marina en el norcentro de la costa de Perú: un enfoque para la evaluación de planes de manejo*. Bol Inst Mar Perú. 34(2): 332-350.- Se muestra la situación de la biodiversidad marina en bahía Los Chimus e islas La Viuda y Tortuga y se discute su aplicación como una estrategia de evaluación de planes de manejo. El estudio se llevó a cabo en bahía Los Chimus, donde se realizaron muestreos por triplicado (n= 3) tomando en cuenta ocho estaciones equidistantes distribuidas en toda la bahía, en las que se recolectaron muestras de sedimento, con una draga van Veen, para el registro de organismos del macrobentos. En cada isla se determinaron cuatro estaciones en transectas paralelas a la línea de costa, para recolectar organismos del megabentos, se efectuaron tres muestreos mediante buceo, además de registros audiovisuales. En cada punto de muestreo se realizaron registros de profundidad, temperatura, salinidad y oxígeno. Los resultados muestran que los mayores valores de densidad, biomasa y diversidad de organismos asociados al bentos se encuentran fuera de las áreas donde actualmente se realiza cultivo suspendido de *Argopecten purpuratus* (L.). Esto podría indicar que las actividades humanas son un factor determinante en el declive de los parámetros comunitarios dentro de la bahía Los Chimus. Sin embargo, se requiere información histórica para determinar la relación entre factores de origen humano y la dinámica de la comunidad bentónica. En este sentido, se recomienda que los estudios de la biodiversidad marina sean integrados como parte de los planes de manejo de zonas costeras.

PALABRAS CLAVE: actividades acuícolas, Los Chimus, macrobentos, megabentos, pesquería artesanal

ABSTRACT

URIBE R, PEREA A, GARCÍA V, HUERTO M. 2019. *Marine biodiversity in the north-central coast of Peru: an approach for the evaluation of management plans*. Bol Inst Mar Peru. 34(2): 332-350.- The status of marine biodiversity in Los Chimus Bay and La Viuda and Tortuga Islands is shown and its application is discussed as a management plan evaluation strategy. The study was carried out in Los Chimus Bay, where samples were taken in triplicate (n=3) by considering eight equidistant stations distributed throughout the bay, in which sediment samples were collected, with a van Veen dredge, for the recording of macrobenthos organisms. On each island, four transect stations were determined parallel to the coastline, to collect organisms from the megabenthos, three samples were taken by diving, and audiovisual records. Depth, temperature, salinity, and oxygen were recorded at each sampling point. The results show that the highest values of density, biomass, and diversity of organisms associated with benthos are outside the areas where the suspended culture of *Argopecten purpuratus* (L.) is currently carried out. This could indicate that anthropogenic activities are a determining factor in the decline of community parameters within Los Chimus Bay. However, historical information is required to determine the relationship between human factors and benthic community dynamics. In this regard, it is recommended that marine biodiversity studies be integrated as part of coastal zone management plans.

KEYWORDS: aquaculture activities, Los Chimus, macrobenthos, megabenthos, artisanal fisheries

1. INTRODUCCIÓN

En el Pacífico sureste, el ciclo de El Niño-Oscilación del Sur es uno de los principales conductores termales que impacta los ecosistemas costeros en un amplio rango de intensidades operando a diferentes escalas (THIEL *et al.*, 2007). Zonas bentónicas hipóxicas y cambios en los sedimentos y niveles de temperatura, resultado de las oscilaciones periódicas de este ciclo, causan la proliferación, colonización y/o invasión de algunas especies, mientras que otras migran o mueren (PACHECO *et al.*, 2012; ESCRIBANO *et al.*, 2004; TARAZONA *et al.*, 1988).

1. INTRODUCTION

The El Niño-Southern Oscillation cycle (ENSO) is one of the main thermal conductors impacting coastal ecosystems at a wide range of intensities operating at different scales in the southeastern Pacific (THIEL *et al.*, 2007). Hypoxic benthic zones and changes in sediments and temperature levels, resulting from the periodic oscillations of this cycle, cause the proliferation, colonization, and/or invasion of some species, while others migrate or die (PACHECO *et al.*, 2012; ESCRIBANO *et al.*, 2004; TARAZONA *et al.*, 1988).

1 IMARPE, Laboratorio Costero de Huanchaco, Av. La Ribera 805, Trujillo, La Libertad. ruribe@imarpe.gob.pe

2 Laboratorio Costero de Chimbote, Prolongación Los Pinos s/n, Nueva Caleta, Chimbote, Áncash

A diferencia del impacto generado por oscilaciones en las condiciones oceanográficas (*e. g.*, ciclo El Niño) o biológico (*e. g.*, proliferaciones algales tóxicas) donde el sistema se logra recuperar, el impacto generado por la actividad humana, podría cambiar totalmente el escenario, de tal forma, que los sistemas marinos no se recuperen o tarden mucho tiempo en hacerlo (RIASCOS *et al.*, 2016). Esta problemática, principalmente de origen antrópico, conlleva a la modificación del hábitat y la extinción local temporal y/o definitiva de muchos organismos considerados recursos y otros sin fines comerciales, causando daños severos en la salud del ecosistema y biodiversidad marina; por lo que es importante conocer la biodiversidad local antes que el escenario sea drásticamente alterado.

Diversos estudios han demostrado que la pérdida de diversidad biológica es, a menudo, debido a múltiples causas ambientales. Sin embargo, la extrapolación de estos resultados a actuales escenarios donde el impacto humano (*e. g.*, pesquerías) son cada vez mayores, sigue siendo polémico debido a la dificultad en la simulación de la complejidad de los ecosistemas naturales. A partir de una amplia gama de disturbios relacionados a actividades humanas en las costas, la pesquería de organismos bentónicos (*i.e.*, pesca de arrastre, dragados, rastrillados, succión) puede ser el mayor impacto de amplio espectro sobre los fondos marinos. El efecto de estas perturbaciones incluye destrucción física de la morfología del suelo, resuspensión del sedimento, modificaciones químicas del medio, eliminación o dispersión de especies no recurso, mortalidad post-pesca y, como consecuencia, el sistema es llevado a un estado alternativo inducido.

Actuales estrategias a nivel global para reducir estos efectos y proteger la diversidad biológica han sido focalizadas en la modificación de los artes de pesca, la interacción de estas pesquerías en zonas vulnerables y, últimamente, el diseño e implementación de áreas marinas protegidas, basados en estudios previos con carácter científico. En este sentido, surge la necesidad de contar con líneas de investigación dedicadas al constante monitoreo y análisis de los cambios que afectan la diversidad biológica y las comunidades bentónicas a lo largo de cada región. Este es el caso de bahía Los Chimus, la cual ha sido caracterizada por presentar altos niveles de extracción y desembarque de recursos marinos (artesanales) y por tener los mayores bancos naturales de diversos invertebrados marinos en la región (GARCÍA, 2016). En la actualidad, bahía Los Chimus presenta alta presión por parte del cultivo suspendido del

The impact generated by anthropogenic activities could completely change the scenario so that marine systems do not recover or take a long time to do so; this is different from the impact generated by oscillations in oceanographic (*e.g.*, El Niño cycle) or biological (*e.g.*, harmful algal blooms) conditions where the system is able to recover (RIASCOS *et al.*, 2016). This problem, mainly of human origin, leads to habitat modification and the temporary and/or definitive local extinction of many organisms considered resources and others without commercial purposes, causing severe damage to the health of the ecosystem and marine biodiversity; so it is important to know the local biodiversity before the scenario is drastically altered.

Several studies have shown that biodiversity loss is often due to multiple environmental causes. However, extrapolation of these results to current scenarios where human impact (*e.g.*, fisheries) is increasing remains controversial given the difficulty in simulating the complexity of natural ecosystems. From a wide range of disturbances related to anthropogenic activities on the coasts, the fisheries for benthic organisms (*e.g.*, trawling, dredging, raking, pumping) may be the largest broad-spectrum impact on the seabed. The effect of these disturbances includes physical destruction of soil morphology, resuspension of sediment, chemical modifications of the environment, elimination or dispersal of non-resource species, post-fishing mortality, and, as a consequence, the system is brought to an induced alternative state.

Current global strategies to reduce these effects and protect biological diversity have focused on the modification of fishing gear, the interaction of these fisheries in vulnerable areas, and, ultimately, the design and implementation of marine protected areas, based on previous scientific studies. In this sense, there is a need for lines of research engaged in the constant monitoring and analysis of changes affecting biological diversity and benthic communities throughout each region. This is the case of Los Chimus Bay, which has been characterized by high levels of extraction and landing of marine resources (artisanal) and by having the largest natural banks of various marine invertebrates in the region (GARCÍA, 2016). Nowadays, Los Chimus Bay has high pressure from the suspended culture of the bivalve *A. purpuratus*, which has spread throughout the bay (personal remark).

bivalvo *A. purpuratus*, la cual se ha extendido en toda la bahía (observación personal).

El estado de conservación de la diversidad biológica marina en el Perú se da a través de reservas nacionales y áreas naturales protegidas, figuras legales que representan un esfuerzo titánico de conservación, que muy raras veces se beneficia de inversiones adecuadas (MYERS *et al.*, 2000) y, frecuentemente, responde a estrategias oportunistas fundamentadas más en una presión social de carácter nacional y/o internacional que en una sólida base científica (HALFFTER *et al.*, 2001). A pesar de ello, aún se desconoce cuál es el estado y la dinámica de la diversidad biológica en estas áreas protegidas y muchas otras áreas en estado crítico, vulnerables.

El borde costero de la Región Áncash, presenta muchos accidentes geomorfológicos aún no explorados (*e. g.*, acantilados, bahías, caletas, islotes, puntas, islas, ensenadas) donde sus grandes bahías son albergue de organismos con extensiones de rango geográfico, posible y/o nuevas especies para la ciencia. El objetivo del presente estudio es mostrar la situación de diversidad y estructura del macrobentos en Bahía Los Chimus y del megabentos en la isla La Viuda e isla Tortuga y discutir su aplicación como una estrategia de evaluación de planes de manejo de ecosistemas costeros en el Perú.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en noviembre del 2016 en la bahía Los Chimus y en las islas La Viuda y Tortuga ubicadas en la zona norcentro de Perú (Fig. 1). Los Chimus es una bahía abierta, expuesta al océano con el borde costero rocoso; presenta cuatro pequeñas ensenadas (Los Chimus, Salinas, Guaynumá, Tortuga) con playas de arena. La bahía está constituida por 17 km, aproximadamente, de costa lineal e incluye elevados relieves que descienden abruptamente al mar donde se encuentra una extensa zonación vertical en franjas horizontales con ambientes para la colonización de flora y fauna en las zonas intermareal y submareal somero sobre los 15 m de profundidad. El fondo marino y las cuatro pequeñas ensenadas o bahías, están compuestas por fango, limo y arena fina. En el borde más oceánico de la bahía se encuentra la zona insular formada por dos pequeñas islas: La Viuda y Tortuga, ambas de similar área. La bahía Los Chimus y las zonas insulares se caracterizan por estar frente a una permanente área de surgencia en la zona norte de la Corriente del Humboldt y, actualmente, son escenario de un intensivo cultivo de *Argopecten purpuratus*.

The conservation status of marine biological diversity in Peru occurs through national reserves and protected natural areas, legal figures that represent a titanic conservation effort that rarely benefits from adequate investments (MYERS *et al.*, 2000) and frequently responds to opportunistic strategies based more on national and/or international social pressure than on a solid scientific base (HALFFTER *et al.*, 2001). Despite this, the status and dynamics of biological diversity in these protected areas and many other critical, vulnerable areas is still unknown.

The coastal edge of the Ancash Region presents many unexplored geomorphological features (*e.g.*, cliffs, bays, coves, islets, tips, islands, inlets) and its large bays are home to organisms with geographic range extensions, possible and/or new species for science. The aim of this study is to show the situation of diversity and structure of the macrobenthos in Los Chimus Bay and the megabenthos in La Viuda and Tortuga Islands and to discuss its application as a strategy for the evaluation of coastal ecosystem management plans in Peru.

2. MATERIAL AND METHODS

Study area

In November 2016, the study was carried out in Los Chimus Bay and in La Viuda and Tortuga Islands located in north-central Peru (Fig. 1). Los Chimus is an open bay, exposed to the ocean with a rocky coastal edge; it has four small inlets (Los Chimus, Salinas, Guaynumá, Tortuga) with sandy beaches. The bay is made up of approximately 17 km of linear coastline and includes high reliefs that descend abruptly into the sea where there is extensive vertical zoning in horizontal stripes with environments for the colonization of flora and fauna in the intertidal and shallow subtidal zones over a depth of 15 m. The seabed and the four small inlets or bays are composed of mud, silt, and fine sand. At the most oceanic edge of the bay is the insular zone formed by two small islands: La Viuda and Tortuga, both of similar area. Los Chimus Bay and the insular zones are characterized for being located off a permanent upwelling area in the north zone of the Humboldt Current and, nowadays, they serve as the site for the intensive culture of *Argopecten purpuratus*.

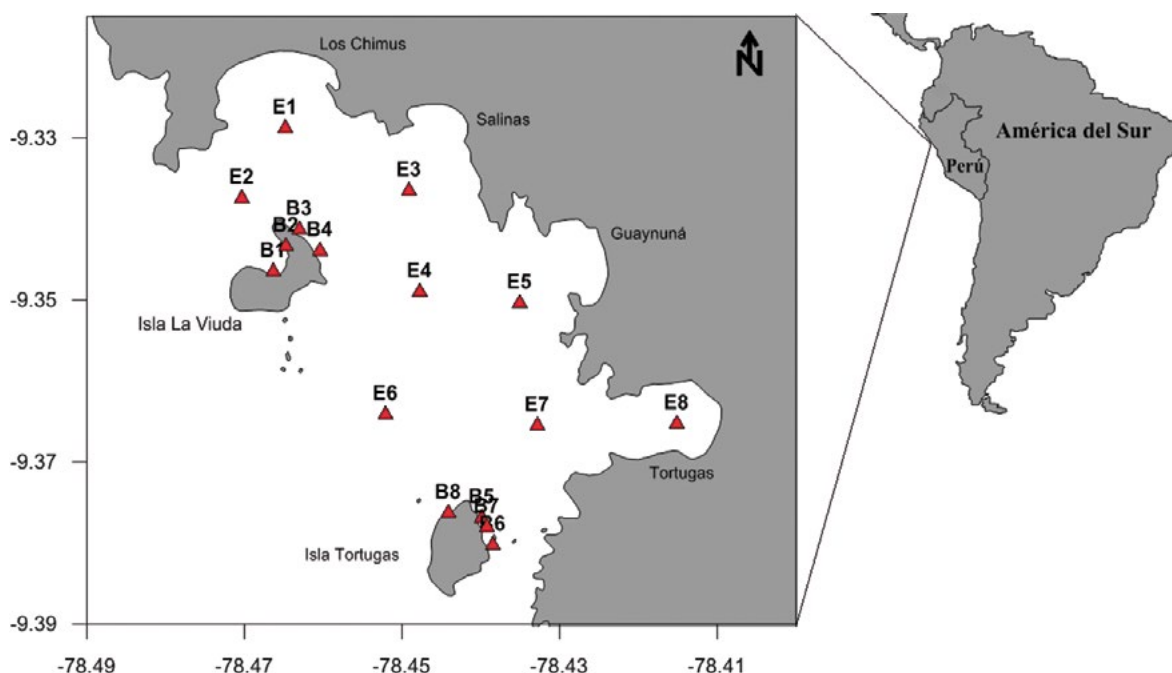


Figura 1.- Mapa con ubicación de las estaciones de muestreo en bahía Los Chimus y zonas insulares. E estaciones de muestreo para recolectar macrobentos, B estaciones de muestreo con buceo para megabentos y registros audiovisuales

Figure 1. Map with location of sampling stations in Los Chimus Bay and insular areas. E sampling stations to collect macrobenthos, B sampling stations with diving for megabenthos and audiovisual records

Estrategia de muestreo, recolección y procesamiento de muestras biológicas

La estrategia para el registro de la biodiversidad de invertebrados bentónicos, comprendió el análisis del macrobentos y megabentos. Para el macrobentos se seleccionó ocho estaciones (E) previamente distribuidas en una carta geográfica de manera equidistante dentro de bahía Los Chimus. Las estaciones E3, E4 y E5 se localizaron dentro de las concesiones de cultivo de *A. purpuratus*. La estación E7 en el borde y las estaciones E1, E2 y E6 se localizaron fuera. En cada estación la recolección de las muestras se realizó con el apoyo de una draga tipo van Veen de 0,05 m² de superficie de mordida y por triplicado (n= 3). El sedimento obtenido con la draga fue tamizado en el bote utilizando una malla de 500 µm. Posteriormente, los organismos fueron colocados en frascos de 1 L debidamente rotulados y fijados con alcohol absoluto y rosa de bengala. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio Costero de Chimbote para determinar la composición de la comunidad de la biota bentónica hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Con el apoyo de un estereoscopio y una balanza analítica al 0,0001 g de precisión se realizó el registro de organismos para determinar densidad (ind./m²) y biomasa en peso húmedo (g/m²).

Sampling strategy, collection, and processing of biological samples

The strategy for the recording of benthic invertebrate biodiversity included the analysis of macrobenthos and megabenthos. A total of eight stations (E) were selected for the macrobenthos, previously distributed in a geographic chart in an equidistant way within Los Chimus Bay. The E3, E4, and E5 stations were located within the *A. purpuratus* culture concessions. The E7 station was on the edge and the E1, E2, and E6 stations were located outside. At each station, the samples were collected with the support of a van Veen dredge of 0.05 m² of biting area and in triplicate (n=3). The sediment obtained with the dredge was sieved in the vessel by using a 500 µm mesh. Subsequently, the organisms were placed in 1 L bottles duly labeled and fixed with absolute alcohol and rose bengal. The samples were taken to the Coastal Laboratory of Chimbote to determine the composition of the benthic biota community up to the lowest possible taxonomic level. The recording of organisms to determine the density (ind./m²) and biomass in wet weight (g/m²) was carried out with the support of a stereoscope and an analytical scale at 0.0001 g of precision.

El registro de organismos de la megafauna se realizó a través de buceos consecutivos semiautónomo (HOOKA) en el submareal somero de las islas La Viuda y Tortuga. Se seleccionaron cuatro estaciones en cada isla y se tomó en cuenta la metodología propuesta por FRIEDLANDER *et al.* (2016), que consta de seguir un transecto paralelo a la costa. En este caso, se muestreó un transecto a lo largo de la isóbata de los 10 m (± 1 m) con la finalidad de que la profundidad no sea un factor de análisis. En cada transecto se recolectaron todos los organismos comprendidos dentro de una cuadrata (1 m²) lanzada aleatoriamente por triplicado (n= 3), al inicio, mitad y final del transecto. El sedimento fue recolectado en mallas con 1 mm de apertura. En el bote las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas, debidamente rotuladas, para su posterior análisis. Adicionalmente, en cada estación se realizó una caracterización audiovisual del paisaje a lo largo de cada transecta. Cada video y fotografía tomada fue analizada con la finalidad de describir la situación actual de los hábitats insulares y registro *in situ* de algunas especies.

En el laboratorio, los organismos fueron separados e identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible, contados y pesados (0,01 g). Para la identificación de las especies/taxa de organismos macro y megabentónicos se utilizó literatura como claves y catálogos, dentro de las principales FAUCHALD (1977), ROZBACZYLO (1980), HOBSON y BANSE (1981) para poliquetos; ÁLAMO y VALDIVIESO (1997) para moluscos; CHIRICHIGNO (1970) para crustáceos, BARNARD (1954) para anfípodos y otras de similar relevancia como URIBE *et al.* 2014, AL-YAMANI *et al.* 2012, PAREDES y CARDOZO (2007), PAREDES *et al.* (2011).

Parámetros oceanográficos

En cada estación de muestreo se realizaron muestreos de agua y de sedimento para el análisis de las condiciones oceanográficas. Las determinaciones físico-químicas del agua de mar se basaron en el método Winkler modificado por CARRIT & CARPENTER (1966). La salinidad se efectuó a través del método de inducción usando el Portasal Guildline 8410a. La temperatura superficial se registró con un termómetro de mercurio de balde y la de fondo con un termómetro de inversión Kahlsico.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos, la información de la composición de la comunidad fue extrapolada hasta m². Se calculó la abundancia de organismos representados por los estimadores de densidad y biomasa (n= 3). La densidad en cada estación de

The recording of megafauna organisms was carried out through consecutive semi-autonomous dives (HOOKA) in the shallow subtidal of La Viuda and Tortuga Islands. A total of four stations were selected on each islands and the methodology proposed by FRIEDLANDER *et al.* (2016), which consists of following a transect parallel to the coast, was considered. In this case, a transect was sampled along the 10 m (± 1 m) isobath so that depth is not a factor of analysis. All the organisms were collected within a quadrat (1 m²) thrown randomly in triplicate (n=3), in the beginning, middle, and end of each transect. The sediment was collected in meshes with an opening of 1 mm. In the vessel, the samples were placed in plastic bags, duly labeled, for later analysis. Additionally, in each station, an audiovisual characterization of the landscape along each transect was carried out. Each video and photograph taken was analyzed to describe the current status of island habitats and *in situ* recordings of some species.

The organisms were identified, counted, and weighed (0.01 g) in the laboratory. For the identification of species/taxa of macrobenthic and megabenthic organisms, the taxonomic keys and catalogs were used, including the following: FAUCHALD (1977), ROZBACZYLO (1980), HOBSON & BANSE (1981) for polychaetes; ALAMO & VALDIVIESO (1997) for mollusks; CHIRICHIGNO (1970) for crustaceans, BARNARD (1954) for amphipods and others of similar relevance such as URIBE *et al.* 2014, AL-YAMANI *et al.* 2012, PAREDES & CARDOZO (2007), PAREDES *et al.* (2011).

Oceanographic parameters

Water and sediment were sampled for analysis of oceanographic conditions in each station. The physical-chemical determinations of seawater were based on the Winkler method modified by CARRIT & CARPENTER (1966); the salinity using Portasal Guildline 8410a. The surface temperature was recorded with a bucket mercury thermometer and the bottom with a Kahlsico reversing thermometer.

Data analysis

For data analysis, information on community composition was extrapolated to m². The abundance of organisms represented by density and biomass estimators (n=3) was calculated. Regarding density, the main diversity indicators

muestreo fue utilizada para estimar los principales indicadores de diversidad como riqueza de especies (S), número de individuos (N), diversidad de Shannon-Wiener (H'), equidad de Pielou (J'), Riqueza de Margalef (d) y Diversidad de Simpson (D). De acuerdo al criterio propuesto por WARWICK (1986) para detectar la severidad de una alteración en una comunidad de macrozoobentos, se utilizó el comportamiento de las curvas ABC. Además, se realizó un análisis de la estructura comunitaria según su abundancia mediante el uso de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) estimado con el Índice de Similaridad de Bray-Curtis para detectar el grado de asociación (similaridad/disimilaridad) entre estaciones de muestreo. Para el análisis de las matrices los datos fueron previamente transformados ($\log + 1$) (CLARK & GORLEY 2006). La información fue procesada utilizando hojas de cálculo Excel y el programa PRIMER versión 6.1. Los mapas fueron construidos con la ayuda del programa Surfer versión 10.0.

3. RESULTADOS

Parámetros oceanográficos

En la superficie la temperatura varió de 14,6 a 17,8 °C con promedio de 16,3 °C y en el fondo fue de 14,1 a 16,1 °C, promedio de 14,9 °C (Tabla 1). En ambos niveles evaluados la distribución térmica al desplazarse desde el frente oceánico hasta la zona continental, incrementa su temperatura gradualmente y muy cerca del borde costero. En superficie la salinidad fue de 34,993 a 35,073 ups, promedio de 35,033 ups y en fondo varió de 34,958 a 35,006 ups, promedio de 34,985 ups. La distribución halina, al igual que la temperatura, incrementó su concentración desde el frente oceánico hasta el borde costero de bahía Los Chimus e isla Tortuga. El oxígeno superficial varió de 2,71 a 7,20 mL/L, promedio de 4,78 mL/L, incrementando su concentración desde el frente oceánico sur hacia el borde costero de Guaynumá a bahía Los Chimus. Se observaron núcleos concéntricos de 6,00 a 6,50 mL/L entre las playas Las Salinas y Guaynumá. En fondo el oxígeno fluctuó entre 0,18 y 4,06 mL/L, promedio de 1,66 mL/L. El oxígeno incrementó su concentración desde el frente oceánico sur hacia bahía de Tortuga; se localizó en playa Los Chimus, concentraciones de 4,00 mL/L, que al desplazarse hacia los alrededores disminuyó. Entre playa Las Salinas y Guaynumá se observaron núcleos concéntricos de 0,50 a 1,00 mL/L.

were estimated such as species richness (S), number of individuals (N), Shannon-Wiener diversity (H'), Pielou's equity (J'), Margalef richness (d), and Simpson diversity (D). To detect the severity of an alteration in a macrozoobenthos community, the behavior of ABC curves was used WARWICK (1986). To identify the degree of association (similarity / dissimilarity) between sampling stations, an analysis of the community structure was carried out according to its abundance using the non-metric multidimensional scaling (nMDS) estimated with the Bray-Curtis Similarity Index. For the analysis of the matrices, the data were previously transformed ($\log + 1$) (CLARK & GORLEY 2006). The information was processed using Excel spreadsheets and PRIMER version 6.1. The maps were constructed with the help of Surfer version 10.0.

3. RESULTS

Oceanographic parameters

The surface temperature ranged from 14.6 to 17.8 °C with a mean of 16.3 °C and on the bottom, it ranged from 14.1 to 16.1 °C, the mean was 14.9 °C (Table 1). When the thermal distribution is moving from the oceanfront towards the continental zone, it increases gradually and very close to the coastal edge. On the surface, the salinity ranged from 34,993 to 35,073 ups, the mean was 35,033 ups, and on the bottom, it varied from 34,958 to 35,006 ups, the mean was 34,985 ups. The haline distribution, as well as the temperature, increased its concentration from the oceanfront to the coastal edge of Los Chimus Bay and Tortuga Island. Surface oxygen ranged from 2.71 to 7.20 mL/L, the mean was 4.78 mL/L, increasing its concentration from the southern oceanfront to the coastal edge of Guaynumá to Los Chimus Bay. Concentric nuclei of 6.00 to 6.50 mL/L were observed between Las Salinas and Guaynumá beaches. In the bottom, oxygen fluctuated between 0.18 and 4.06 mL/L, the mean was 1.66 mL/L. The oxygen distribution increased its concentration from the southern oceanfront towards Tortuga Bay; likewise, concentrations of 4.00 mL/L were located in Los Chimus beach, which when moving towards the surroundings decreased its concentration. Concentric nuclei of 0.50 to 1.00 mL/L were observed between Las Salinas and Guaynumá beaches

Tabla 1.- Parámetros oceanográficos tomados en bahía Los Chimus, islas La Viuda y Tortuga, 2016

Table 1. Oceanographic parameters taken in Los Chimus Bay, La Viuda and Tortuga Islands, 2016

Estación Station	Fecha Date	Profundidad Depth (m)	Nivel Level (m)	Temperatura Temperature (°C)	Salinidad Salinity (ups)	Oxígeno Oxygen (mL/L)
Bahía Los Chimus / Los Chimus Bay						
E1	18/10/2016	20,0	0	17,8	35,022	6,38
			19	15,3	35,004	0,75
E2	18/10/2016	38,0	0	17,6	35,051	7,20
			37	14,3	34,958	0,19
E3	18/10/2016	18,0	0	17,0	35,042	5,38
			17	15,6	35,006	2,26
E4	18/10/2016	38,0	0	17,3	35,046	6,76
			37	14,7	34,986	0,28
E5	19/10/2016	24,0	0	17,0	35,045	5,81
			23	14,9	34,996	0,18
E6	19/10/2016	40,0	0	15,3	35,035	3,11
			39	14,1	34,966	0,28
E7	19/10/2016	29,0	0	16,7	35,060	4,4
			28	14,7	34,989	0,18
E8	19/10/2016	6,5	0	17,7	35,073	5,06
			6	16,0	35,006	3,32
Isla La Viuda/ La Viuda Island						
B1	20/10/2016	13,5	0	15,0	35,006	4,16
			13	15,0	34,989	3,21
B2	20/10/2016	15,0	0	15,5	35,016	4,47
			14	14,4	34,964	0,48
B3	20/10/2016	13,1	0	16,6	35,041	5,38
			12	16,1	35,001	4,06
B4	20/10/2016	13,0	0	16,4	35,037	5,63
			12	15,4	34,989	3,42
Isla Tortuga/Tortuga Island						
B5	21/010/2016	9,5	0	14,6	35,011	2,71
			9	14,5	34,982	2,45
B6	21/010/2016	11,5	0	14,8	34,993	3,01
			11	14,4	34,973	1,72
B7	21/010/2016	11,0	0	14,8	35,000	2,96
			10	14,4	34,975	1,79
B8	21/010/2016	18,0	0	16,0	35,049	3,84
			17	14,9	34,983	1,99

Estimadores comunitarios

Densidad

Los organismos macrobentónicos presentaron una densidad total promedio de 4317 ind./m². Las estaciones que presentaron mayores densidades fueron E2 y E8 con más de 10000 ind./m². Estas estaciones se encuentran ubicadas en el sector norte y sur de bahía Los Chimus, respectivamente (Tabla 2). Las especies que presentaron mayor densidad fueron *Magelona phyllisae* Jones (1146 ind./m²), *Microphoxus* sp. (442 ind./m²) y *Phyllochaetopterus* sp. (400 ind./m²) (Fig. 2a). La densidad de organismos en isla La Viuda fue de

Community estimators

Density

Macrobenthic organisms presented a mean total density of 4317 ind./m². The stations with the highest densities were E2 and E8 with more than 10,000 ind./m². These stations are located in the northern and southern sectors of Los Chimus Bay, respectively (Table 2). The species with the highest density were *Magelona phyllisae* Jones (1146 ind./m²), *Microphoxus* sp. (442 ind./m²), and *Phyllochaetopterus* sp. (400 ind./m²) (Fig. 2a). The density of organisms on La Viuda Island

51,75 ind./m², donde las especies más representativas fueron *Cycloxanthops sexdecimdentatus* (Milne Edwards & Lucas), *Crossata ventricosa* (Broderip), *Branchiostoma elongatum* Sundevall y *Argopecten purpuratus* (Lamarck) (Fig. 3a). En isla Tortuga, la densidad promedio fue de 71,3 ind./m² (Tabla 2), las especies más representativas fueron *Prunum curtum* (Sowerby), *C. sexdecimdentatus*, *Pinnixa transversalis* (Milne Edwards & Lucas) y *B. elongatum* (Fig. 4a).

Biomasa

Los organismos macrobentónicos presentaron biomasa total promedio de 54,114 g/m². Las estaciones que presentaron mayores biomásas fueron E8, E5 y E1, estas estaciones se encuentran ubicadas en el sector sur, centro y norte de la bahía, respectivamente (Tabla 2). Las especies que presentaron mayor biomasa fueron *Prunum curtum* (10,91 g/m²), *Diopatra chilensis* (Quatrefages) (9,52 g/m²) y *Nassarius gayi* (Kiener) (5,24 g/m²) (Fig. 2b). La biomasa de organismos en isla La Viuda fue de 497,75 ind./m² (Tabla 2), donde las especies más representativas fueron *Cycloxanthops sexdecimdentatus*, *Crossata ventricosa*, *Branchiostoma elongatum* y *Argopecten purpuratus* (Fig. 3b). En isla Tortuga, la biomasa promedio fue de 511,0 g/m² (Tabla 2), donde las especies más representativas fueron *Crossata ventricosa*, *Cancer porteri* Rathbun, *A. purpuratus* y *Arbacia spatuligera* (Valenciennes) (Fig. 4b).

Número de especies

El análisis de la comunidad macrobentónica registró 95 especies/taxa. El grupo Polychaeta fue el más representativo con 41 especies/taxa seguido por el grupo Arthropoda con 23 especies/taxa, Mollusca con 19 especies/taxa, Nemertea con 2 especies/taxa, Echinodermata con 2 especies/taxa y Otros con 9 especies/taxa. Las estaciones con mayor riqueza fueron encontradas en el sector de bahía Tortuga (E8, E7), frente a playa los Chimus (E1) y en las estaciones más oceánicas (E2 y E6) con más de 10 especies/taxa por estación (Tabla 2). Respecto a la megafauna, isla La Viuda registró 50 especies/taxa. El grupo Mollusca fue el más representativo, con 25 especies/taxa seguido por el grupo Arthropoda con 11 especies/taxa. Las estaciones con mayor riqueza fueron encontradas en el sector de la ensenada (B1 y B2) donde se encuentra la concesión de la Universidad Federico Villarreal. Por otro lado, la isla Tortuga registró 44 especies/taxa. Similar a la isla La Viuda, el grupo Mollusca fue el más representativo, con 21 especies/taxa seguido por el grupo Arthropoda con 8 especies/taxa (Tabla 2). Las mayores riquezas fueron encontradas en la zona norte de la isla.

was 51.75 ind./m², where the most representative species were *Cycloxanthops sexdecimdentatus* (Milne Edwards & Lucas), *Crossata ventricosa* (Broderip), *Branchiostoma elongatum* Sundevall, and *Argopecten purpuratus* (Lamarck) (Fig. 3a). In Tortuga Island, the mean density was 71.3 ind./m² (Table 2), the most representative species were *Prunum curtum* (Sowerby), *C. sexdecimdentatus*, *Pinnixa transversalis* (Milne Edwards & Lucas) and *B. elongatum* (Fig. 4a).

Biomass

Macrobenthic organisms presented mean total biomass of 54.114 g/m². The stations with the highest biomasses were E8, E5, and E1 which are located in the southern, central, and northern sectors of the bay, respectively (Table 2). The species with the highest biomass were *Prunum curtum* (10.91 g/m²), *Diopatra chilensis* (Quatrefages) (9.52 g/m²), and *Nassarius gayi* (Kiener) (5.24 g/m²) (Fig. 2b). The biomass of organisms on La Viuda Island was 497.75 ind./m² (Table 2), where the most representative species were *Cycloxanthops sexdecimdentatus*, *Crossata ventricosa*, *Branchiostoma elongatum*, and *Argopecten purpuratus* (Fig. 3b). In Tortuga Island, the mean biomass was 511.0 g/m² (Table 2), where the most representative species were *Crossata ventricosa*, *Cancer porteri* Rathbun, *A. purpuratus*, and *Arbacia spatuligera* (Valenciennes) (Fig. 4b).

Number of species

The analysis of the macrobenthic community recorded 95 species/taxa. The Polychaeta group was the most representative with 41 species/taxa followed by the Arthropoda group with 23 species/taxa, Mollusca with 19 species/taxa, Nemertea with 2 species/taxa, Echinodermata with 2 species/taxa, and Others with 9 species/taxa. The richest stations were found in the Tortuga Bay sector (E8, E7), off Los Chimus beach (E1), and in the most oceanic stations (E2 and E6) with more than 10 species/taxa per station (Table 2). Regarding the megafauna, 50 species/taxa were recorded on La Viuda Island. The Mollusca group was the most representative, with 25 species/taxa followed by the Arthropoda group with 11 species/taxa. The richest stations were found in the inlet sector (B1 and B2) where the concession of the Federico Villarreal University is located. On the other hand, 44 species/taxa were recorded on Tortuga Island. Similar to La Viuda Island, the Mollusca group was the most representative, with 21 species/taxa followed by the Arthropoda group with 8 species/taxa (Table 2). The greatest richness was found in the northern part of the island.

Tabla 2.- Número de especies/taxa y abundancia (Número de individuos y biomasa) de biota macrobentónica (draga), bahía Los Chimus, y biota megabentónica (buceo), islas La Viuda y Tortuga

Table 2. Number of species/taxa and abundance of macrobenthic biota, Los Chimus Bay, and megabenthic biota (diving), La Viuda and Tortuga Islands

Estación Station	Profundidad Depth (m)	Especies Species	Número Number (ind./m ²)	Biomasa Biomass (g/m ²)
Bahía Los Chimus/Los Chimus Bay				
E1	20,1	11	3387	58,375
E2	38	15	11600	41,608
E3	18	3	160	11,987
E4	38	7	987	3,522
E5	24	3	393	68,777
E6	40	15	2507	51,65
E7	29	13	4160	17,692
E8	6,5	16	11340	179,3
Isla La Viuda/La Viuda Island				
B1	11	7	78	816
B2	11,5	10	49	1237
B3	10	9	36	340
B4	11	9	44	598
Isla Tortuga/Tortuga Island				
B5	10	10	123	452
B6	11	13	55	661
B7	10	7	36	420

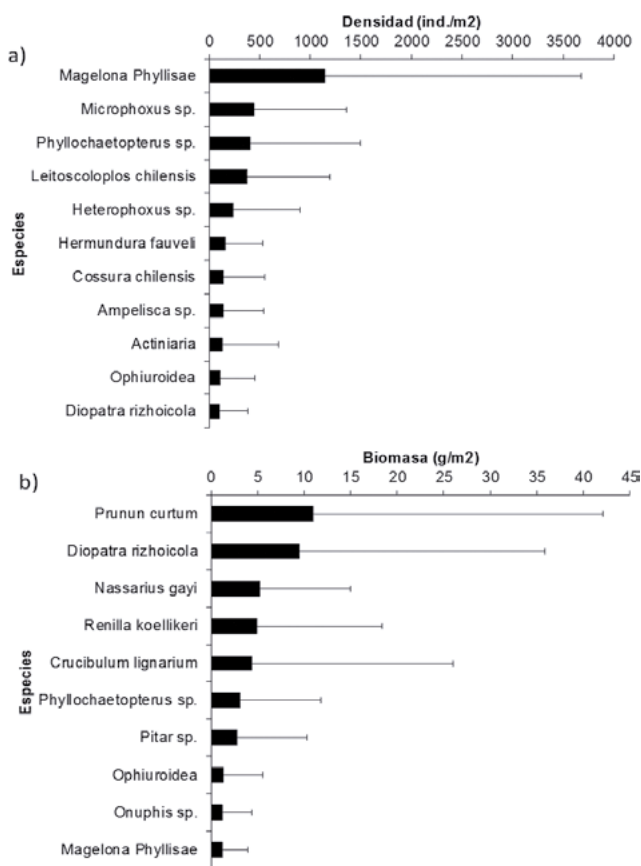


Figura 2.- Promedio y desviación estándar de especies dominantes: a) densidad (ind./m²), b) biomasa (g/m²) del macrobentos, bahía Los Chimus

Figure 2. Mean and standard deviation of dominant species: a) density (ind./m²), b) biomass (g/m²) of macrobenthos, Los Chimus Bay

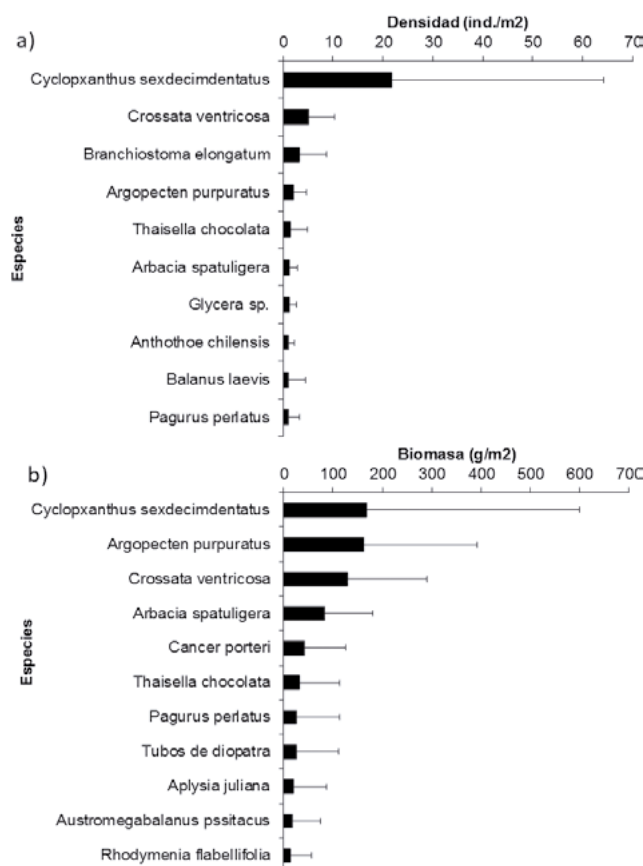


Figura 3.- Promedio y desviación estándar de especies dominantes: a) densidad (ind./m²), b) biomasa (g/m²) del megabentos, isla La Viuda

Figure 3. Mean and standard deviation of dominant species: a) density (ind./m²), b) biomass (g/m²) of megabenthos, La Viuda Island

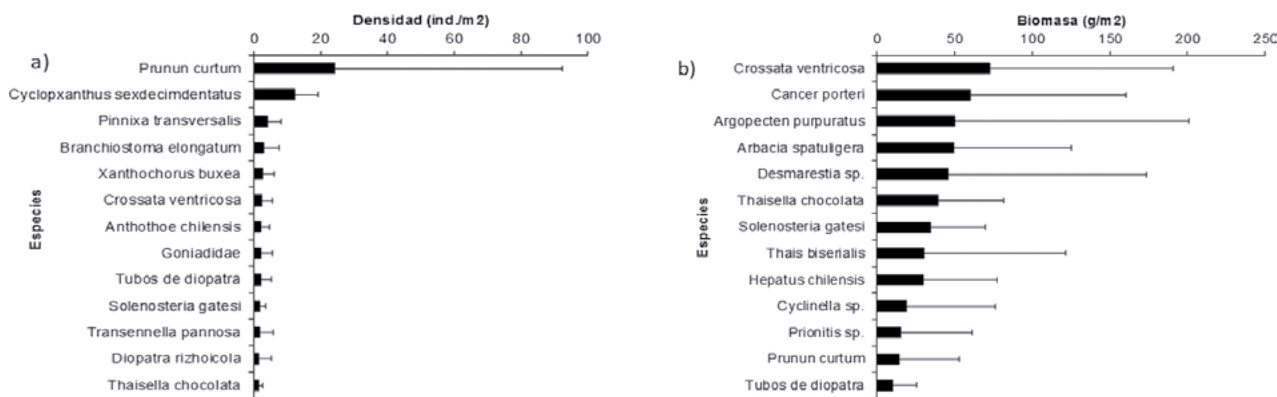


Figura 4.- Promedio y desviación estándar de especies dominantes: a) densidad (ind/m²), b) biomasa (g/m²) del megabentos, isla Tortuga

Figure 4. Mean and standard deviation of dominant species in a) density (ind/m²), b) biomass (g/m²) of megabenthos, Tortuga Island

Indicadores de biodiversidad

En la comunidad de organismos macrobentónicos la riqueza de Margalef (d) varió entre 1,17 (E5) y 2,78 (E8 y E2). Los valores de equidad mostraron que las estaciones E3 (0,94), E5 (0,87) y E8 (0,66) presentaron la mayor proporción de la diversidad observada con relación a la diversidad esperada. La diversidad de Shannon-Wiener (H') varió entre 2,55 y 1,49 con los mayores valores para las estaciones E3, E8 y E6. Las estaciones E7, E2 y E4 mostraron los valores más bajos de diversidad H' con 1,49, 1,52 y 1,58 bits, respectivamente. Los valores del índice de dominancia variaron entre 0,65 y 0,83. Según el estadístico Warwick (w) en aquellas estaciones donde se registraron presencia de organismos, las estaciones E2 y E7 presentaron valores negativos, por lo tanto según el indicador w estas estaciones presentaron mayor perturbación (Tabla 3).

En relación a la comunidad megabentónica, la riqueza de Margalef (d) varió entre 5,66 (B2) y 2,75 (B1) en isla La Viuda, y de 4,18 (B5) a 5,98 (B6) en isla Tortuga (Tabla 5). Los valores de equidad mostraron que las estaciones B6 (0,85) en isla Tortuga y B2 (0,85) y B3 (0,84) en isla La Viuda presentaron la mayor proporción de la diversidad observada con relación a la diversidad esperada. La diversidad de Shannon-Wiener (H') varió entre 2,74 y 1,24 con los mayores valores para las estaciones B6 en isla Tortuga y B2, B3 en isla La Viuda. Los valores más bajos de diversidad H' fueron registrados en las estaciones B1 (isla La Viuda) y B5 (isla Tortuga) (Tabla 3).

Estructura de la comunidad

Basados en el número de organismos, el análisis de escalamiento multidimensional (nMDS) de las comunidades de organismos macrobentónicos mostró dos grandes grupos E2, E7, E4 y E1, E5 al

Biodiversity indicators

The Margalef richness (d) varied between 1.17 (E5) and 2.78 (E8 and E2) in the macrobenthic community. The equity values showed that E3 (0.94), E5 (0.87), and E8 (0.66) stations presented the highest proportion of observed diversity in relation to expected diversity. The Shannon-Wiener (H') diversity ranged from 2.55 to 1.49 with the highest values for E3, E8, and E6 stations. The E7, E2, and E4 stations showed the lowest values of H' diversity with 1.49, 1.52, and 1.58 bits, respectively. Dominance index values ranged from 0.65 to 0.83. According to the Warwick statistic (w), in those stations where the presence of organisms was recorded, the E2 and E7 stations presented negative values, therefore, these stations presented greater disturbance (Table 3).

Regarding the megabenthic community, the Margalef richness (d) ranged from 5.66 (B2) to 2.75 (B1) on La Viuda Island, and from 4.18 (B5) to 5.98 (B6) on Tortuga Island (Table 5). The equity values showed that the B6 (0.85) station on Tortuga Island and B2 (0.85) and B3 (0.84) stations on La Viuda Island showed the highest proportion of observed diversity in relation to expected diversity. The Shannon-Wiener (H') diversity ranged from 2.74 to 1.24 with the highest values for B6 station on Tortuga Island and B2, B3 stations on La Viuda Island. The lowest H' diversity values were recorded at B1 (La Viuda Island) and B5 (Tortuga Island) stations (Table 3).

Community structure

Based on the number of organisms, the non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS) of the macrobenthic communities showed two large groups E2, E7, E4 and E1, E5 to

critério del 30% de similaridad (Fig. 5a). Con respecto a la fauna megabentónica, el análisis nMDS mostró mayor disimilaridad en las estaciones ubicadas en la isla La Viuda. Esto podría deberse posiblemente a que las estaciones B1 y B2 se encuentran con acceso restringido (Fig. 5b).

the 30% similarity criterion (Fig. 5a). Regarding megabenthic fauna, the nMDS analysis showed greater dissimilarity at the stations located on La Viuda Island. This could possibly be due to the fact that B1 and B2 stations have restricted access (Fig. 5b).

Análisis audiovisual de los hábitats submareales insulares

Audiovisual analysis of insular subtidal habitats

En las islas La Viuda y Tortuga se prefirió trabajar en los lugares protegidos, debido a los acantilados (más de 30 m de profundidad) y el fuerte oleaje en los lugares expuestos.

In La Viuda and Tortuga Islands, work was carried out in the protected places, due to the cliffs (more than 30 m deep) and the heavy swell in the exposed places.

Tabla 3.- Principales indicadores de diversidad de la biota macrobentónica (draga) en la bahía Los Chimus, y la biota megabentónica (buceo) en islas La Viuda y Tortuga, 2016

Table 3. Main indicators of the diversity of macrobenthic biota (dredge) in Los Chimus Bay, and megabenthic biota (diving) in La Viuda and Tortuga Islands, 2016

Estación Station	Profundidad Depth (m)	Riqueza Richness d	Equidad Equity J'	Diversidad Diversity H'(log ₂)	Dominancia Dominance D	Estadístico Statical W
Bahía Los Chimus/Los Chimus Bay						
E1	20,1	2,707	0,5969	1,872	0,7676	0,143
E2	38	2,778	0,4633	1,527	0,654	-0,029
E3	18	2,759	0,9431	2,554	0,9119	0,69
E4	38	1,45	0,6613	1,586	0,7182	0,151
E5	24	1,172	0,8716	1,813	0,8093	0,296
E6	40	4,472	0,6003	2,151	0,8029	0,094
E7	29	2,64	0,4767	1,495	0,5855	-0,06
E8	6,5	2,785	0,6661	2,195	0,8366	0,116
Isla La Viuda/La Viuda Island						
B1	13,5	2,754	0,4861	1,247	0,4911	0,106
B2	15	5,663	0,8505	2,667	0,9104	0,136
B3	13,1	5,581	0,8444	2,571	0,9058	0,413
B4	13	5,285	0,78	2,375	0,8461	0,3
Isla Tortuga/Tortuga Island						
B5	9,5	4,366	0,5992	1,852	0,6594	0,026
B6	11,5	5,98	0,8522	2,743	0,9121	0,236
B7	11	4,186	0,7778	2,156	0,831	0,121

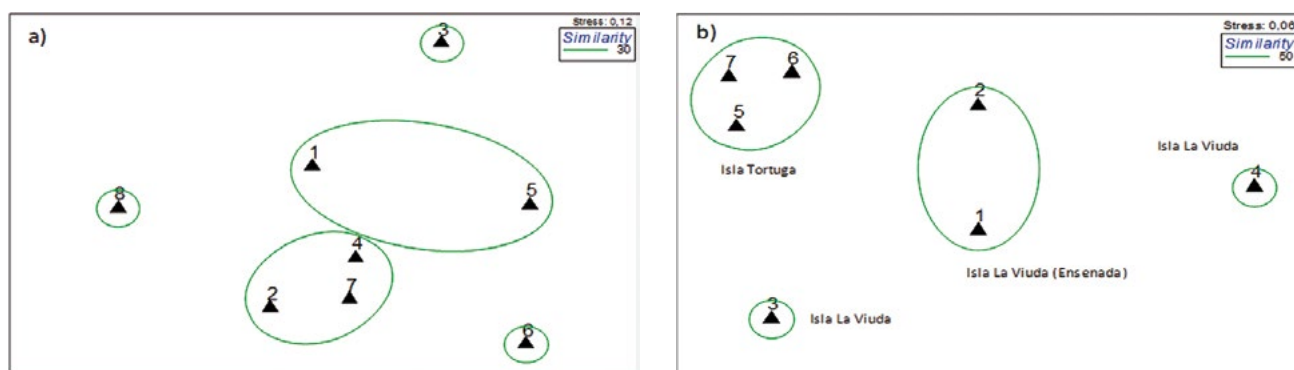


Figura 5.- Análisis de ordenación (nMDS) mostrando la similaridad espacial basados en la densidad de especies, a) entre las estaciones macrobentónicas, b) estaciones de organismos megabentónicos (índice de Bray Curtis). Cada muestra con tres réplicas

Figure 5. Non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS) showing spatial similarity based on species density, a) between macrobenthic stations, b) megabenthic organism stations (Bray Curtis index). Each sample had three replicates

ISLA LA VIUDA

Estación B1. Se encuentra dentro de la concesión de la Universidad Federico Villarreal. El paisaje es llano con ligera pendiente, el suelo cubierto con pequeñas piedras y sedimento orgánico. A lo largo del transecto se observó ejemplares de *Hippocampus ingens* Girard, *Aplysia juliana* Quoy & Gaimard, *Flabellina cynara* (Marcus & Marcus), *Argopecten purpuratus*, *Arbacia spatuligera* (Valenciennes). También se observó escasos y pequeños parches de algas rojas cubiertas de Hydrozoos y *Nassarius* spp. (Fig. 6a, b).

LA VIUDA ISLAND

B1 Station. The landscape is flat with a slight slope, the soil is covered with small stones and organic sediment. Specimens of *Hippocampus ingens* Girard, *Aplysia juliana* Quoy & Gaimard, *Flabellina cynara* (Marcus & Marcus), *Argopecten purpuratus*, *Arbacia spatuligera* (Valenciennes) were observed along the transect. Small patches of red algae covered with Hydrozoans and Hydrozoos y *Nassarius* spp. were also observed. (Fig. 6a, b). This station is within the concession of the Federico Villarreal University

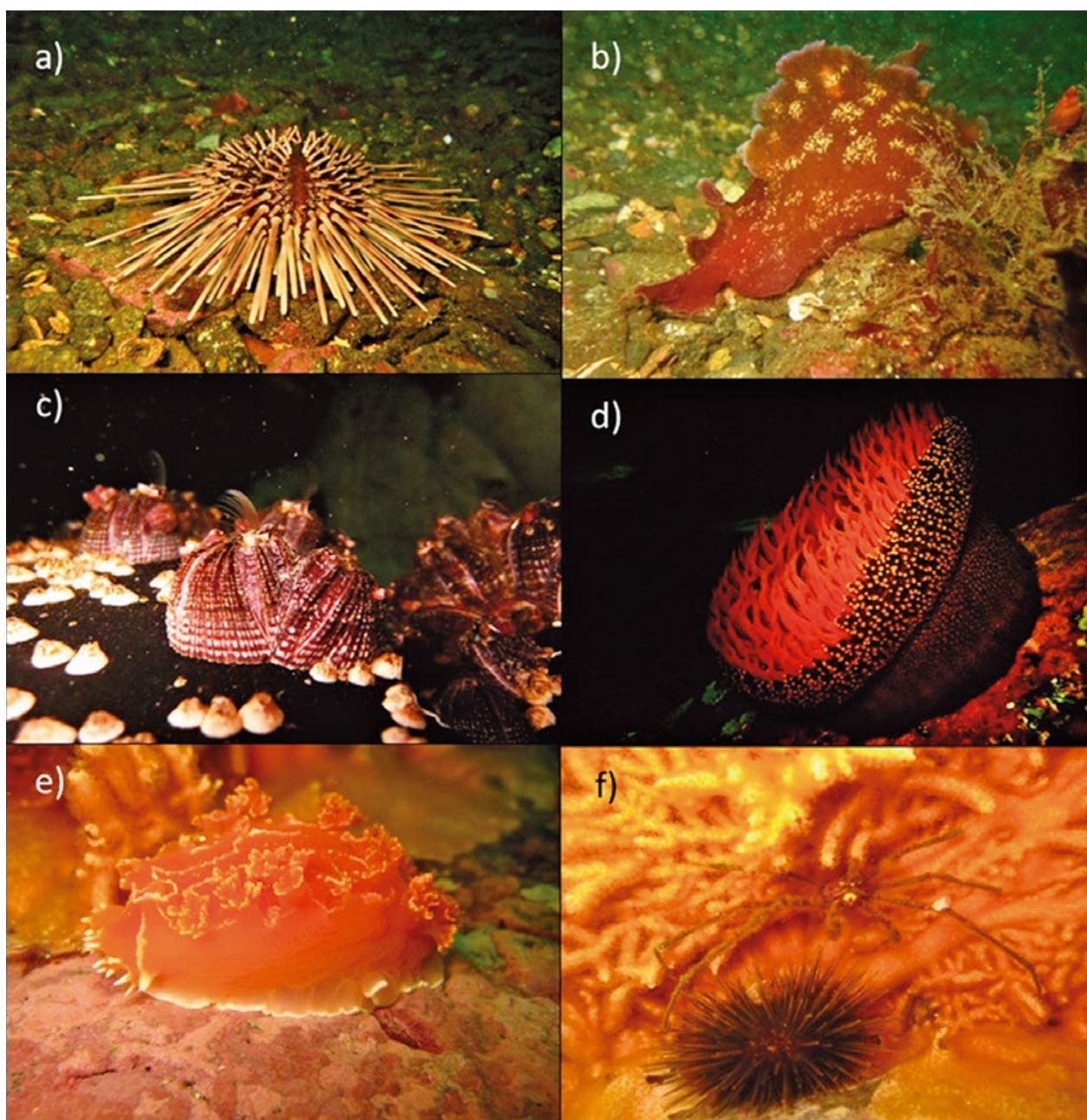


Figura 6.- Fauna representativa registrada en las estaciones de muestreo B1 (a, b) y B2 (c, d, e, f) en isla La Viuda
 Figure 6. Representative fauna recorded at B1 (a, b) and B2 (c, d, e, f) sampling stations on La Viuda Island

Estación B2. También se encuentra dentro de la concesión de la Universidad Federico Villarreal, ubicada en la ensenada al lado norte de la isla. Hasta 11 metros se observó un despliegue de bloques grandes de piedras cubiertas la mayor parte por camas de anémona blanca *Anthothoe chilensis* (Lesson), donde habitan especies como *Austromegabalanus psittacus* (Molina), *Megabalanus* sp., *Tetrapygyus niger* (Molina) y grandes parches de *Rhodymenia* sp. Además, se observó grandes actinias como *Phymanthea pluvia* (Drayton in Dana), algunos gorgonidos dispersos como *Leptogorgia peruviiana* (Verrill) la cual alberga otras especies como el molusco *Tritonia* sp. y el crustáceo *Stenorhynchus debilis* (Smith). Hacia el suelo, el sustrato es similar a la estación 1, cubierto de piedras y con abundantes *Aplysia juliana*, *Arbacia spatuligera*, *Cycloxanthops sexdecimdentatus* y grandes gasterópodos depredadores como *Thaisella chocolata* (Duclos) y *Crossata ventricosa* (Broderip). Dentro de las principales peces se observó cardúmenes de grandes pintadillas (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes) y algunos blénidos (Fig. 6c-f).

Estación B3. Estación situada en el norte de la isla. El despliegue de los bloques de piedras llega hasta zonas más someras (7 - 9 m). El sustrato es distinto a las otras estaciones, el suelo está cubierto de pequeñas piedras tipo canto rodado, mezclado con conchuela partida y molida. Se observaron gasterópodos como *Crossata ventricosa* y tubos de *Diopatra chilensis*. El fondo estuvo intervenido por continuos bloques grandes de piedra con los erizos *Arbacia spatuligera*, algunos *Tetrapygyus niger* y abundantes juveniles de *Leptogorgia peruviiana*. Además, se observó la presencia de *Scurria* y algunas *Crepidula dilatata* Lamarck adheridas a las grandes piedras (Fig. 7a, b).

Estación B4. Estación localizada al sur de la isla. Similar a la estación 3, el despliegue de los bloques de piedras llega hasta zonas más someras. Se observaron ejemplares adultos de *Argopecten purpuratus* y especies de depredadores como los gasterópodos *Crossata ventricosa*, *Thaisella chocolata* y el pulpo *Octopus* sp. El paisaje con piedras más grandes es intervenido por continuos bloques de piedras cubiertos de juveniles del gorgónido *L. peruviiana*. Los peces más comunes en las estaciones 3 y 4 fueron pintadillas en pequeños grupos, blénidos asociados a los bloques de piedras y abundantes doncellas (Fig. 7c, d).

B2 Station. Here, a display of large blocks of stones covered mostly by beds of striped anemone *Anthothoe chilensis* (Lesson), inhabited by species such as *Austromegabalanus psittacus* (Molina), *Megabalanus* sp., *Tetrapygyus niger* (Molina), and large patches of *Rhodymenia* sp., were also observed up to 11 meters. Large actinia such as *Phymanthea pluvia* (Drayton in Dana), some dispersed gorgoniids such as *Leptogorgia peruviiana* (Verrill) which hosts other species such as the mollusk *Tritonia* sp., and the crustacean *Stenorhynchus debilis* (Smith) were also found. Towards the ground, the substrate is similar to station 1, covered with stones and with abundant *Aplysia juliana*, *Arbacia spatuligera*, *Cycloxanthops sexdecimdentatus*, and large predatory gastropods such as *Thaisella chocolata* (Duclos) and *Crossata ventricosa* (Broderip). Among the main fish were observed schools of large *Cheilodactylus variegatus* Valenciennes and some Bleniidae (Fig. 6c-f). This station is within the concession of the University Federico Villarreal, located in the islet on the north side of the island

B3 Station. The display of the stone blocks reaches shallower areas (7 - 9 m). The substratum is different from the other stations, the ground is covered with small pebbles mixed with broken and ground shells. Gastropods such as *Crossata ventricosa* and tubes of *Diopatra chilensis* were observed. The bottom was altered by continuous large blocks of stone where sea urchins *Arbacia spatuligera*, some *Tetrapygyus niger*, and abundant juvenile *Leptogorgia peruviiana* can be found. Moreover, the presence of genus *Scurria* and some *Crepidula dilatata* Lamarck attached to the large stones was observed (Fig. 7a, b). This station located on the north side of the island.

B4 Station. Similar to station 3, the display of stone blocks reaches shallower areas. Adult specimens of *Argopecten purpuratus* and species of predators such as the gastropods *Crossata ventricosa*, *Thaisella chocolate*, and *Octopus* sp., were observed. The bottom, with larger stones, is altered by continuous blocks of stones covered with juveniles of the gorgoniid *L. peruviiana*. Among the most common fish observed, in the stations 3 and 4, were morwongs, in small groups, Bleniidae associated with the blocks of stones, and abundant splittail bass (Fig. 7c, d). This station is located on the protected southern side of the island.

ISLA TORTUGA

Estación B5. El sustrato cubierto de arena fina mezclado con conchuela. Abundantes tubos de poliquetos *Diopatra chilensis* y *Chaetopterus* sp. El paisaje es llano intervenido por grandes bloques de piedra hasta aproximadamente 13 metros, ahí empieza un continuo fondo de arena y sedimento orgánico. Se observó abundante *L. peruviana* y continuos pequeños parches de algas rojas como *Rhodymenia* sp. y *Griffithsia pacifica* Kylin y algas pardas ramificadas. También se observó parches de piedras cubiertas por una esponja color anaranjado opaco. Algunos ejemplares del nudibranchio *Flabellina cynara* se encontraron errantes y sobre los parches de algas. Continuos restos de grandes cirripedios eran refugio de pequeños blénidos y frailes, y pequeños crustáceos como *C. sexdecimdentatus* e *Hypoconcha* sp. Se observó un ejemplar de tamborín (*Spherooides annulatus* (Jenyns)) (Fig. 7e, f).

TORTUGA ISLAND

B5 Station. The substrate is covered with fine sand mixed with broken shell. Abundant tubes of *Diopatra chilensis* and *Chaetopterus* sp., are found. The bottom is flat altered by big blocks of stone up to approximately 13 meters, from there, a continuous bottom of sand and organic sediment begins. Abundant *L. peruviana* and continuous small patches of red algae such as *Rhodymenia* sp. and *Griffithsia pacifica* Kylin and branched brown algae were observed. Stone patches covered by an opaque orange sponge were also observed. Specimens of the nudibranch *Flabellina cynara* were found errant and on algae patches. Continuous remains of large cirripedians were a refuge for small Bleniidae and monkfish, and small crustaceans such as *C. sexdecimdentatus* and *Hypoconcha* sp. A specimen of bullseye puffer (*Spherooides annulatus* (Jenyns)) was observed (Fig. 7e, f).

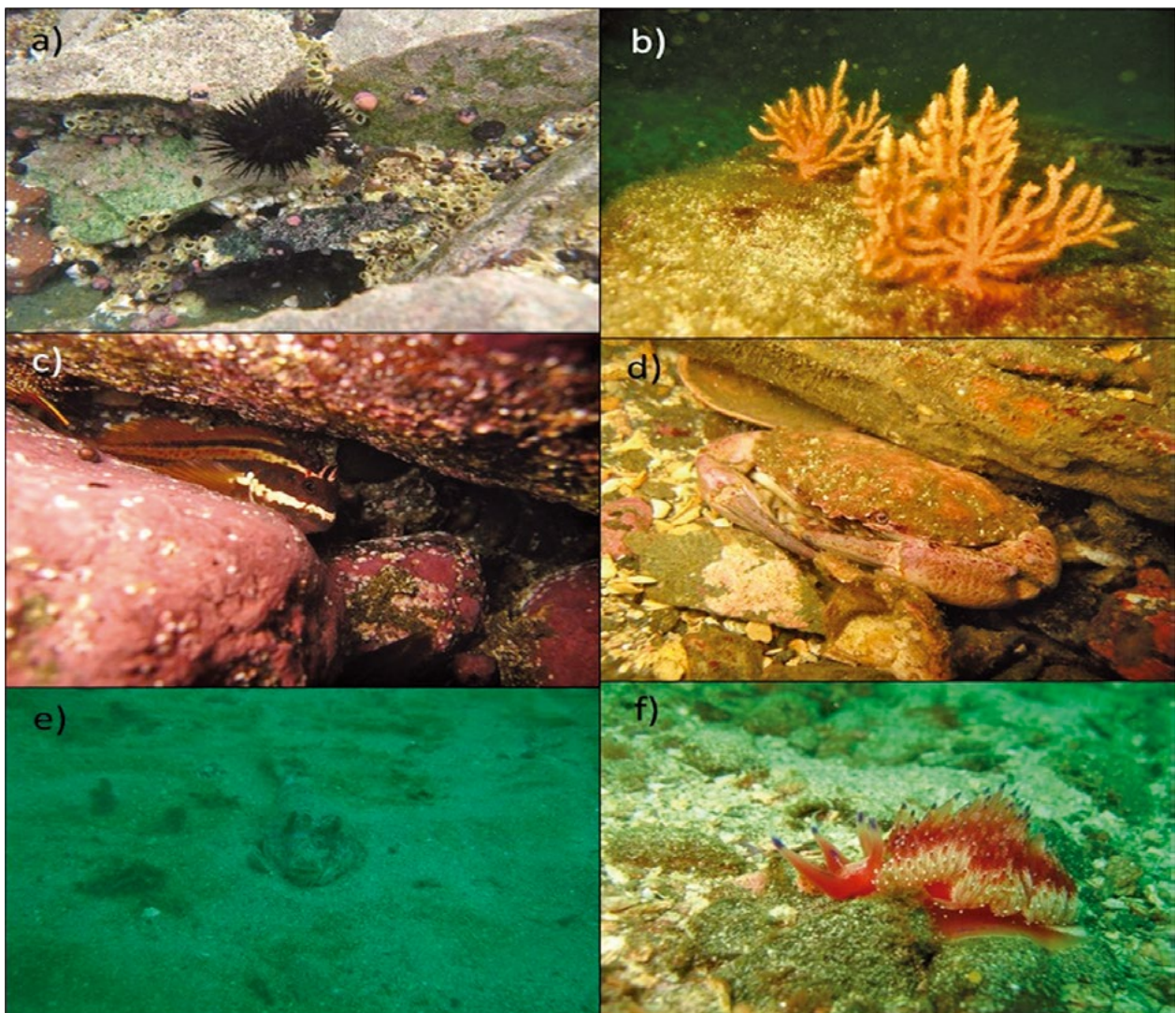


Figura 7.- Fauna representativa registrada en las estaciones de muestreo B3 (a, b), B4 (c, d) en isla La Viuda, B5 (e, f) en isla Tortuga

Figure 7. Representative fauna recorded at B3 (a, b), B4 (c, d) sampling stations on La Viuda Island; B5 (e, f) sampling station on Tortuga Island

Estación B6. El borde más somero es similar a los anteriores, continuos bloques de piedras hasta 8 metros, aproximadamente. En esta estación el sustrato se encuentra cubierto de tubos de grandes poliquetos y el sedimento es arenoso con conchuela molida. El paisaje es llano y con continuos bloques hasta los 15 metros, aproximadamente, cubiertos por abundantes gorgónidos y *Arbacia spatuligera*; además, se observaron ejemplares juveniles y adultos de *A. purpuratus*, el gasterópodo *C. ventricosa*, algunos crustáceos como *Cancer porteri* y *Hepatus chilensis*, un ejemplar grande de la estrella negra *Luidia magellanica* y de caballito de mar *H. ingens* (Fig. 8a, b).

B6 Station. The shallowest edge is similar to the previous stations, with continuous blocks of stones up to approximately 8 meters. The substrate is covered with tubes of large polychaetes and the sediment is sandy with ground shells. The bottom is flat and with continuous blocks up to 15 meters, approximately, covered by abundant gorgoniids and *Arbacia spatuligera*. Juvenile and adult specimens of *A. purpuratus*, *C. ventricosa*, *Cancer porteri*, and *Hepatus chilensis*, *Luidia magellanica* and *H. ingens* were observed (Fig. 8a, b).

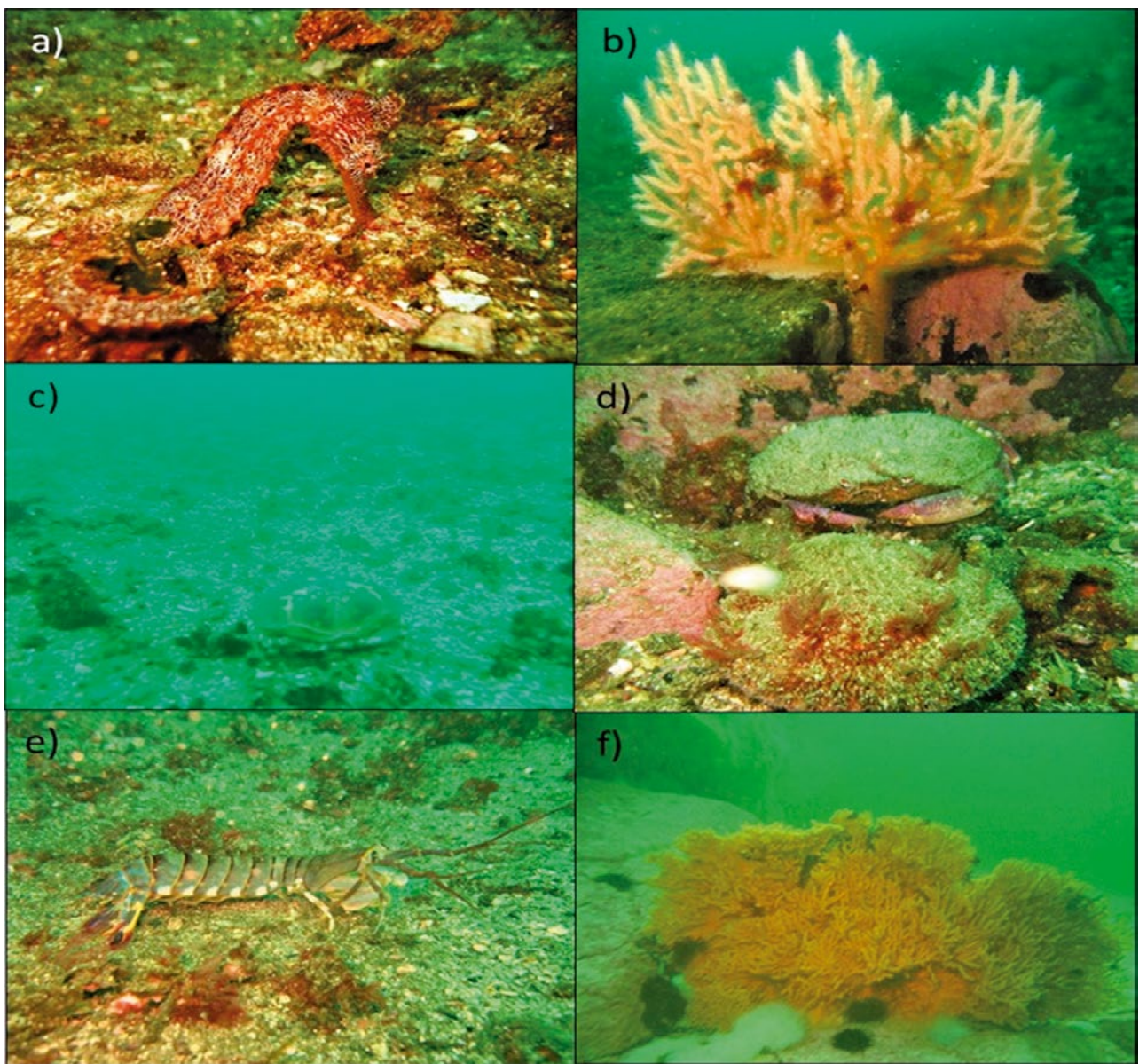


Figura 8.- Fauna representativa registrada en las estaciones de muestreo B6 (a, b), B7 (c, d., e, f) en isla Tortuga

Figure 8. Representative fauna recorded at B6 (a, b), B7 (c, d., e, f) sampling stations on Tortuga Island

Estación B7. Ubicada al extremo sur de la isla. El sustrato es similar a las estaciones 5 y 6; sin embargo, el paisaje presenta largas plataformas de roca cubiertas por erizos de mar (*A. spatuligera* y *T. niger*), gorgonias y algunos gasterópodos como *Crepidula dilatata* y otros patelogastrópodos. Se observaron abundantes ejemplares de *Cancer porteri* y *Hepatus chilensis*, y adultos de *A. purpuratus*. Esta parte de la isla presentó abundantes nidos del camarón brujo *Pseudosquilla lessoni* (Güerin) y discretos parches de algas rojas (Fig. 8c-f).

Estación B8. Se recorrió gran parte de la isla dónde ubicar la estación; sin embargo, el fuerte oleaje y grandes acantilados no permitieron encontrar un sitio adecuado ya que la mayoría sobrepasaban los 30 metros de profundidad en puntos muy cerca al borde de la isla. A pesar de esto, se realizó un buceo exploratorio en el sector norte de la isla. El paisaje mostró grandes acantilados de bloques de piedras con altas concentraciones de *Austromegabalanus psittacus* y *Megabalanus* sp., pequeños grupos de blénidos sobre las grietas e intersticios y grandes cardúmenes de chita *Anisotremus scapularis* (Tschudi). No se consideró esta estación en los análisis.

4. DISCUSIÓN

Los mayores valores de densidad y biomasa de organismos bentónicos en bahía Los Chimus se registraron fuera de las áreas de cultivo suspendido de *A. purpuratus*. Esto indica que las actividades humanas podrían ser factor determinante en el declive de los parámetros comunitarios dentro de esta zona. Estudios realizados por RIASCOS *et al.* (2016) demuestran que la variabilidad temporal de la estructura de las comunidades bentónicas en una zona altamente productiva está asociada a las actividades de origen humano. Además, MILOSLAVICH *et al.* (2011) refieren que los mayores riesgos a la biodiversidad en la Corriente del Humboldt son contaminación y sobre explotación de recursos, ambas actividades de origen humano.

Contrariamente, el análisis MDS no muestra un claro patrón de asociación referido a la densidad de organismos del macrobentos, al observarse alta disimilitud entre las estaciones E3, E4 y E5, formando distintos grupos al 30% de similaridad. Además, una de las estaciones con mayor diversidad (H') y equidad (J') fue E3, ubicada en el borde de la zona de concesión. A pesar que actividades de origen humano pueden ocasionar un impacto negativo sobre la biodiversidad marina a escala local, MILOSLAVICH *et al.* (2011) también mencionan que la amplia distribución de algunas especies y su estructura espacial pueden proteger la diversidad a mayor escala donde los riesgos pueden

B7 Station. The substrate is similar to stations 5 and 6; the bottom presents long rock platforms covered by sea urchins (*A. spatuligera* and *T. niger*), gorgoniids, and gastropods such as *Crepidula dilatata* and other patellogastropods. There were abundant specimens of *Cancer porteri* and *Hepatus chilensis*, and adult specimens of *A. purpuratus*. Abundant nests of *Pseudosquilla lessoni* (Güerin) and discrete patches of red algae (Fig. 8c-f) were found here. This station is located at the southern end of the island

B8 Station. An exploratory dive was carried out in the northern sector of the island. The bottom showed large cliffs of stone blocks with high concentrations of *Austromegabalanus psittacus* and *Megabalanus* sp., small groups of Bleniidae on cracks and interstices and large schools of Peruvian grunt *Anisotremus scapularis* (Tschudi). This station was not considered in the analyses.

4. DISCUSSION

The highest density and biomass values of benthic organisms in Los Chimus Bay were not recorded in the *A. purpuratus* culture areas. This indicates that anthropogenic activities could be a determining factor in the decline of community parameters. Studies carried out by RIASCOS *et al.* (2016) show that the temporal variability of the structure of benthic communities in a highly productive zone is associated with activities of human origin. In addition, MILOSLAVICH *et al.* (2011) report that the greatest risks to biodiversity in the Humboldt Current are pollution and overexploitation of resources, both anthropogenic activities.

However, the MDS analysis does not show a clear pattern of association referring to the density of organisms of the macrobenthos where high dissimilarity is observed between the E3, E4, and E5 stations, forming different groups at 30% similarity. In addition, station E3, located on the edge of the concession zone, presented greater diversity (H') and equity (J'). Although anthropogenic activities can have a negative impact on marine biodiversity on a local scale, MILOSLAVICH *et al.* (2011) also mention that the wide distribution of some species and their spatial structure can protect diversity on a larger scale where risks can cause local but not global extinction. In this regard, it is important to consider the temporal dynamics of biodiversity within Los Chimus Bay and insular zones since they

causar extinción local, pero no global. En este sentido, es importante tomar en cuenta la dinámica temporal de la biodiversidad dentro de bahía Los Chimus y zonas insulares, debido a que está ubicada en una zona de transición donde convergen poblaciones de especies tanto de aguas cálidas como frías.

El amplio rango de distribución y la adaptación de *A. purpuratus*, una especie con origen tropical, en la Corriente del Humboldt (URIBE *et al.*, 2012) ha conllevado a que muchos empresarios realicen cultivos masivos sin tomar en cuenta el impacto que pueda generar al ecosistema marino (KLUGER *et al.*, 2019). El cultivo de *A. purpuratus* implica el transporte de grandes cantidades de juveniles desde el norte de Perú (zona tropical) hacia el sur, sin tomar en cuenta que también se transportan propágulos, larvas y/o esporas de especies no autóctonas las cuales pueden ocasionar un riesgo ecológico y alterar los ecosistemas marinos. Este es el caso de la macroalga verde *Caulerpa filiformis*, considerada como invasora (GLASBY *et al.*, 2015) la cual ha homogenizado todo el sistema bentónico en bahía Samanco y un pequeño parche en Tortuga, dentro de bahía Los Chimus.

Diversos estudios han demostrado el impacto negativo que generan las fluctuaciones de los factores oceanográficos sobre la distribución de muchas poblaciones de especies marinas. Sin embargo, a escala local y costera, las actividades humanas en zonas altamente productivas a lo largo de la Corriente del Humboldt han sido identificadas como los principales conductores en la variabilidad de las comunidades bentónicas (RIASCOS *et al.*, 2016; Pérez-Matus *et al.*, 2017). Comparado a otras variables como la intensidad de surgencia, la intensidad de pesca y las actividades acuícolas podrían generar un riesgo en zonas vulnerables como las bahías e islas ubicadas en la costa de Perú. En este sentido, los estudios de la biodiversidad marina deberían ser considerados como parte de los planes de manejo de zonas costeras.

A lo largo de la costa peruana una actividad pesquera intensiva es llevada a cabo sobre diferentes especies de peces, invertebrados y macroalgas, muchas de las cuales presentan algún tipo de regulación protegidas por prohibición de extracción en diferentes temporadas (AYALA *et al.*, 2018). La región Áncash, donde se encuentra la bahía Los Chimus, es una de las zonas más productivas del país en términos de desembarque y captura de peces e invertebrados (ESTRELLA *et al.*, 2010). A pesar de ello, la falta de rigurosidad en la aplicación de los planes de manejo que regulan los recursos o la falta de coordinación entre las agencias del estado y gobiernos locales, hace difícil resolver o disminuir el efecto de los impactos generados por las actividades humanas en el borde costero al ecosistema.

are located in a transition zone where populations of both warm- and cold-water species converge.

The wide range of distribution and adaptation of *A. purpuratus*, a tropical species, in the Humboldt Current (URIBE *et al.*, 2012) has led many businessmen to grow massive cultures without any consideration of the impact on the marine ecosystem (KLUGER *et al.*, 2019). The culture of *A. purpuratus* implies the transport of juveniles from northern Peru (tropical zone) to the south, without considering that propagules, larvae, and/or spores of non-native species are also transported, which can cause an ecological risk and alter marine ecosystems. Such is the case of the green macroalga *Caulerpa filiformis*, classified as invasive (GLASBY *et al.*, 2015) which has homogenized the entire benthic system in Samanco Bay and a small patch in Tortuga, within Los Chimus Bay.

The negative impact of fluctuations in oceanographic factors on the distribution of many populations of marine species are detailed in several studies. Nonetheless, at local and coastal scales, anthropogenic activities in highly productive areas along the Humboldt Current have been identified as the main drivers of benthic community variability (RIASCOS *et al.*, 2016; Pérez-Matus *et al.*, 2017). When compared to other variables such as the upwelling intensity, fishing intensity, and aquaculture activities, it could generate risk in vulnerable areas such as bays and islands located on the Peruvian coast. In this respect, marine biodiversity studies should be considered as part of coastal zone management plans.

Intensive fishing activity is carried out on different species of fish, invertebrates, and macroalgae, many of which have some type of regulation protected by the prohibition of extraction in different seasons along the Peruvian coast (AYALA *et al.*, 2018). The Áncash Region, where Los Chimus Bay is located, is one of the most productive areas in the country in terms of landing and catching of fish and invertebrates (ESTRELLA *et al.*, 2010). Notwithstanding, the lack of rigor in the application of the management plans that regulate the resources or the lack of coordination between state agencies and local governments, makes it difficult to resolve or diminish the effect of the impacts generated by anthropogenic activities on the coastal edge of the ecosystem.

Esto se debe a un vacío de información sobre la dinámica del bentos, el grado de conectividad y dependencia entre comunidades de fuentes locales y sumideros (metacomunidades) que habitan cerca o a lo largo de la costa. Estudios previos realizados en la costa norte de Chile mencionan la creación de áreas de manejo como una medida de regulación a posibles impactos de actividades humanas tipo explotación de recursos (GONZÁLEZ *et al.*, 2006; GELCICH *et al.*, 2008). Por otro lado, ORTIZ & LEVINS (2011) respaldan el hecho de que las áreas de manejo no pueden considerarse automáticamente sinónimo de conservación. Más bien, son un buen ejemplo de maricultura -un incremento hecho por el hombre de la abundancia de una especie objetivo- comparable, en parte, a la agricultura intensiva tradicional, que está lejos de ser considerada como conservacionista (LEVINS & VANDERMEER, 1990).

A pesar de la intensa y creciente actividad del cultivo de *A. purpuratus* en bahía Los Chimus, recientes expediciones de buceo realizadas a la zona insular de La Viuda y Tortuga (datos no publicados), muestran que el paisaje submarino no parece afectado, aún. Sin embargo, es necesario y urgente seguir realizando monitoreos y evaluaciones en esta zona con un enfoque apoyado en biodiversidad. Finalmente, el enfoque desarrollado en la presente contribución basado en el estudio de la biodiversidad y estructura de las comunidades bentónicas debe ser considerado como una estrategia general para examinar las consecuencias de los cambios naturales y, especialmente, la intervención humana en los ecosistemas locales y regionales. Este enfoque nos sirve como una potente herramienta para predecir, analizar y orientar las intervenciones en el borde costero de bahía Los Chimus y otras localidades en el Perú.

Agradecimientos

Especial agradecimiento al técnico César Tinoco Robles por su apoyo en el trabajo de campo y análisis de laboratorio.

This is a result of a lack of information on the dynamics of the benthos, the degree of connectivity and dependence between communities of local sources and sinks (metacommunities) living near or along the coast. Previous studies conducted on the northern coast of Chile mention the creation of management areas as a regulatory measure for possible impacts of anthropogenic activities such as resource exploitation (GONZÁLEZ *et al.*, 2006; GELCICH *et al.*, 2008). On the other hand, ORTIZ & LEVINS (2011) support the fact that management areas cannot automatically be considered synonymous with conservation. Rather, they are a good example of mariculture - a man-made increase in the abundance of a target species - comparable, in part, to traditional intensive agriculture, which is far from being considered conservationist (LEVINS & VANDERMEER, 1990).

Recent diving expeditions to the insular zone of La Viuda and Tortuga (unpublished data) show that the underwater landscape does not seem affected yet, despite the intense and growing activity of *A. purpuratus* culture in Los Chimus Bay. Nonetheless, there is an urgent need to continue monitoring and evaluation in this area with a biodiversity-based approach. Finally, the approach developed in this paper, based on the study of the biodiversity and structure of benthic communities, should be considered as a general strategy to examine the consequences of natural changes and, especially, anthropogenic intervention in local and regional ecosystems. This approach serves as a powerful tool for predicting, analyzing, and orienting interventions in the coastal edge of Los Chimus Bay and other localities in Peru.

Acknowledgments

Special thanks to the technician César Tinoco Robles for his support in fieldwork and laboratory analysis.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ÁLAMO V, VALDIVIESO V. 1997. Lista Sistemática de Moluscos Marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú. Boletín Volumen Extraordinario. 205 pp.
- AL-YAMANI F, SKRYABIN V, BOLTACHOVA N, REVKOV N, MAKAROV M, GRINTSOV V, KOLESNIKOVA E. 2012. Illustrated atlas on the Zoobenthos of Kuwait. First Edition Kuwait Institute for Scientific Research. 401 pp.
- AYALA L, ORTIZ M, GELCICH S. 2018. Exploring the role of fisher's knowledge in assessing marine megafauna bycatch: insights from the Peruvian long line artisanal fishery. *Animal Conservation*. 251 - 261.
- BARNARD J. 1954. Amphipoda of the family Ampeliscidae collected in the Eastern Pacific Ocean by the VELERO III and VELERO IV. *Allan Hancock Pacific Expeditions*. 18(10): 1 - 137.
- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved in seawater. *Journal of Marine Research*. 24: 286 - 318.
- CHIRICHIGNO N. 1970. Lista de crustáceos del Perú (Decapoda y Stomatopoda). *Inf. Inst. Mar Perú*. 35: 1 - 237.
- CLARK K R, GORLEY R N. 2006. PRIMER v6. User Manual/Tutorial. Plymouth, UK.

- ESCRIBANO R, DANERI G, FARIAS L, GALLARDO VA, GONZÁLEZ H E, GUTIÉRREZ D, LANGE C B, MORALES C E, PIZARRO O, ULLOA O, BRAUN M. 2004. Biological and chemical consequences of the 1997–1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 51(20-21): 2389 - 2411.
- ESTRELLA C, FERNÁNDEZ J, CASTILLO G. 2010. Informe general de la segunda encuesta estructural de la pesquería artesanal peruana 2003-2005. Regiones Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua, Tacna. *Inf Inst Mar Perú*. 37(1-2).
- FAUCHALD K. 1977. The Polychaete worms. Definitions and keys to the order, families and genera. University of Southern California. *Science*. Series 28: 1 - 188.
- FRIEDLANDER A M, BALLESTEROS E, CASELLE J E, GAYMER C F, PALMA A T, PETIT I, VARAS E, MUÑOZ A, SALA E. 2016. Marine biodiversity in Juan Fernández and Desventuradas Islands, Chile: global endemism hotspots. *PloS one*. 11(1): e0145059.
- GARCÍA V. 2016. Evaluación del estado y presión ambiental en el litoral costero de Los Chimus a Casma. Región Áncash. Informe Interno. Instituto del Mar del Perú.
- GELCICH S, GODOY N, PRADO L, CASTILLA J C. 2008. Add-on conservation benefits of marine territorial user rights fishery policies in central Chile. *Ecological Applications*. 18(1): 273 - 281.
- GONZÁLEZ J, STOTZ W, GARRIDO J, ORENSANZ J M, PARMA A M, TAPIA C, ZULETA A. 2006. The Chilean TURF system: how is it performing in the case of the loco fishery? *Bulletin of marine science*. 78(3): 499 - 527.
- LASBY T, GIBSON P, WEST G, DAVIES P, VOERMAN S. 2015. Range and habitat associations of the native macroalga *Caulerpa filiformis* in New South Wales, Australia. *Marine and Freshwater Research*. 66(11): 1018 - 1026.
- HALFFTER G, MORENO C E, PINEDA E O. 2001. Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. M&T—Manuales y Tesis SEA, vol. 2. Zaragoza, 80 pp.
- HOBSON K, BANSE K. 1981. Sedentariate and archiannelid Polychaetes of British Columbia and Washington. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Science* 209: 1 - 144.
- KLUGER L, TAYLOR M, WOLFF M, STOTZ W, MENDO J. 2019. From an open-access fishery to a regulated aquaculture business: the case of the most important Latin American bay scallop (*Argopecten purpuratus*). *Reviews in Aquaculture*. 11: 187 - 203.
- LEVINS R, VANDERMEER J. 1990. The agroecosystem embedded in a complex ecological community. In: Carroll, R. *et al.* (eds), *Agroecology*. R. Carroll, J. Vandermeer y P. Rosset, Eds.). New York, Wiley, pp. 341 - 362.
- MILOSLAVICH P, KLEINE E, DÍAZ, J M, HERNÁNDEZ C E, BIGATTI G, CAMPOS L, ARTIGAS F, CASTILLO J, PENCHASZADEH P E, NEILL P E, CARRANZA A. 2011. Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: Knowledge and gaps. *PLOS ONE* 6(1): E14631.
- MYERS N, MITTERMEIER R, MITTERMEIER C, DA FONSECA G, KENT J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403: 853 - 858.
- ORTIZ M, LEVINS R. 2011. Re-stocking practices and illegal fishing in northern Chile (SE Pacific coast): a study case. *Oikos*. 120: 1402 - 1412.
- PACHECO A S, RIASCOS J M, ORELLANA F, OLIVA M E. 2012. El Niño-Southern Oscillation cyclical modulation of macrobenthic community structure in the Humboldt Current ecosystem. *Oikos*. 121(12): 2097 - 2109.
- PAREDES C, CARDOSO F. 2007. La familia Calyptraeidae en el Perú (Gastropoda: Caenogastropoda). *Revista Peruana de Biología*. 13: 177 - 184.
- PAREDES C, CARDOSO F, BALTAZAR P, ALTAMIRANO K, CARBAJAL P. 2011. Adiciones a los gastropoda del mar peruano. *Revista Peruana de Biología*. 18(1): 13 - 18.
- PÉREZ-MATUS A, CARRASCO S A, GELCICH S, FERNANDEZ M, WIETERS E A. 2017. Exploring the effects of fishing pressure and upwelling intensity over subtidal kelp forest communities in Central Chile. *Ecosphere*. 8(5), e01808.
- RIASCOS J M, URIBE R A, DONAYRE S, FLORES D, GALINDO O, QUISPE C, GONZÁLEZ J. 2016. Human footprints on benthic communities in marine reserves: a study case in the most productive upwelling system worldwide. *Marine Ecology Progress. Series*. 557: 65 - 75.
- ROZBACZYLO N. 1980. Clave para el reconocimiento de familias de anélidos poliquetos del mar chileno. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 15: 167 - 196.
- TARAZONA J, SALZWEDEL H, ARNTZ W. 1988. Oscillations of macrobenthos in shallow waters of the Peruvian central coast induced by El Niño 1982-83. *Journal of Marine Research*. 46(3): 593 - 611.
- THIEL M, MACAYA E C, ACUNA E, ARNTZ W E, BASTIAS H, BROKORDT K, *et al.* 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and marine biology: an annual review*. 45: 195 - 344.
- URIBE R, RUBIO J, CARBAJAL P, BERRU P. 2014. Invertebrados marinos bentónicos del litoral de la Región Áncash, Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 28 (1-2): 136 - 293.
- URIBE R, OLIVA M, AGUILAR S, YAMASHIRO C, RIASCOS J. 2012. Latitudinal variation in the reproductive cycle of two bivalves with contrasting biogeographical origin along the Humboldt Current Upwelling Ecosystem. *Scientia Marina*. 76(4): 713 - 720.
- WARWICK R M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*. 92: 557 - 562.

ALIMENTACIÓN DE KRILL *Euphausia superba* Dana, 1850. EXPEDICIÓN ANTAR XVII

FEEDING OF ANTARCTIC KRILL *Euphausia superba* Dana, 1850 ANTAR XVII EXPEDITION

David Castillo¹

Pepe Espinoza

RESUMEN

CASTILLO D, ESPINOZA P. Alimentación de krill *Euphausia superba* Dana, 1850. Expedición Antar XVII. Bol Inst Mar Perú. 34(2): 351-354.- Se estudió la alimentación del krill antártico *Euphausia superba* capturado durante la XVII expedición del Perú a la Antártida (ANTAR XVII), en el verano austral de 2007. Se analizaron 445 contenidos gástricos de krill. La dieta estuvo compuesta principalmente de diatomeas *Cocconeis* sp. (%N= 19,49), *Fragilariopsis cylindrus* (%N= 15,49), *Fragilariopsis rhombica* (%N= 10,31) y un tintínido *Cymatocylis* sp. (%N= 14,88). Análisis como el PCA se aplicaron para determinar cambios a nivel de longitud, hora de captura y profundidad; se observaron asociaciones de 60% en la predominancia numérica de diatomeas como *Cocconeis* sp. en organismos con tallas mayores a 40 mm.

PALABRAS CLAVE: alimentación, ANTAR XVII, *Euphausia superba*

ABSTRACT

CASTILLO D, ESPINOZA P. Feeding of Antarctic krill *Euphausia superba* Dana, 1850. Antar XVII Expedition. Bol Inst Mar Peru. 34(2): 351-354.- The feeding of the Antarctic krill *Euphausia superba* caught during Peru's XVII Antarctic Expedition (ANTAR XVII) in the southern summer of 2007 was studied. A total of 445 krill gastric contents were analyzed. The diet was composed mainly of diatoms *Cocconeis* sp. (%N= 19.49), *Fragilariopsis cylindrus* (%N= 15.49), *Fragilariopsis rhombica* (%N= 10.31), and a tintinnid *Cymatocylis* sp. (%N= 14.88). Analyses such as PCA were applied to determine changes in length, time of catch, and depth; associations of 60% were observed in the numerical predominance of diatoms such as *Cocconeis* sp. in organisms larger than 40 mm in size.

KEYWORDS: feeding, ANTAR XVII, *Euphausia superba*

1. INTRODUCCIÓN

El krill antártico, *Euphausia superba* Dana, 1850, es la presa más importante para la mayoría de especies que habitan aguas antárticas (KNOX, 1994). El krill tiene como su principal alimento a componentes del fitoplancton (Mauchline y Fisher, 1969 citados por NISHINO & KAWAMURA, 1994), aunque también puede alimentarse de zooplancton; aún no se conoce a ciencia cierta hasta qué grado (PRICE *et al.*, 1988) por lo tanto los estudios referentes a alimentación de esta especie nos permitirán contar con elementos para determinar el rol que cumple en la estructuración de la red trófica antártica.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Durante la XVII expedición del Perú a la Antártida (ANTAR XVII) realizada entre enero y febrero de 2007 se recolectaron, luego del muestreo biológico, 445 sacos gástricos de krill, preservados con formol al 10%. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Ecología Trófica del Instituto del Mar del Perú, se realizaron medidas al milímetro y fueron separadas por rangos de talla, extrayendo el saco gástrico de cada uno de los ejemplares

1. INTRODUCTION

Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana, 1850, is the most important prey for most species inhabiting Antarctic waters (KNOX, 1994). Phytoplankton is one of its main food components (Mauchline & Fisher, 1969 cited by NISHINO & KAWAMURA, 1994), although it can also feed on zooplankton; it is still unknown to what extent (PRICE *et al.*, 1988) therefore the studies referring to the feeding of this species will allow us to have elements to determine its role in the structuring of the Antarctic food web.

2. MATERIAL AND METHODS

Between January and February 2007, during Peru's XVII expedition to Antarctica (ANTAR XVII), a total of 445 gastric pouches of Antarctic krill, preserved with 10% formalin, were collected after biological sampling. The samples were analyzed in the Trophic Ecology laboratory of the Instituto del Mar del Perú (Alternative: Peruvian Marine Research Institute), measurements were made to the millimeter and were separated by size ranges, extracting the gastric pouch from each of the specimens by

¹ IMARPE, DGRDC. Esq. Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. dcastillo@imarpe.gob.pe

colocándolos en microviales. Los sacos gástricos fueron preparados para el análisis al microscopio compuesto, con aumento de 40x para la identificación de los ítems presa, al mínimo taxón posible, para lo cual se utilizó bibliografía especializada (FERNANDES, 1999; FRENGUELLI y ORLANDO, 1958). Las presas encontradas e identificadas fueron cuantificadas registrando el número. Los datos obtenidos de estos análisis permitieron elaborar matrices de valores totales y presencia-ausencia de elementos dietarios. Utilizando estadística multivariada no paramétrica de escalamiento multidimensional (MDS) (CLARKE, 1993) contenida en el programa PRIMER se realizaron los análisis correspondientes respecto a parámetros como la talla en milímetro.

3. RESULTADOS

El análisis de los sacos gástricos de 445 individuos de krill antártico, con longitud total entre 21 y 59 mm, evidenció que la dieta de esta especie durante el verano austral de 2007 estuvo constituida por fitoplancton y microzooplancton, en el primer caso se registraron 19 diatomeas y 2 dinoflagelados, en el segundo caso se registró 1 tintínido (Tabla 1).

placing them in micro vials. For the identification of prey items, the gastric pouches were prepared for analysis under a compound microscope with a 40x magnification; for this purpose specialized bibliography was used (FERNANDES, 1999; FRENGUELLI & ORLANDO, 1958). The prey found and identified were quantified by recording the number. The data obtained from these analyses allowed the elaboration of matrices of total values and presence-absence of dietary elements. By using the non-metric multidimensional scaling (nMDS) (CLARKE, 1993) contained in the PRIMER software, the analyses were performed for parameters such as length in millimeters.

3. RESULTS

The analysis of the 445 gastric pouches of Antarctic krill individuals, with total length between 21 and 59 mm, showed that the diet of this species during the southern summer of 2007 was constituted by phytoplankton and microzooplankton, in the first case 19 diatoms and 2 dinoflagellates were recorded, in the second case 1 tintinnid was recorded (Table 1).

Tabla 1.- Presas de la dieta de *Euphausia superba* durante la expedición ANTAR XVII (Enero - febrero 2007)

Table 1. *Euphausia superba* diet prey during the ANTAR XVII expedition (January - February 2007)

PRESAS		< 40mm N%	>40mm N%	TOTAL N%
Fitoplancton				
	<i>Actinocyclus</i> sp.	0,12		15,49
	<i>Amphora</i> sp.	0,06		6,15
	<i>Amphiprora</i> sp.	0,06		10,31
	<i>Coccinodiscus</i> sp.	2,20	1,56	7,52
	<i>Cocconeis</i> sp.	10,91	36,37	2,22
	<i>Detonula</i> sp.	0,91	3,48	19,49
	<i>Fragilaria</i> sp.	1,77	3,12	0,49
	<i>Fragilariopsis cylindrus</i>	19,76	7,08	4,33
	<i>Fragilariopsis kerguelensis</i>	6,77	4,92	7,56
Diatomeas	<i>Fragilariopsis rhombica</i>	14,88	1,33	0,04
	<i>Fragilariopsis</i> sp.	5,79	10,92	0,04
	<i>Gomphonema</i> sp.	0,49	0,60	0,53
	<i>Grammatophora</i> sp.	0,24	0,96	1,33
	<i>Licmophora</i> sp.	4,27	4,44	0,04
	<i>Navicula</i> sp.	4,51	13,57	4,41
	<i>Thalassiosira</i> sp.	4,57	4,08	0,08
	<i>Tropidoneis</i> sp.		0,13	0,04
	Pennate 1	1,59	0,84	1,78
	Pennate 2	0,06		1,98
Dinoflagelados	<i>Dinophysis</i> sp.	1,77	0,24	1,25
	<i>Protoperidinium</i> sp.		0,12	0,04
Zooplancton				
Tintinidos	<i>Cymatocylis</i> sp.	19,27	6,24	14,88

Las especies-presa de fitoplancton más abundantes fueron *Detonula* sp. (19,49%), *Actinocyclus* sp. (15,49%) y *Amphiprora* sp. (10,31%), en el caso del zooplancton *Cymatocylis* sp. (14,88%) única especie de tintínido registrada (Tabla 1).

The most abundant phytoplankton prey species were *Detonula* sp. (19.49%), *Actinocyclus* sp. (15.49%), and *Amphiprora* sp. (10.31%); for zooplankton, *Cymatocylis* sp. (14.88%) was the only tintinnid species recorded (Table 1).

Los análisis de MDS y PCA con respecto a tallas mostraron la formación de dos grupos, el primero constituido por individuos menores de 40 mm que presentaron mayor número de presas y el segundo por individuos mayores de 40 mm con menor número de presas (Fig. 1). En el primer grupo destacó *Fragilariopsis cylindrus* (19,76%), *Cymatocylis* sp. (% N = 19,27), *Fragilariopsis rhombica* (14,88) y *Cocconeis* sp. (10,91%); en el segundo grupo destacaron *Cocconeis* sp. (36,37%), *Navicula* sp. (13,57%) y *Fragilariopsis* sp. (10,92%) (Fig. 2). En lo referido a horas de captura y profundidad, no se reflejó un patrón de comportamiento definido.

Analyses of MDS and PCA in terms of size showed the formation of two groups, the first made up of individuals smaller than 40 mm with more prey and the second of individuals larger than 40 mm with less prey (Fig. 1). The first group included *Fragilariopsis cylindrus* (19.76%), *Cymatocylis* sp. (% N = 19.27), *Fragilariopsis rhombica* (14.88), and *Cocconeis* sp. (10.91%); the second group included *Cocconeis* sp. (36.37%), *Navicula* sp. (13.57%), and *Fragilariopsis* sp. (10.92%) (Fig. 2). In terms of hours of catch and depth, no defined behavior pattern was shown.

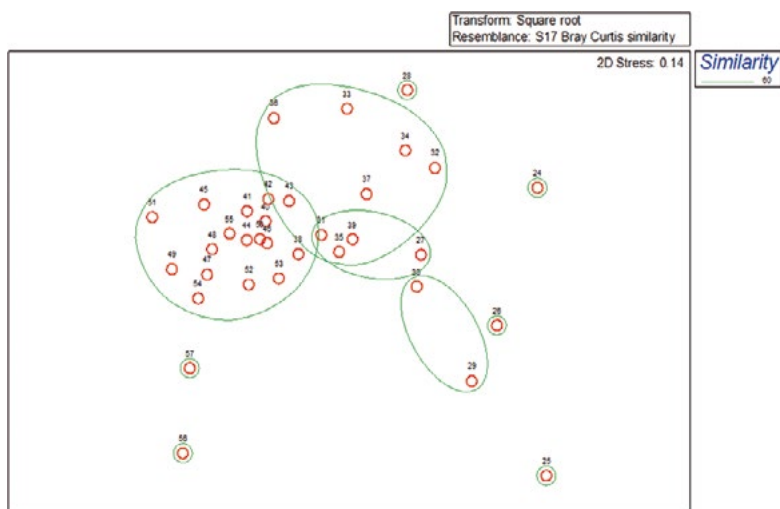
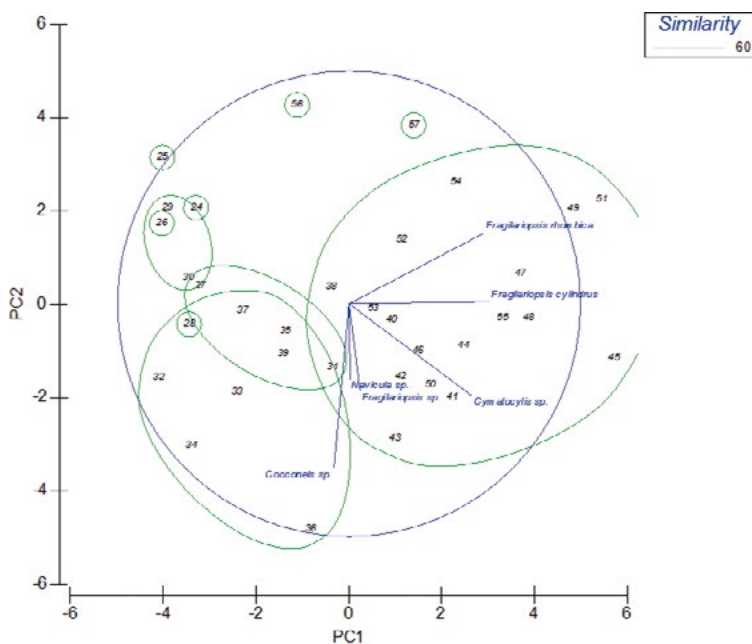


Figura 1.- MDS de la dieta de *Euphausia superba* krill por longitudes (mm) durante la expedición Antar XVII (enero- febrero 2007)

Figure 1. MDS of Antarctic krill *Euphausia superba* diet by length (mm) during Antar XVII expedition (January- February 2007)

Figura 2.- Análisis de componentes principales (PCA) de la dieta de *Euphausia superba* krill por longitudes (mm) durante la expedición Antar XVII (enero- febrero 2007)

Figure 2. Principal Component Analysis (PCA) of krill *Euphausia superba* diet by length (mm) during Antar XVII expedition (January- February 2007)



4. DISCUSIÓN

El motivo por el cual el krill se alimenta de fitoplancton, especialmente diatomeas, se puede atribuir a que ellas son el mayor componente de las floraciones de plancton registrados durante el verano austral (ROSS & QUETIN, 1986; QUETIN & ROSS, 1991), como también de microzooplankton (tintínido) porque ambos son elementos que se encuentran dentro del rango de tamaño de partícula, 1 a 3 μm , del cual el krill se puede alimentar (Mauchline y Fisher, 1969 citados por NISHINO & KAWAMURA, 1994). La formación de dos grupos dietarios, de individuos menores de 40 mm y mayores a 40 mm, está determinada no por la diferencia en los elementos dietarios sino por el mayor número de elementos consumidos por los individuos mayores de 40 mm, concordando con la necesidad de que individuos de mayor tamaño, requieren ingerir más cantidad de alimento. No se observó un patrón de comportamiento de alimentación con relación a hora de captura y profundidad de captura, esto puede atribuirse a que el krill se alimenta eficientemente durante el verano austral, con la finalidad de asegurar el éxito de su crecimiento y reproducción, relacionado de manera directa con la eficiencia de pastar sobre las floraciones de fitoplancton registrados durante el verano (QUETIN & ROSS, 1991). Asimismo, se sabe que el krill juvenil se distribuye cerca de la costa (SIEGEL, 2000) y, la fracción adulta principalmente en la zona de influencia del borde de la plataforma continental (NICOL *et al.*, 2000). Este es un mecanismo que permite al krill evitar la competencia por alimento y el canibalismo (SIEGEL, 1988).

4. DISCUSSION

The reason why krill feeds on phytoplankton, especially diatoms, may be ascribed to their role as the major component of plankton blooms recorded during the southern summer (ROSS & QUETIN, 1986; QUETIN & ROSS, 1991), as well as microzooplankton (tintinnid) since both are elements within the range of particle size, 1 to 3 μm , on which krill can feed (Mauchline & Fisher, 1969 cited by NISHINO & KAWAMURA, 1994). The formation of two dietary groups, one of the individuals less than 40 mm and the other greater than 40 mm, is determined not by the difference in dietary elements but by the greater number of elements consumed by individuals greater than 40 mm, which is consistent with the need for larger individuals to ingest more food. This could be related to the fact that krill is fed efficiently, during the southern summer, to ensure the success of its growth and reproduction, which is directly related to the efficiency of grazing on the phytoplankton blooms registered in the summer (QUETIN & ROSS, 1991). It is also known that juvenile krill is distributed near the coast (SIEGEL, 2000) and the adult fraction is mainly located in the zone of influence of the edge of the shelf break (NICOL *et al.*, 2000). This is a mechanism that allows Antarctic krill to avoid competition for food and cannibalism (SIEGEL, 1988).

REFERENCIAS / REFERENCES

- CLARKE K R. 1993. Non parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*. 18: 117 - 143.
- FERNANDES L. 1999. Tintininos (Ciliophora - Subordem Tintinnina) de águas subantárticas e antárticas entre a Argentina e a Península Antártica (35°S - 62°S) (Novembro de 1992). *Rev. bras oceanogr.* 47(2): 155 - 171.
- FRENGUELLI J, ORLANDO H A. 1958. Diatomeas y silicoflagelados del sector antártico sudamericano. Instituto Antártico Argentino. Publicación N° 5. 191 pp.
- KNOX G A. 1994. *The Biology of the Southern Ocean*. Cambridge University Press, Cambridge, 444 pp.
- NICOL S, KITCHENER J, KING R, HOSIE G W, DE LA MARE W K. 2000. Population structure and condition of Antarctic krill (*Euphausia superba*) off East Antarctica (80 - 150°E) during the Austral summer of 1995/1996. *Deep Sea Research II*. 47: 2489 - 2517.
- NISHINO Y, KAWAMURA A. 1994. Winter gut content of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) collected in the South Georgia Area- Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 7: 82 - 90.
- PRICE H J, BOYD K R, BOYD C M. 1988. Omnivorous feeding behavior of the Antarctic krill *Euphausia superba*. *Mar. Biol.* 97: 67 - 77.
- QUETIN L B, ROSS R M. 1991. Behavioral and physiological characteristics of the Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Amer. Zool.* 31(1): 49 - 63.
- ROSS R M, QUETIN L B. 1986. How productive are Antarctic krill? *BioScience*. 36 (4): 264 - 269.
- SIEGEL V. 1988. A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance west of the Antarctic Peninsula. In Sahrhage D (ed.) *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Berlin: Springer-Verlag. 219 - 230 pp.
- SIEGEL V. 2000. Krill (Euphausiacea) demography and variability in abundance and distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 57 (suppl. S3): 151 - 167.

DIETA DE LA MERLUZA PERUANA (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, 1954) EN OTOÑO 2012

PERUVIAN HAKE (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, 1954) DIET IN AUTUMN 2012

David Castillo¹

RESUMEN

CASTILLO D. 2019. Dieta de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, 1954) en otoño 2012. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 355-368.- El crucero de evaluación de recursos demersales se realizó entre mayo y junio del 2012 a bordo del BIC José Olaya Balandra, su principal objetivo fue la evaluación del recurso merluza. Uno de los aspectos biológicos evaluados fue ecología trófica. Se registraron 28 presas (8 crustáceos, 17 peces y 3 cefalópodos); destacaron por su importancia en aporte a la dieta: eufáusidos, múnida, el canibalismo y anchoveta en todas las sub áreas y estratos; se calculó la ración diaria de 7,84 g/ind/día, con mayor aporte del canibalismo. Se puede caracterizar a la merluza como un depredador carnívoro generalista, con cambios ontogénicos respecto al tamaño de presas en función a la talla. El canibalismo se observó en ejemplares a partir de los 20 cm de longitud total, comportamiento que fue incrementando su importancia según las merluzas alcanzaron mayor tamaño.

PALABRAS CLAVE: alimentación, merluza, otoño 2012

ABSTRACT

CASTILLO D. 2019. Peruvian hake (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, 1954) diet in autumn 2012. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 355-368.- Between May and June 2012, the demersal resources assessment cruise was carried out on board the R/V José Olaya Balandra, its main objective was the evaluation of the Peruvian hake resource. One of the biological aspects assessed was trophic ecology. A total of 28 prey were recorded (8 crustaceans, 17 fish, and 3 cephalopods); euphausiids, squat lobster, cannibalism, and anchoveta predominated in all subareas and strata for their importance in contributing to the diet; the daily ration of 7.84 g/ind/day was estimated, with a greater contribution from cannibalism. Peruvian hake can be characterized as a general carnivorous predator, with ontogenetic changes regarding prey size depending on length. Cannibalism was observed in specimens from 20 cm in total length, behavior that was increasing its importance as hake reached greater size.

KEYWORDS: feeding, Peruvian hake, autumn 2012

1. INTRODUCCIÓN

Los cruceros que realiza el Instituto del Mar del Perú para evaluar sus recursos demersales buscan registrar información que permitirá evaluar el estado biológico y poblacional del stock de merluza disponible en el mar peruano, así como caracterizar las condiciones oceanográficas de su área de distribución.

Los estudios de la composición de la dieta basados en análisis de contenido estomacal de merluza (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, 1954), que están incluidos como parte del estudio de las características biológicas de esta especie, han permitido conocer aspectos de su ecología trófica identificando sus principales presas así como sus variaciones respecto a diferentes parámetros.

Se analiza la dieta de merluza con relación a la fluctuación de sus características biológicas, conducta alimentaria y condiciones ambientales, además de identificar la formación de grupos tróficos en las diferentes subáreas de distribución y estratos de profundidad.

1. INTRODUCTION

To assess the biological and population status of demersal resources (specifically Peruvian hake), the Instituto del Mar del Perú (Alternative: Peruvian Marine Research Institute) carried out cruises to record information to estimate the hake stock available in the Peruvian sea, as well as to characterize the oceanographic conditions of its distribution area.

Dietary composition studies based on stomach content analysis of Peruvian hake (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, 1954), enable to know aspects of its trophic ecology by identifying its main prey as well as its variations with respect to different parameters.

The Peruvian hake diet is analyzed in relation to the fluctuation of its biological characteristics, food behavior, and environmental conditions, in addition to identifying the formation of trophic groups in the different sub-areas of distribution and depth strata.

¹ IMARPE, DGRIDL. Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. dcastillo@imarpe.gob.pe

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Lugar de muestreo y recolección de muestras

Se han analizado 6.447 muestras de estómagos (Tabla 1) provenientes del crucero de evaluación de merluza y otros demersales, efectuado entre el 11 de mayo y 1 de junio del 2012, a bordo del BIC José Olaya Balandra, cubriendo la zona comprendida entre los grados 3°29' y 7°30'S (Fig. 1).

Los estómagos recolectados, luego del muestreo biológico, se organizaron manteniendo el orden correlativo de ejemplar muestreado y se almacenaron en refrigeración; se tomó nota de la información de lance, fecha y hora de captura.

Análisis de contenido estomacal

Los estómagos fueron abiertos haciendo un corte longitudinal con una tijera quirúrgica, las presas grandes fueron reconocidas directamente, mientras que las pequeñas fueron colocadas en placas Petri para ser observadas con un microscopio estereoscópico a 10 y 20x de resolución para su identificación taxonómica al mínimo taxón posible;

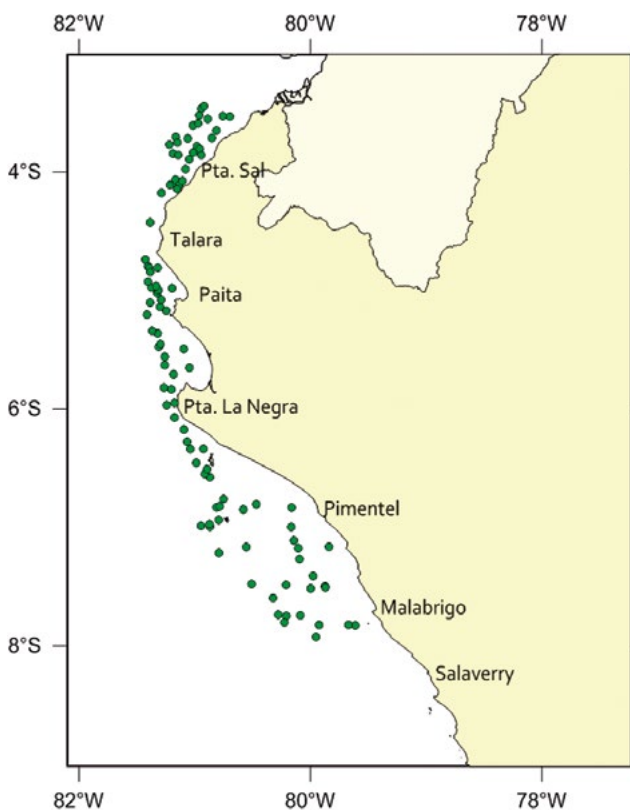


Figura 1.- Distribución geográfica de los puntos de obtención de muestras. Crucero de evaluación de merluza y otros demersales, otoño 2012, BIC José Olaya Balandra 1205-06

Figure 1. Geographical distribution of sampling points. Peruvian hake and other demersal species assessment cruise, autumn 2012, R/V José Olaya Balandra 1205-06

2. MATERIAL AND METHODS

Sampling location and collection of samples

Between May 11 and June 1, 2012, the Peruvian hake and other demersal species assessment cruise was carried out onboard the R/V José Olaya Balandra (between 3°29' and 7°30'S). A total of 6,447 samples of stomachs were analyzed (Fig. 1).

The collected stomachs were kept in refrigeration; the set, date, and time of catch information were noted.

Stomach content analysis

For taxonomic identification, the stomachs were opened by longitudinal cutting with surgical scissors, the large prey were directly recognized, while the small prey were observed with a stereoscopic microscope at 10 and 20X magnification; prey or groups of prey belonging to a major taxonomic category were weighed on a scale with a precision of 0.001 g. Available specialized bibliography was used (CHIRICHIGNO, 1970; CHIRICHIGNO & VÉLEZ, 1998; CHIRICHIGNO & CORNEJO, 2001; MÉNDEZ, 1981; SANTANDER *et al.* 1981).

Information analysis

Table 2 details the grouping factors used.

Variation in weight of stomach contents.- To analyze the dynamics of this variable during the cruise, the weight was ordered by length to the centimeter, by each area, and depth stratum (Fig. 2).

Determination of the importance of prey.- To determine the importance of each prey, the weight values were processed by applying the gravimetric method (%P) (BERG, 1979; HYSLOP, 1980), depending on the size range, sex, sub-area, and depth stratum.

Tabla 1.- Número de estómagos llenos, vacíos y rangos de talla analizados. Crucero BIC José Olaya Balandra 1205-06

Table 1. Number of analyzed full and empty stomachs and size ranges. R/V José Olaya Balandra 1205-06

Área	Rangos de talla (cm)	Estómagos		
		Llenos	Vacíos	Total
A	21-74	391	1204	1595
B	20-66	209	962	1171
C	15-53	318	861	1179
D	6-48	290	732	1022
E	11-42	508	972	1480

las presas o grupos de ellas pertenecientes a una categoría taxonómica mayor fueron pesadas en una balanza con precisión de 0,001 g. Se empleó bibliografía especializada disponible (CHIRICHIGNO, 1970; CHIRICHIGNO y VÉLEZ, 1998; CHIRICHIGNO y CORNEJO, 2001; MÉNDEZ, 1981; SANTANDER *et al.* 1981).

Análisis de información

En la tabla 2 se detallan los factores de agrupación utilizados.

Variación de peso del contenido estomacal.- El peso fue ordenado según la talla al centímetro, por cada área y estrato de profundidad, para analizar la dinámica de esta variable durante el crucero (Fig. 2).

Determinación de la importancia de las presas.- Para determinar la importancia de cada presa, los valores de peso fueron procesados aplicando el método gravimétrico (%P) (BERG, 1979; HYSLOP, 1980), en función del rango de tallas, sexo, sub área y estrato de profundidad.

Variación de las principales presas.- Las presas más importantes de la merluza (eufáusidos, anchoveta, múnida y merluza) fueron analizadas mediante el diagrama de cajas "boxplot", para determinar la variabilidad en función de los intervalos de talla, sexo y subárea.

Con la finalidad de tener una representación más clara de la dieta se agruparon las presas, quedando nueve ítems: eufáusidos, merluza, múnida, anchoveta, bereche con barbo, langostinos, peces mesopélagicos, cefalópodos y otras presas que fueron agrupados por intervalos de talla, sexo, subáreas y estratos.

Análisis estadístico.- El tratamiento estadístico consistió en analizar la variabilidad del peso de contenido estomacal y la importancia de las presas en función de los parámetros previamente determinados (intervalos de talla, ssexo, subárea y estrato de profundidad). Para ese efecto se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (THEODORSSON-NORHEIM, 1986).

Asimismo, debido a la naturaleza multivariada de la matriz de datos, se aplicó el método multivariado de ordenamiento denominado escalamiento multidimensional no métrico (MDS) para detectar patrones en los datos que ayuden a simplificar la importancia de las presas en función de los parámetros antes mencionados. En este caso, se emplearon los datos de peso, los cuales fueron previamente transformados a la forma raíz cuadrada.

Tabla 2.- Factores de agrupación para análisis de información para merluza, Cr. BIC Olaya 1205-06

Table 2. Grouping factors for information analysis of Peruvian hake, R/V José Olaya Balandra 1205-06

Factor Factor	Código Code	Características Characteristics
Intervalo de talla Size range	(a)	Pequeña: Menor a 20 cm (LT)
	(b)	Mediana: Entre 21 y 40 cm (LT)
	(c)	Grande: Mayor a 40 cm (LT)
Sexo Sex	0	Hembra/Female
	1	Macho/Male
Sub área Sub area	A	03°30' - 03°59'S
	B	04°00' - 04°59'S
	C	05°00' - 05°59'S
	D	06°00' - 06°59'S
	E	07°00' - 07°59'S
	F	08°00' - 08°59'S
Estratos de profundidad Depth strata (m)	1	30-90
	2	90-180
	3	180-360
	4	Mayores a 360

Variation of the main prey.- The boxplot diagram was used to analyse the most important prey (euphausiids, anchoveta, squat lobster, and Peruvian hake) determining variability according to length, sex, and sub-area intervals.

The prey were clustered, resulting in nine items: euphausiids, Peruvian hake, squat lobster, anchoveta, Peruvian barbel drum, prawns, mesopelagic fish, cephalopods, and other prey that were clustered by length, sex, sub-areas and strata intervals.

Statistical analysis.- The statistical treatment consisted of analyzing the variability of the weight of stomach contents and the importance of the prey according to size, sex, sub-area, and depth stratum intervals. The Kruskal-Wallis test was used for this purpose (THEODORSSON-NORAHEIM, 1986).

The multivariate method of ordering called non-metric multidimensional scaling (nMDS) was applied to detect patterns in the data that help to simplify the importance of the prey according to the aforementioned parameters. The weight data were used, which were previously transformed into the square root form.

Ración diaria de alimentación

Para la determinación de la ración diaria de alimentación se empleó el método de Durbin *et al.*, 1983 citado por Muck *et al.* (1988).

$$Rd = t \times Pp \times a \times e^{bT}$$

Donde:

Rd = Ración diaria de alimentación (g/ind./día).

t = Número de horas.

Pp = Peso promedio del contenido estomacal (g).

a = Coeficiente de digestibilidad del alimento (0,0406 para peces).

b = Constante (0,111), asociada a la temperatura.

T = Temperatura promedio en °C.

3. RESULTADOS

Peso de contenido estomacal PCE

Los valores del peso del contenido estomacal por cada individuo fueron analizados según la ubicación de captura. En las sub áreas A (estratos 3 y 4) y B (estrato 3) se pudo observar mayor cobertura de datos al cubrir un amplio rango de tallas, con tendencia a incrementarse según la profundidad (Fig. 2). En las otras subáreas y estratos de profundidad, solo se tuvo cobertura de individuos por debajo de los 45 cm de longitud total.

Composición taxonómica de la dieta

Se encontró alimento en 1.716 estómagos. Se reconocieron 28 presas (Tabla 3) representadas por 8 especies de crustáceos, 17 de peces y 3 de cefalópodos.

Las especies que formaron parte del espectro alimentario de la merluza, tuvieron diferentes niveles de importancia (%IRI) en la dieta. Destacaron eufáusidos (%IRI = 83,69), merluza por canibalismo (%IRI= 10,50), anchoveta *Engraulis ringens* (2,99%) y múnida *Pleuroncodes monodon* (Tabla 3).

Las principales presas a nivel de peso fueron: merluza (55,20%), anchoveta (16,99), eufáusidos (7,78%) y múnida (4,69%) (Tabla 3).

Numéricamente mayor aporte fue de eufáusidos (92,73%) y múnida (3,06%); las presas más frecuentes fueron eufáusidos (45,25%), múnida (16,56%), merluza (10,20%) y anchoveta (9,09%) (Tabla 3).

Daily feeding ration

The method of Durbin *et al.*, 1983 cited by Muck *et al.* (1988) was used to determine the daily feeding ration.

$$Rd = t \times Pp \times a \times e^{bT}$$

Where:

Rd = Daily feeding ration (g/ind./day).

t = Number of hours.

Pp = Mean weight of stomach content (g).

a = Feed digestibility coefficient (0.0406 for fish).

b = Constant (0.111), associated with temperature.

T = Mean temperature in °C.

3. RESULTS

Weight of stomach content WSC

The weight values of the stomach contents for each individual were analyzed according to the catch location. In sub-areas A (strata 3 and 4) and B (stratum 3) greater data coverage could be observed, with a rising tendency according to depth (Fig. 2). In the other sub-areas and depth strata, only individuals below 45 cm in total length were covered.

Taxonomic composition of the diet

Food was found in 1,716 stomachs. A total of 28 prey (Table 3) represented by 8 crustaceans, 17 fish, and 3 cephalopods were recognized.

Euphausiids (%IRI = 83.69), Peruvian hake by cannibalism (%IRI = 10.50), anchoveta *Engraulis ringens* (2.99%), and squat lobster *Pleuroncodes monodon* predominated (Table 3).

The main prey at weight level were: Peruvian hake (55.20%), anchoveta (16.99), euphausiids (7.78%), and squat lobster (4.69%) (Table 3).

Numerically, the greatest contribution was from euphausiids (92.73%) and squat lobster (3.06%); the most frequent prey were euphausiids (45.25%), squat lobster (16.56%), Peruvian hake (10.20%), and anchoveta (9.09%) (Table 3).

Composición de la dieta según rangos de talla y sexo

Se han observado tendencias en la composición de dieta de los tres intervalos de talla predefinidos en este estudio asociado al factor sexo. Las hembras pequeñas se alimentaron de múnida (50,4%), eufáusidos (33,3%) y anchoveta (4,7%); las medianas se alimentaron de anchoveta (42,2%), merluza (22,2%) y eufáusidos (11,0%); las hembras grandes fueron mayormente caníbales (85,6%). En el caso de los machos, las presas principales fueron: eufáusidos (52,9%) y múnida (37,3%) en los pequeños; eufáusidos (32,7%), anchoveta (31,2%) y múnida (16,2%) en los medianos y el canibalismo representó el 59,4% en los grandes (Fig. 3).

Dietary composition based on size ranges and sex

Tendencias have been observed in the dietary composition of the three pre-defined size intervals in this study associated with the sex factor. Small females fed on squat lobster (50.4%), euphausiids (33.3%), and anchoveta (4.7%); medium females fed on anchoveta (42.2%), Peruvian hake (22.2%), and euphausiids (11.0%); large females were mostly cannibals (85.6%). In the case of males, the main prey were: euphausiids (52.9%) and squat lobster (37.3%) in the small ones; euphausiids (32.7%), anchoveta (31.2%), and squat lobster (16.2%) in the medium-sized ones, and cannibalism represented 59.4% in the case of the large ones (Fig. 3).

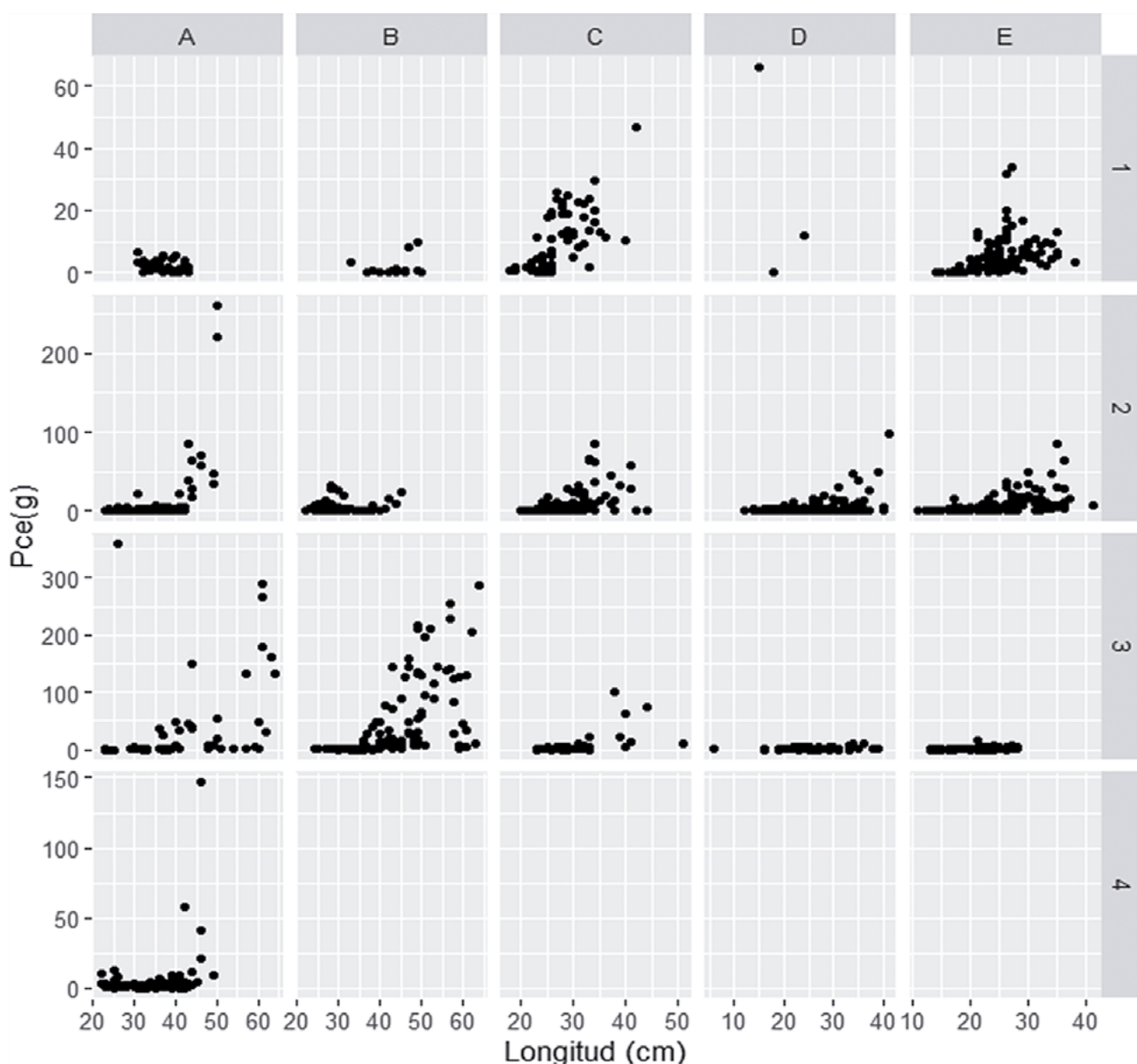


Figura 2.- Variación del peso del contenido estomacal individual en *Merluccius gayi peruanus*. Crucero BIC José Olaya Balandra 1205-06 según subáreas (A, B, C, D y E) y estratos de profundidad (1, 2, 3, 4)

Figure 2. Weight variation of individual stomach contents in *Merluccius gayi peruanus*. R/V José Olaya Balandra 1205-06 based on sub-areas (A, B, C, D, and E) and depth strata (1, 2, 3, 4)

Tabla 3.- Composición de la dieta de *Merluccius gayi peruanus*, peso (%P), número (%N), frecuencia de ocurrencia (%F). Crucero BIC José Olaya Balandra 1205-06

Table 3. Dietary composition of *Merluccius gayi peruanus*, weight (%P), number (%N), frequency of occurrence (%F). R/V Jose Olaya Balandra 1205-06

PRESAS	P	N	F	%P	%N	%F	%IRI
CRUSTACEA							
<i>Euphausiidae</i>	1145,4	22399	776	7,78	92,73	45,25	83,69
<i>Pleuroncodes monodon</i>	690,26	738	284	4,69	3,06	16,56	2,36
<i>Pasiphaea americana</i>	90,60	125	71	0,61	0,52	4,14	0,09
<i>Squilla</i> sp.	135,54	86	48	0,92	0,36	2,79	0,07
<i>Plesionika trispinus</i>	46,20	59	48	0,31	0,24	2,79	0,03
<i>Platymera gaudichaudii</i>	38,20	58	8	0,26	0,24	0,47	0,004
<i>Heterocarpus vicarius</i>	100,60	6	6	0,68	0,03	0,35	0,004
<i>Galatheididae</i>	9,30	1	1	0,06	0,004	0,06	0,0001
PISCES							
<i>Merluccius gayi peruanus</i>	8127,00	180	175	55,20	0,74	10,20	10,50
<i>Engraulis ringens</i>	2501,10	215	156	16,99	0,89	9,09	2,99
<i>Bregmaceros bathymaster</i>	146,90	107	44	0,99	0,44	2,56	0,07
Teleósteo indeterminado	137,40	45	44	0,93	0,19	2,56	0,05
<i>Ctenosciaena peruviana</i>	397,60	14	14	2,70	0,06	0,82	0,04
<i>Decapterus macrosoma</i>	288,00	4	4	1,96	0,02	0,23	0,008
<i>Vinciguerria</i> sp.	27,80	22	16	0,19	0,09	0,93	0,005
<i>Leuroglossus urotronus</i>	35,50	16	12	0,24	0,06	0,69	0,004
Gonostomatidae	21,60	12	12	0,15	0,05	0,69	0,003
<i>Trichurus lepturus</i>	40,80	5	5	0,28	0,02	0,29	0,002
<i>Pontinus sierra</i>	52,20	2	2	0,35	0,008	0,12	0,0007
<i>Diplectrum</i> sp.	22,90	3	3	0,15	0,01	0,17	0,0005
<i>Physiculus talarae</i>	59,60	1	1	0,40	0,004	0,06	0,0004
<i>Coelorinchus canus</i>	8,10	1	1	0,06	0,004	0,06	0,00006
Myctophidae	4,70	3	1	0,03	0,01	0,06	0,00005
<i>Anchoa nasus</i>	5,40	1	1	0,03	0,004	0,06	0,00004
Ophichthidae	3,50	1	1	0,02	0,004	0,06	0,00003
CEPHALOPODA							
Loliginidae	209,11	48	45	1,42	0,19	2,62	0,08
<i>Dosidicus gigas</i>	229,50	1	1	1,56	0,004	0,06	0,002
Octopodidae	146,70	1	1	0,99	0,004	0,06	0,001

Composición de la dieta según subáreas y estratos

Analizando la composición de la dieta de merluza por subárea y estrato de profundidad se obtuvo en los primeros 180 m de profundidad, en el estrato I las merluzas se alimentaron de eufáusidos (79,7%), anchoveta (87,0%) y cefalópodos (41,4%); en el estrato II los mayores aportes fueron de merluza (61,3%) y anchoveta (46,6%). A mayores profundidades, entre 180 y 360 m y en el estrato III, las presas más importantes fueron merluza (canibalismo) en las subáreas A (90,1%), B (87,6%) y C (74,9%), con presencia de múnida en las subáreas D (50,8%) y E (58,7%) (Fig. 4).

Análisis multivariado

Los análisis comparativos a nivel de talla, han mostrado tres grupos de merluzas con similitud a nivel de 30%. El primer grupo conformado por

Dietary composition by sub-areas and strata

It was obtained that in the first 180 m of depth, Stratum I: Peruvian hake were fed on euphausiids (79.7%), anchoveta (87.0%), and cephalopods (41.4%); in stratum II: the greatest contributions were Peruvian hake (61.3%) and anchoveta (46.6%). At greater depths, between 180 and 360 m and in stratum III, the most important prey were Peruvian hake (cannibalism) in sub-areas A (90.1%), B (87.6%), and C (74.9%), with the presence of squat lobster in sub-areas D (50.8%) and E (58.7%) (Fig. 4).

Multivariate analysis

Comparative analyses at the size level have shown three groups of Peruvian hake with similarity at the 30% level. The first group made

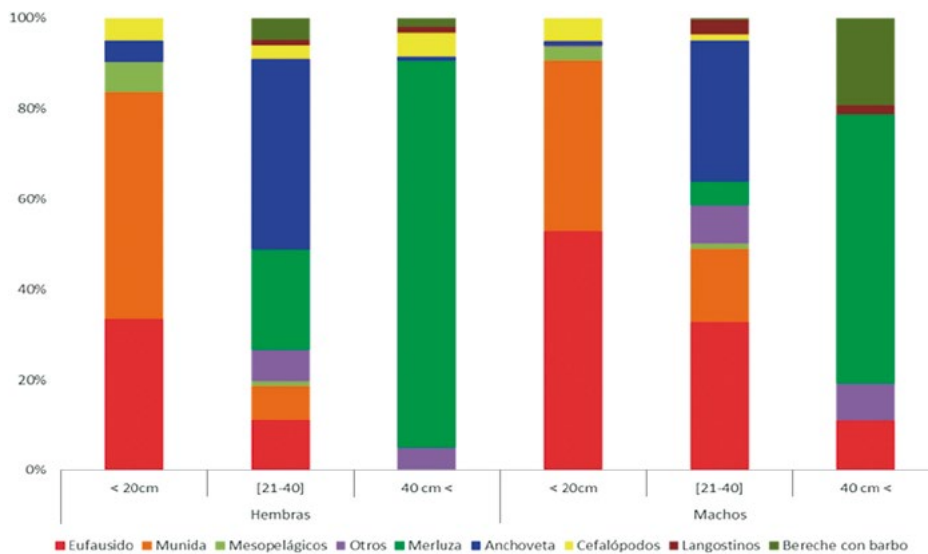


Figura 3.- Composición según valores de % peso de la dieta de *Merluccius gayi peruanus* según rangos de talla (cm). Cr 1205-06

Figure 3.- Composition according to weight % values of the *Merluccius gayi peruanus* diet according to size ranges (cm). Cr 1205-06

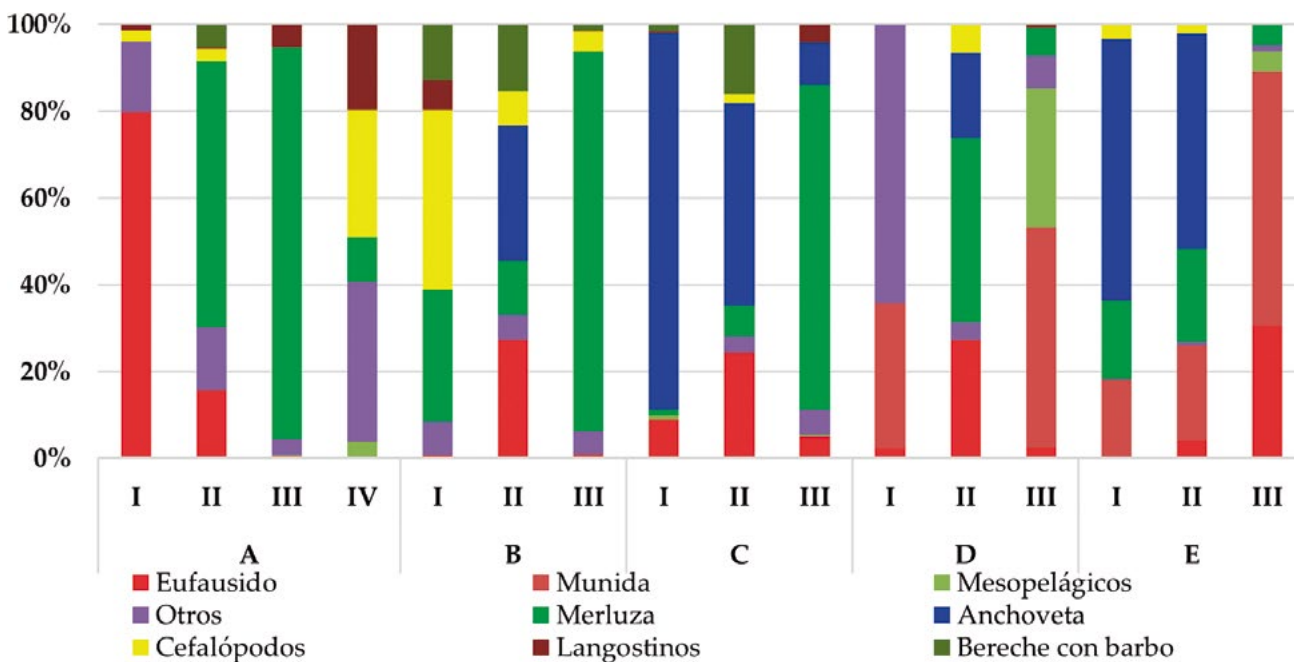


Figura 4.- Composición según % peso, dieta de *Merluccius gayi peruanus*, según subáreas y estratos. Cr 1205-06

Figure 4. Composition according to weight %, *Merluccius gayi peruanus* diet, according to sub-areas and depth strata. Cr 1205-06

merluzas pequeñas (menores a 20 cm) presentó alimentación basada en eufáusidos (43,4%), el segundo grupo de merluzas medianas (20 a 40 cm) consumieron anchoveta (39,4%), múnida (9,7%), eufáusidos (16,6%) y se presentó canibalismo (17,8%) y, el tercer grupo de merluzas grandes (mayores a 40 cm) fueron preferentemente caníbales (85,3%) (Fig. 5).

up of small hake (less than 20 cm) presented feeding based on euphausiids (43.4%), the second group of medium hake (20 to 40 cm) consumed anchoveta (39.4%), squat lobster (9.7%), euphausiids (16.6%), and cannibalism (17.8%), and the third group of large hake (greater than 40 cm) were preferably cannibals (85.3%) (Fig. 5).

A nivel de sexos el factor talla ha determinado la formación de grupos, mostrando en primer lugar a las merluzas pequeñas que se alimentaron de eufáusidos (52,9 y 33,3%), el segundo grupo de merluzas medianas que consumieron anchoveta (42,2 y 31,2%), múnida (7,4 y 37,7%), eufáusidos (11,0 y 32,7%) y merluza (22,2 y 5,2%) y el tercer grupo de merluzas grandes que fueron principalmente caníbales (85,6 y 59,4%) (Fig. 6).

At the level of sexes, the size factor has determined the formation of groups, starting with the small hake that fed on euphausiids (52.9 and 33.3%), the second group of medium hake that consumed anchoveta (42.2 and 31.2%), squat lobster (7.4 and 37.7%), euphausiids (11.0 and 32.7%) and hake (22.2 and 5.2%), and the third group of large hake that were mainly cannibals (85.6 and 59.4%) (Fig. 6).

A nivel de subáreas se observaron dos grupos, el primero formado por las subáreas A, B y C versus otro grupo que estuvo formado por las subáreas D y E, entre ambos grupos la diferencia sustancial fue la presencia de múnida en las subáreas D y E (Fig. 7).

At the sub-area level, two groups were observed, the first formed by sub-areas A, B, and C versus another group formed by sub-areas D and E. Between both groups, the main difference was the presence of squat lobster in sub-areas D and E (Fig. 7).

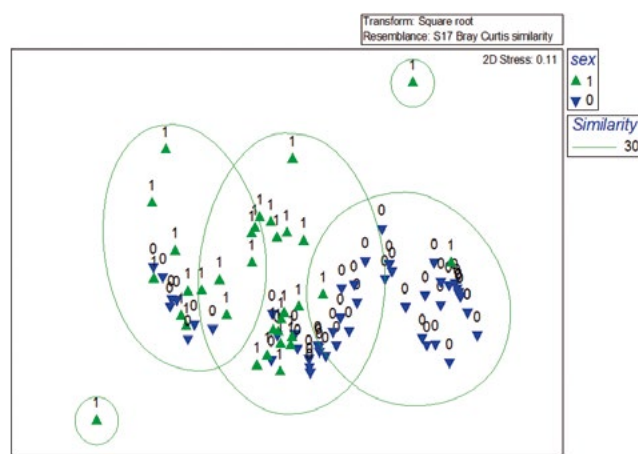
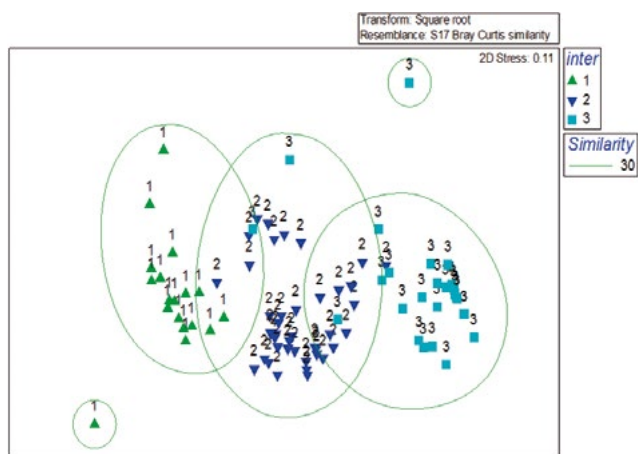


Figura 5.- MDS en la dieta de *M. gayi peruanus* según rangos de talla con subáreas (1:<20cm), (2: [20-40]) y (3: 40cm<). Cr 1205-06

Figure 5. MDS in the *Merluccius gayi peruanus* diet according to size ranges with sub-areas (1:<20cm), (2: [20-40]) y (3: 40cm<). Cr 1205-06

Figura 6.- MDS en la dieta de *Merluccius gayi peruanus* por sexo (1=machos) y (0=fembras). Cr 1205-06

Figure 6. MDS in the *Merluccius gayi peruanus* diet by sex (1=males) and (0=females). Cr 1205-06

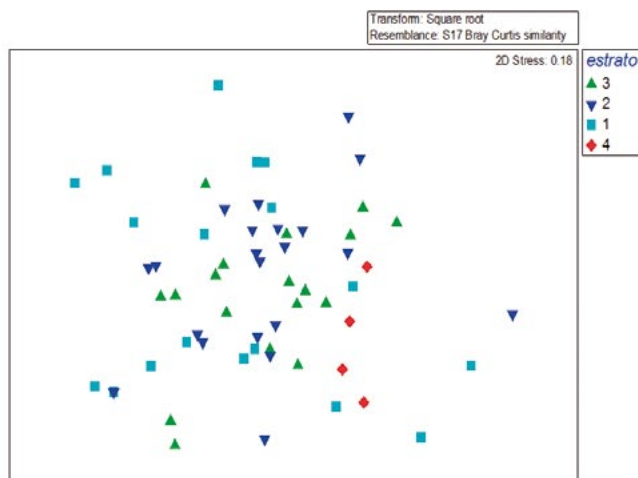
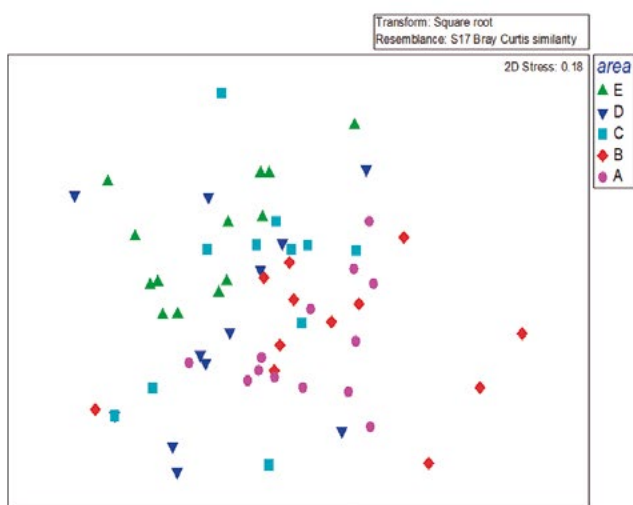


Figura 7.- MDS en la dieta de *Merluccius gayi peruanus* por subáreas. Cr 1205-06

Figure 7. MDS in the *Merluccius gayi peruanus* diet by sub-areas. Cr 1205-06

Figura 8.- MDS en la dieta de *Merluccius gayi peruanus* por estratos. Cr. 1205-06

Figure 8. MDS in the *Merluccius gayi peruanus* diet by strata. Cr. 1205-06

Según estratos se ha presentado relación entre los estratos II y III donde se ubicaron las merluzas que se alimentaron principalmente de eufáusidos, anchoveta y canibalismo; más alejados de la distribución se encontraron las merluzas capturadas en los estratos I y IV que se alimentaron de eufáusidos y langostinos de diversos tipos, respectivamente (Fig. 8).

Principales presas

Eufáusidos

La presencia de eufáusidos en las diferentes subáreas ha mostrado diferencias significativas ($Chi_4 = 49,4$; $p=0,0$) con mayor consumo promedio en las subáreas A (2,1 g/ind.) y C (1,2 g/ind.).

Las diferencias entre rangos de talla ($Chi_4 = 34,7$; $p=0,00$) presentaron incremento gradual de la cantidad de eufáusidos ingeridos entre merluzas pequeñas (menores a 20 cm) y merluzas grandes (mayores a 40 cm), por otro lado se han registrado diferencias en el consumo de esta presa entre machos y hembras ($p=0,901$) (Tabla 4, Fig. 9).

Anchoveta

Se han presentado diferencias ($Chi_4 = 8,23$; $p=0,041$) entre subáreas respecto al promedio de consumo de anchoveta, el cual fue mayor en la subárea B (21,3 g/ind.) y fue disminuyendo progresivamente hacia la subárea E (14,0 g/ind.).

According to strata, there has been a relationship between strata II and III, where the hake that fed mainly on euphausiids, anchoveta, and cannibalism were located; further away from the distribution, there were hake caught in strata I and IV, which fed on euphausiids and prawns of various types, respectively (Fig. 8).

Main prey

Euphausiids

The presence of euphausiids in the different sub-areas has shown significant differences ($Chi_4 = 49.4$; $p=0.00$) with higher mean consumption in sub-areas A (2.1 g/ind.) and C (1.2 g/ind.).

Differences between size ranges ($Chi_4 = 34.7$; $p=0.00$) presented a gradual increase in the number of consumed euphausiids between small hake (less than 20 cm) and large hake (greater than 40 cm). On the other hand, differences have been registered in the consumption of these prey between males and females ($p=0.901$) (Table 4, Fig. 9).

Anchoveta

There have been differences ($Chi_4 = 8.23$; $p=0.041$) between sub-areas regarding the mean consumption of anchoveta, which was higher in sub-area B (21.3 g/ind.) and was progressively decreasing towards sub-area E (14.0 g/ind.).

Tabla 4.- Valores de p respecto a la contribución en peso de las principales presas (eufáusidos, anchoveta, el canibalismo y múnida) en la dieta de *Merluccius gayi peruanus*. Cr. 1205-06 según subárea, rangos de talla y sexo

Table 4. Values of p regarding the contribution in weight of the main prey (euphausiids, anchoveta, cannibalism, and squat lobster) in the *Merluccius gayi peruanus* diet. Cr. 1205-06 by sub-area, size ranges, and sex

Presas	Factores	Ch_4	p
Eufáusidos	Área	49,40	0,000
	Rango de talla (cm)	34,70	0,000
	Sexo	0,01	0,901
Anchoveta	Área	8,23	0,041
	Rango de talla (cm)	6,69	0,035
	Sexo	-----	-----
Merluza	Área	-----	-----
	Rango de talla (cm)	-----	-----
	Sexo	75,28	0,000
Múnida	Área	-----	-----
	Rango de talla (cm)	-----	-----
	Sexo	4,44	0,000

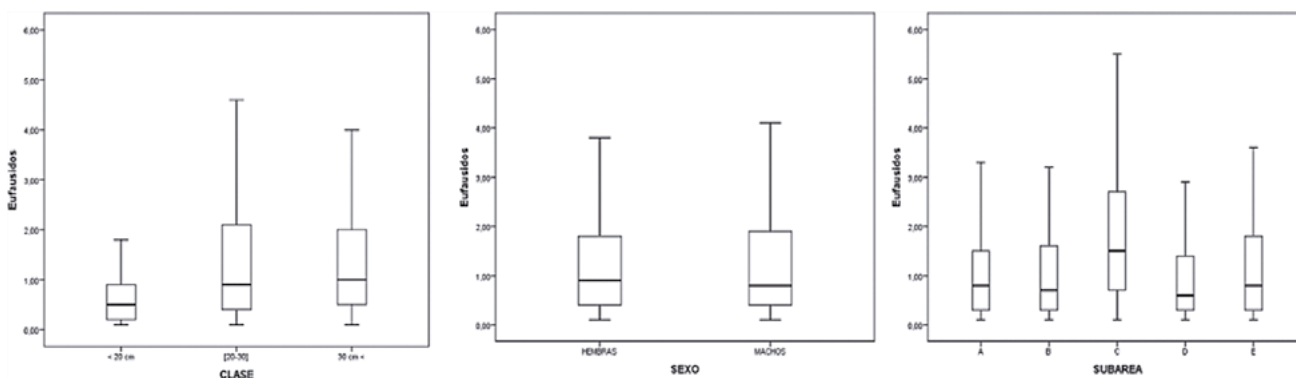


Figura 9.- Variación de la contribución en peso de los eufáusidos en la dieta de *Merluccius gayi peruanus* según intervalos de talla, sexo y subárea. Cr. 1205-06

Figure 9. Variation of the contribution in weight of euphausiids in the *Merluccius gayi peruanus* diet according to size, sex, and sub-area intervals. Cr. 1205-06

La relación entre el consumo de anchoveta y el tamaño de merluzas fue proporcional con una variación de 13,5 g/ind en merluzas pequeñas a 21,9 g/ind en merluzas grandes, presentando, entre las mismas diferencias significativas ($\chi^2_4 = 6,686$; $p = 0,035$); sin embargo, no fueron significativas las diferencias en el consumo de anchoveta entre machos y hembras (Tabla 4, Fig. 10).

Múnida

Fueron dos los grupos de talla en los que se registró presencia de múnida, los promedios fueron de 1,35 g/ind. en merluzas pequeñas y 4,51g/ind. en merluzas medianas. No se han encontrado diferencias entre hembras y machos; la presencia de múnida fue registrada en las subáreas D y E (Tabla 4, Fig. 11).

Canibalismo

La presencia del canibalismo se ha registrado en merluzas a partir de 20 cm de longitud total, con mayor incidencia en especímenes grandes, registrando mayores promedios en merluzas hembras (51,4 g/ind.) y menores en machos (7,7 g/ind.), con diferencias significativas ($\chi^2_4 = 75,279$; $p = 0$). Este comportamiento caníbal tuvo mayor importancia en las subáreas A y B, con valores promedios de consumo de 82,0 y 76,5 g/individuo (Tabla 4, Fig. 12).

Ración diaria

La ración diaria calculada durante este crucero para merluza fue de 7,84 g/ind/día, el mayor aporte fue del canibalismo que representó el 4,3 g/ind/día, anchoveta 1,3 g/ind/día y eufáusidos 0,61 g/ind /día.

The ratio between anchoveta consumption and Peruvian hake size was proportional with a variation from 13.5 g/ind in small hake to 21.9 g/ind in large hake, with significant differences between them ($\chi^2_4 = 6.686$; $p = 0.035$); however, the differences in anchoveta consumption between males and females were not significant (Table 4, Fig. 10).

Squat lobster

There were two size groups in which the squat lobster presence was recorded, the means were 1.35 g/ind. in small hake and 4.51g/ind. in medium hake. No differences were found between females and males; the presence of squat lobster was recorded in sub-areas D and E (Table 4, Fig. 11).

Cannibalism

The presence of cannibalism has been recorded in Peruvian hake from 20 cm in total length, with greater incidence in large specimens, with higher means in female hake (51.4 g/ind.) and smaller in males (7.7 g/ind.), with significant differences ($\chi^2_4 = 75.279$; $p = 0$). This cannibal behavior was more important in sub-areas A and B, with mean consumption values of 82.0 and 76.5 g/individual (Table 4, Fig. 12).

Daily ration

The estimated daily ration during this cruise for Peruvian hake was 7.84 g/ind./day, the greatest contribution was from cannibalism which represented 4.3 g/ind/day, anchoveta 1.3 g/ind/day, and euphausiids 0.61 g/ind/day.

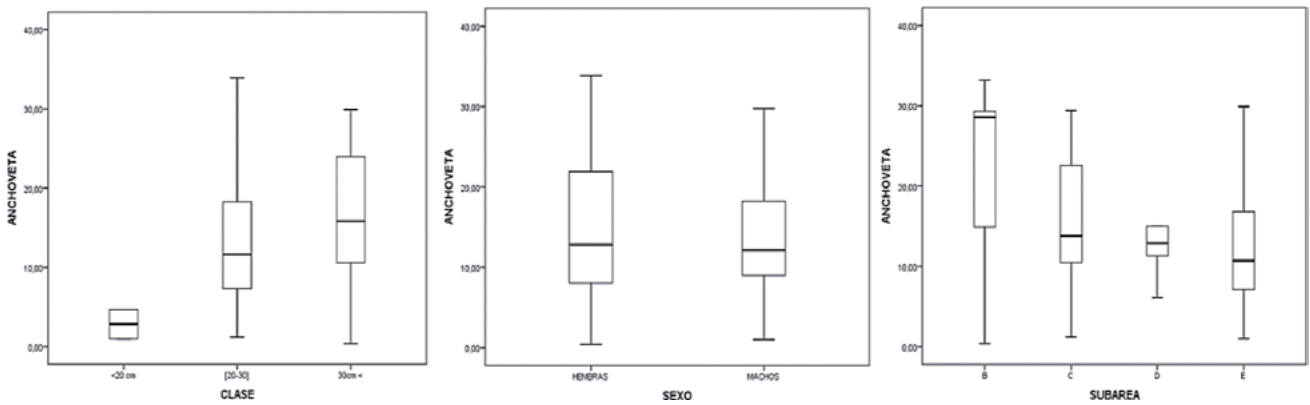


Figura 10.- Variación de la contribución en peso de *Engraulis ringens* en la dieta de *Merluccius gayi peruanus*, según intervalos de talla, sexo y subárea. Cr. 1205-06

Figure 10. Variation of the contribution in weight of *Engraulis ringens* in the *Merluccius gayi peruanus* diet, by size, sex, and sub-area intervals. Cr. 1205-06

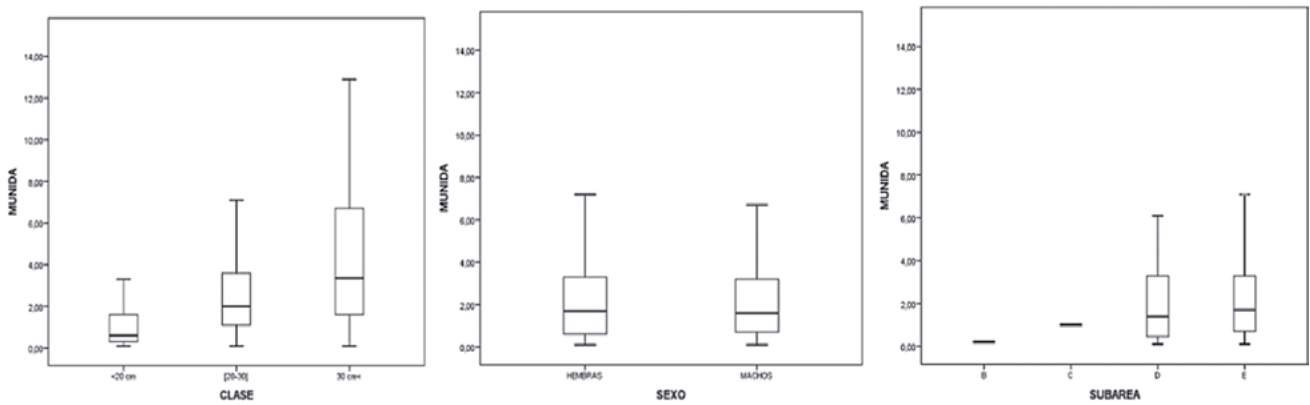


Figura 11.- Variación de la contribución en peso de *Pleuroncodes monodon* en la dieta de *Merluccius gayi peruanus* según intervalos de talla, sexo y subárea. Cr. 1205-06

Figure 11. Variation of the contribution in weight of *Pleuroncodes monodon* in the *Merluccius gayi peruanus* diet by size, sex, and sub-area intervals. Cr. 1205-06

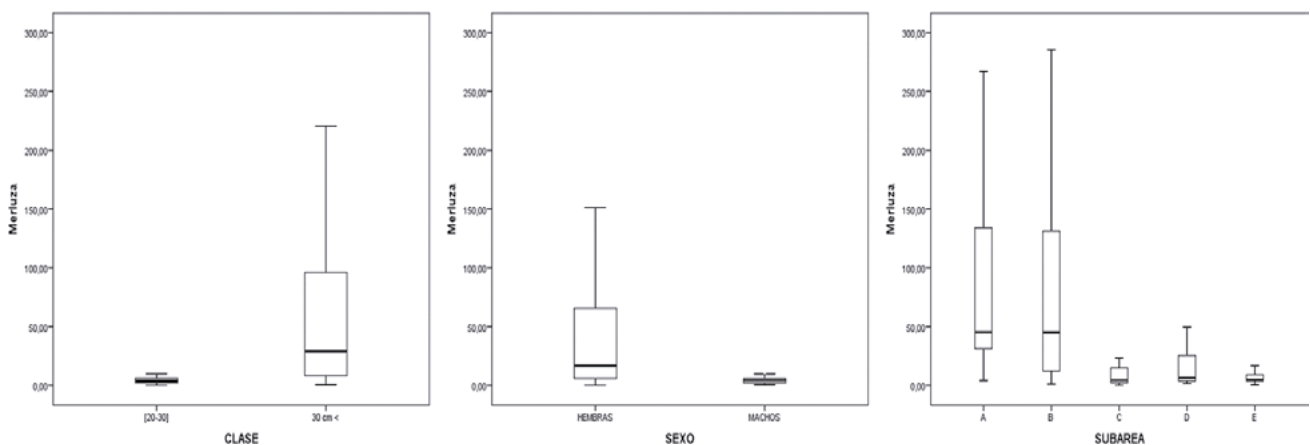


Figura 12.- Variación de la contribución en peso del canibalismo en la dieta de *Merluccius gayi peruanus* según intervalos de talla, sexo y subárea, Cr. 1205-06

Figure 12. Variation of the contribution in weight of cannibalism in the *Merluccius gayi peruanus* diet by size, sex, and sub-area intervals, Cr. 1205-06

4. DISCUSIÓN

La merluza peruana ha sido calificada como una “*especie oportunista por excelencia*” (FUENTES *et al.*, 1989) y en efecto, en este estudio se ha observado que se alimentó de especies que ocupan tanto el dominio pelágico como el bentónico.

Por otro lado, una de las características de la merluza es desplegar diferentes estrategias de alimentación durante su desarrollo hacia la etapa adulta; así, los individuos menores de 20 cm se alimentaron principalmente de eufáusidos, mientras que los mayores de 40 cm fueron principalmente caníbales, lo que concuerda con lo mencionado por FUENTES *et al.* (1989) quienes encontraron que los individuos juveniles filtran eufáusidos para alimentarse y cuando son adultos, engullen las presas tales como peces, camarones, langostinos y cefalópodos, respaldando la hipótesis de que la dieta de peces por lo general cambia, en asociación a cambios morfológicos que acompañan a su crecimiento, permitiéndole capturar presas de diferente tipo y tamaño como en efecto sucede en otras especies del género *Merluccius* en todo el mundo (CARPENTIERI *et al.*, 2005; MAHE *et al.*, 2007; CARTES *et al.*, 2009; BELLEGGIA *et al.*, 2014).

Con relación al canibalismo, este se manifestó principalmente en ejemplares de tallas mayores a 55 cm entre los años 1970 y 1980 (FUENTES *ob. cit.*) mientras que a fines de los años 1990 ejerce esta interacción desde los 13 cm (ÁLAMO y ESPINOZA, 1997; ESPINOZA, 2001; BLASKOVIC' y ESPINOZA, 2011). En nuestra investigación, se han observado ejemplares que ejercían canibalismo a partir de los 20 cm. Se han postulado algunas hipótesis para explicar por qué sucede el canibalismo; durante el otoño e invierno es intenso, debido a que entra en fase de reproducción y necesita mayor energía y al parecer, el canibalismo satisface esa necesidad (FUENTES *ob. cit.*); también se asocia con la menor disponibilidad de anchoveta como alimento (ÁLAMO y ESPINOZA, 1997) y, con el progresivo aumento en la concentración de merluzas por un desplazamiento de la población hacia la zona norte (ESPINOZA, 2001; GUEVARA-CARRASCO y WOSNITZA-MENDO, 2009).

Con relación al número de presas, se han presentado diferencias respecto al número y presencia de algunas de las presas encontradas durante el otoño de 2012 y los resultados que muestran los estudios realizados durante los años 1970 y 1980, en los cuales el número de presas fue mayor; además, durante esos periodos se registraron presas como

4. DISCUSSION

Peruvian hake has been qualified as an “*opportunistic species par excellence*” (FUENTES *et al.*, 1989) and indeed, it has been observed in this study that it fed on species that occupy both the pelagic and benthic domains.

One of the characteristics of hake is to deploy different feeding strategies during its development into adulthood; individuals under 20 cm were fed mainly on euphausiids, while over 40 cm were mainly cannibals, which is consistent with what was mentioned by FUENTES *et al.* (1989), who found that juvenile individuals filter euphausiids to feed and when they are adults, swallow prey such as fish, shrimp, prawns, and cephalopods, supporting the hypothesis that the diet of fish generally changes, in association with morphological changes that accompany their growth, allowing them to catch prey of different type and size as in effect happens in other species of the genus *Merluccius* throughout the world (CARPENTIERI *et al.*, 2005; MAHE *et al.*, 2007; CARTES *et al.*, 2009; BELLEGGIA *et al.*, 2014).

Between 1970 and 1980, cannibalism manifested itself mainly in specimens of sizes greater than 55 cm (FUENTES *et al.*, 1989) while in the late 1990s, it exerts this interaction from 13 cm (ÁLAMO & ESPINOZA, 1997; ESPINOZA, 2001; BLASKOVIC' & ESPINOZA, 2011). In our research, specimens that exercised cannibalism from 20 cm have been observed. Some hypotheses have been postulated to explain why cannibalism occurs; during autumn and winter it is intense, because it enters the reproduction phase and needs more energy and apparently cannibalism satisfies that need (FUENTES *et al.*, 1989); it is also associated with the lower availability of anchoveta as food (ÁLAMO & ESPINOZA, 1997) and, with the progressive increase in the concentration of Peruvian hake due to a displacement of the population towards the north (ESPINOZA, 2001; GUEVARA-CARRASCO & WOSNITZA-MENDO, 2009).

Regarding the number of prey, there have been differences with respect to the number and presence of some of the prey found in autumn 2012 and the results shown by the studies carried out during the 1970s and 1980s, in which the number of prey was higher; moreover, during these periods prey such as Peruvian barbel drum, Peruvian weakfish, andg Peruvian banded

bereche con barbo, cachema y suco (BLASKOVIC' y CASTILLO, 2006) que no fueron registradas durante el otoño de 2012.

Estos cambios en número y presencia de presas muestran que, en general, la dinámica de la alimentación ha venido presentando cambios progresivos desde finales de los años 1990, probablemente por un efecto combinado de la pesquería de arrastre industrial y artesanal así como por la componente ambiental (GUEVARA-CARRASCO y WOSNITZA-MENDO, 2009), cambios en el tiempo que evidencian que la merluza, como especie oportunista, ha utilizado siempre fuentes de alta energía acorde a su requerimiento energético, necesario para cumplir con su rol de gran depredador en el subsistema demersal.

Con relación al consumo de alimento, se ha calculado una ración diaria de 7,84 g/ind/día durante el otoño 2012, constituida por presas como la propia merluza (canibalismo) con 4,3 g/ind/día (54,85%), anchoveta 1,3 g/ind./día (16,57%) y eufáusidos 0,61 g/ind/día (7,78%). Este valor de la ración diaria de merluza es coincidente con lo calculado por ÁLAMO y ESPINOZA (1997) para el otoño de 1997 y por BLASKOVIC' y ESPINOZA (2011) para el otoño de 2004. Se evidencia la importante contribución del canibalismo que junto a la anchoveta y los eufáusidos fueron la base de la alimentación de la merluza durante el otoño de 2012.

5. CONCLUSIONES

La merluza es un depredador carnívoro generalista que preferentemente se alimentó de eufáusidos, anchoveta, múnida y merluza (canibalismo) durante el otoño de 2012.

El comportamiento caníbal de merluza se presentó a partir de los 20 cm de longitud total, sustentando gran parte de la alimentación en otoño de 2012.

croaker were recorded (BLASKOVIC' & CASTILLO, 2006), these species were not observed in autumn 2012.

These changes in the number and presence of prey show that, in general, the dynamics of feeding have been progressively changing since the late 1990s, probably due to a combined effect of industrial and artisanal trawl fisheries as well as the environmental component (GUEVARA-CARRASCO & WOSNITZA-MENDO, 2009), changes in time that show that Peruvian hake, as an opportunistic species, has always used high energy sources according to its energy requirement, necessary to fulfill its role as a large predator in the demersal subsystem.

Regarding feed consumption, a daily ration of 7.84 g/ind/day has been calculated for autumn 2012, consisting of prey such as hake itself (cannibalism) with 4.3 g/ind/day (54.85%), anchoveta 1.3 g/ind./day (16.57%), and euphausiids 0.61 g/ind/day (7.78%). This value of the daily hake ration coincides with what was calculated by ÁLAMO & ESPINOZA (1997) for autumn 1997 and by BLASKOVIC' & ESPINOZA (2011) for autumn 2004. There is evidence of the important contribution of cannibalism, which together with anchoveta and euphausiids were the basis of the Peruvian hake diet in autumn 2012.

5. CONCLUSIONS

Peruvian hake is a generalist carnivorous predator that preferably fed on euphausiids, anchoveta, squat lobster and hake (cannibalism) in autumn 2012.

The cannibal behavior of Peruvian hake was presented from specimens of 20 cm in total length, sustaining much of the feeding in autumn 2012.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ÁLAMO A, ESPINOZA P. 1997. Espectro alimentario de la merluza peruana durante el otoño de 1997: Crucero BIC Humboldt 9705-06, Callao a Puerto Pizarro. Inf Inst Mar Perú. 128: 47 - 55.
- BELLEGGIA M, FIGUEROA D E, IRUSTA G, BREMEC C. 2014. Spatio temporal and ontogenetic changes in the diet of the Argentine hake *Merluccius hubbsi*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 94(8): 1701 - 1710.
- BERG J. 1979. Discussion of methods of investigating the food of fishes, with reference to a preliminary study of the prey of *Gobiusculus flavescens* (Gobiidae). Mar. Biol. 50(3): 263 - 273.
- BLASKOVIC' V, CASTILLO D. 2006. Interannual dietary variability of Peruvian hake (*Merluccius gayi peruanus*), 1976-2005. In: Book of extended abstracts. pp. 186 - 187. International Conference The Humboldt Current System: climate, ocean dynamics, ecosystem processes, and fisheries. Lima, Peru (November 27th. December 1st. 2006).

- BLASKOVIC' V, ESPINOZA P. 2011. Dieta de la merluza peruana en el verano 2004. Crucero BIC Olaya 0401-02. Inf Inst Mar Perú. 38(3): 311 - 319.
- CARPENTIERI P, COLLOCA F, CARDINALE M, BELLUSCIO A, ARDIZZONE G D. 2005. Feeding habits of European hake (*Merluccius merluccius*) in the central Mediterranean Sea. Fishery Bulletin. 103: 411 - 416.
- CARTES J E, HIDALGO M, PAPIOL V, MASSUTI' E, MORANTA J. 2009. Changes in the diet and feeding of the hake *Merluccius merluccius* at the shelf-break of the Balearic Islands: influence of the mesopelagic boundary community. Deep-Sea Research I. 56: 344 - 365.
- CHIRICHIGNO N. 1970. Lista de crustáceos del Perú (Decapoda y Stomatopoda). Inf Inst Mar del Perú. 35: 93.
- CHIRICHIGNO N, CORNEJO M. 2001. Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Publicación especial Instituto del Mar del Perú. 314 pp.
- CHIRICHIGNO N, VÉLEZ J. 1998. Clave para identificar peces marinos del Perú (Segunda edición, revisada y actualizada). Publicación especial. Instituto del Mar del Perú. 496 pp.
- ESPINOZA P. 2001. Alimentación de la merluza (*Merluccius gayi peruanus*) y sus fluctuaciones en el tiempo. En: Espino M, Samamé M, Castillo R (eds.) La merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*) biología y pesquería. Documento de trabajo. pp. 50 - 54.
- FUENTES H, ANTONIETTI E, MUCK P. 1989. Alimentación de la merluza (*Merluccius gayi peruanus*) de la zona de Paita. En: H. Jordán, R. Kelly, O. Mora, A. Ch. de Vildoso y N. Enríquez (Eds.). Memorias del Simposio Internacional de los recursos vivos y las pesquerías en el Pacífico sudeste. CPPS (Número Especial). Pp. 279 - 286.
- GUEVARA-CARRASCO R, WOSNITZA-MENDO C. 2009. Cambios en la productividad de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg). Bol Inst Mar Perú. 24(1-2): 60.
- HYSLOP E J. 1980. Stomach contents analysis - a review of methods and their application. J. Fish. Biol. 17: 411 - 429.
- MAHE K, AMARA R, BRYCHAERT T, KACHER M, BRYLINSKI J M. 2007. Ontogenetic and spatial variation in the diet of hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay and the Celtic Sea. ICES Journal of Marine Science. 64: 1210 - 1219.
- MÉNDEZ M. 1981. Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) del mar y ríos de la costa del Perú. Bol Inst Mar Perú. 5: 170.
- MUCK P, ESPINO M, FUENTES H, WOSNITZA-MENDO C, ESQUERRE M. 1988. Predación de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*) sobre la anchoveta (*Engraulis ringens*). En: H. Salzwedel y A. Landa (eds.). Recursos y Dinámica del Ecosistema de Afloramiento Peruano. Bol Inst Mar Perú. Vol. Extraordinario: 249 - 253 pp.
- SANTANDER H, LUYO G, CARRASCO S, VÉLIZ M, SANDOVAL DE CASTILLO O. 1981. Catálogo de zooplancton en el mar peruano. Bol Inst Mar Perú. Vol. 6: 75.
- THEODORSSON-NORHEIM E. 1986. Kruskal-Wallis test: BASIC computer program to perform nonparametric one-way analysis of variance and multiple comparisons on ranks of several independent samples. Computer methods and programs in biomedicine. 23(1): 57 - 62.

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

EL NIÑO COSTERO 2017: IMPACT ON POPULATION OF *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818) AND COMMUNITY STRUCTURE OF MACROBENTHOS IN ISLA BLANCA-ENAPU, PERU

Pedro Berrú Paz¹

Angel Perea de la Matta¹

RESUMEN

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.- Se analizó información de dos evaluaciones poblacionales de *Tagelus dombeii* "navajuela" en el banco natural Isla Blanca-ENAPU (bahía El Ferrol) en junio 2016 (antes de EN) y junio 2017 (después de EN). Se describen los cambios en la estructura del macrobentos. Para la estimación poblacional se consideró: área del banco evaluado y, densidad y biomasa media por estrato de profundidad; para la mortalidad poblacional se efectuó conteo de valvas dobles en "posición vital" (muertes recientes) en las unidades de muestreo (1 m²). La estructura comunitaria del macrobentos fue analizada mediante riqueza, uniformidad de Pielou, diversidad de Shannon, dominancia de Simpson e índice de valor biológico. Esta población disminuyó 92,3% en junio 2017 respecto a junio 2016, como consecuencia de elevadas temperaturas registradas en febrero (25,6 °C) y marzo (26,8 °C), superiores a la tolerancia máxima de 25,1 °C determinada para la especie. Durante el 2016 las capturas comerciales variaron de 14 a 17 t/estación, manteniendo sus niveles durante el año; las capturas en verano y otoño del 2017 fueron de 22,1 y 6,5 t, respectivamente, disminuyendo en 61% en el otoño 2017 respecto al otoño 2016. La riqueza de especies se redujo después de los efectos de El Niño en el verano del 2017. La dominancia de especies en junio 2016, representada por *T. dombeii*, *Nassarius gayii* y *Pagurus villosus*, fue reemplazada en junio 2017 por *N. gayii* por tener mayor estrategia de supervivencia, movilidad y capacidad de variar o combinar sus hábitos alimenticios de predador a necrófago. *T. dombeii*, como especie objetivo, pasó de ser una especie abundante y frecuente en junio 2016 a una especie común intermedia en junio 2017.

PALABRAS CLAVE: *Tagelus dombeii*, banco natural, El Niño Costero 2017

ABSTRACT

BERRÚ P, PEREA A. 2019. El Niño costero 2017: impact on population of *Tagelus dombeii* (Lamarck. 1818) and community structure of macrobenthos in the Isla Blanca-ENAPU, Peru. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 369-384.- Information from two population assessments of *Tagelus dombeii* in the Isla Blanca-ENAPU natural bank (El Ferrol Bay) in June 2016 (before EN) and June 2017 (after EN) was analyzed. Changes in the macrobenthos structure are described. For population estimation, the area of the bank evaluated was considered, as well as mean density and biomass per depth stratum; for mortality, double valves in "vital position" (recent deaths) per 1 m² were counted. For the macrobenthos community structure, richness, Pielou's equity, Shannon diversity, Simpson dominance, and biological value index were analyzed. The decrease in population was 92.3% in June 2017 as compared to June 2016, resulting from the high temperatures of February (25.6 °C) and March (26.8 °C), which were above the maximum tolerance of 25.1 °C determined for the species. In 2016, the catches varied from 14 to 17 t/station, maintaining those levels throughout the year; in 2017, the catches in summer and autumn were 22.1 and 6.5 t, respectively, and they decreased 61% in autumn 2017 as compared to autumn 2016. Species richness declined after the effects of El Niño in the summer of 2017. The dominance of species in June 2016, represented by *T. dombeii*, *Nassarius gayii* and *Pagurus villosus*, was replaced in June 2017 by *N. gayii* for having a greater survival strategy, mobility and ability to vary or combine their eating habits from predator to necrophagus. *T. dombeii*, as a target species, went from being an abundant and frequent species in June 2016 to an intermediate common species in June 2017.

KEYWORDS: *Tagelus dombeii*, natural bank, The Niño Costero 2017

1. INTRODUCCIÓN

La distribución anómala de aguas cálidas del ecuador sur produce un calentamiento inusual y temporal con lluvias intensas e impactos en el ecosistema marino es conocido en el Perú como fenómeno El Niño (EN) (CARRILLO, 1892).

1. INTRODUCTION

In Peru, the anomalous distribution of warm waters from the southern equator producing unusual and temporary warming with intense rains and impacts on the marine ecosystem is known as the El Niño phenomenon (EN) (CARRILLO, 1892).

¹ IMARPE, Laboratorio Costero de Chimbote, Prolongación Lo Pinos s/n, Chimbote. pberru@imarpe.gob.pe

En áreas someras El Niño (EN) produce modificaciones de muchos parámetros oceanográficos como el incremento de la temperatura, la elevación del nivel del mar, incremento del oxígeno disuelto y la mayor incidencia de marejadas (ARNTZ, 1986; ARNTZ y TARAZONA, 1988; TARAZONA *et al.*, 1985a). Estos cambios afectan negativa o positivamente a las poblaciones y comunidades submareales, siendo aún más evidente en invertebrados comerciales, los que se ven reflejados en sus desembarques.

La cuasi periodicidad de El Niño, al mismo tiempo que su repetición en una escala de tiempo geológica, lo describe como un "pulso ambiental" que puede modificar la estructura de los ecosistemas marinos a nivel poblacional, dependiendo de la intensidad de sus efectos positivos y negativos (TARIFEÑO, 1989).

El incremento de la temperatura del mar durante eventos El Niño, ha conllevado a una masiva mortalidad de especies bentónicas y emigración forzada de especies pelágico-demersales buscando mejores condiciones ambientales. Sin embargo, se han detectado efectos positivos sobre determinadas especies, las cuales han experimentado crecimientos explosivos muy por encima de sus densidades poblacionales normales, como en el caso de *Argopecten purpuratus* "concha de abanico" en el Perú (ARNTZ *et al.*, 1988).

El grado de variación térmica y la capacidad que tenga el individuo para soportarlo, determinan que se activen los mecanismos adaptativos, ya sean por conformación (modificación de las funciones orgánicas en forma proporcional al cambio) o regulación (las funciones orgánicas, se ajustan compensatoriamente para mantener la constancia de una o varias funciones). Una determinada función tiene un óptimo ambiental para su desarrollo, es decir, dependiendo de los niveles de eficiencia con la cual la función trabaja, la adaptación al ambiente puede ocurrir sin que ello signifique mayor stress para el animal, y por lo tanto se dice que el animal "tolera" dicho cambio. Si el cambio ambiental se extiende más allá del rango de tolerancia, el individuo se ve obligado a usar los mecanismos de adaptación (vía conformación o regulación) para "resistir" el cambio. La eficiencia de los mecanismos adaptativos en uso durante la resistencia al cambio ambiental determinará el rango de variación ambiental que el animal podrá resistir (zonas de resistencia), pero si el cambio es muy grande y abarca rangos ambientales más extensos que la zona de resistencia, el animal no podrá resistir y ocurrirá su muerte (zonas letales) existiendo entonces "límites letales" (TARIFEÑO, 1989).

El Niño produce changes in many oceanographic parameters such as temperature increase, sea-level rise, increase in dissolved oxygen, and higher incidence of heavy swells in shallow areas (ARNTZ, 1986; ARNTZ & TARAZONA, 1988; TARAZONA *et al.*, 1985a). Changes affecting subtidal populations and communities, which is reflected in commercial invertebrate landings.

The quasi-periodicity of El Niño, as well as its repetition on a geological time scale, describes it as an "environmental pulse" that can modify the structure of marine ecosystems at the population level, depending on the intensity of its positive and negative effects (TARIFEÑO, 1989).

As a consequence of the El Niño events, the increase in sea temperature has led to massive mortality of benthic species and forced emigration of pelagic-demersal species in search of better environmental conditions. However, positive effects have been detected on certain species, which have experienced explosive growth well above their normal population densities, as in the case of *Argopecten purpuratus* "Peruvian scallop" (ARNTZ *et al.*, 1988).

TARIFEÑO in 1989 indicated: "The degree of thermal variation and the capacity that the individual has to support it, determine that the adaptive mechanisms are activated, either by conformation (modification of the organic functions in proportion to the change) or regulation (the organic functions, are adjusted in a compensatory way to maintain the constancy of one or several functions). A certain function has an environmental optimum for its development, in other words, depending on the levels of efficiency with which the function works, adaptation to the environment can occur without this meaning greater stress for the animal, and therefore it is said that the animal "tolerates" such change. If the environmental change extends beyond the tolerance range, the individual is forced to use adaptation mechanisms (via conformation or regulation) to "resist" the change. The efficiency of the adaptive mechanisms in use during resistance to environmental change will determine the range of environmental variation that the animal will be able to resist (resistant zones), but if the change is very large and covers wider environmental ranges than the resistant zone, the animal will not be able to resist and death will occur (lethal zones) and there will then be "lethal limits".

En el presente estudio se analiza la mortandad poblacional de *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818) “navajuela” y los cambios de la estructura comunitaria de la fauna asociada (macrobentos) en el banco natural Isla Blanca-ENAPU, como consecuencia de El Niño costero (EN) desarrollado el primer trimestre del 2017.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio.- Se comparan los resultados de dos evaluaciones poblacionales de la navajuela desarrolladas durante junio del 2016 (antes de EN) y junio del 2017 (después de EN), en el banco natural de Isla Blanca-ENAPU (Fig. 1).

Estimación poblacional.- La metodología utilizada es la de Área Barrida (BAZIGOS, 1981), que emplea como tipo de muestreo el método estratificado al azar. La estratificación se realizó de acuerdo a la profundidad, trabajándose en tres estratos: I (0-10 m), II (10-20 m) y III (20-30 m).

This study analyzes the population mortality of *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818) “hard razor clam” and the changes in the community structure of the associated fauna (macrobenthos) in the Isla Blanca-ENAPU natural bank, as a consequence of the El Niño Costero (EN) developed in the first quarter of 2017.

2. MATERIAL AND METHODS

Study area.- In June 2016 (before EN) and June 2017 (after EN), two population assessments of hard razor clam were carried out in Isla Blanca-ENAPU, whose results are compared (Fig. 1).

Population estimate.- The Swept Area method BAZIGOS (1981), which uses the random stratified method, was chosen as the type of sampling. The stratification was made according to the depth, working in three strata: I (0-10 m), II (10-20 m), and III (20-30 m).

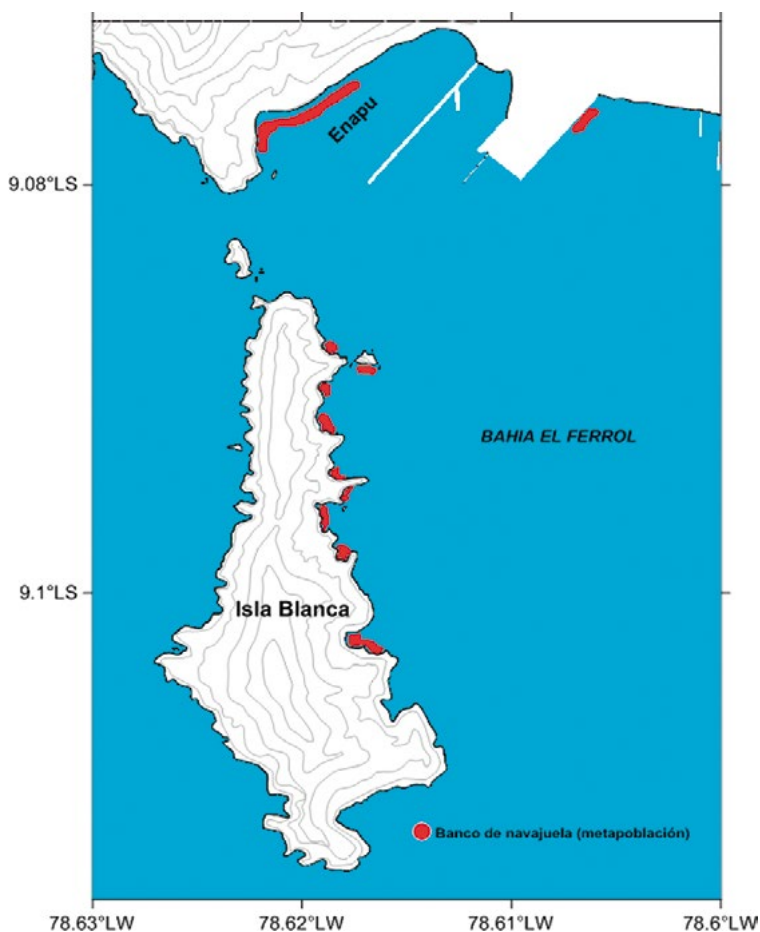


Figura 1.- Ubicación geográfica de la zona de estudio (Isla Blanca-Enapu)

Figure 1. Geographical location of the study area (Isla Blanca-ENAPU)



Figura 2.- Posición vital de valvas de navajuela recientemente muertas.
Junio 2017

Figure 2. Vital position of recently dead hard razor clams. June 2017

La mortandad poblacional de *T. dombeii* en cada una de las evaluaciones, fue estimada en función al conteo directo de ejemplares recientemente muertos encontrados en “posición vital” (valvas dobles semi enterradas en forma vertical) (Fig. 2).

Temperatura.- Se analizó la temperatura superficial del mar, obtenida en un punto fijo en la bahía El Ferrol, durante los periodos de estudio, teniendo en consideración la “tolerancia máxima de temperatura” determinada para la especie en 25,1 °C (URBAN, 1994). El punto fijo de registro térmico se ubicó a 2.000 metros del banco en estudio.

Macrobentos.- Las muestras fueron obtenidas mediante buceo semi-autónomo empleando como unidad de medida un marco metálico de un metro de lado. Se recolectó todo el material contenido en el cuadrado hasta una profundidad de 10 cm en una bolsa sintética de 0,5 mm de abertura (500 µm).

El macrobentos fue identificado en fresco, en su mínimo nivel taxonómico, para luego determinar su abundancia (N° ind./taxón) y biomasa (g/taxón).

Para la identificación de los organismos macrobentónicos se utilizó las publicaciones de ÁLAMO y VALDIVIESO (1987) y COAN & VALENTICH-SCOTT (2012) para moluscos, MOSCOSO (2012) para crustáceos, CASO (1962) para equinodermos, entre otros.

Descriptorios ecológicos

La identificación, cuantificación y pesaje de los organismos, sirvió de base para efectuar los siguientes cálculos utilizándose el menú *Diverse* y *Similarity* de PRIMER 5.0:

The population mortality of *T. dombeii* in each of the assessments was estimated based on the direct count of recently dead specimens found in “vital position” (double valves half-buried vertically) (Fig. 2).

Temperature.- The sea surface temperature of a fixed point in El Ferrol Bay located 2 thousand meters away from the bank studied was analyzed, by considering “the maximum temperature tolerance” determined for the species at 25.1 °C (URBAN, 1994).

Macrobenthos.- The samples were obtained through semi-autonomous diving using a metallic frame of one meter on each side. All the material contained in the square was collected up to a depth of 10 cm in a synthetic bag with an opening of 0.5 mm (500 µm).

The macrobenthos was identified fresh, at its minimum taxonomic level, to then determine its abundance (N° ind./taxon) and biomass (g/taxon).

For the identification of the macrobenthic organisms, the publications of ÁLAMO & VALDIVIESO (1987) and COAN & VALENTICH-SCOTT (2012) for mollusks, MOSCOSO (2012) for crustaceans, CASO (1962) for echinoderms, among others, were used.

Ecological descriptors

The identification, quantification, and weighing of the organisms served as the basis for the following calculations by using the *Diverse* and *Similarity* menu of PRIMER 5.0:

- a. Riqueza de especies (S), calculado como el número total de especies presentes en cada una de las estaciones sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas.
- b. Simpson: $1-D = 1 - \sum (n_i/N)^2$, donde n_i es el número de individuos de la especie i y N es el número total de individuos de todas las especies. Indica la medida de dominancia, donde a las especies comunes se les da más peso que a las especies raras y, manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar en dos muestras sucesivas, pertenezcan a especies diferentes (MORENO, 2001).
- c. Shannon-Wiener: $H' = -\sum p_i \log p_i$, en donde p_i es la proporción de cada una de las especies representadas en el número total de individuos. Para los cálculos correspondientes se utilizó el logaritmo neperiano (e). El índice permite obtener un indicador (H') de la relación entre el número de especies y sus respectivas abundancias numéricas, midiendo el grado de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (MAGURRAN, 1989).
- d. Equidad de Pielou: $J = H'/\ln(S)$, donde H' es el valor observado del índice de diversidad de Shannon-Weiner y $\ln(S)$, es la diversidad máxima esperada. La equidad mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (MAGURRAN, 1989).
- e. Índice de Valor Biológico: (IVB). El índice de Valor Biológico (IVB) descrito por LOYA y ESCOFET (1990) tiene la ventaja de combinar la propiedad de abundancia relativa con la constancia de especies y es utilizada para estimar las especies de mayor importancia biológica; así las especies que sean más constantes durante los muestreos serán más importantes que aquellas que presenten abundancias altas en menor número de estaciones de muestreo, este índice se expresa de la siguiente manera:
- a. Species richness (S), calculated as the total number of species present in each of the stations without considering the value of the importance of these species.
- b. Simpson: $1-D = 1 - \sum (n_i/N)^2$, where n_i is the number of individuals of species i and N is the total number of individuals of all species. It indicates the measure of dominance, where common species are given more weight than rare species, and shows the probability that two individuals taken at random in two successive samples belong to different species (MORENO, 2001).
- c. Shannon-Wiener: $H' = -\sum p_i \log p_i$, where p_i is the proportion of each of the species represented in the total number of individuals. For the corresponding calculations, the Neperian logarithm (e) was used. The index allows obtaining an indicator (H') of the ratio between the number of species and their respective numerical abundances, by measuring the degree of uncertainty in predicting to which species an individual chosen at random from a collection will belong. It assumes that individuals are randomly selected and that all species are represented in the sample. It acquires values between zero when there is only one species, and the logarithm of S when all species are represented by the same number of individuals (MAGURRAN, 1989).
- d. Pielou's equity: $J = H'/\ln(S)$, where H' is the observed value of the Shannon-Weiner diversity index and $\ln(S)$, is the maximum expected diversity. Equity measures the ratio of observed diversity to expected maximum diversity. Its value goes from 0 to 1, so that 1 corresponds to situations where all species are equally abundant (MAGURRAN, 1989).
- e. Biological Value Index: (BVI). The Biological Value Index (BVI) described by LOYA & ESCOFET (1990) has the advantage of combining the property of relative abundance with the constancy of species and is used to estimate the species of greater biological importance; thus the species that are more constant during the sampling will be more important than those that present high abundances in fewer sampling stations, this index is expressed in the following way:

$$IVB = \sum_{ij}^j \text{punto } ij$$

$$IVB = \sum_{ij}^j \text{punto } ij$$

Donde: IVB es el Índice de valor biológico, i corresponde a la abundancia relativa de cada especie y j a las estaciones de recolección.

Las trofoespecies, definidas a través del Modo de Alimentación, fueron clasificadas según MACDONALD *et al.* (2010):

Depositívoros (De): ingieren sedimento y utilizan los componentes vivos (p.ej. bacteria, fungi, microalgas y microfauna). Es uno de los modos alimenticios cuyas comunidades son consideradas poco homogéneas según la composición de especies. Asimismo, son organismos capaces de modificar notablemente el sustrato en el que viven, inhibiendo muchas veces el asentamiento de otros o siendo partícipes de una competencia intergremial.

Detritívoros (Dt): ingieren únicamente materia particulada, sin sedimento. En fiordos glaciomarineros muchos de estos organismos se alimentan del fitodetritus derivado de las macroalgas y microalgas. Suelen formar parte de este grupo algunos isópodos, ofiuroides, anfípodos, ostrácodos y pycnogónidos.

Suspensívoros (Su): organismos que forman comunidades altamente estructuradas, con distribución en parches. Sus mayores representantes en las comunidades bentónicas son los briozoos, esponjas, algunas ascidias y ciertos cnidarios. Todos los organismos previamente mencionados contribuyen en la estructura tridimensional de sus comunidades.

Filtradores (Ft): estos organismos se benefician del fitodetritus bombeando el agua a través de un circuito interno de intercambio. Este mecanismo los hace más eficientes que los suspensívoros bajo flujos hidrodinámicos moderados.

Predadores (Pr): se alimentan de animales vivos. Son considerados como tales los asteroideos, priapulidos, nemertinos, nudibranchios y algunos gammáridos. Muchos predadores bentónicos dependen de presas pelágicas, haciendo que el acoplamiento bento-pelágico tome un rol importante en esta región.

Necrófagos (Sc): también llamados carroñeros. Son consumidores secundarios que tienen abasto de alimento más constante que el de los consumidores primarios. Esto ocasiona que tanto la fisiología de este grupo funcional trófico como el de los predadores exhiban pequeñas variaciones estacionales.

Ramoneadores (Gz): estos organismos operan mediante el raspado de algas o animales sésiles. Dada

Where: IVB is the Biological Value Index, i corresponds to the relative abundance of each species, and j to the collection stations.

The trophospecies, defined through the Feeding Mode, were classified according to MACDONALD *et al.* (2010):

Deposit feeders (De): they ingest sediment and use living components (e.g. bacteria, fungi, microalgae, and microfauna). It is one of the food modes whose communities are considered inhomogeneous according to species composition. They are also organisms capable of significantly modifying the substrate in which they live, often inhibiting the settlement of others or being participants in interguild competition.

Detritivores (Dt): they ingest only particulate matter, without sediment. In glaciomarine fjords, many of these organisms feed on phytodetritus derived from macroalgae and microalgae. Some isopods, ophiuroids, amphipods, ostracods, and pycnogonids are usually part of this group.

Suspension feeders (Su): organisms that form highly structured communities, distributed in patches. Their main representatives in benthic communities are bryozoans, sponges, some ascidians, and some cnidarians. All of the above-mentioned organisms contribute to the three-dimensional structure of their communities.

Filter feeders (Ft): these organisms benefit from phytodetritus by pumping water through an internal exchange circuit. This mechanism makes them more efficient than suspension feeders under moderate hydrodynamic flows.

Predators (Pr): they feed on live animals. Starfish, priapulids, nemerteans, nudibranchs, and some gammarids are considered as such. Many benthic predators depend on pelagic prey, making benthic-pelagic coupling play an important role in this region.

Necrophages (Sc): also known as scavengers. They are secondary consumers who have a more constant supply of food than primary consumers. This causes that both the physiology of this trophic functional group and that of the predators exhibit small seasonal variations.

Grazers (Gz): these organisms operate by scraping algae or sessile animals. Given their

su ubicación en la trama trófica, este grupo tiene niveles menores de nitrógeno.

La información se procesó en una hoja de cálculo (Excel) y el programa Surfer 13.0 para elaborar cartas marinas.

3. RESULTADOS

Estructura de tallas

Durante junio 2016, las tallas estuvieron entre 33 y 105 mm, con media en 75 mm de longitud valvar, mientras que para junio 2017 las tallas variaron de 4 a 32 mm con media en 12 mm. El aporte de juveniles recientemente asentados (<41 mm) fue de 1,9% (junio 2016) y 100% (junio 2017) (Fig. 3a, b). En junio 2016, el aporte de ejemplares adultos comerciales fue de 72%, siendo este valor nulo para junio 2017.

Estimaciones poblacionales y mortandad

Las estimaciones poblacionales para el banco natural evaluado, arrojaron valores de 2.132.447 individuos para junio 2016 y de 164.458 individuos para junio 2017, habiendo disminuido la población en 92,3%, como consecuencia de la mortandad ocasionada por las elevadas temperaturas durante el Niño costero del 2017 (Tabla 1).

Las tallas de los ejemplares muertos variaron de 22 a 109 mm de longitud valvar, con media en 78 mm, registrándose una estructura de tallas polimodal, con mínima incidencia de individuos juveniles (< 41mm) y 75,1% ejemplares comerciales (≥70 mm) (Fig. 4).

position in the food web, this group has lower levels of nitrogen.

The information was processed into a spreadsheet (Excel) and the Surfer 13.0 software to produce marine charts.

3. RESULTS

Size structure

In June 2016, the sizes were between 33 and 105 mm, mean of 75 mm in valve length; in June 2017, the sizes varied from 4 to 32 mm, mean of 12 mm. The contribution of recently settled juveniles (<41 mm) was 1.9% (June 2016) and 100% (June 2017) (Fig. 3a, b). In June 2016, the contribution of commercial adult specimens was 72%, this value was null for June 2017.

Population estimates and mortality

Population estimates for the assessed natural bank showed values of 2,132,447 individuals by June 2016 and 164,458 individuals by June 2017, showing a decrease of 92.3%, as a consequence of the mortality caused by elevated temperatures during the El Niño Costero 2017 (Table 1).

The size of the valves varied from 22 to 109 mm in length, mean of 78 mm, recording a polymodal size structure, with minimal incidence of juvenile individuals (< 41mm) and 75.1% commercial specimens (≥70 mm) (Fig. 4).

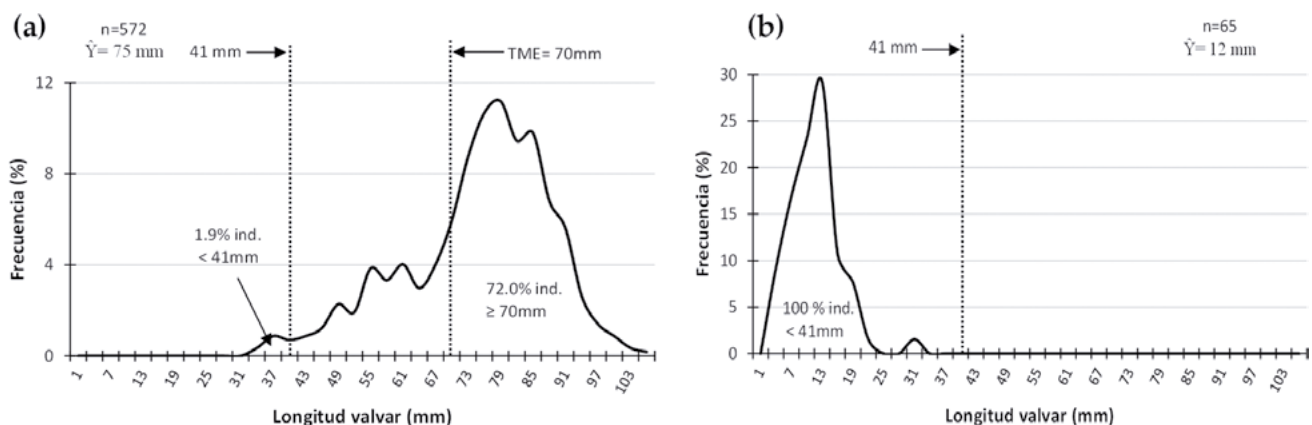


Figura 3.- Estructura de tallas en navajuela durante junio 2016 (a), junio 2017 (b) en el banco natural de Isla Blanca-ENAPU

Figure 3. Hard razor clam size structure in June 2016 (a), June 2017 (b) on the Isla Blanca-ENAPU natural bank

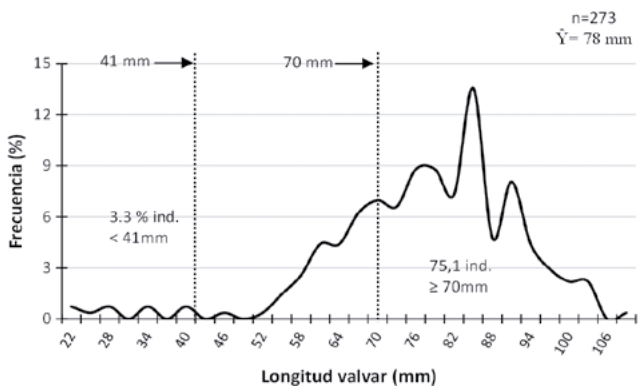


Figura 4.- Estructura de tallas de navajuela muerta registrada en junio 2017. Isla Blanca-ENAPU

Figure 4. Size structure of dead hard razor clam recorded in June 2017. Isla Blanca-ENAPU

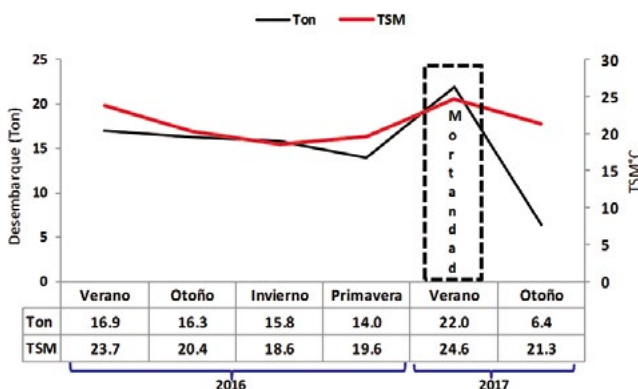


Figura 5.- Evolución temporal de la temperatura y desembarques de navajuela antes y después de El Niño 2017

Figure 5. Temporal evolution of temperature and hard razor clam landings before and after El Niño 2017

Capturas comerciales y tolerancias máximas de temperatura

En el año 2016 las capturas comerciales estacionales variaron de 14 a 17 t/estación, manteniendo regularmente sus niveles durante el año; sin embargo, las capturas en las estaciones de verano y otoño del 2017 fueron de 22,0 y 6,4 t, respectivamente, habiendo caído abruptamente en 70,9% los niveles de extracción en otoño respecto al verano del 2017 (Fig. 5).

Los menores desembarques comerciales registrados en otoño del 2017, se dieron como consecuencia de la mortandad producida durante los meses de febrero y marzo, hecho sustentado en la gran cantidad de valvas dobles en posición vital registradas en junio del 2017. La mortandad producida en febrero y marzo del 2017, se registró cuando las temperaturas del mar presentaron valores de 25,6 y 26,8 °C respectivamente, superando la máxima temperatura de tolerancia para el recurso estimada en 25,1 °C (Fig. 6).

Tabla 1.- Estimación poblacional de navajuela en el banco isla blanca-ENAPU

Table 1. Population estimation of hard razor clam in the Blanca Island-ENAPU natural bank

Índice poblacional	Junio 2016	Junio 2017
Área / Area (m ²)	57311	57311
Densidad media / Mean density (N ^o /m ²)	37,2	2,9
Densidad media / Mean density (g/m ²)	913	0,6
Población / Population (N ^o)	2.132.447	164.458
Biomasa total / Total biomass (t)	52,314	0,036
Límite confianza Densidad / Confidence limit density	±53,79	±77,42
Límite confianza Biomasa / Confidence limit biomass	±51,06	±77,10

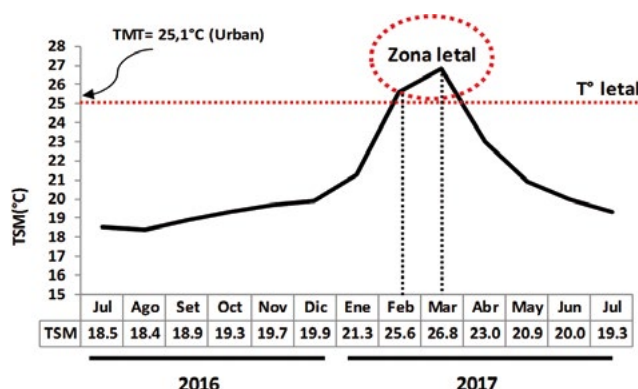


Figura 6.- Evolución de la TSM en punto fijo de Chimbote, en el segundo semestre del 2016 y primer semestre del 2017

Figure 6. Evolution of the SST in Chimbote fixed point, in the second semester of 2016 and first semester of 2017

Commercial catches and maximum temperature tolerances

In 2016, seasonal commercial catches varied from 14 to 17 t/station, remaining constant throughout the year; however, in summer and autumn 2017, they were 22.0 and 6.4 t, respectively, with extraction levels falling sharply by 70.9% in autumn when compared to summer 2017 (Fig. 5).

In autumn 2017, the lowest commercial landings occurred as a result of the mortality recorded in February and March, a fact supported by a large number of double valves in vital position seen in June 2017.

In February and March 2017, the mortality was observed when sea temperatures presented values of 25.6 and 26.8 °C respectively, exceeding the maximum tolerance temperature for the resource estimated at 25.1 °C (Fig. 6).

Cambios del macrobentos

La riqueza de especies registró 36 taxones durante junio 2016 y 42 taxones durante junio 2017; sin embargo, el 66,7% de las estaciones tuvieron mayor riqueza durante el 2016, variando el número de taxones de 2 a 16 sp./m² y de 3 a 12 sp./m² para junio 2016 y 2017, respectivamente. En general la riqueza de especies fue menor después de EN (2017) que antes de EN (2016) (Test “t”) (Tabla 2, Fig. 7a, b).

La diversidad de Shannon varió de 0,04 a 2,74 bits/ind en junio 2016 y de 0,35 a 2,68 bits/ind en junio 2017, observándose, en el 52,2% y 39,1% de las estaciones, valores mayores a 2 bits/ind para ambos periodos, respectivamente; mientras que en 15 de las 23 estaciones analizadas (65,2%), los valores de Shannon fueron mayores antes de EN (junio 2016) que después de EN (junio 2017) (Tabla 2, Fig. 8).

Changes in the macrobenthos

Species richness recorded 36 taxa in June 2016 and 42 taxa in June 2017; nevertheless, only 66.7% of stations had greater richness in 2016, varying the number of taxa from 2 to 16 sp./m² and from 3 to 12 sp./m² by June 2016 and 2017, respectively. Species richness was lower after EN (2017) than before EN (2016) (“t” test) (Table 2, Fig. 7a, b).

Shannon diversity ranged from 0.04 to 2.74 bits/ind in June 2016 and from 0.35 to 2.68 bits/ind in June 2017, and in 52.2% and 39.1% of stations, values greater than 2.00 bits/ind were observed for both periods, respectively; while in 15 of the 23 stations analyzed (65.2%), Shannon values were higher before EN (June 2016) than after EN (June 2017) (Table 2, Fig. 8).

Tabla 2.- Indicadores comunitarios durante junio 2016 y 2017, Isla aBlanca-ENAPU

Table 2. Community indicators for June 2016 and 2017, Isla Blanca-ENAPU

Estac.	JUNIO 2016					JUNIO 2017				
	Riqueza N° sp	Abundancia N° ind.	Equidad Pielou (J')	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (1-A)	Riqueza N° sp	Abundancia N° ind.	Equidad Pielou (J')	Diversidad Shannon (H')	Dominancia Simpson (1-A)
1	12	117	0.739	2.649	0.745	9	114	0.827	2.621	0.813
2	8	168	0.489	1.467	0.508	8	163	0.397	1.191	0.370
3	14	186	0.648	2.469	0.726	11	54	0.774	2.679	0.790
4	9	139	0.529	1.676	0.542	9	125	0.388	1.229	0.373
5	4	186	0.158	0.316	0.084	5	182	0.449	1.043	0.423
6	10	102	0.691	2.297	0.729	9	97	0.689	2.183	0.744
7	9	195	0.260	0.825	0.220	5	31	0.465	1.080	0.351
8	6	42	0.729	1.885	0.678	8	148	0.235	0.704	0.191
9	7	48	0.758	2.129	0.720	4	68	0.502	1.005	0.370
10	9	129	0.622	1.973	0.680	4	40	0.471	0.941	0.317
11	8	47	0.838	2.515	0.815	10	145	0.625	2.077	0.649
12	13	344	0.634	2.345	0.739	9	116	0.807	2.559	0.774
13	16	383	0.646	2.584	0.757	10	36	0.775	2.573	0.759
14	12	124	0.765	2.742	0.802	7	102	0.699	1.961	0.654
15	9	198	0.600	1.902	0.634	9	68	0.833	2.641	0.821
16	16	520	0.546	2.182	0.701	3	5	0.865	1.371	0.700
17	6	1237	0.232	0.599	0.198	5	43	0.610	1.416	0.495
18	2	260	0.036	0.036	0.008	8	57	0.724	2.173	0.731
19	3	3	1.000	1.585	1.000	6	93	0.748	1.934	0.687
20	13	290	0.662	2.449	0.737	4	65	0.361	0.723	0.229
21	11	257	0.664	2.295	0.700	12	341	0.564	2.021	0.652
22	11	80	0.700	2.423	0.757	5	170	0.149	0.347	0.091
23	6	88	0.684	1.767	0.656	3	33	0.398	0.631	0.225
Mínimo	2	3	0.036	0.036	0.008	3	5	0.149	0.347	0.091
Máximo	16	1237	1.000	2.742	1.000	12	341	0.865	2.679	0.821

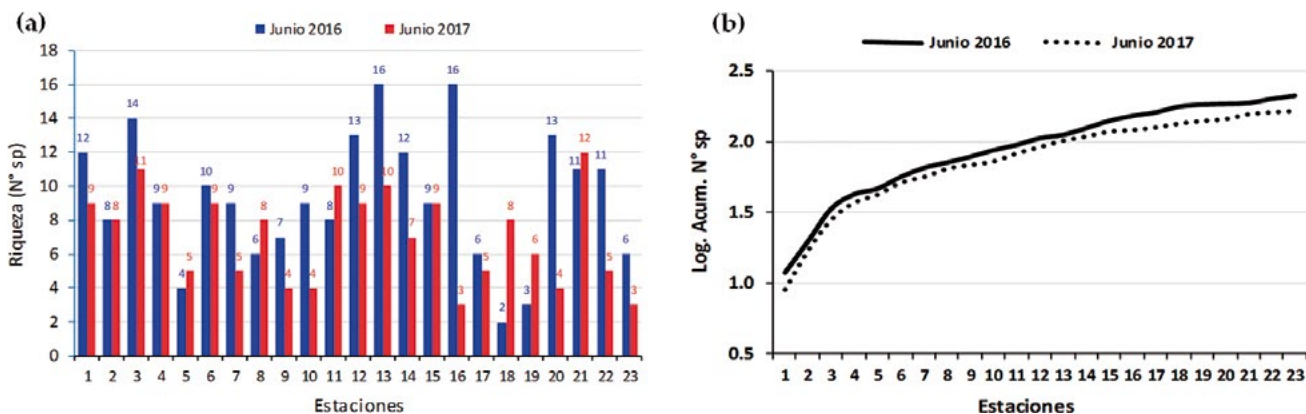


Figura 7.- Análisis por estación de Riqueza de especies (a) y logaritmo acumulado del número de especies (b) durante los periodos de estudio

Figure 7. Analysis of species richness (a) and cumulative logarithm of the number of species (b) during study periods per station

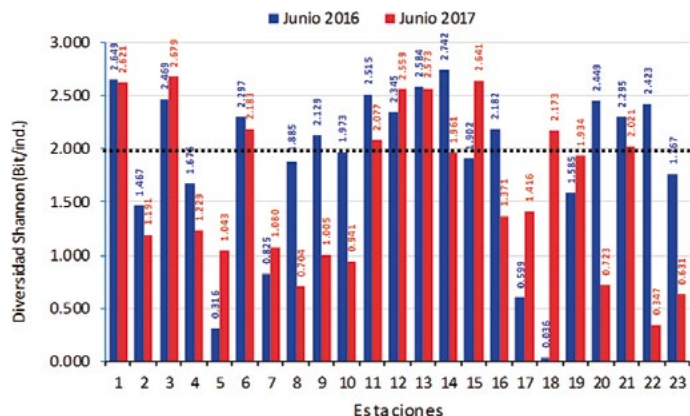


Figura 8.- Valores del índice de Shannon antes de EN (junio 2016) y después de EN (junio 2017)

Figure 8. Shannon index values before EN (June 2016) and after EN (June 2017)

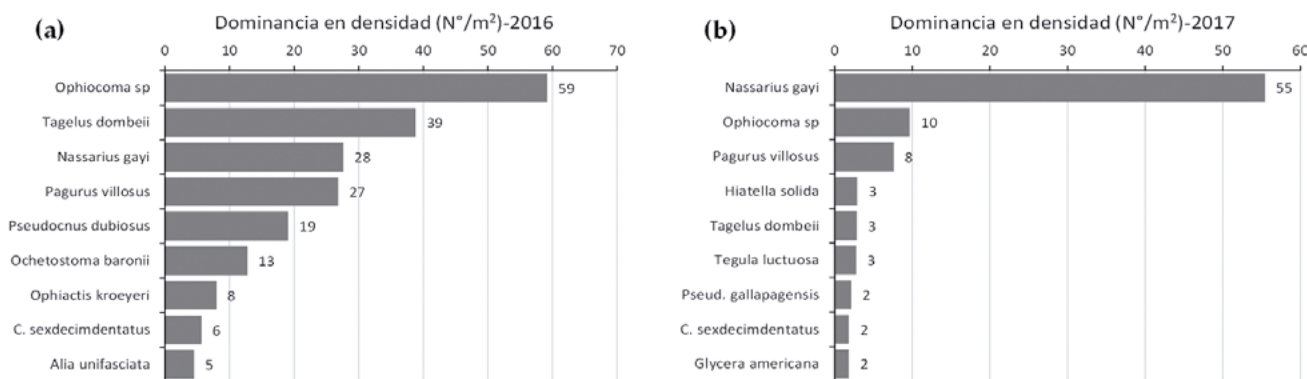


Figura 9.- Dominancia en densidad del macrobentos registrado en junio 2016 (a) y junio 2017 (b), Isla Blanca-ENAPU

Figure 9. Dominance in density of macrobenthos recorded in June 2016 (a) and June 2017 (b), Isla Blanca-ENAPU

En junio 2016 la equidad de Pielou varió de 0,04 a 1,00 y la dominancia de 0,01 a 1,00; registrándose en 3 de las 23 estaciones valores de dominancia mayores a 0,80; mientras que, en junio 2017 la equidad varió de 0,15 a 0,86 y la dominancia de 0,09 a 0,82; registrándose en 2 de las 23 estaciones valores de dominancia mayores a 0,80 (Tabla 2).

In June 2016, Pielou’s equity ranged from 0.04 to 1.00 and dominance from 0.01 to 1.00; only 3 of the 23 stations had dominance values greater than 0.80. In June 2017, equity ranged from 0.15 to 0.86 and dominance from 0.09 to 0.82; only 2 of the 23 stations had dominance values greater than 0.80 (Table 2).

Durante junio 2016 se registraron densidades de 3 a 1.237 ind./m², siendo los mayores valores aportados por la estrellita frágil *Ophiocoma* sp., y en menor medida por *Tagelus dombeii*, *Nassarius gayii* (Kiener), *Pagurus villosus* Nicolet y *Pseudocnus dubiosus* (Semper), entre otros. Durante junio 2017, las densidades totales variaron de 5 a 341 ind./m², observándose mayores aportes de *N. gayii*, *Ophiocoma* sp. y *P. villosus* (Fig. 9a, b).

In June 2016, densities of 3 to 1,237 ind./m² were recorded, with the highest values contributed by the tiger brittle starfish *Ophiocoma* sp., and to a lesser extent by *Tagelus dombeii*, *Nassarius gayii* (Kiener), *Pagurus villosus* Nicolet, and *Pseudocnus dubiosus* (Semper), among others. In June 2017, total densities ranged from 5 to 341 ind./m², with higher contributions of *N. gayii*, *Ophiocoma* sp., and *P. villosus* (Fig. 9a, b).

Durante junio 2016, la biomasa total varió de 0,11 a 4.365,73 g/m², *T. dombeii* fue la especie que aportó mayor valor (952,5 g/m²). Durante junio 2017, la biomasa total varió de 2,1 a 297,8 g/m², *N. gayii* fue la especie que registró mayor aporte (33,4 g/m²) (Fig. 10a, b).

Total biomass ranged from 0.11 to 4,365.73 g/m² in June 2016, *T. dombeii* was the species with the highest value (952.5 g/m²). In June 2017, the total biomass varied from 2.1 to 297.8 g/m², *N. gayii* was the species with the highest contribution (33.4 g/m²) (Fig. 10a, b).

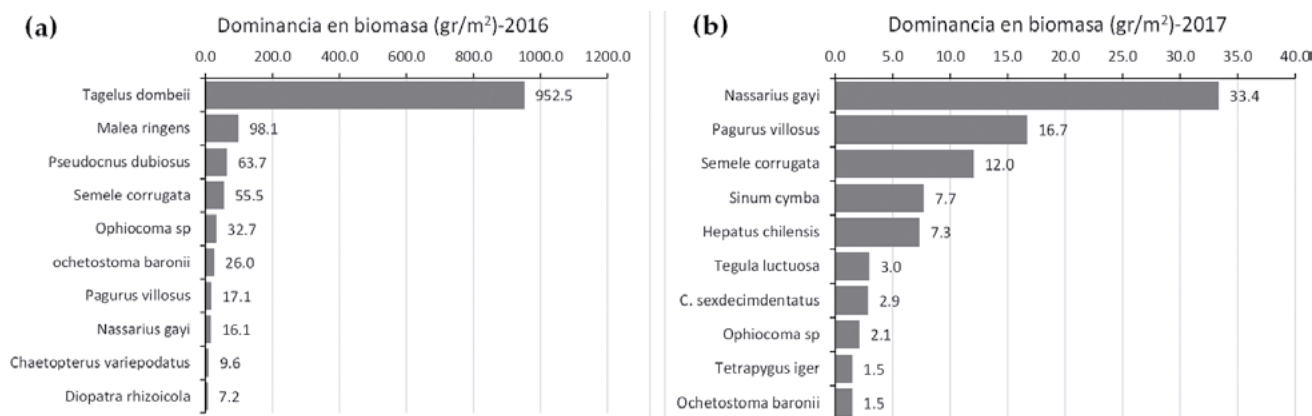


Figura 10.- Dominancia en biomasa del macrobentos registrado en junio 2016 (a) y junio 2017 (b), Isla Blanca-ENAPU

Figure 10. Biomass dominance of macrobenthos recorded in June 2016 (a) and June 2017 (b), Isla Blanca-ENAPU

Especies de mayor tamaño como *T. dombeii*, *Malea ringens* (Swainson) y *Pseudocnus dubiosus* durante el 2016, fueron reemplazadas por especies más pequeñas como *N. gayii* y *P. villosus* durante el 2017.

Durante junio 2016, *T. dombeii*, *N. gayii* y *P. villosus* fueron las especies más abundantes y frecuentes y, estuvieron asociadas principalmente a sustratos de arena fina y conchuela; mientras que, especies con abundancias y frecuencias intermedias como *Ophiactis kroeyeri* Lütken, *Alia unifasciata* (Sowerby), *Anthothoe chilensis* (Lesson), *Diopatra rhizoicola* Quatrefages, *Bulla punctulata* (Adams) y *Pinnixa transversalis* (Milne Edwards & Lucas), se asociaron a sustratos mixtos (arena, fango, conchuela, gravilla, piedras sueltas). Especies raras con menor abundancia y frecuencia y de hábitats variados, estuvieron entre las más representativas como: almejita no identificada, *Caenocentrotus gibbosus* (Agassiz), *Oulactis concinnatta* (Drayton) y *Tellina* sp. (Fig. 11).

Durante junio 2017 *N. gayii* fue la especie más abundante y más frecuente entre las estaciones, asociada principalmente a sedimentos de tipo mixto (arena, fango, conchuela, gravilla); mientras que *Ophiocoma* sp., *Pagurus villosus*, *Hiatella arctica* (Linnaeus) y *Tagelus dombeii* de frecuencias intermedias se asociaron a sedimentos de tipo arenofangoso y conchuelo-gravilloso. Entre las especies con menor abundancia y frecuencia estuvieron las especies raras *Bunodactis* sp., *Bursa nana* (Linnaeus), *Ilioichione subrugosa* (Wood), *Paranthus* sp., *Solatia buccinoides* (Sowerby), *Tetrapygus niger* (Molina) y *Xanthochorus buxeus* (Broderip) de distintos sustratos (arena, conchuela, roca) (Fig. 12).

T. dombeii, *Malea ringens* (Swainson), and *Pseudocnus dubiosus* (in 2016) were replaced by smaller species such as *N. gayii* and *P. villosus* (in 2017).

In June 2016, *T. dombeii*, *N. gayii*, and *P. villosus* were the most abundant and frequent species and were mainly associated with fine sand and shell substrates; while species with abundances and intermediate frequencies such as *Ophiactis kroeyeri* Lütken, *Alia unifasciata* (Sowerby), *Anthothoe chilensis* (Lesson), *Diopatra rhizoicola* Quatrefages, *Bulla punctulata* (Adams), and *Pinnixa transversalis* (H. Milne Edwards & Lucas), were associated with mixed substrates (sand, mud, broken shell, gravel, loose stones). Rare species with less abundance and frequency and varied habitats were among the most representative such as unidentified clam, *Caenocentrotus gibbosus* (Agassiz), *Oulactis concinnatta* (Drayton), and *Tellina* sp. (Fig. 11).

In June 2017, *N. gayii* was the most abundant and frequent species among stations, mainly associated with mixed sediments (sand, mud, broken shell, gravel); while *Ophiocoma* sp., *Pagurus villosus*, *Hiatella arctica* (Linnaeus), and *Tagelus dombeii* of intermediate frequencies were associated with sandy-muddy and broken shell-gravel sediments. The species with lower abundance and frequency were *Bunodactis* sp., *Bursa nana* (Linnaeus), *Ilioichione subrugosa* (Wood), *Paranthus* sp., *Solatia buccinoides* (Sowerby), *Tetrapygus niger* (Molina), and *Xanthochorus buxeus* (Broderip) of different substrates (sand, broken shell, rock) (Fig. 12).

Código	Especie
1	<i>Ophiocoma</i> sp.
2	<i>Tagelus dombeii</i>
3	<i>Nassarius gayi</i>
4	<i>Pagurus villosus</i>
5	<i>Pseudocnus dubiosus</i>
6	<i>Ochetostoma baronii</i>
7	<i>Ophiactis kroeyeri</i>
8	<i>Cycloranthops sexdecimdentatus</i>
9	<i>Allia unifasciata</i>
10	<i>Anthothoe chilensis</i>
11	<i>Gammarus</i> sp.
12	<i>Diopatra rhizicola</i>
13	<i>Bulla punctulata</i>
14	<i>Pinnixa transversalis</i>
15	<i>Tegula euryomphalus</i>
16	<i>Hepatus chilensis</i>
17	<i>Tegula luctuosa</i>
18	<i>Xanthochorus buxea</i>
19	<i>Chaetopterus varipodatus</i>
20	<i>Glycera americana</i>
21	<i>Semele corrugata</i>
22	<i>Eurypanopeus transversus</i>
23	<i>Lumbrineris tetraura</i>
24	<i>Holothuria theell</i>
25	<i>Frallucillo</i>
26	<i>Hemipodia simplex</i>
27	<i>Maia ringens</i>
28	<i>Microphrys aculeatus</i>
29	<i>Arenicola</i> sp.
30	<i>Argopecten purpuratus</i>
31	<i>Pherusa</i> sp.
32	<i>Sinum cymbe</i>
33	<i>Almejita</i>
34	<i>Caenocentrotus gibbosus</i>
35	<i>Oulactis concinatta</i>
36	<i>Tellina</i> sp.

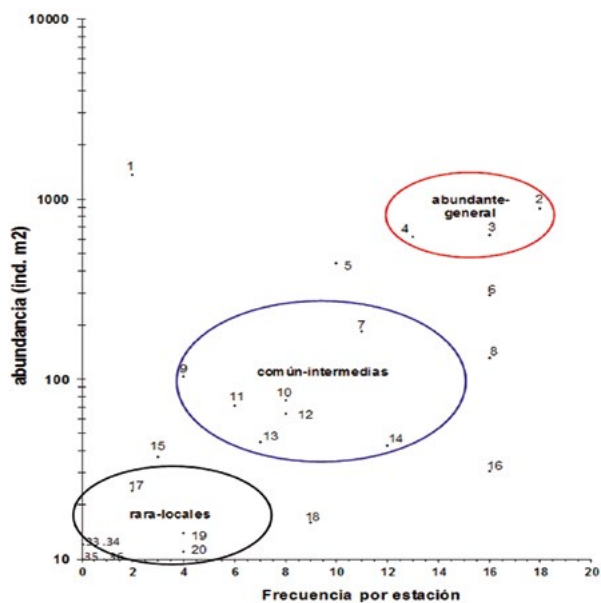


Figura 11.- Diagrama de incidencia de especies por estación y su abundancia total. Junio 2016

Figure 11. Incidence diagram of species per station and their total abundance. June 2016

Código	Especie
1	<i>Nassarius gayi</i>
2	<i>Ophiocoma</i> sp.
3	<i>Pagurus villosus</i>
4	<i>Hiatella solida</i>
5	<i>Tagelus dombeii</i>
6	<i>Tegula luctuosa</i>
7	<i>Pseudonereis galapagensis</i>
8	<i>Cycloranthops sexdecimdentatus</i>
9	<i>Glycera americana</i>
10	<i>Eurypanopeus transversus</i>
11	<i>Cheratia</i> sp.
12	<i>Gammarus</i> sp.
13	<i>Actinia</i> sp.
14	<i>Ophiactis kroeyeri</i>
15	<i>Hepatus chilensis</i>
16	<i>Pycnogonida</i>
17	<i>Pseudocnus dubiosus</i>
18	<i>Hemipodia simplex</i>
19	<i>Ochetostoma baronii</i>
20	<i>Nemertinos</i>
21	<i>Pherusa</i> sp.
22	<i>Branchiostoma elongatum</i>
23	<i>Allia unifasciata</i>
24	<i>Semele corrugata</i>
25	<i>Tellina</i> sp.
26	<i>Solenostera gatesi</i>
27	<i>Mulinia modesta</i>
28	<i>Terbellidae</i>
29	<i>Chiton cumingii</i>
30	<i>Crucibulum</i> sp.
31	<i>Sinum cymbe</i>
32	<i>Ceripatella dilatata</i>
33	<i>Hiatia unifasciata</i>
34	<i>Hiatosydna breviselosa</i>
35	<i>Foratus acuminatus</i>
36	<i>Burroclis</i> sp.
37	<i>Bursa nana</i>
38	<i>Chione subrugosa</i>
39	<i>Paranthus</i> sp.
40	<i>Sofatia buccinoides</i>
41	<i>Tetrapygus niger</i>
42	<i>Xanthochorus buxea</i>

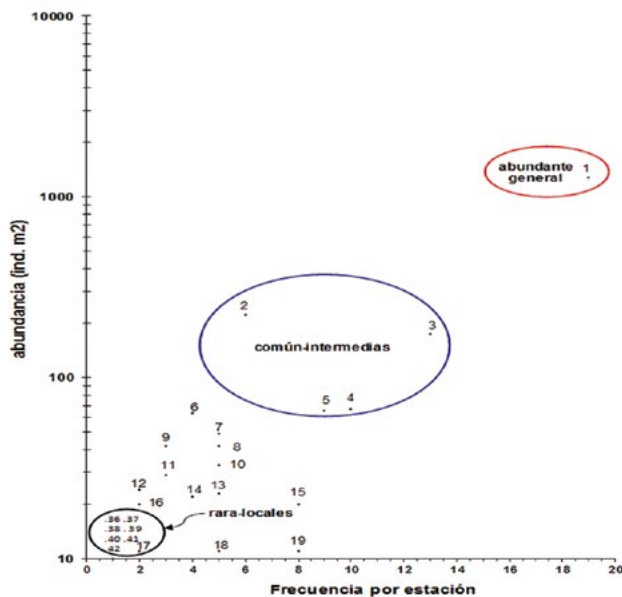


Figura 12.- Diagrama de incidencia de especies por estación y su abundancia total. Junio 2017

Figure 12. Incidence diagram of species per station and their total abundance. Junio 2017

El índice de valor biológico (IVB) mostró para junio 2016 a *T. dombeii* como la más importante con un puntaje de 146, abundancia relativa (ABR) 17,4% y frecuencia de ocurrencia (FOR) 8,4%. El segundo lugar se dio para la especie *N. gayii* con IVB 92, ABR 12,4% y FOR 7,5% y el tercer lugar a *P. villosus* (Tabla 3). Para junio 2017, *N. gayii* fue la especie más importante con IVB de 647, ABR 55,5% y FOR 11,7%, sobrepasando a 16 especies en orden de abundancia (Tabla 3).

The biological value index (BVI) showed *T. dombeii* as the most important by June 2016 with a score of 146, relative abundance (ABR) 17.4%, and frequency of occurrence (FOR) 8.4%. The second place was given to the species *N. gayii* with BVI 92, ABR 12.4%, and FOR 7.5% and the third place to *P. villosus* (Table 3). In June 2017, *N. gayii* was the most important species with BVI 647, ABR 55.5%, and FOR 11.7%, surpassing 16 species in order of abundance (Table 3).

Tabla 3.- Especies que representaron el 95% de la abundancia relativa acumulada e índice de valor biológico IVB, junio 2016 y 2017, banco Isla Blanca-ENAPU

Table 3. Species representing 95% of cumulative relative abundance and biological value index IVB, June 2016 and 2017, Isla Blanca-ENAPU natural bank

Junio 2016							Junio 2017						
ESPECIE	ABU	ABR	ARA	FO	FOR	IVB	ESPECIE	ABU	ABR	ARA	FO	FOR	IVB
<i>Ophiocoma sp</i>	1361	26.46	24.46	2	0.93	25	<i>Nassarius gayi</i>	1275	55.53	55.53	19	11.66	647
<i>Tagelus dombeii</i>	893	17.36	41.82	18	8.41	146	<i>Ophiocoma sp</i>	222	9.67	65.20	6	3.68	36
<i>Nassarius gayi</i>	635	12.35	54.17	16	7.48	92	<i>Pagurus villosus</i>	175	7.62	72.82	13	7.98	61
<i>Pagurus villosus</i>	617	12.00	66.17	13	6.07	73	<i>Hiatella solida</i>	67	2.92	75.74	10	6.13	18
<i>Pseudocnus dubiosus</i>	439	8.54	74.70	10	4.67	40	<i>Tagelus dombeii</i>	66	2.87	78.61	9	5.52	16
<i>Ochetostoma baronii</i>	294	5.72	80.42	16	7.48	43	<i>Tegula luctuosa</i>	64	2.79	81.40	4	2.45	7
<i>Ophiactis kroeyeri</i>	184	3.58	84.00	11	5.14	18	<i>Pseudoneis gallapagensis</i>	49	2.13	83.54	5	3.07	7
<i>Cycloxanthops sexdecimdentatus</i>	131	2.55	86.54	16	7.48	19	<i>Cycloxanthops sexdecimdentatus</i>	42	1.83	85.36	5	3.07	6
<i>Alia unifasciata</i>	104	2.02	88.57	4	1.87	4	<i>Glycera americana</i>	42	1.83	87.19	3	1.84	3
<i>Anthothoe chilensis</i>	76	1.48	90.04	8	3.74	6	<i>Eurypanopeus transversus</i>	33	1.44	88.63	5	3.07	4
<i>Gammarus sp.</i>	71	1.38	91.42	6	2.80	4	<i>Owenia sp</i>	29	1.26	89.89	3	1.84	2
<i>Diopatra rhizoicola</i>	64	1.24	92.67	8	3.74	5	<i>Gammarus sp.</i>	24	1.05	90.94	2	1.23	1
<i>Bulla punctulata</i>	45	0.87	93.54	7	3.27	3	<i>Actinia sp1</i>	23	1.00	91.94	5	3.07	3
<i>Pinnixa transversalis</i>	43	0.84	94.38	12	5.61	5	<i>Ophiactis kroeyeri</i>	22	0.96	92.90	4	2.45	2
<i>Tegula euryomphalus</i>	37	0.72	95.10	3	1.40	1	<i>Hepatus chilensis</i>	20	0.87	93.77	8	4.91	4
							<i>Pycnogonida</i>	20	0.87	94.64	2	1.23	1
							<i>Ochetostoma baronii</i>	11	0.48	95.12	8	4.91	2

La dominancia de las especies en junio 2016, representada por *T. dombeii*, *N. gayii* y *P. villosus*, fue reemplazada en junio 2017 por *N. gayii*, debido principalmente al incremento en su frecuencia de ocurrencia.

T. dombeii, como especie objetivo, pasó de convertirse en una especie abundante y frecuente en el 2016 a una especie común intermedia en el 2017, como consecuencia del impacto térmico generado por El Niño Costero.

4. DISCUSIÓN

La temperatura superficial del mar (TSM), es una de las variables oceanográficas más utilizadas para el diagnóstico de eventos ambientales conocidos como El Niño, que constituye una de las manifestaciones naturales más severas que producen en el ámbito marino cambios drásticos en las poblaciones de recursos hidrobiológicos.

La mortandad poblacional de *Tagelus dombeii*, en el banco natural de Isla Blanca-ENAPU como consecuencia de las elevadas temperaturas registradas durante El Niño costero en el primer trimestre del 2017, quedó manifestada por la gran cantidad de valvas dobles en "posición vital" (muertas recientemente). Los ejemplares afectados, registraron tallas de 14 a 104 mm de longitud con modas principales en 70, 85 y 91 mm, afectando al 95,6% de ejemplares adultos (>50 mm).

In June 2016, the dominance of the species, represented by *T. dombeii*, *N. gayii*, and *P. villosus*, was replaced in June 2017 by *N. gayii*, mainly due to the increase in its frequency of occurrence.

T. dombeii, as a target species, went from being an abundant and frequent species in 2016 to an intermediate common species in 2017, as a consequence of the thermal impact generated by the El Niño Costero event.

4. DISCUSSION

The sea surface temperature (SST) is one of the most used oceanographic variables for the diagnosis of environmental events known as El Niño, which is one of the most severe natural manifestations that produce drastic changes in the populations of hydrobiological resources in the marine environment.

The population mortality of *Tagelus dombeii*, in Isla Blanca-ENAPU as a consequence of the El Niño Costero 2017, was manifested by the number of double valves in "vital position" (recently dead) found. The affected specimens recorded sizes from 14 to 104 mm in length with main modes in 70, 85, and 91 mm, affecting 95.6% of adult specimens (>50 mm).

Los organismos marinos tienen un rango de tolerancia para su supervivencia, en el cual, factores exógenos como temperatura, salinidad, profundidad, intensidad lumínica, por encima o debajo de dicho rango, ocasionaría mortandad en sus poblaciones. Caso especial merece la temperatura del mar, que al superar la tolerancia térmica de vida para *T. dombeii* habría determinado su alta mortandad en el área evaluada.

La temperatura superficial del mar (TSM) registrada en un punto fijo de bahía El Ferrol, durante los meses de El Niño Costero fueron de 21,3 °C para el periodo de iniciación (enero), 25,6 y 26,8 °C para el periodo de maduración (febrero-marzo) y 23,0 y 20,8 °C para el periodo de disipación (abril-mayo), con anomalías térmicas de +0,1, +4,0 y +1,5 °C para cada uno de los periodos respectivamente (Fig. 13).

Considerando la relación entre los desembarques vs. temperatura con un desfase de una estación, el impacto fue de -1,5 t/°C⁻¹ (Fig. 14).

Según URBAN (1994), la máxima temperatura de tolerancia para *T. dombeii* (L50) fue de 25,1 °C, valor inferior a las temperaturas registradas durante el periodo de maduración de El Niño Costero de 25,6 °C en febrero y 26,8 °C en marzo, lo que estaría sustentando la mortandad registrada. Similar situación registrada por DÍAZ y ORTLIEB (1993) quienes mencionan que la susceptibilidad de los moluscos ante el fenómeno El Niño, se manifiesta en mortandades masivas de especies infaunales como *Mesodesma donacium* y *T. dombeii* como consecuencia del incremento de la temperatura, así como de otras perturbaciones físicas y ecológicas, siendo la población de la especie en estudio afectada negativamente.

Marine organisms have a tolerance range for their survival, in which exogenous factors such as temperature, salinity, depth, light intensity, above or below that range, would cause mortality in their populations. A special mention deserves the sea temperature, which when surpassing the thermal tolerance of life for *T. dombeii* would have determined its high mortality in the assessed area.

During El Niño Costero, the sea surface temperature (SST) recorded at a fixed point in El Ferrol Bay was 21.3 °C for the initiation period (January), 25.6 and 26.8 °C for the ripening period (February-March), and 23.0 and 20.8 °C for the dissipation period (April-May), with thermal anomalies of +0.1, +4.0, and +1.5 °C for each of the periods, respectively (Fig. 13).

When considering the ratio between landings vs. temperature with a station lag, the impact was -1,5 t/°C⁻¹ (Fig. 14).

URBAN (1994) pointed out that the maximum tolerance temperature for *T. dombeii* (L50) was 25.1 °C, which is lower than those of 25.6 °C and 26.8 °C in February and March, respectively, which would support the recorded mortality during the El Niño Costero event. A similar situation was recorded by DÍAZ & ORTLIEB (1993) who mentioned that the susceptibility of mollusks to the El Niño phenomenon manifests itself in massive deaths of infaunal species such as *Mesodesma donacium* and *T. dombeii* as a consequence of temperature increase, as well as other physical and ecological disturbances, the population of the species under study being negatively affected.

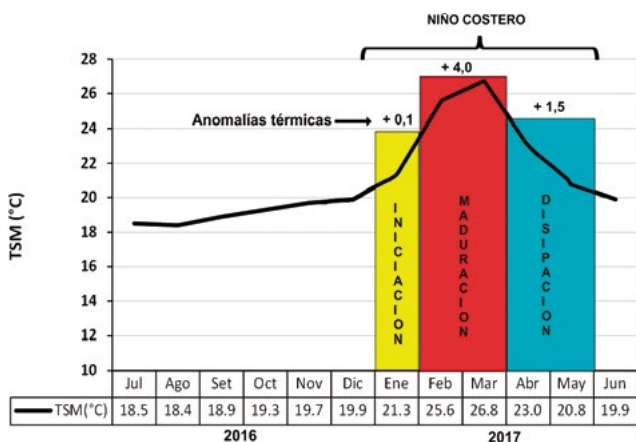


Figura 13.- Evolución promedio de la temperatura superficial del mar durante el Niño Costero. Chimbote 2016-2017

Figure 13. Mean evolution of sea surface temperature during the El Niño Costero. Chimbote 2016-2017

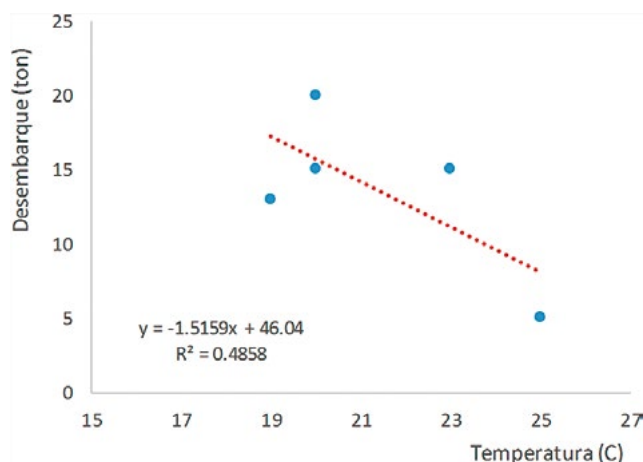


Figura 14.- Relación entre desembarques y temperatura (con un desfase estacional)

Figure 14. Ratio between landings and temperature (with a station lag)

Durante eventos El Niño, se producen cambios positivos o negativos en las capturas comerciales de peces e invertebrados marinos, provocando una impresión en sus fluctuaciones poblacionales. Durante El Niño 82-83 los desembarques de muchas especies disminuyeron debido a la mortandad (ARNTZ y TARAZONA, 1988).

Las capturas de navajuela procedentes de Isla Blanca-ENAPU, incrementaron durante el verano del 2017, respecto a su similar del 2016, debido a la mayor vulnerabilidad de la especie al superar su tolerancia térmica. Durante el otoño del 2017 los desembarques disminuyeron en 60,8% respecto a su similar en el 2016; mientras que, durante el 2017 los desembarques disminuyeron en 70,6% en otoño respecto al verano.

TARAZONA *et al.* (1989) dieron a conocer la importancia de muchos parámetros ecológicos para analizar cambios en la estructura comunitaria como consecuencia de eventos El Niño; como lo encontrado en el presente estudio, en donde la riqueza de especies durante junio 2017 fue menor a la registrada en junio 2016 y la diversidad de Shannon registró valores mayores a 2,00 bits/ind en el 52,2% de las estaciones en el 2016, respecto al 39,1% estimado en el 2017, encontrándose diferencias estadísticas en ambas épocas (test "t").

Durante junio 2016, la dominancia numérica, estuvo representada por las siguientes trofoespecies: *Ophiocoma* sp. (detritivoro), *Tagelus dombeii* (filtradores) y *Nassarius gayii* y *Pagurus villosus* (predadores oportunistas); mientras que, para junio 2017 la trofoespecie dominante fue *N. gayii*, que se corroboró con el incremento de su frecuencia de ocurrencia. En biomasa (peso) la abundancia presentó el mismo comportamiento. ROTH & WILSON (1998) indican que la habilidad del macrobentos para desenvolverse bajo ciertas condiciones ambientales está determinada por sus requerimientos alimenticios que son influenciados por la habilidad de obtener recursos nutricionales óptimos que puedan satisfacerlos y que estén a su disposición en su biotopo. Es así que la dominancia de *T. dombeii* en junio 2016, desaparece en el 2017 como consecuencia de El Niño Costero y es reemplazada por *N. gayii*, especie con mayor estrategia de supervivencia, mayor movilidad y aptitud de variar o combinar sus hábitos alimenticios de predador a necrófago. Al respecto, Villouta (citado por LETELIER *et al.* 2005) menciona la capacidad de *N. gayii* de poseer un amplio espectro trófico que le permite detectar compuestos químicos liberados por organismos en descomposición y ser resistente a los cambios ambientales.

Positive or negative changes in the commercial catches of fish and marine invertebrates are consequences of the El Niño event, causing an impression on their population fluctuations. During El Niño 82-83, landings of many species decreased due to mortality (ARNTZ & TARAZONA, 1988).

In summer 2017, the catches of hard razor clam from Isla Blanca-ENAPU increased as compared to its similar in 2016, given their greater vulnerability when exceeding its thermal tolerance. In autumn 2017, landings decreased by 60.8% as compared to its similar in 2016, while in 2017, landings decreased by 70.6% in autumn with respect to summer.

TARAZONA *et al.* (1989) made public the importance of many ecological parameters to analyze changes in the community structure as a consequence of El Niño events; as well as what was found in the present study, where the species richness, in June 2017, was less than that recorded in June 2016 and the Shannon diversity showed values greater than 2.00 bits/ind in 52.2% of the stations in 2016, with respect to the estimated 39.1% in 2017, with statistical differences being found in both periods ("t" test).

In June 2016, numerical dominance was represented by the following trophospecies: *Ophiocoma* sp. (detritivore), *Tagelus dombeii* (filter feeder), and *Nassarius gayii* and *Pagurus villosus* (opportunistic predators); while, by June 2017, the dominant trophospecies was *N. gayii*, this was corroborated by the increase in its frequency of occurrence. In biomass (weight)¹, abundance showed the same behavior. ROTH & WILSON (1998) indicate that the ability of macrobenthos to perform under certain environmental conditions is determined by their dietary requirements that are influenced by the ability to obtain optimal nutritional resources that can satisfy them and that are available in their biotope. Thus, the dominance of *T. dombeii* in June 2016 disappears in 2017 as a consequence of El Niño Costero and is replaced by *N. gayii*, a species with a greater survival strategy, greater mobility, and ability to vary or combine its eating habits from predator to necrophage. Villouta (cited by LETELIER *et al.* 2005) mentions the capacity of *N. gayii* to possess a broad trophic spectrum that allows it to detect chemical compounds released by decomposing organisms and to be resistant to environmental changes.

Si bien las características e impactos de cada evento El Niño tienen como eje central el incremento térmico, debilitamiento de los vientos y el incremento del nivel del mar, los impactos y las respuestas biológicas de las poblaciones son contrariamente casi únicas. Durante EN costero 2017 a micro escala, la mortandad masiva de “navajuela” es sin duda un hecho evidente, que además de afectar drásticamente a las poblaciones con características filtradoras, modifica la abundancia y diversidad de una comunidad local. Por tanto, el seguimiento de las pesquerías y los monitoreos permanentes son fundamentales para detectar estos impactos y la velocidad con que se dan. Finalmente esta información es capaz de responder preguntas a los usuarios y afectados directos como son los pescadores artesanales, cuya economía familiar gira alrededor de estas pesquerías.

Although the characteristics and impacts of each El Niño event are centered on the thermal increase, weakening of winds, and rising sea levels, the impacts and biological responses of the populations are very important. During El Niño Costero 2017, at micro-scale, the massive mortality of “hard razor clam” is undoubtedly an evident fact, that besides drastically affecting the populations with filtering characteristics, modifies the abundance and diversity of a local community. Therefore, fisheries monitoring and permanent monitoring are essential to detect these impacts and the speed with which they occur. Finally, this information is able to answer questions to users and those directly affected, such as artisanal fishermen, whose family economy is based on these fisheries.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ÁLAMO V, VALDIVIESO V. 1987. Lista Sistemática de Moluscos Marinos del Perú. Publicación Especial. Inst Mar Perú. 200 pp.
- ARNTZ W E. 1986. The two faces of El Niño 1982-83. *Meeresforsch.* 31: 1 - 46.
- ARNTZ W, TARAZONA J. 1988. Una Retrospectiva a El Niño 1982-83: Qué hemos aprendido?. En: Salzwedel H y Landa A (eds.). Recursos y Dinámica del Ecosistema de Afloramiento Peruano. Bol Inst Mar Perú. Vol. Extraor.: 353 - 364.
- ARNTZ W E, VALDIVIA E, ZEBALLOS J. 1988. Impact of El Niño 1982-83 on the commercially exploited invertebrates (mariscos) of the Peruvian shore. *Meeresforsch.* 32: 3 - 22.
- BAZIGOS G P. 1981. El diseño de reconocimiento de pesca con redes de arrastre. FAO. Com. Coord. Invest. Cient. (COCIC-CPPS). 24-28 noviembre 1980. Lima, CPPS. Series Seminarios y Estudios. 3: 1 - 17.
- CASO M E. 1962. Estudios sobre equinodermos de México. Contribución al conocimiento de los equinodermos de las Islas Revillagigedo. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.* 33: 293 - 330.
- CARRILLO C N. 1892. Hidrografía oceánica. Bol. Soc. Geogr. Lima. 2: 72 - 110.
- COAN E V, VALENTICH-SCOTT P. 2012. Bivalve seashells of Tropical West America. Marine Bivalve Mollusks from Baja California to Peru. Santa Barbara Museum of Natural History. Monographs, EUA. 1258 pp.
- DÍAZ A, ORTLIEB L. 1993. El fenómeno “El Niño” y los moluscos de la Costa Peruana. *Bull. Inst. fr. études andines.* 22(1): 159 - 177.
- LETELIER V S, BARRÍA M P, OSORJO R C. 2005. Dinámica Poblacional de *Nassarius gayii* (Kiener, 1834) (Gastropoda, Prosobranchia) en el puerto de San Antonio, Chile Central. Bol. Museo Nacional Historia Natural. Chile. 54: 57 - 70.
- LOYA S D, ESCOFET H A. 1990. Aportación al cálculo del índice del Valor Biológico (Sanders, 1960). *Ciencias Marinas.* 16: 97 - 115.
- MACDONALD T A, BURD B J, MACDONALD V I, VAN ROODSELAAR A. 2010. Taxonomic and Feeding Guild Classification for the Marine Benthic Macroinvertebrates of the Strait of Georgia, British Columbia. Fisheries and Oceans, Canada. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. 2874 pp.
- MAGURRAN A. 1989. Diversidad Ecológica y su Medición. Ed. Vedral; España. Pp 124 - 125.
- MORENO C E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Zaragoza. Vol. 1: 84.
- MOSCO V. 2012. Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú. Bol Inst Mar Perú. 27(1-2): 209.
- ROTH S, WILSON J G. 1998. Functional analysis by trophic guilds of microbenthic community structure in Dublin Bay, Ireland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 222: 195 - 217.
- TARAZONA J, PAREDES C, ROMERO L, BLASKOVICH V, GUZMÁN S, SÁNCHEZ S. 1985a. Características de la vida planctónica y colonización de los organismos bentónicos epilíticos durante el fenómeno “El Niño”. En: Arntz W E, Landa A y Tarazona J (eds). El fenómeno El Niño. Su impacto en la fauna marina. Bol. Inst. Mar Perú-Callao. Vol. extraord. Pp. 41 - 49.
- TARAZONA J, PAREDES C, CANAHUIRE E, ROMERO L, HOYOS L, TOKESHI M Y CORNEJO O. 1989. Mecanismos y procesos en la dinámica de las comunidades y poblaciones bentónicas. En: Tarazona J, Paredes C y Romero L (Eds). Mecanismos y procesos que controlan la colonización y recuperación post-catastrófica de recursos bentónicos de importancia económica en dos áreas de diferente productividad del sistema de afloramiento peruano. Inf. Final Proyecto AID, UNMSM. Lima. Pp 936 - 5542.
- TARIFEÑO E. 1989. Efectos ecofisiológicos de El Niño sobre peces e invertebrados. En: Taller de trabajo sobre efectos biológicos del fenómeno “El Niño” en ecosistemas costeros del Pacífico Sudeste. Comisión Oceanográfica intergubernamental. Informe de Reuniones de Trabajo. N° 87.
- URBAN H J. 1994. Upper temperature tolerance of ten bivalve species off Peru and Chile related to El Niño. *Marine Ecology Progress Series.* 107: 139 - 145.

CORRIENTES MARINAS Y NIVELES DE OXÍGENO FRENTE A LA COSTA NORTE DEL PERÚ 2015-2016

MARINE CURRENTS AND OXYGEN LEVELS OFF THE NORTHERN COAST OF PERU 2015-2016

Roberto Flores¹ Ivonne Montes² Luís Vásquez¹
 Jorge Quispe¹ Noel Domínguez¹

RESUMEN

FLORES R, MONTES I, VÁSQUEZ L, QUISPE J, DOMÍNGUEZ N. 2019. Corrientes marinas y niveles de oxígeno frente a la costa norte del Perú 2015-2016. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 385-391.- El presente estudio caracterizó la distribución espacio-temporal de las corrientes marinas y los niveles de oxígeno frente a Perú en el periodo 2015-2016, con el objetivo de entender los cambios dinámicos experimentados durante el desarrollo del evento cálido ocurrido. Los datos empleados fueron obtenidos durante los cruceros de evaluación de merluza (*Merluccius gayi peruanus*, Ginsburg, 1954) y los cruceros bio-oceanográficos del Programa Presupuestal 0068 El Niño realizados por el IMARPE, que incluyen los parámetros de temperatura, salinidad con los que se calcularon las corrientes geostróficas (corrientes relativas) y oxígeno disuelto hasta las 100 mn de la costa y 500 m de profundidad. Así mismo, se obtuvieron mediciones de corrientes directas a diferentes niveles de profundidad. Los resultados muestran circulación compleja con cambios diferenciados en la distribución vertical e intensidad de las corrientes superficiales (Corriente de Humboldt) y subsuperficiales (Corriente Subsuperficial Perú-Chile). Además, la distribución de oxígeno muestra cambios significativos en la distribución de la Zona de Mínima de Oxígeno y los valores mínimos alcanzados.

PALABRAS CLAVE: corrientes marinas, niveles de oxígeno, 2015-2016

ABSTRACT

FLORES R, MONTES I, VÁSQUEZ L, QUISPE J, DOMÍNGUEZ N. 2019. Marine currents and oxygen levels off the northern coast of Peru 2015-2016. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 385-391.- In order to understand the changes undergone during the warm event of the 2015-2016 period, the spatial-temporal distribution of marine currents and oxygen levels off Peru were characterized. The data come from the Peruvian hake assessment cruises (*Merluccius gayi peruanus*, Ginsburg, 1954) and the bio-oceanographic cruises of the Budget Program 0068 El Niño, carried out by IMARPE, which include the parameters of temperature, salinity, used to estimate the geostrophic currents (relative currents), and dissolved oxygen up to 100 nm from the coast and a depth of 500 nm. Measurements of direct currents at different depth levels were also obtained. The results show complex circulation with differentiated changes in the vertical distribution and intensity of surface (Humboldt Current) and subsurface (Peru-Chile Undercurrent) currents. In addition, the oxygen distribution shows significant changes in the distribution of the Oxygen Minimum Zone and the minimum values reached.

KEYWORDS: marine currents, oxygen levels, 2015-2016

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Corrientes frente al Perú está conformado por una circulación compleja; compuesta de flujos superficiales y subsuperficiales. Próximo a la costa, el flujo superficial dominante es la denominada Corriente Costera Peruana (CCP), también conocida como Corriente de Humboldt (CH), la cual fluye hacia el ecuador. Esta CH se caracteriza por transportar agua fría debido a los procesos de afloramiento costero y a la advección horizontal de agua fría procedente del sur. Mientras que subsuperficialmente, se encuentra la denominada Corriente Subsuperficial de Perú-Chile (CSPC), en inglés (PCUC), la que constituye la fuente principal para el afloramiento costero (HUYER *et al.*, 1987) que, a su vez, es responsable de la alta

1. INTRODUCTION

The system of currents off Peru is complex. It consists of surface and subsurface flows. Near the coast, the dominating surface flow is called Peruvian Coastal Current (PCC) or Humboldt Current (HC) that flows towards the equator, carrying cold water, through the processes of upwelling and horizontal advection of cold water from the south. The Peru-Chile Undercurrent (PCUC), at surface level, constitutes the main source for the coastal upwelling (HUYER *et al.*, 1987), being responsible for the high marine productivity. The PCUC owes its existence to the trade winds favorable to the upwelling which

1 IMARPE, DGIOCC. Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. rflores@imarpe.gob.pe

2 Instituto Geofísico del Perú

productividad marina al proporcionar aguas frías ricas en nutrientes hacia la superficie. Esta corriente, principalmente, debe su existencia a los vientos alisios favorables para el afloramiento los cuales presentan un gradiente de presión a lo largo de la costa hacia el sur (McCREARY, 1981; McCREARY *et al.*, 1987). De igual manera la CSPC recibe alimentación suplementaria por parte de las corrientes subsuperficiales que conforman el sistema de corrientes ecuatoriales (Corriente Ecuatorial Subsuperficial - CES) y la Contracorriente Subsuperficial primaria y secundaria (pSSCC, sSSCC) que alcanza alrededor del 30% del flujo total de la CSPC (MONTES *et al.*, 2010).

Debido a la cercanía con la zona ecuatorial, el Sistema de Corrientes frente al Perú está fuertemente influenciado por la variabilidad interanual de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en sus diferentes fases de calentamiento (TAKAHASHI *et al.*, 2011; DEWITTE *et al.*, 2012) y por la propagación de ondas Kelvin ecuatoriales (MOSQUERA-VÁSQUEZ *et al.*, 2013; ILLIG *et al.*, 2014); ambos afectan la productividad biológica marina (CASTILLO *et al.*, 2001) y el clima de las Américas (LAGOS *et al.*, 2008; BOURREL *et al.*, 2014). Asimismo, la alta productividad marina junto con la lenta circulación permite que frente a Perú se encuentre la denominada Zona de Mínima de Oxígeno (OMZ), la cual representa una barrera respiratoria para especies marinas y la influencia del ciclo de nutrientes marino (STRAMMA *et al.*, 2010).

La distribución de la merluza en la costa de Perú ha experimentado cambios drásticos en la estructura demográfica de la biomasa disponible por razones ambientales (GUEVARA-CARRASCO, 2004) y la reducción de las longitudes y cambios estructurales de la población de la merluza coinciden con los eventos El Niño (WOSNITZA-MENDO *et al.*, 2009). Por tanto, el presente estudio trata de caracterizar la distribución espacio-temporal de la circulación marina frente a Perú durante los años 2015 y 2016, con el fin de entender los cambios dinámicos experimentados durante el desarrollo de eventos cálidos ocurridos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos empleados en el presente estudio fueron obtenidos durante los cruceros de recursos demersales realizados en los años 2015 y 2016 (IMARPE, 2015, 2016) y los cruceros bio-oceanográficos del Programa Presupuestal 0068 El Niño (PPR 0068, 2015 y 2016).

La recolección de datos incluye perfiles de temperatura y salinidad medidos hasta 500 m de profundidad mediante el perfilador de Conductividad, Temperatura

and depth pressure gradients along the coast towards the south (McCREARY, 1981; McCREARY *et al.*, 1987); it also receives supplementary feeding from the subsurface currents that make up the equatorial current system (Equatorial Undercurrent - EUC) and the primary and secondary Subsurface Countercurrent (pSSCC, sSSCC) that reaches around 30% of the total flow of the PCUC (MONTES *et al.*, 2010)

The current system off Peru is strongly influenced, given its proximity to the equatorial zone, by the inter-annual variability of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) in its different warming phases (TAKAHASHI *et al.*, 2011; DEWITTE *et al.*, 2012) and by the propagation of equatorial Kelvin waves (MOSQUERA-VÁSQUEZ *et al.*, 2013; ILLIG *et al.*, 2014); both affecting marine biological productivity (CASTILLO *et al.*, 2001) and the weather of the Americas (LAGOS *et al.*, 2008; BOURREL *et al.*, 2014). Likewise, the high marine productivity together with the slow circulation allows the so-called Oxygen Minimum Zone (OMZ) to be found off Peru, which represents a respiratory barrier for marine species and the influence of the marine nutrient cycle (STRAMMA *et al.*, 2010).

The hake distribution in the Peruvian coast has undergone drastic changes in the demographic structure of the available biomass for environmental reasons (GUEVARA-CARRASCO, 2004) and the reduction of the lengths and structural changes of the hake population coincide with El Niño events (WOSNITZA-MENDO *et al.*, 2009). Therefore, this study tries to characterize the spatial-temporal distribution of the marine circulation off Peru in 2015 and 2016, to understand the dynamic changes experienced during the development of warm events.

2. MATERIAL AND METHODS

The data used in this study were obtained during the demersal resource cruises carried out in 2015 and 2016 (IMARPE, 2015, 2016) and the bio-oceanographic cruises of the Budget Program 0068 El Niño (PPR 0068, 2015 and 2016).

The data collection includes temperature and salinity profiles measured up to a depth of 500 m by using the Conductivity, Temperature, and Depth (CTD) profiler off Paita and Chicama,

tura y Profundidad (CTD) frente a Paita y Chicama que permite estimar los campos de densidad y las corrientes geostroficas. En el cálculo de corrientes relativas se emplea como nivel de referencia (nivel de no movimiento) 500 m de profundidad, hallándose valores de mayor intensidad en relación a las mediciones de corrientes directas obtenidas. Adicionalmente, se analizó datos de corrientes directas obtenidas con el correntómetro *Acoustic Doppler Current Profiler-ADCP* instalado en el BIC Olaya. Las secciones frente a Paita y Chicama alcanzaron 100 mn con frecuencia mensual. Estas mediciones directas obtenidas para la columna de agua se procesaron a distintos niveles de profundidad. Los datos incluyen mediciones de oxígeno en la columna de agua hasta 500 m de profundidad. Para los fines de este estudio, solo se muestran las características observadas durante enero, abril, mayo y junio del 2015 y enero, marzo y abril del 2016.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las corrientes geostroficas durante el 2015, en la sección frente a Paita, muestran flujos distribuidos en tres capas muy marcadas respecto a sus direcciones (Fig. 1). En superficie, el flujo superficial dirigido hacia el ecuador (Corriente de Humboldt) está presente en todas las secciones, siendo más intenso en mayo. A nivel subsuperficial, el flujo se dirige hacia el polo teniendo doble núcleo durante todo el año; aunque exhibiendo una extensión e intensidad diferente. Dichos flujos alcanzan la superficie en enero y abril, siendo más intensos en abril; ambos pueden estar asociados a la CSPC y a la Contra Corriente Subsoperficial Peruana Chilena (CCSPC) (HAYER *et al.*, 1991), respectivamente. Aparentemente, estos flujos estarían influenciando la abundancia y distribución del recurso merluza (IMARPE 2015, 2016). Entre 100 y 300 m se observó una corriente hacia el ecuador muy marcada, la cual podría estar relacionada con la Corriente Costera Profunda Peruano-Chilena (CCPPC) que muestra ser más intensa en mayo.

Se observó una columna de agua bien oxigenada en la parte superior seguida de una ZMO que alcanza valores de hasta $0,1 \text{ mL.L}^{-1}$. Durante abril, sobre 300 m de profundidad, se detectó una columna de agua más oxigenada, la que estuvo acompañada de flujos subsuperficiales más intensas hacia el polo. Respecto a la ZMO (capas menores a $0,5 \text{ mL.L}^{-1}$) su mayor profundización se alcanzó en abril mientras que, en julio la concentración decayó. Durante los meses de enero y julio los flujos hacia el sur mostraron condiciones débiles y la zona de mínima de oxígeno se presentó menos profunda (Fig. 1).

which allows the estimation of density fields and geostrophic currents. In the estimation of relative currents, a depth of 500 m is used as a reference level (non-movement level), finding values of greater intensity in relation to the direct current measurements obtained. In addition, direct current data obtained with the *Acoustic Doppler Current Profiler-ADCP* current meter installed in the R/V Olaya was analyzed. The sections off Paita and Chicama reached 100 nm with monthly frequency. These direct measurements obtained for the water column were processed at different depth levels. The data include oxygen measurements in the water column up to a depth of 500 m. For the purposes of this study, only the characteristics observed in January, April, May, and June 2015 and January, March, and April 2016 are shown.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In 2015, the geostrophic currents in the section off Paita show a flow distributed in three very marked layers with respect to their directions (Fig. 1). The surface flow directed towards the equator (Humboldt Current) is present in all sections, being more intense in May. At subsurface level, the flow is directed towards the pole having a double nucleus throughout the year; although exhibiting a different extension and intensity. These flows reach the surface in January and April, being more intense in April; both can be associated with the PCUC and the Peru-Chile Countercurrent (PCCC) (HAYER *et al.*, 1991), respectively. Apparently, these flows are influencing the abundance and distribution of the Peruvian hake resource (IMARPE 2015, 2016). Between 100 and 300 m, a very noticeable current towards the equator was observed, which could be related to the deep Peru-Chile Coastal Current (PCCoastalC) that showed to be more intense in May.

A column of well-oxygenated water in the upper part was observed followed by an OMZ reaching values of up to 0.1 mL.L^{-1} . In April, over a depth of 300 m, a more oxygenated water column was detected, which was accompanied by more intense subsurface flows towards the pole. The oxygen minimum zone-OMZ (layer less than 0.5 mL.L^{-1}) reached its greatest depth in April; in July the concentration declined. In January and July, the flows towards the south showed weak conditions and the OMZ was less deep (Fig. 1). This same

Esta misma configuración de los flujos geostróficos y la profundidad de la capa mínima de oxígeno se observó en la sección frente a Chicama (Fig. 2).

configuration of the geostrophic flows and the depth of the oxygen minimum layer was observed in the section off Chicama (Fig. 2).

A nivel vertical, las corrientes marinas obtenidas con el ADCP en toda la columna de agua en la sección frente a Paita, ponen de manifiesto que las mayores densidades de flujos se dan en la zona entre 30-50 mn de la costa en las capas de 32 y 64 m de profundidad, en tanto que, fuera de las 60 mn de la costa, estos flujos se ubican en la capa de 176 metros de profundidad (Fig. 3). Estas observaciones han sido corroboradas con los cálculos geostróficos obtenidos (Figs. 1, 2).

The marine currents obtained with the ADCP in the entire water column in the section off Paita show that the highest flow densities occur between 30-50 nm from the coast in the 32 and 64 m deep layers, whereas, outside the 60 nm offshore, these flows are located in the 176 m deep layer (Fig. 3). These observations have been corroborated with the geostrophic calculations obtained (Figs. 1, 2).

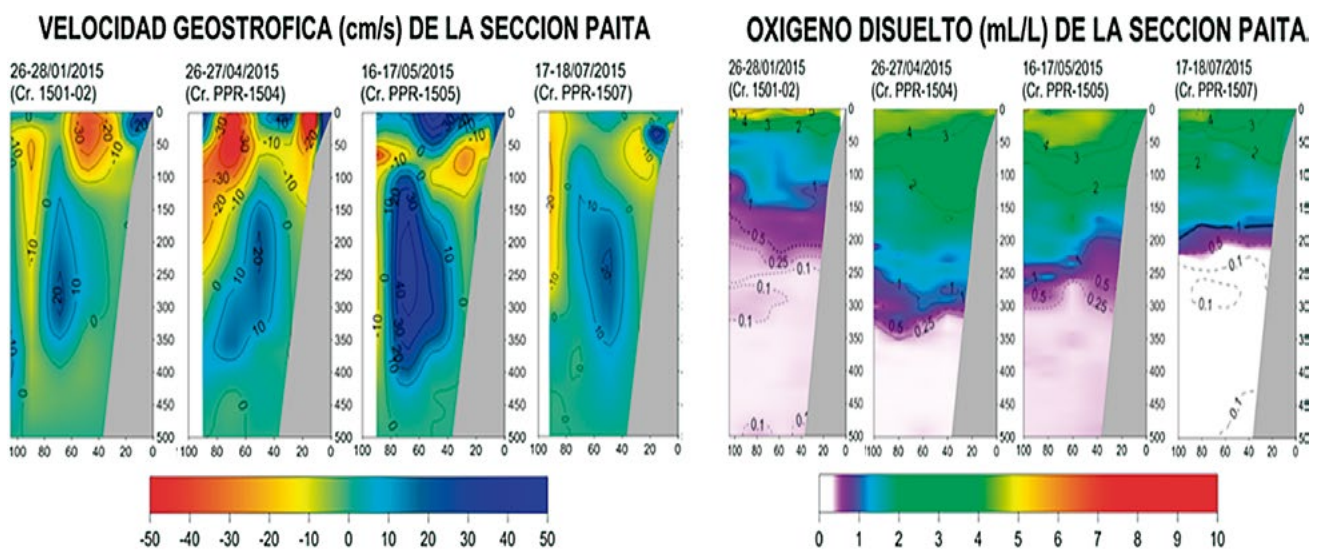


Figura 1.- Estructura vertical de las corrientes geostróficas y distribución de oxígeno frente a la sección Paita durante el 2015

Figure 1. Vertical structure of the geostrophic currents and oxygen distribution off Paita section in 2015

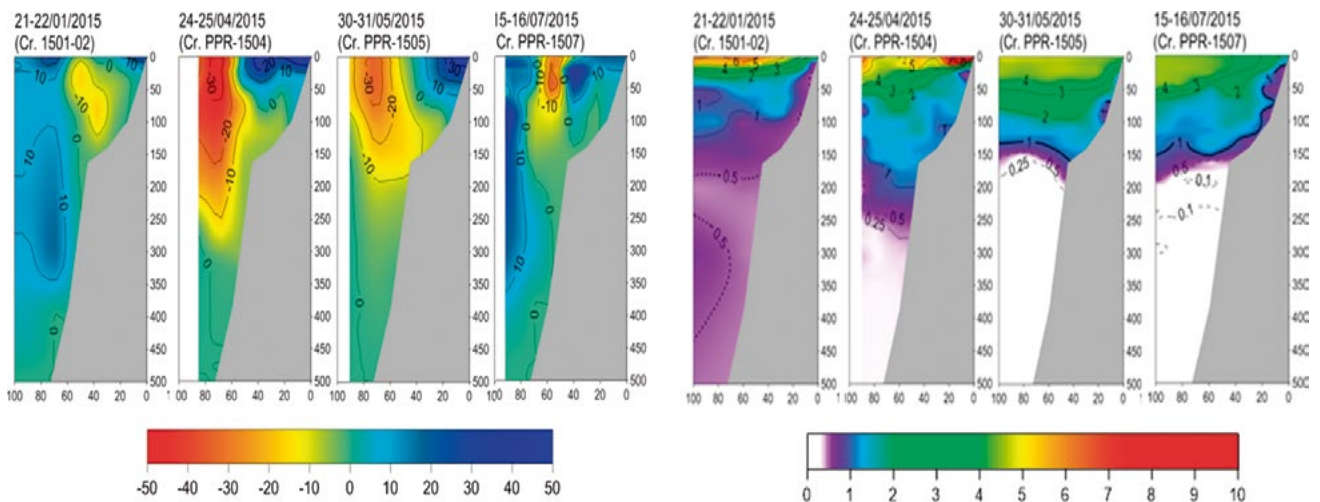


Figura 2.- Estructura vertical de las corrientes geostróficas y distribución de oxígeno frente a la sección Chicama durante el 2015

Figure 2. Vertical structure of the geostrophic currents and oxygen distribution off Chicama section in 2015

Durante el año 2016, la sección vertical frente a Paita, de acuerdo a los cálculos geostroficados, mostraron que, en los primeros meses, predominaron flujos subsuperficiales hacia el norte asociados a la Corriente Peruana principalmente en enero y abril; en tanto que en marzo se observaron flujos subsuperficiales hacia el sur al borde de la plataforma con velocidades de hasta 20 cm/s alrededor de las 80 mn; y otro flujo también hacia el sur pero más superficial asociado a la CCSPC con velocidades relativas del orden de 30 cm/s se observó por fuera de las 60 mn. Mientras que, la distribución de oxígeno disuelto en la columna de agua en esta sección presentó en marzo mayor profundización de la mínima de oxígeno que se situó alrededor de 200 m de profundidad, manteniendo una estructura vertical homogénea y oxigenada (Fig. 4).

In the vertical section of Paita, according to geostrophic calculations in the first months (mainly January and April) of 2016, subsurface flows to the north associated with the Peruvian Current predominated; in March, subsurface flows to the south of the shelf break were observed with speeds of up to 20 cm/s at 80 m; and another southward but more superficial flow associated with the PCCC with relative speeds of the order of 30 cm/s was observed outside 60 m. Meanwhile, the distribution of dissolved oxygen in the water column in this section presented, in March, greater deepening of the minimum oxygen that was around 200 m deep, maintaining a homogeneous and oxygenated vertical structure (Fig. 4).

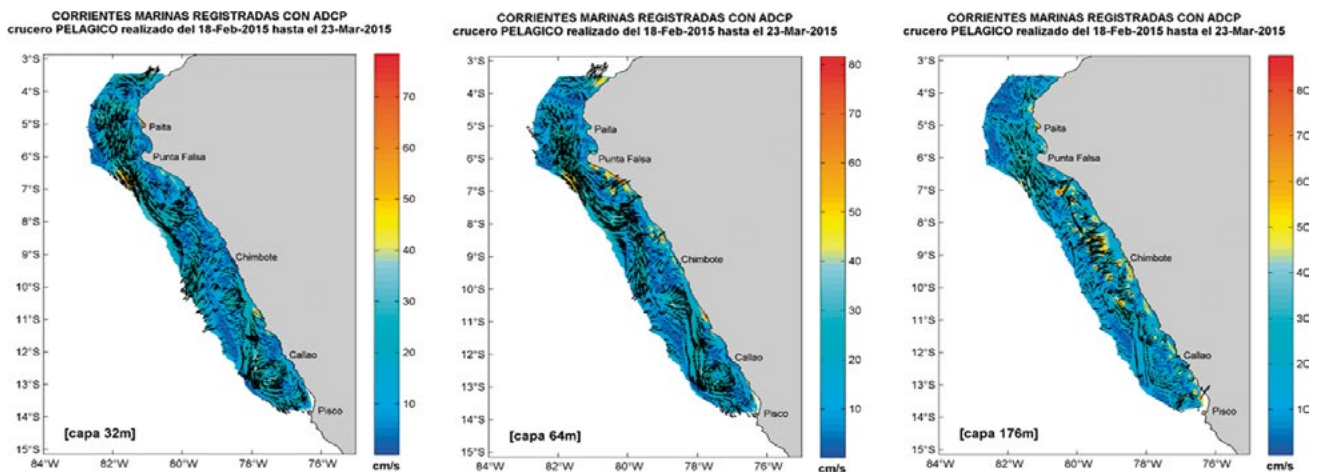


Figura 3.- Distribución horizontal de las corrientes marinas obtenidas con ADCP a 32, 64 y 176 m de profundidad. Datos del Crucero de evaluación de recursos demersales 1506-07 (otoño). Los vectores muestran mayor intensidad en la zona norte frente a la sección Paita

Figure 3. Horizontal distribution of sea currents obtained with ADCP at depths of 32, 64, and 176 m. Data from the demersal resource assessment cruise 1506-07 (autumn). Vectors show greater intensity in the northern zone off the Paita section

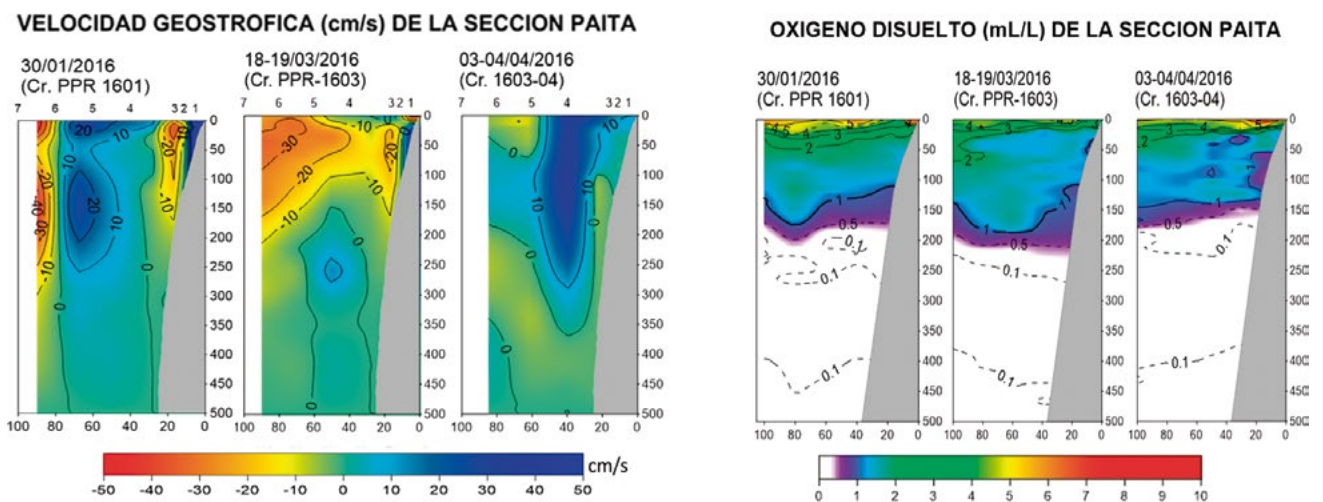


Figura 4.- Estructura vertical de las corrientes geostroficadas y distribución de oxígeno frente a la sección Paita durante el 2016

Figure 4. Vertical structure of geostrophic currents and oxygen distribution off Paita section in 2016

Cabe mencionar que en los meses siguientes hubo un decaimiento de estos parámetros ya que las condiciones oceanográficas volvieron a sus condiciones casi normales.

En general, durante los cruceros de evaluación de recursos demersales realizados en los años 2014, 2015 y 2016, se encontró principalmente un ambiente oxigenado (Fig. 5) en el área dentro de la plataforma continental al norte de Pimentel, con valores de oxígeno disuelto > 2 mL/L (Cr. 1405-06) y > 1,5 mL/L (Cr. 1505-06 y Cr. 1605-06). Esta característica se debe a la influencia de la CSPC y de la CCSPC, corrientes que normalmente se intensifican en otoño y aún más en periodos El Niño, que permite mayor ventilación de las capas subsuperficiales como lo ocurrido durante el año 2014 asociado a un Niño débil (ENFEN, 2014) y en los años 2015-2016 asociados a un Niño fuerte (ENFEN, 2015, 2016).

It is noteworthy that, in the following months, there was a decline in these parameters as oceanographic conditions returned to their near-normal conditions.

In 2014, 2015, and 2016, an oxygenated environment (Fig. 5) was found mainly in the area within the shelf break north of Pimentel, with dissolved oxygen values > 2 mL/L (Cr. 1405-06) and > 1,5 mL/L (Cr. 1505-06 and Cr. 1605-06). This characteristic is caused by the influence of the PCUCC and the PCCC, currents that normally intensify in autumn and even more in El Niño periods, which allows greater ventilation of the subsurface layers as occurred in 2014, associated with a weak El Niño (ENFEN, 2014) and in 2015-2016 associated with a strong El Niño event (ENFEN, 2014).

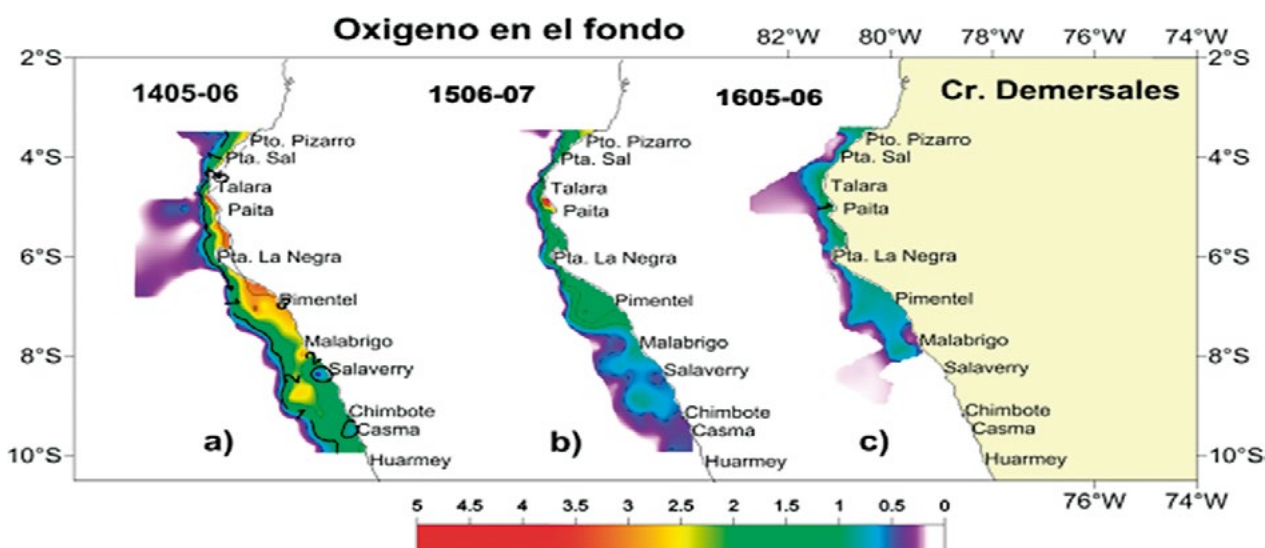


Figura 5.- Distribución del oxígeno (mL/L) durante los Cr. Demersales de los años 2014, 2015 y 2016

Figure 5. Oxygen distribution (mL/L) during the Demersal Cruises of 2014, 2015, and 2016

REFERENCIAS / REFERENCES

BOURREL L, RAU P, DEWITTE B, LABAT D, LAVADO W, COUTAUD A, VERA A, ALVARADO A, ORDOÑEZ J. 2014. Low-frequency modulation and trend of the relationship between precipitation and ENSO along the northern to center Peruvian Pacific coast. *Hydrological processes*, 6, 1252 - 1266. doi: 10.1002/hyp.10247.

CASTILLO R, SAMAMÉ M, FERNÁNDEZ F. 2001. Distribución y estructura de la población de merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*). http://www.imarpe.gob.pe/informes/info_merluza/distribucion.html

DEWITTE B, VAZQUEZ-CUERVO J, GOUBANOVA K, ILLIG S, TAKAHASHI K, CAMBON G, PURCA S, CORREA D, GUTIÉRREZ D, SIFEDDINE A, ORTLIEB L. 2012. Change in El Niño flavors over 1958–2008: Implications for the long-term

trend of the upwelling off Peru, *Deep Sea Res. Part II*, 77–80: 143 - 156, doi:10.1016/j.dsr2.2012.04.011.

ENFEN. http://www.imarpe.pe/imarpe/lista.php?id_seccion=1016602000000000000000

GUEVARA-CARRASCO R. 2004. Sobrepesca de la merluza peruana: lecciones mal entendidas. *Bol Inst Mar Perú*. 21(1,2): 27 - 32.

HAYER A, KNOLL M, PALUSZKIEWICKZ T, SMITH R. 1991. The Peru undercurrent: a study in variability. *Deep Sea Research*. 38 (1): 247 - 271.

HUYER A, SMITH R L, PALUSZKIEWICZ T. 1987. Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times. *J. Geophys. Res.* 92: 14297 - 14307.

ILLIG S, DEWITTE B, GOUBANOVA K, CAMBON G, BOUCHARÉL J, MONETTI F, ROMERO C, PURCA S, FLORES R. 2014. Forcing mechanisms of intraseasonal SST variability off central

- Peru in 2000-2008. *J. Geophys. Res.-Oceans*. 119(6): 3548 - 3573, doi: 10.1002/2013HC009779.
- IMARPE. 2015. Informe de Crucero de Evaluación de merluza en otoño del 2015. Cr.1506-07 BIC Humboldt.
- IMARPE. 2016. Informe de crucero de evaluación de merluza de otoño del 2016. Cr.1605-06 BIC Humboldt.
- LAGOS P, SILVA Y, NICKL E, MOSQUERA K. 2008. El Niño-related precipitation variability in Peru, *Advances in Geosciences*, doi: 10.5194/adgeo-14-231-2008.
- MCCREARY J P. 1981. A linear stratified ocean model of the coastal undercurrent. *Phil. Trans. R. Soc. London. Ser. A*, 302: 385 - 413.
- MCCREARY J P, KUDU P K, CHAO S Y. 1987. On the dynamics of the California Current System. *J. Mar. Res.* 45 (1): 1 - 32.
- MONTES I, COLAS F, CAPET X, SCHNEIDER W. 2010. On the pathways of the equatorial subsurface currents in the Eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru- Chile Undercurrents. *J. Geophys. Res.* 115.
- MOSQUERA VÁSQUEZ K, DEWITTE B, ILLIG S, TAKAHASHI K, GARRIC G. 2013. The 2002-03 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. doi: 10.1029/2012JC008551.
- STRAMMA, L, SCHMIDTKO S, LEVIN LA, JOHNSON GC. 2010. Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep-Sea Res. Part I-Oceanographic Res. Papers*. 57: 587 - 595.
- TAKAHASHI K, MONTECINOS A, GOUBANOVA K, DEWITTE B. 2011. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical ENSO and El Niño Modoki. *Geophysical Research Letters*. 38, L10704. doi: 10.1029/2011GL047364.
- WOSNITZA-MENDO C, BALLÓN M, BENITES C, GUEVARA-CARRASCO R. 2009. Cambios en el área de distribución de la merluza peruana: efecto de la pesquería y El Niño. III Panel internacional de expertos de evaluación de la merluza peruana. *Bol Inst Mar Perú*. 24 (1 y 2): 35 - 44.

VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR CON REGISTROS *IN SITU* DENTRO DE LAS 60 MILLAS DEL MAR DEL PERÚ

VALIDATION OF SATELLITE SEA SURFACE TEMPERATURE INFORMATION WITH *IN SITU* RECORDS WITHIN 60 MILES OF THE PERUVIAN SEA

Daniel Quispe¹

Dimitri Gutiérrez

Luis Vásquez

RESUMEN

QUISPE D, GUTIÉRREZ D, VÁSQUEZ L. 2019. Validación de información satelital de temperatura superficial del mar con registros *in situ* dentro de las 60 millas del mar del Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 392-405.- Las condiciones térmicas del sistema costero peruano se monitorean a través de registros *in situ* e información satelital de diferentes sensores que incluyen post-procesamiento. Se identificaron con parámetros de error y dispersión las bases de información satelital que tuvieron mayor aproximación a los registros *in situ*, y evaluaron, en términos de error, las estimaciones de TSM en franjas adyacentes a la costa para ver el efecto de ubicación costa-oceano. La información satelital se tomó de las bases AVHRR, MW, MW-IR, NAVOCEANO, MUR y OSTIA y los registros *in situ* de los cruceros de investigación y monitoreo en secciones-puntos fijos efectuados entre los años 2014 y 2016. En las franjas de 10-20 y 20-30 mn frente a la costa, se encontró que frente a los registros de TSM de cruceros, la base OSTIA en promedio tuvo menor error (RMSD = 0,625) y menor dispersión (SD = 1,855), lo que indica mayor exactitud y precisión; mientras que frente a los registros en secciones-puntos fijos, MUR presentó menor error (RMSD = 0,715) y OSTIA menor dispersión (SD = 1,948) indicando, respectivamente, mayor exactitud y precisión que las demás bases satelitales. El gradiente costa-oceano, en la mayoría de bases de información satelital, presentaron estimaciones de TSM con mayor nivel de error en franjas cercanas a la costa (0-10 mn) y menor error en franjas más distantes (30-60 mn), el error disminuyó de costa a oceano tanto de registros en cruceros (promedio MAE de 0,96 a 0,26), como de registros en secciones-puntos fijos (promedio MAE de 1,06 a 0,41). OSTIA y MUR presentaron estimaciones de TSM con mejor aproximación a la TSM *in situ*.

PALABRAS CLAVE: TSM satelital, sistema costero peruano, validación temperatura

ABSTRACT

QUISPE D, GUTIÉRREZ D, VÁSQUEZ L. 2019. Validation of satellite sea surface temperature information with *in situ* records within 60 miles of the Peruvian sea. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 392-405.- *In situ* recordings and satellite information from different sensors including post-processing are used to monitor the thermal conditions of the Peruvian coastal system. The satellite information databases, which had a greater approximation to *in situ* records, were identified with error and dispersion parameters and the SST estimates in strips adjacent to the coast were evaluated in terms of error to see the effect of the coast-to-ocean location. Satellite information was taken from the AVHRR, MW, MW-IR, NAVOCEANO, MUR, and OSTIA databases and *in situ* records were taken from research and monitoring cruises in fixed-point sections conducted between 2014 and 2016. It was found that compared to records in cruises, the OSTIA database presented, on average, less error (RMSD=0.625) and less dispersion (SD=1.855) at distances of 10-20 and 20-30 nm offshore, indicating greater accuracy and precision, while compared to records in sections-fixed points, MUR presented less error (RMSD=0.715) and OSTIA less dispersion (SD=1.948) showing, respectively, greater accuracy and precision than the other satellite databases. In the coast-to-ocean gradient, the SST estimates for most of the satellite information databases showed a higher level of error in stripes near the coast (0-10 nm) and a lower error in more distant stripes (30-60 nm). The error decreased from coast to ocean both as opposed to records on cruises (mean MAE from 0.96 to 0.26), and as opposed to records in fixed-point sections (mean MAE from 1.06 to 0.41). OSTIA and MUR presented SST estimates with a better approximation to the *in situ* SST.

KEYWORDS: satellite SST, Peruvian coastal system, temperature validation

1. INTRODUCCIÓN

Sistema costero peruano

El mar peruano es parte del gran ecosistema de la corriente de Humboldt. La variabilidad de sus parámetros físicos, químicos y biológicos son de gran importancia por estar asociados a procesos de diferentes escalas espacio-temporales, tales como

el afloramiento, la variación estacional, el efecto interanual del ciclo ENOS, entre otros, los cuales llegan a tener efectos trascendentes en actividades socio-económicas, como la pesca o eventos El Niño (CHAVEZ *et al.*, 2008; SALVATECI *et al.*, 2018). El deseo por entender y conocer parte de los procesos en este sistema ha motivado diversos trabajos de caracterización y tipologías (GOUBANOVA *et al.*, 2013;

¹ IMARPE, Laboratorio Costero de Chimbote, Prolongación Lo Pinos s/n, Chimbote. pberru@imarpe.gob.pe

CHAMORRO *et al.*, 2018), así como de pronóstico a través de modelos (QUISPE-CCALLUARI *et al.*, 2017; QUISPE-CCALLUARI *et al.*, 2016; MATELLINI *et al.*, 2007), constituyéndose la temperatura superficial del mar en un parámetro base de estudio y análisis, como en otros sistemas similares (PRIYA *et al.*, 2016; FIEDLER, 1983; VALAVANIS *et al.*, 2008).

En actividades de observación y monitoreo de las condiciones térmicas del ambiente marino, la obtención de datos con información óptima es muy importante, por lo que es una prioridad científica buscar la mejor información que puede ser proporcionada por la combinación de equipos de observación vía satélite, de mediciones *in situ* y de modelado numérico (DONLON *et al.*, 2002).

A nivel internacional existen múltiples esfuerzos por brindar la mejor información posible, destacando las observaciones vía satelital de TSM que proceden de sensores y equipos con variada configuración, así como los registros de temperatura *in situ* efectuados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) a través de sus buques de investigación y los procedentes de programas como NCEP, ICOADS, FNMOC (XU & IGNATOV, 2010) sumados a ello el aporte de entidades e investigadores que integran datos de diferentes fuentes y los ponen a disposición de la comunidad en tiempo cuasi real, con el propósito de minimizar el error de estimación, encontrándose la mayoría de estos datos como información satelital de nivel tres y cuatro (L3, L4) (DASH *et al.*, 2012).

En este contexto, al evaluar y describir las características de las condiciones térmicas en el sistema costero peruano, una de las principales motivaciones fue conocer las diferencias de exactitud y precisión en las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital, frente a registros *in situ* de la temperatura en superficie del mar en el ámbito peruano. Por lo tanto, para la zona ubicada dentro de las 60 mn del mar peruano, tomando como referencia los registros de TSM de las operaciones de crucero oceanográfico y monitoreo en secciones y puntos-fijos, se (i) Identificaron las bases de información satelital que poseen estimaciones de TSM con mayor aproximación (exactitud y precisión) y (ii) Evaluó el efecto que genera la ubicación en el gradiente costa-océano a las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital frente a los registros *in situ*.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Datos satelitales

En la web se han encontrado varias bases de información satelital de la temperatura en superficie del mar que fueron identificadas como AVHRR, MW, MWIR, NAVOCEANO, OSTIA y MUR, las cuales se han considerado para el análisis por su relevancia y diaria actualización.

La base AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), disponible en NCDC - NOAA (*National Climate Data Center*, <https://www.ngdc.noaa.gov>), procede de un sensor de banda ancha de cuatro o cinco canales (dependiendo del modelo), detecta el rango visible, infrarrojo cercano y la porción termal infrarroja del espectro electromagnético. Este sensor está en satélites ambientales de órbita polar (POES) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Los datos MW & MW-IR proceden de la RSS (*Remote Sensing System*), que es una agencia especializada en sensoramiento remoto con microondas, cuyo espectro (1,4 a 89 GHz) es rico en información atmosférica (temperatura, humedad, nubes, lluvia, etc.), así como de superficie terrestre (temperatura, vegetación, humedad, etc.). Actualmente, cuenta con productos de calidad obtenidos de radiómetros, sondas y escaterómetros. Los datos son intercalibrados y consistentemente procesados (<http://www.remss.com>).

NAVOCEANO (*Naval Oceanographic Office*) recolecta datos de varios sensores satelitales de órbita polar y geoestacionaria (NOAA-18/19, METOP, GOES, MSG), que luego son asimilados en modelos oceánicos operacionales en tiempo cuasi real, para generar productos regionales. Desde el inicio de sus operaciones (1993), ha pasado por varias mejoras en su procesamiento con la participación de varias organizaciones y proyectos, que permitió la implementación y generación de productos operacionales de mayor resolución, desde AVHRR, GOES hasta múltiples satélites internacionales con su participación en el GODAE (*Global Ocean Data Assimilation Experiment*). Hasta antes de 1998, en operaciones de apoyo y entrega de productos a la flota, la exactitud de TSM tenía un error de diferencia cuadrática media de menos de 0,7 °C respecto a las mediciones de TSM por boyas de deriva global (MAY *et al.*, 1998).

La base OSTIA (*Operational SST and Ice Analysis*) es producida por el *Met Office* (Reino Unido), con apoyo del proyecto MyOcean de la Unión Europea, GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*). OSTIA hace uso extensivo de los productos de satélites infrarrojos y de microondas, junto a observaciones *in situ* del GTS (*Global Telecommunications System*) y productos de concentraciones de hielo marino del EUMETSAT, así como del OSI-SAF (*Ocean and Sea Ice Satellite Applications Facility*). El sistema de análisis se basa en una interpolación óptima multiescala que está diseñado para aplicaciones en predicción numérica del clima y sistemas de pronóstico oceánico. Los productos OSTIA se monitorean continuamente y varias actividades de validación y verificación han demostrado que los resultados de TSM tienen un sesgo medio de cero y una precisión de $\sim 0,57$ K comparado con mediciones *in situ* (DONLON *et al.*, 2012).

La base MUR (*Multi-sensor Ultra-high Resolution*) es un producto de análisis global que genera mapas diarios de nivel cuatro (L4), con alta resolución, en base a datos de multiescala que difieren desde 1 a 100 km, procedentes de sensores satelitales y registros *in situ*. Usa la técnica de interpolación conocida como MRVA (*Multi-Resolution Variational Analysis*), que se basa en una descomposición tipo *wavelet* (CHIN *et al.*, 2017).

Consideraciones para la validación

El entendimiento de las condiciones térmicas a nivel de superficie del mar, requiere tomar en cuenta las definiciones del GHRSSST (*Group for High Resolution Sea Surface Temperature*), relacionado a los diez primeros metros de profundidad, donde operan los diferentes métodos y equipos de registro, que abarcan desde los de medición directa, como termómetros manuales hasta los inferidos por sensores satelitales que operan a diferentes longitudes de onda. La diferencia entre ellos, responde a la variabilidad en la columna de agua y el nivel de profundidad donde fueron registrados, tomando en cuenta que pueden ser desde algunos metros de profundidad hasta capas muy delgadas que están en el orden de milímetros y micrómetros, tales como los captados por sensores de microondas y sensores infrarrojos, respectivamente (DONLON, 2005). Cabe mencionar que los sensores infrarrojos, tienen limitaciones en presencia de nubosidad y aerosoles atmosféricos, dado que estos últimos, podrían causar efectos de enfriamiento (WENTZ *et al.*, 2000). Sin embargo, la radiometría de microondas en frecuencias menores a 12 GHz, penetra la nubosidad excepto en condiciones de lluvia, además, en esas frecuencias los aerosoles

atmosféricos no tienen efecto (WENTZ *et al.*, 2000); así mismo, las frecuencias menores (por ejemplo 7 frente a 11 GHz) tienen errores menores debido al ruido radiométrico y geofísico (GENTEMANN *et al.*, 2010).

El criterio base para evaluar la calidad de los datos satelitales es compararlos con datos referenciales obtenidos independientemente y con buena calidad. Para comparar dos conjuntos de datos independientes se debe considerar la coincidencia en el tiempo y espacio. Esto típicamente produce una diferencia media y un diferencial que se propaga para estimar el sesgo y la incertidumbre. Una simple comparación directa a menudo no es suficiente para la validación, por tanto se necesita considerar enfoques para caracterizar la calidad de algunos aspectos particulares de los datos. El proceso de evaluación de la calidad de datos satelitales, involucra aspectos como validación, verificación, calibración y monitoreo (PITERS *et al.*, 2011).

La validación definida por el CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*) es el proceso de evaluación de la calidad del producto de los datos derivados del sistema (PITERS *et al.*, 2011). Uno de los objetivos más importantes de la validación es describir y cuantificar la incertidumbre de los productos de satélites, de tal manera que sea de uso directo en determinadas áreas de investigación.

La incertidumbre es un parámetro de medida que caracteriza la dispersión de un valor cuantitativo que da una idea de la calidad, para nuestro caso de un dato geográfico. Los términos relacionados con incertidumbre de medida son: error, precisión y exactitud, repetitividad, reproducibilidad, entre otros. La definición de dichos términos se encuentra en el vocabulario internacional de metrología - VIM (JCGM, 2012).

Exactitud y precisión

La precisión a menudo es referida a la ausencia de error aleatorio. El error aleatorio es conocido como variabilidad o varianza, su magnitud depende de valores estimados u observados y es completamente independiente del valor real. Por tanto, la precisión es una medida de la varianza estadística de un procedimiento de estimación (West, 1999 citado por WALTHER & MOORE, 2005), en tanto que la exactitud se define como la distancia total entre los valores estimados u observados y el valor verdadero (Bainbridge 1985, Zar 1996, Jones 1997, Krebs 1999 citados por WALTHER & MOORE, 2005).

Los errores debido a condiciones ambientales ocurren porque la precisión disminuye con el incremento de nubes, velocidad de vientos y vapor de agua, o variabilidad geofísica de los sub-píxeles; por otro lado, los errores modelados muestran que la recuperación de TSM a 7 GHz es válido globalmente, mientras que a 11 GHz tendría un aporte significativo de error más allá de los 40°N-S, debido al radiómetro, limitando el empleo de los datos (GENTEMANN *et al.*, 2010).

El uso del error cuadrático medio o *root mean square error* (RMSE) ayuda a proporcionar una imagen completa de la distribución de errores. Asimismo, se menciona que es más apropiado usar el error absoluto medio o *mean absolute error* (MAE) para representar el rendimiento o funcionamiento del modelo, cuando los errores del modelo siguen una distribución normal. Al evaluar diferentes modelos utilizando una sola medida tipo RMSE, se dice que las diferencias en las distribuciones de errores son más importantes (CHAI & DRAXLER, 2014).

Considerando que la exactitud se refiere a valores obtenidos que están próximos al valor verdadero de la magnitud medida, entonces una medición será más exacta cuanto más pequeño sea el error de medición; mientras que, la precisión se refleja en mediciones con valores próximos entre sí, es decir el resultado es más preciso cuanto menor es la dispersión en los valores de medición, (desviación, varianza o coeficiente de variación). Por tanto el resultado de medición puede ser: (i) exacto y preciso [muy próximos entre sí, con un valor medio muy cercano al valor verdadero], (ii) exacto pero no preciso [Valor medio muy cercano al valor verdadero, pero gran dispersión de los resultados en torno al valor medio], (iii) preciso pero no exacto [resultados muy próximos entre sí pero valor medio alejado del valor verdadero] y (iv) ni preciso ni exacto [gran dispersión de los resultados en torno al valor medio y valor medio alejado del valor verdadero] (JCGM, 2012).

Procesamiento

Se usaron estimaciones satelitales de TSM, procedentes de las seis bases de información satelital dentro del periodo de tres años (noviembre 2013 a octubre 2016). Los valores de temperatura de las diferentes bases de información satelital, difieren por: las técnicas de post-procesamiento, tipo de sensor y rango de onda electromagnética, resolución espacial, periodo desde cuando vienen operando, entre otros (Tabla 1). Los productos evaluados proceden del *Advanced Very High Resolution Radiometer* con interpolación óptima V2 (AVHRR OIv2) (NCDC-NOAA; REYNOLDS *et al.*, 2007; REYNOLDS, 2009), productos de Microondas (MW-only)

y Microondas más Infrarrojo (MW-IR) óptimamente interpolados v4 (REMSS), productos K10_SST del *Naval Oceanographic Office* (NAVOCEANO), productos JPL del *Multi-sensor Ultra-high Resolution* (MUR) y, productos UKMO del *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA), disponibles a través del *Physical Oceanography Distributed Active Archive Center* (PODAAC).

La data de NAVOCEANO estuvo afinada para representar la TSM a 1 m de profundidad, en tanto que el procesamiento de AVHRR, estuvo afinado a 0,3 m, estos dos últimos de acuerdo a la descripción del PODAAC.

Los análisis se realizaron en base a dos conjuntos de datos *in situ*: (i) registros de temperatura con termómetro y equipos CTD modelo SBE v19 plus, durante operaciones de monitoreo de las secciones Paita-Chicama y los puntos fijos de Paita, Chicabote, Callao e Ilo, entre el 2013 y el 2016 y, (ii) registros de temperatura con equipos instalados en el casco de buques de investigación del IMARPE, de tipo Termosalinógrafo (TSG) y sensor de Temperatura FURUNO, durante los cruceros pelágicos de marzo-abril, mayo-junio y setiembre-octubre del 2016, que tuvieron una cobertura espacial hasta aproximadamente las 50 mn de la costa peruana (Fig. 1).

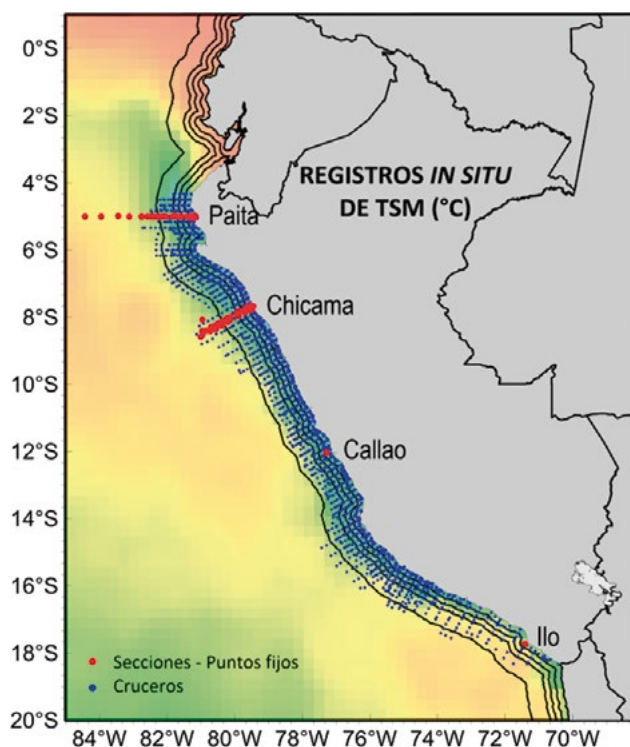


Figura 1.- Carta de distribución de datos de Temperatura Superficial del Mar, registrados en operaciones de monitoreo en secciones-puntos fijos (puntos rojos) y en cruceros de investigación oceanográfica (puntos azules), en franjas dentro de las 60 mn, entre febrero-2014 a octubre-2016, conducidas por IMARPE

El conjunto de datos sometidos a los análisis asociados al gradiente costa-oceano, fue clasificado en franjas ubicadas entre las 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 y 30 a 60 mn de la costa. Se tomó en cuenta comparaciones de registros *in situ* en secciones-puntos fijos *versus* información satelital, así como registros *in situ* durante cruceros *versus* información satelital.

Los pares de datos coincidentes fueron identificados a través del traslape a resolución temporal diaria, y respecto a la resolución espacial de cada base satelital. En los registros *in situ* se obviaron datos atípicos (Crucero pelágico 1603-04, n= 6) (Tabla 2).

Pruebas estadísticas

Se partió de los supuestos: (i) que los registros *in situ* son valores verdaderos considerados como representativos y cercanos a la condición media, dentro del rango de variabilidad que podría ocurrir encima de los dos o tres metros de la capa superficial del oceano, durante todo un día en particular y, (ii) que los datos de las diferentes bases satelitales son consideradas como estimaciones.

(i) Las estimaciones de TSM que poseen mayor aproximación a los registrados *in situ*, fueron evaluados en base a la diferencia del error

cuadrático medio o *root mean square difference* (RMSD), asociando el valor verdadero y el valor estimado y, representándolos comparativamente en diagramas de Taylor, que muestran patrones estadísticos, en términos de sus correlaciones (r), la diferencia de sus errores cuadráticos medios y desviaciones estándar (SD) (TAYLOR, 2001).

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N ((vis_i - \overline{vis}) - (vst_i - \overline{vst}))^2}{N}}$$

Donde vis = valor registrado in situ

vst = valor estimado por satélite

N = número de valores analizados en una franja

El valor estimado procede de cada una de las bases de información satelital frente a registros *in situ* durante cruceros y en secciones-puntos fijos, a diferentes distancias de la costa.

(ii) El efecto espacial de ubicación en el gradiente costa-oceano a las estimaciones de la TSM satelital, se evaluó comparando la dispersión del error (dispersión-precisión) asociado al ajuste del modelo de regresión lineal del valor estimado en función del

Tabla 1.- Procedencia y características de información satelital de TSM

Base	Resolución		Inicio Fecha	Base climatológica		Sensores
	Grado	km		Años	Periodo	
AVHRR oiv2	1/4°	27	1981-09-01	30	1982-2011	AVHRR, <i>in situ</i>
MW-only	1/4°	27	1998-01-01	19	1998-2016	TMI, AMSRE, AMSR2, WindSat
MW-IR-oi	1/12°	9.7	2002-06-01	14	2003-2016	TMI, AMSRE, AMSR2, WindSat, Terra MODIS, Aqua MODIS
NAVO	1/10°	11	2008-04-01	8	2009-2016	AVHRR, AMSRE, GOES
MUR	1/90°	1,21	2002-06-01	14	2003-2016	AMSRE, MODIS WINDSAT, <i>in situ</i>
OSTIA	1/20°	5,5	2006-04-01	10	2007-2016	AVHRR, AATSR, SEVIRI, AMSRE, TMI, <i>in situ</i>

Tabla 2.- Registros de temperatura durante operaciones de monitoreo en secciones-puntos fijos y durante cruceros oceanográficos

Operación	Periodo	n	(%)
Secciones Paita-Chicama	Feb 2014 - Dic 2015	310	13,4
Punto Fijo Paita	Nov 2013 - Oct 2016	69	3,0
Punto Fijo Chimbote	Ene 2015 - Oct 2016	27	1,2
Punto Fijo Callao	Feb 2015 - Oct 2016	15	0,6
Punto Fijo Ilo	Feb 2015 - Oct 2016	26	1,1
Crucero Pelágico 1603-04	Mar 2016 - Abr 2016	635	27,4
Crucero Pelágico 1605-06	May 2016 - Jun 2016	560	24,1
Crucero Pelágico 1609-10	Set 2016 - Oct 2016	677	29,2

valor verdadero, en franjas a diferentes distancias de la costa. El error se obtuvo a través del *Root Mean Square Error* (RMSE), que mide la diferencia promedio entre valores pronosticados y observados (FGDC, 1998; WALTHER & MOORE, 2005; CHAI & DRAXLER, 2014; MADHAVAN *et al.*, 2013; RICHTER *et al.*, 2012), así como por el *Mean Absolute Error* (MAE) para definir la magnitud del error típico dado que siempre será positivo (STAUFFER & SEAMAN, 1990).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(vp_i - vo_i)^2}{N}}$$

$$MAE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{|vp_i - vo_i|}{N}}$$

Donde vp_i = valor pronosticado para la celda i

vo_i = valor observado para la celda i

N = número de valores analizados

Esto fue complementado con medidas de la bondad de ajuste del modelo de regresión lineal simple (r), coeficiente de determinación (r^2), coeficiente de correlación y desviación estándar (SD).

Semenciona que el error cuadrático medio, expresado como MSE por WALTHER & MOORE (2005), incorpora conceptos de sesgo y precisión. Considerando que el MSE o RMSE son calculados usando diferencias cuadráticas, entonces tienden a ser dominados por estimaciones que se alejan del valor real. Para evitar este inconveniente de estimaciones alejadas, se tomó el valor absoluto de la diferencia del error como medida de exactitud, por lo que se optó evaluar también el error absoluto medio (MAE).

También, en cada una de las franjas se comparó en términos de desviación estándar, la dispersión del error y los niveles de correlación obtenidos por las diferentes bases de información satelital, para inferir en el nivel de precisión de las diferentes estimaciones de TSM respecto a la ubicación en el gradiente costa-oceano.

3. RESULTADOS

(i) En la disyuntiva de tener que indicar qué bases de información satelital poseen mayor aproximación (exactitud-precisión) a los registros *in situ*, se encontró que:

La evaluación procede de la selección de pares coincidentes en tiempo y espacio. Los registros *in situ* considerados como referentes, ya sean de cruceros o secciones-puntos fijos, presentaron una misma cantidad de pares coincidentes frente a las diferentes bases de información satelital, en sus diversas franjas. El número de pares coincidentes para las franjas de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn en registros de cruceros fue de 571, 321, 280 y 583, respectivamente y en registros de secciones y puntos fijos fue de 245, 92, 11 y 85 pares, respectivamente.

Frente a registros de cruceros, en la franja de 0-10 mn no se consideró la TSM de AVHRR, MW y MWIR, mientras que en las demás franjas (10-20, 20-30 y 30-60 mn) coincidieron en cantidad todas las bases en evaluación, excepto la procedente de MW. Mientras que, frente a registros de secciones-puntos fijos, en la franja de 0-10 mn, se consideraron a MUR y OSTIA, obviándose los demás por presentar un número de pares diferentes entre sí; en la de 10-20 mn se exceptuaron a MW y NAVO y, en las de 20-30 y 30-60 mn, a excepción de MW, se evaluaron todas las bases (Tabla 3).

Los resultados que reflejan dispersión, exactitud y precisión (representados comparativamente utilizando los diagramas de Taylor) se hallan sombreados en la Tabla 4. En registros de TSM *in situ*, durante operaciones de cruceros, las franjas presentaron desviaciones (SD) entre 1,83 y 2,14, correspondientes a las franjas 10-20 mn y 30-60 mn, respectivamente; en tanto que, los registros en secciones y puntos fijos, presentaron desviaciones de 1,99 a 2,28, correspondientes a las franjas 10-20 mn y 20-30 mn, respectivamente. Fue una característica común encontrar en cada una de las franjas valores promedio de TSM registrados *in situ* menores a los estimados vía satélite.

En la evaluación de estimaciones de TSM vía satélite, frente a registros de TSM durante cruceros, resaltó la base MUR por presentar en la franja 0-10 mn la más baja desviación estándar (1,92) y, en la franja 30-60 mn el más bajo error (RMSD = 0,51). También, resaltó la base OSTIA por presentar en las franjas 10-20 y 20-30, valores bajos de error y desviación estándar (RMSD = 0,68; 0,57 y SD = 1,84; 1,87, respectivamente); además, la franja 0-10 mn presentó el más bajo error (RMSD = 0,91), así como una menor desviación estándar (SD = 2,14) en la franja de 30-60 mn. Sin embargo, la base AVHRR se hizo notoria en las franjas 10-20, 20-30 y 30-60 mn, al presentar valores bajos solo de desviación estándar (1,52; 1,58 y 1,71, respectivamente).

Tabla 3.- Coeficientes de correlación (r), determinación (r²), valor de significancia (p val), número de datos, error cuadrático medio (RMSE), error absoluto medio (MAE) y grados de libertad (dfe), asociados a las correlaciones de las diferentes bases de información satelital de TSM frente a registros *in situ* de TSM en secciones-puntos fijos y cruceros oceanográficos, en franjas dentro de las 60 mn de la costa de Perú

Franja	Base	Correlación: satelital ~ insitu (puntos fijos)							Correlación: satelital ~ insitu (cruceros)						
		r	r ²	p val	n	rmse	mae	dfe	r	r ²	p val	n	rmse	mae	dfe
0-10 mn	avhrr	0.912	0.832	<0.001	232	0.878	1.135	230	0.837	0.700	<0.001	541	0.866	1.062	539
	mur	0.909	0.826	<0.001	245	0.894	0.805	243	0.877	0.770	<0.001	571	0.926	0.636	569
	mw				10			8				10			8
	mwir	0.745	0.556	<0.001	85	1.326	1.347	83	0.768	0.590	<0.001	258	1.434	2.525	256
	navo	0.900	0.811	<0.001	240	0.913	0.840	238	0.899	0.808	<0.001	571	0.892	0.684	569
	ostia	0.902	0.813	<0.001	245	0.918	0.674	243	0.905	0.819	<0.001	571	0.880	0.399	569
10-20 mn	avhrr	0.919	0.844	<0.001	92	0.780	0.575	90	0.876	0.767	<0.001	321	0.738	0.561	319
	mur	0.933	0.870	<0.001	92	0.727	0.429	90	0.927	0.860	<0.001	321	0.692	0.317	319
	mw				10			8				10			8
	mwir	0.750	0.563	<0.001	92	1.400	1.106	90	0.810	0.657	<0.001	321	1.281	2.207	319
	navo	0.904	0.817	<0.001	91	0.828	0.441	89	0.931	0.867	<0.001	321	0.672	0.437	319
	ostia	0.906	0.821	<0.001	92	0.814	0.315	90	0.932	0.869	<0.001	321	0.668	0.188	319
20-30 mn	avhrr	0.964	0.929	<0.001	11	0.569	0.505	9	0.890	0.792	<0.001	280	0.725	0.460	278
	mur	0.979	0.958	<0.001	11	0.472	0.238	9	0.952	0.906	<0.001	280	0.596	0.271	278
	mw				10			8	0.791	0.625	0.011	9	0.260	0.839	7
	mwir	0.969	0.940	<0.001	11	0.586	0.176	9	0.876	0.767	<0.001	280	1.043	1.646	278
	navo	0.965	0.931	<0.001	11	0.576	0.360	9	0.947	0.896	<0.001	280	0.628	0.341	278
	ostia	0.963	0.927	<0.001	11	0.584	0.389	9	0.953	0.908	<0.001	280	0.568	0.135	278
30-60 mn	avhrr	0.894	0.799	<0.001	85	0.905	0.234	83	0.912	0.832	<0.001	583	0.700	0.519	581
	mur	0.941	0.885	<0.001	85	0.688	0.167	83	0.972	0.944	0	583	0.514	0.213	581
	mw	0.957	0.916	<0.001	52	0.604	0.395	50	0.967	0.936	<0.001	422	0.523	0.535	420
	mwir	0.928	0.861	<0.001	85	0.721	0.236	83	0.941	0.885	<0.001	583	0.775	0.944	581
	navo	0.911	0.830	<0.001	85	0.804	0.231	83	0.972	0.945	0	583	0.510	0.189	581
	ostia	0.925	0.855	<0.001	85	0.705	0.288	83	0.971	0.942	0	583	0.516	0.063	581

Tabla 4.- Comparación de promedios (x), desviación estándar (SD), diferencias del error cuadrático medio (RMSD) y coeficientes de correlación (r), en estimaciones de TSM de las bases satelitales AVHRR, MUR, MW, MWIR, NAVOCEANO y OSTIA, frente a registros *in situ* durante cruceros y durante monitoreo de secciones-puntos fijos, en franjas de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn de la costa peruana

Franja	Base	cruceros								secciones-puntos fijos							
		data in situ				data satelital				data in situ				data satelital			
		x	SD	RMSD	r	x	SD	RMSD	r	x	SD	RMSD	r	x	SD	RMSD	r
00-10 mn	avhrr	17.80	2.08	0.00	1.00	18.74	1.58	1.15	0.84	19.32	2.25	0.00	1.00	20.45	2.13	0.93	0.91
	mur	17.85	2.09	0.00	1.00	18.44	1.92	1.01	0.88	19.29	2.23	0.00	1.00	20.09	2.13	0.94	0.91
	mw																
	mwir	17.91	1.97	0.00	1.00	20.43	2.23	1.45	0.77	18.75	2.00	0.00	1.00	20.09	1.96	1.41	0.75
	navo	17.85	2.09	0.00	1.00	18.53	2.03	0.93	0.90	19.28	2.24	0.00	1.00	20.11	2.09	0.98	0.90
	ostia	17.85	2.09	0.00	1.00	18.23	2.07	0.91	0.91	19.29	2.23	0.00	1.00	19.95	2.11	0.97	0.90
10-20 mn	avhrr	18.74	1.83	0.00	1.00	19.15	1.52	0.89	0.88	19.64	1.99	0.00	1.00	20.21	1.95	0.79	0.92
	mur	18.74	1.83	0.00	1.00	19.05	1.84	0.70	0.93	19.64	1.99	0.00	1.00	20.07	1.99	0.73	0.93
	mw																
	mwir	18.74	1.83	0.00	1.00	20.94	2.18	1.28	0.81	19.64	1.99	0.00	1.00	20.75	2.09	1.45	0.75
	navo	18.74	1.83	0.00	1.00	19.17	1.84	0.68	0.93	19.64	2.00	0.00	1.00	20.07	1.91	0.86	0.90
	ostia	18.74	1.83	0.00	1.00	18.91	1.84	0.68	0.93	19.64	1.99	0.00	1.00	19.90	1.90	0.85	0.91
20-30 mn	avhrr	19.34	1.88	0.00	1.00	19.59	1.58	0.86	0.89	19.87	2.28	0.00	1.00	20.36	1.93	0.66	0.96
	mur	19.34	1.88	0.00	1.00	19.61	1.93	0.59	0.95	19.87	2.28	0.00	1.00	20.05	2.09	0.49	0.98
	mw	18.58	0.47	0.00	1.00	19.42	0.37	0.29	0.79								
	mwir	19.34	1.88	0.00	1.00	20.99	2.15	1.04	0.88	19.87	2.28	0.00	1.00	19.91	2.16	0.56	0.97
	navo	19.34	1.88	0.00	1.00	19.68	1.94	0.63	0.95	19.87	2.28	0.00	1.00	20.12	1.99	0.64	0.97
	ostia	19.34	1.88	0.00	1.00	19.46	1.87	0.57	0.95	19.87	2.28	0.00	1.00	20.06	1.95	0.66	0.96
30-60 mn	avhrr	19.95	2.14	0.00	1.00	20.10	1.71	0.91	0.91	21.01	2.04	0.00	1.00	21.15	2.00	0.93	0.89
	mur	19.95	2.14	0.00	1.00	20.17	2.18	0.51	0.97	21.01	2.04	0.00	1.00	21.14	2.00	0.70	0.94
	mw	19.95	2.11	0.00	1.00	20.48	2.06	0.54	0.97	20.93	2.23	0.00	1.00	21.31	2.05	0.65	0.96
	mwir	19.95	2.14	0.00	1.00	20.90	2.28	0.77	0.94	21.01	2.04	0.00	1.00	21.12	1.91	0.76	0.93
	navo	19.95	2.14	0.00	1.00	20.14	2.17	0.51	0.97	21.01	2.04	0.00	1.00	21.01	1.93	0.84	0.91
	ostia	19.95	2.14	0.00	1.00	19.99	2.14	0.52	0.97	21.01	2.04	0.00	1.00	21.06	1.83	0.78	0.92

En la evaluación de estimaciones de TSM vía satélite, frente a registros de TSM durante secciones-puntos fijos (SPF), en todas las franjas (0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn) los errores más bajos (RMSE = 0,94; 0,73; 0,49 y 0,70) correspondieron a MUR, mientras que los valores más bajos de desviaciones estándar ($SD = 2,11; 1,90; 1,95$ y $1,83$) correspondieron a OSTIA.

Estos resultados muestran que frente a los registros *in situ*, resaltaron las estimaciones de TSM de las bases satelitales de MUR y OSTIA, por sus bajos valores de error y desviación estándar, mientras que las demás bases de información satelital se caracterizaron por presentar valores altos de error y dispersión.

Presentaron mejor correlación con los registros de TSM *in situ*, la base MUR en todas las franjas esencialmente durante secciones-puntos fijos, y en la franja de 30-60 mn durante los cruceros. Mientras que OSTIA, presentó los valores de correlación más altos durante los cruceros en las franjas de 0-10, 10-20 y 20-30 mn.

Los diagramas de Taylor mostraron que, entre 0-10 mn las bases de MUR y OSTIA se hallaron alrededor de un nivel de correlación $r = 0,9$, con niveles de error alrededor de 1, y desviación próxima a 2; mientras que, entre 20-30 mn estas dos bases incrementaron su nivel de correlación hasta valores mayores a 0,95 con errores que disminuyeron a valores menores a 0,75, disminuyendo también la dispersión de valores estimados en términos de desviación estándar, indicando mayor precisión. En la mayoría de condiciones de evaluación, MUR y OSTIA resaltaron por su permanente aparición con parámetros que indicaron mayor precisión y exactitud (Fig. 2).

(ii) En la incertidumbre de tener que afirmar si la ubicación en el gradiente costa-océano sostiene un efecto en el error de las estimaciones satelitales de TSM (precisión), se encontró que:

Los coeficiente de correlación obtenidos entre la TSM satelital y los registros en secciones y puntos fijos, mostraron características que estuvieron asociadas a la ubicación espacial desde la costa hasta la franja de 30 mn, haciendo notar que los valores más bajos se encuentran en la franja más costera pero que elevan su nivel de correlación conforme se alejan de la costa. Sin embargo, fuera de las 30 mn los coeficientes de correlación no mantuvieron su tendencia a elevarse. Por otro

lado, en las correlaciones frente a registros durante cruceros, el efecto asociado a la ubicación espacial en el gradiente costa-océano, mostró valores de r que se elevaron conforme se fueron alejando de la costa, hasta zonas ubicadas entre las 30 y 60 mn, describiendo una tendencia asociada a la ubicación costa-océano. Durante los cruceros, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn, los promedios del coeficiente de correlación fueron $r = 0,8572; 0,8952; 0,9015$ y $0,9558$, respectivamente y, sin considerar los resultados de MW (por su baja cantidad de pares coincidentes) los promedios fueron $r = 0,8572; 0,8952; 0,9236$ y $0,9536$, asociados a desviaciones estándar de $SD = 0,0565; 0,0531; 0,0375$ y $0,0268$, haciendo notar que la relación de las estimaciones mejoran conforme se alejan de la costa y, que el nivel de coincidencia entre las diferentes bases de información satelital, también se incrementa conforme se alejan de la costa (Fig. 3 a, d).

La dispersión del error asociado al ajuste del modelo de regresión de las estimaciones satelitales frente a registros *in situ*, inferido a partir de valores de RMSE, sugiere una configuración de errores de mayor magnitud en zonas cercanas a la costa y errores de menor magnitud lejos de ella, tanto frente a registros en secciones-puntos fijos, como frente a los registros en cruceros, indicando que en zonas cercanas a la costa el nivel de exactitud sería menor que en zonas un poco más distantes, mostrando una ligera relación con el gradiente costa-océano.

Los valores de error (RMSE), frente a registros en secciones-puntos fijos, mostraron que estuvieron asociados a la ubicación espacial de las franjas hasta las 30 mn, donde resaltó la base MWIR al mostrar un patrón de variación que difiere de las demás bases satelitales, haciendo notar un error más grande ($RMSE > 1,3$) entre las 00-10 y 10-20 mn; mientras que, la base MUR, en la franja de 20-30 mn, mostró un error bastante pequeño ($RMSE < 0,5$) en comparación a las demás bases satelitales. Estas características podrían estar asociadas a diferencias en el número de pares coincidentes de cada base satelital, siendo tal vez más adecuado una comparación desde la perspectiva de los RMSE, descritos anteriormente. Sin embargo, aun así frente a registros en cruceros, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn, los promedios del error fueron $RMSE = 0,9996; 0,8102; 0,6367$ y $0,5897$, respectivamente, haciendo notar que el error disminuye conforme se aleja de la costa (Fig. 3 b, e).

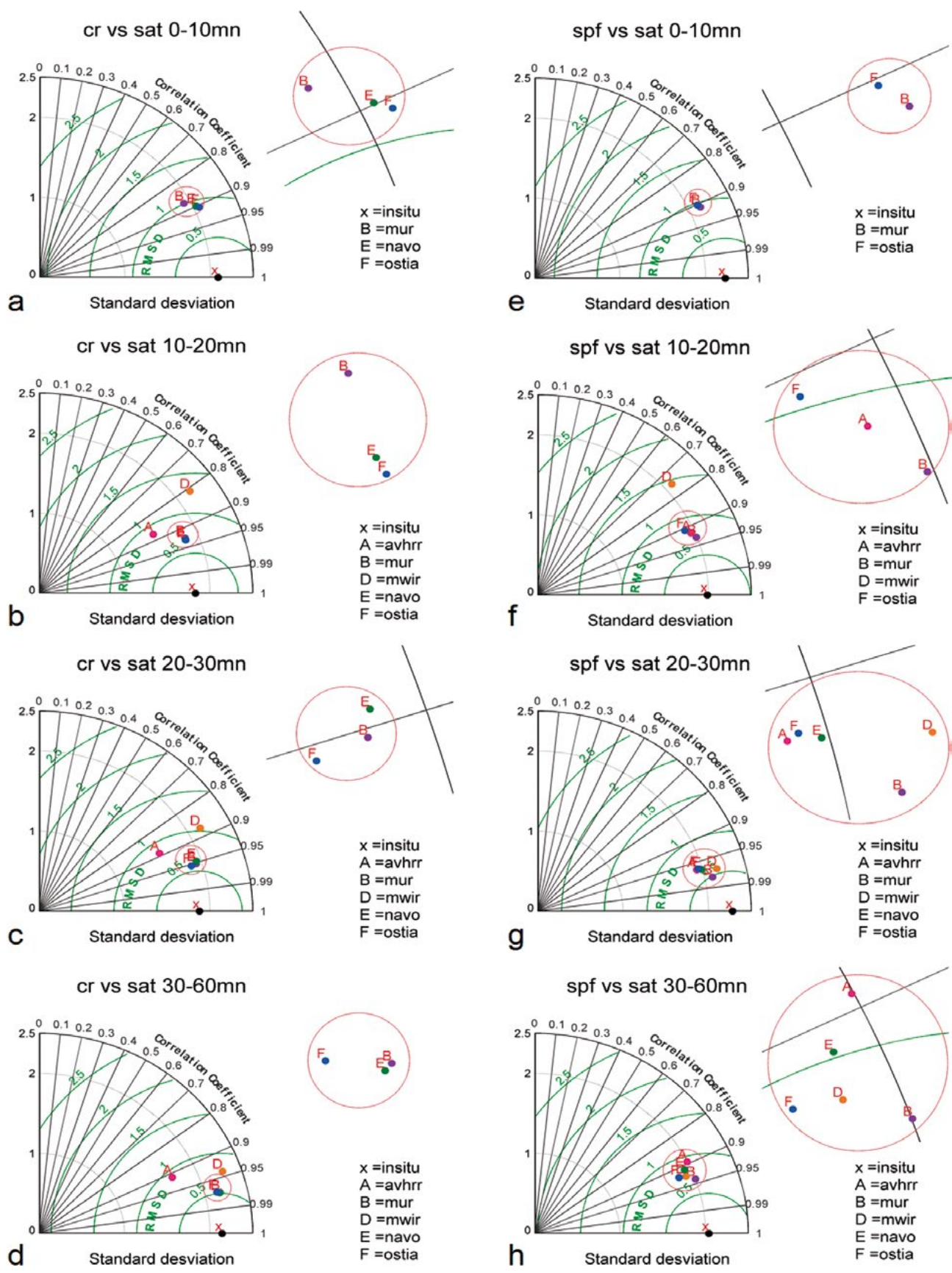


Figura 2.- Comparación a través de diagramas de Taylor, del nivel de correlación (r), la diferencia de errores cuadráticos medios (RMSD) y la desviación estándar (SD), de las estimaciones satelitales de TSM, frente a registros in situ de TSM, durante cruceros (a, b, c, d), y registrados en secciones-puntos fijos (e, f, g, h), en franjas de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn. Los puntos de color representan a la data satelital procedente de AVHRR, MUR, MW, MWIR, NAVO y OSTIA; el punto negro representa a la data *in situ*; en círculos rojos se muestra una ampliación de la zona de puntos menos dispersos en el gráfico. cr (cruceros), sat (satélite), spf (sección-punto fijo).

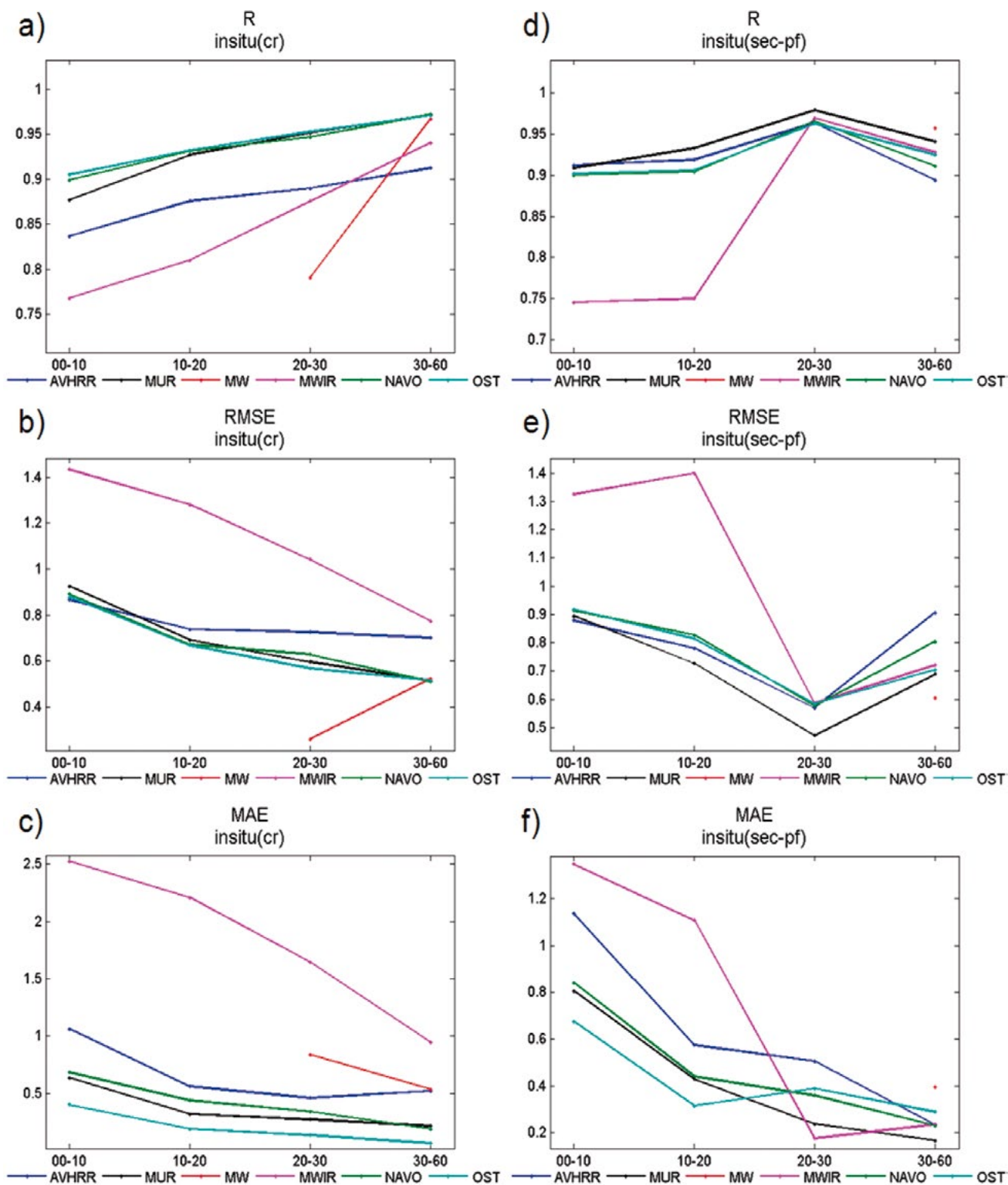


Figura 3.- Coeficientes de correlación (r), error cuadrático medio (RMSE) y error absoluto medio (MAE), procedentes de la relación y regresión lineal de las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital frente a registros *in situ* de TSM, durante cruces oceanográficos (a – c), y durante el monitoreo de secciones-puntos fijos (e - f), asociadas a franjas ubicadas entre 0-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn de la costa peruana

El efecto de la ubicación espacial en las estimaciones de TSM, se percibió mejor evaluando el error en términos de MAE, encontrándose que el promedio del error presentado por las diferentes bases de información satelital, al igual que su dispersión, tendieron a disminuir conforme se alejaron de la costa. Esta característica fue notoria tanto frente a registros de TSM en secciones-puntos fijos como de cruceros (Fig. 3 c, f). En secciones-puntos fijos, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn los promedios del error medio absoluto fueron MAE = 0,9602, respectivamente. Mientras que frente a registros de cruceros, en las franjas de 00-10, 10-20, 20-30 y 30-60 mn los promedios del error medio absoluto fueron MAE = 1,0612; 0,7420; 0,6153 y 0,4105, con desviaciones estándar de SD = 0,8521; 0,8306; 0,5587 y 0,3227, respectivamente. Cabe resaltar que los valores de error más bajos en su mayoría correspondieron a OSTIA.

4. DISCUSIÓN

(i) No todas las bases de información satelital poseen el mismo nivel de aproximación a los registrados *in situ*, incluso respecto al tipo de registro, ya sea este durante cruceros o en estaciones fijas.

Las características de exactitud y precisión, evaluadas a partir de mediciones de error y desviación estándar (RMSD y SD), frente a registros de TSM en cruceros, indicaron que OSTIA tuvo mayor consistencia, al mostrar en las franjas de 10-20 mn y en 20-30 mn, un nivel de mayor aproximación, mientras que en la franja de 30-60 mn, fue superado ligeramente por MUR y NAVOCEANO por mostrar menor error. Por otro lado, NAVOCEANO también mostró buena aproximación en la franja de 10-20 mn, indicando exactitud y precisión similar a OSTIA; sin embargo, fue de menor consistencia al no sostener valores de mejor aproximación en las demás franjas. Por su parte MUR, en las franjas de 10-20 y 20-30 mn, también mostró buena aproximación habiendo sido superado ligeramente por menores valores de error de OSTIA.

En cambio, las características de aproximación evaluadas frente a registros en secciones-puntos fijos, hicieron notar que MUR posee en todas las franjas mayor consistencia al mostrar nivel de exactitud mayor que las demás bases satelitales; mientras que, sus valores de desviación estándar, que superaron ligeramente a las demás bases, indicaron menor precisión. Estas diferencias obtenidas frente a registros *in situ*, se podrían atribuir, por un lado

a la resolución espacial de las estimaciones de TSM, donde los datos de mayor resolución suelen presentar mayor error, y por otro, a las estrategias en la fusión de datos y métodos de interpolación, que usaron las diferentes agencias para completar los vacíos de información, tal como se pudo encontrar en comparaciones de los *root-mean-squares* (RMS) realizadas con datos MUR frente a los productos de análisis de TSM, identificados como OI-SST, CMC-SST y OSTIA, procedentes de la *National Center for Environmental Information* - NOAA, del *Canadian Meteorological Center* y del *UK Met Office*, respectivamente, donde se mostró que los datos OI-SST presentaron valores de RMS más altos que MUR y OSTIA indicando mayor error, así como la aplicación favorable del análisis de multiescala con el método de interpolación MRVA (CHIN *et al.*, 2017).

Haciendo una analogía a los cuatro escenarios de precisión y exactitud (JCGM, 2012), se encontró que: (i) OSTIA se caracterizó con mayor exactitud y precisión frente a registros *in situ* durante cruceros en las franjas de 10-20 y 20-30 mn. (ii) MUR se caracterizó por mayor exactitud y menor precisión frente a registros *in situ* durante el monitoreo de secciones-puntos fijos en todas las franjas, (iii) OSTIA se caracterizó por mayor precisión y menor exactitud en todas las franjas frente a registros *in situ* tanto durante cruceros como durante el monitoreo en secciones-puntos fijos (iv), las demás bases de información satelital se caracterizaron por su baja exactitud y precisión, con excepciones de menor persistencia como la de mayor precisión por AVHRR en la franja de 10-20, 20-30 y 30-60 mn y la aparición de NAVOCEANO mostrando mayor exactitud en la franja de 30-60 mn durante cruceros (Fig. 4).

Cabe mencionar que las diferencias de los parámetros que evalúan la exactitud y precisión entre MUR y OSTIA, fueron muy pequeños, los cuales estarían atribuidos a las variaciones de temperatura en los primeros centímetros de la capa superficial del mar, a diferencia de los sensores de menor resolución espacial

Un valor de TSM representativo de los primeros centímetros de la capa superficial del mar y los procesos que ocurren durante un mismo día, incluyendo la actividad biológica y su desplazamiento vertical, estarían mejor relacionados a las estimaciones de TSM por OSTIA.

(ii) El gradiente costa-océano sí tiene efecto en el nivel de aproximación de las estimaciones de TSM satelital). Generaron mayor nivel de error en zonas cercanas a la costa.

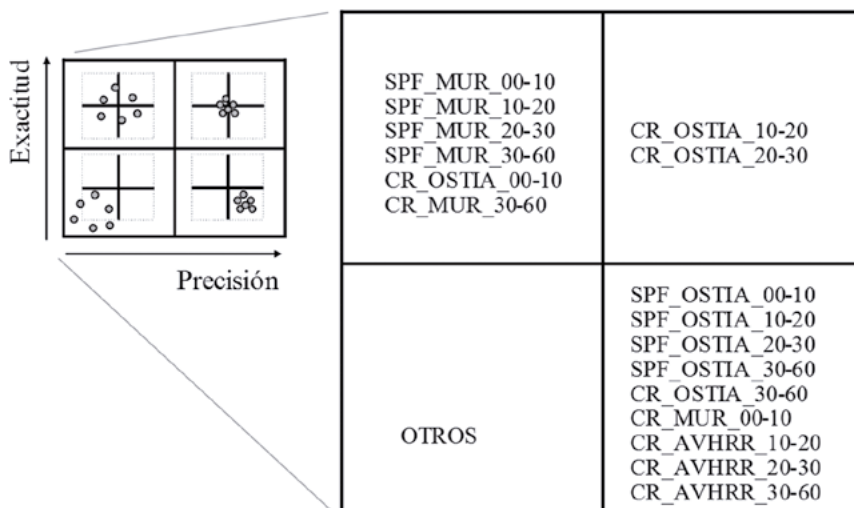


Figura 4.- Analogía de exactitud y precisión, en las estimaciones de TSM de bases satelitales que poseen mayor aproximación a los registros *in situ*, durante cruceros de investigación oceanográfica (CR) y durante monitoreo de secciones-puntos fijos (SPF), dentro de las 60 mn de la costa peruana

Las características obtenidas dentro de las 60 mn de la costa, mostraron en la franja de 0 a 10 mn, los más bajos coeficientes de correlación, en comparación con las franjas de mayor distancia a la costa, lo cual estaría indicando que las zonas costeras poseen mayores factores que influyen negativamente en las estimaciones de TSM, en comparación a zonas más oceánicas, corroborando estudios hechos en otras zonas (GENTEMANN *et al.*, 2010). Por otro lado, se sabe que a nivel de superficie, la dinámica del sistema costero genera una distribución espacial de estructuras térmicas con mayor heterogeneidad que en zonas más oceánicas. Estas características podrían estar influyendo en las diferencias de estimación entre las bases de información satelital.

En particular, los coeficientes de correlación obtenidos frente a registros de TSM en puntos fijos, hicieron notar el efecto de la ubicación en el gradiente costa-océano solo hasta las 30 mn, mientras que frente a los registros de cruceros este efecto se extendió hasta las 60 mn. Estas diferencias en la percepción del efecto espacial en las estimaciones de TSM, estarían afectadas por la profundidad y tipo de equipo empleado en el registro de TSM *in situ*, indicando que en los primeros centímetros de la capa superficial del mar, la variabilidad térmica captada por el CTD, es mayor que en una capa más amplia percibida por los sensores de las embarcaciones (aprox. 2 m).

En cuanto a las diferencias de profundidad, DONLON *et al.* (2002) mostraron que desde la temperatura sub-superficial (*SST depth*), se puede proveer satisfactoriamente temperaturas de superficie

(*SSTskin*), cuando las condiciones de viento son mayores a $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. En el caso del sistema costero peruano, los vientos predominantes dentro de los 40 km se hallan entre 4 y $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Informes internos del GTI-IMARPE), lo cual estaría habilitando este tipo de comparación.

En términos de error, los RMSE obtenidos frente a registros en secciones y puntos fijos, mostraron que asociados a la ubicación espacial presentan una tendencia a disminuir conforme se alejan de la costa solo hasta la franja de 30 mn. El error cuadrático medio (MSE) incorpora conceptos de sesgo y precisión (WALTHER & MOORE, 2005); así mismo, el MSE como el RMSE, se calcula usando la diferencia cuadrática, por lo que son dominados por estimaciones que se alejan del valor real. Este inconveniente de estimaciones alejadas, se evitó tomando el valor absoluto de la diferencia del error, en términos de error absoluto medio (MAE), dado que siempre será positivo (STAUFFER & SEAMAN, 1990). Entonces el error en términos de MAE frente a registros en secciones-puntos fijos, mostró tendencia a disminuir conforme se aleja de la costa hasta la franja de 30-60 mn en todas las bases de información satelital evaluadas, siendo concordante con las características obtenidas desde los registros en cruceros (Fig. 3 c, f).

En el gradiente costa-océano dentro de las 60 mn, las tendencias a disminuir los errores en la estimación de TSM satelital, conforme se alejan de la costa, asociado a las tendencias de elevarse el nivel de correlación en el mismo gradiente, reflejaron el efecto de la variabilidad de diferentes parámetros del sistema costero.

La variabilidad de condiciones térmicas en zonas cercanas a la costa estaría asociado al proceso de afloramiento y las variaciones de la intensidad de vientos, generando diferentes condiciones de estratificación y mezcla inducido por procesos de turbulencia y la profundización estacional de la capa de mezcla (ECHEVIN *et al.*, 2008). Estas características de variabilidad en zonas costeras también han sido observadas en patrones de variación espacial de clorofila-a, cuya variabilidad en superficie es de proporción significativa en escala anual e interanual, dominada por el estrés de vientos y la propagación de ondas Rossby, así como por la perturbación de El Niño, a través de ondas Rossby y eddies (CORREA-RAMÍREZ *et al.*, 2012).

En el sistema costero peruano la diferencia de TSM entre zonas costeras y de océano abierto dentro de las 60 mn, puede sobrepasar los 5 °C en condiciones de verano (años 2017, 2018). La presencia de aguas frías por efecto del afloramiento en zonas costeras genera condiciones de inversión térmica y favorece a la formación de neblina (KORACIN *et al.*, 2014; HEO & HA, 2010) y nubes bajas o estratos. Estas condiciones de poca visibilidad se vuelven en una limitante para los sensores infrarrojos, como también en sensores con canales de microondas.

5. CONCLUSIONES

OSTIA y MUR presentaron de manera persistente, estimaciones de TSM con mejor aproximación a los registros *in situ*, tanto en registros durante cruceros como en el monitoreo de secciones-puntos fijos. Frente a registros durante cruceros, OSTIA resaltó por mayor exactitud y precisión, en las franjas de 10-20 y 20-30 mn al presentar en promedio RMSD = 0,6250 y promedio de SD = 1,8550. En cambio, frente a registros *in situ* en secciones-puntos fijos, en todas las franjas la base MUR resaltó, por mayor exactitud (media RMSD = 0,7150) y OSTIA por mayor precisión (media SD = 1,9475).

La ubicación en el gradiente costa-océano, afectó a las estimaciones de TSM de las diferentes bases de información satelital, presentando en franjas cercanas a la costa (0-10 mn) mayor nivel de error asociados a bajos coeficientes de correlación y en franjas más distantes (30-60 mn) menor error, asociados a más altos coeficientes de correlación. El error tendió a disminuir de costa a océano, elevando su nivel de correlación conforme se fue alejando de la costa. El error expresado en términos de MAE desde la franja de 0-10 mn a 30-60 mn disminuyó progresivamente en promedio desde

0,96 a 0,26 frente a registros en secciones-puntos fijos, y de 1,06 a 0,41 frente a registros en cruceros. Así mismo, frente a cruceros, en promedio, el nivel de correlación se incrementó de $r = 0,85$ a 0,95.

Agradecimientos

Al Instituto del Mar del Perú, y personal científico que participó en la obtención de información *in situ*.

REFERENCIAS

- CHAI T, DRAXLER R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci. Model Dev.* 7: 1247 - 1250. doi:10.5194/gmd-7-1247-2014
- CHAMORRO A, ECHEVIN V, COLAS F, OERDER, VERA, TAM J, QUISPE-CCALLUARI C. 2018. Mechanisms of the intensification of the upwelling-favorable winds during El Niño 1997-1998 in the Peruvian upwelling system. *Climate Dynamics.* 17 pp. doi.org/10.1007/s00382-018-4106-6
- CHAVEZ F, BERTRAND A, GUEVARA-CARRASCO R, SOLER P, CSIRKE J. 2008. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography.* 79: 95 - 105. doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.012
- CHIN T M, VÁSQUEZ J, ARMSTRONG E. 2017. A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote Sensing of Environment.* 200: 154 - 169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029>
- CORREA-RAMÍREZ M A, HORMAZABAL S E, MORALES C E. 2012. Spatial patterns of annual and interannual surface chlorophyll-a variability in the Peru-Chile current system. *Progress in oceanography.* 92-95: 8 - 17. doi.org/10.1016/j.pocean.2011.07.008
- DASH P, IGNATOV A, MARTIN M, DONLON C, BRASNETT B, REYNOLDS R W, BANZON V, BEGGS H, CAYULA J-F, CHAO Y, GRUMBINE R, MATURI E, HARRIS A, MITTASZ J, SAPPER J, CHIN T M, VAZQUEZ-CUERVO J, ARMSTRONG E M, GENTEMANN CH, CUMMINGS J, PIOLLE J-F, AUTRET E, ROBERTS-JONES J, ISHIZAKI S, HOYER J L, POULTER D. 2012. Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSST) analysis fields inter-comparisons—Part 2: Near real time web-based level 4 SST Quality Monitor (L4-SQUAM). *Deep Sea Research. Part II.* 77-80: 31 - 43. dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.04.002
- DONLON C J, MARTIN M, STARK J, ROBERTS-JONES J, FIEDLER E, WIMMER W. 2012. The operational sea surface temperature and sea ice analysis (OSTIA) system. *Remote Sensing of Environment.* 116: 140 - 158. doi:10.1016/j.rse.2010.10.017
- DONLON C J, MINNETT P J, GENTEMANN C, NIGHTINGALE T J, BARTON I J, WARD B, MURRAY M J. 2002. Toward improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research. *American Meteorological Society.* 15: 353 - 369.
- ECHEVIN V, AUMONT O, LEDESMA J, FLORES G. 2008. The seasonal cycle of surface chlorophyll in the peruvian upwelling system: a modelling study. *Prog. Oceanogr.* 79: 167 - 176. doi:10.1016/j.pocean.2008.10.026

- FIEDLER P C. 1983. Satellite remote sensing of the habitat of spawning anchovy in the southern California bight. *CalCOFI Rep.* 24: 202 - 209
- FGDC (Federal Geographic Data Committee). 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. NSDI [on line] <http://giscenter.isu.edu/pdf/FGDCSpatialDataAccuracy.pdf>
- GENTEMANN CH L, MEISSNER T, WENTZ F. 2010. Accuracy of satellite sea surface temperatures at 7 and 11 Ghz. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing.* 48(3): 1009 - 1018. doi:10.1109/TGRS.2009.2030322
- GOUBANOVA K, ILLIG S, MACHU E, GARCON V, DEWITTE B. 2013. SST subseasonal variability in the central Benguela upwelling system as inferred from satellite observations (1999-2009). *Journal of geophysical research oceans.* 118:4092 - 4110. doi:10.1002/jgrc.20287
- HEO K-Y, HA K-J. 2010. A coupled model study on the formation and dissipation of sea fogs. *Monthly weather review.* 138: 1186 - 1205. doi:10.1175/2009MWR3100.1
- JCGM (Comité Conjunto para las Guías en Metrología). 2012. Vocabulario internacional de metrología conceptos fundamentales y generales y términos asociados. 3ra ed. Centro Español de Metrología.
- KORACIN D, DORMAN C E, LEWIS, J M, HUDSON J G, WILCOX E M, TORREGROSA A. 2014. Marine fog: a review. *Atmospheric Research.* 143: 142 - 175, dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.12.012
- MADHAVAN N, THIRUMALAI VASAN D, BHARADWAJ A K, THANABALAN P, DHILEEBAN N. 2013. Comparison and validation of sea surface temperature (SST) using modis and avhrr sensor data. *International Journal of Remote Sensing & Geoscience.* 2(3): 1 - 7.
- MATELLINI B, TAM J, QUISPE C. 2007. Modelo empírico para previsión de la temperatura superficial del mar peruano. *Revista peruana de biología.* 14: 101 - 108.
- MAY D A, PARMETER M M, OLSZEWSKI D S, MCKENZIE B D. 1998. Operational processing of satellite sea surface temperature retrievals at the Naval Oceanograph Office. *Bulletin of the American Meteorology Society,* 79(3): 397 - 407
- PITERS A J M, BUCHMANN B, BRUNNER D, COHEN R C, LAMBERT J C, LEEUW G, STAMMES P, WEEK M, WITTRICK F. 2011. Data Quality and validation of satellite measurements of tropospheric composition. *Burrows JP, Platt U, Borrell P (Eds). The remote sensing of tropospheric composition from space.* 315 - 364. doi 10.1007/978-3-642-14791-3
- PRIYA R, RANJANI R, THAMIZHARASI M. 2016. Prediction of coastal upwelling using remote sensing. *International journal of advanced research in computer and communication engineering.* 5(1): 43 - 47. doi 10.17148/IJARCC.2016.5110
- QUISPE-CCALLUARI C, TAM J, ARELLANO C, CHAMORRO A, ESPINOZA-MORRIBERÓN D, ROMERO C, RAMOS J. 2017. Desarrollo y aplicación de índices y simulaciones para la vigilancia y el pronóstico a mediano plazo del impacto del ENOS frente a la costa peruana. *Inf Inst Mar Perú.* 44: 28 - 34.
- QUISPE-CCALLUARI C, TAM J, DEMARCO H, ROMERO C, ESPINOZA-MORRIBERÓN D, CHAMORRO A, RAMOS J, OLIVEROS-RAMOS R. 2016. El Índice Térmico Costero Peruano (ITCP). *Bol. Trim. Oceanog. IMARPE.* 2(1): 7 - 11
- REYNOLDS RW. 2009. What's new in version 2. [on line] https://www.ncdc.noaa.gov/sites/default/files/attachments/Reynolds2009_oisst_daily_v02r00_version2-features.pdf
- REYNOLDS R W, SMITH T M, LIU C, CHELTON D B, CASEY K S, SCHLAX M.G. 2007. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. *Journal of Climate.* 20: 5473 - 5496. doi:10.1175/2007JCLI1824.1
- RICHTER K, ATZBERGER C, HANK T B, MAUSER W. 2012. Derivation of biophysical variables from earth observation data: validation and statistical measures. *Journal of Applied Remote Sensing.* 6: 063557-1 - 063557-23. doi: 10.1117/1.JRS.6.063557
- SALVATTECI R, FIELD D, GUTIERREZ D, BAUMGARTNER T, FERREIRA V, ORTLIEB LUC, SIFEDDINE A, GRADOS D, BERTRAND A. 2018. Multifarious anchovy and sardine regimes in the Humboldt Current System during the last 150 years. *Glob Change Biol.* 24: 1055 - 1068. doi.org/10.1111/gcb.13991
- STAUFFER D R, SEAMAN N L. 1990. Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: experiments with synoptic-scale data. *Monthly Weather Review.* 118: 1250 - 1277.
- TAYLOR K E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal Geoph. Research.* 106(D7): 7183 - 7192.
- VALAVANIS V D, PIERCE G J, ZUUR A F, PALIALEXIS A, SAVELIEV A, KATARA I, WANG J. 2008. Modelling of essential fish habitat based on remote sensing, spatial analysis and GIS. *Hydrobiologia.* 612: 5 - 20. doi:10.1007/s10750-008-9493-y
- WALTHER B A, MOORE J L. 2005. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography.* 28: 815 - 829.
- WENTZ F J, GENTEMANN CH, SMITH D, CHELTON D. 2008. Satellite measurements of sea surface temperature through clouds. *Science* 288: 847 - 850.
- XU F, IGNATOV A. 2010. Evaluation of *in situ* sea surface temperatures for use in the calibration and validation of satellite retrievals. *Journal of Geophysical Research.* 115. C09022, doi.org/10.1029/2010JC006129

CALIDAD DEL AMBIENTE MARINO Y COSTERO EN LA REGIÓN ÁNCASH, 2018

QUALITY OF THE COASTAL AND MARINE ENVIRONMENT OF THE ANCASH REGION, 2018

Victor García Nolzco¹Rita Orozco Moreyra²Miguel Perea de la Matta¹

RESUMEN

GARCÍA V, OROZCO R, PEREA M. 2019. Evaluación de la calidad del ambiente marino y costero en el litoral de la Región Áncash, 2018. Bol Inst Mar Perú. 34(2): 406-431.- Se evaluó la calidad ambiental en el litoral costero de la Región Áncash en noviembre - diciembre 2018. Los muestreos se efectuaron en las bahías Coishco, El Ferrol, Samanco, Los Chimus, Tortuga, Casma, Huarmey y caleta Culebras y en los ríos Santa, Lacramarca, Samanco, Nepeña, Casma, Culebras y Huarmey. Se encontraron valores termohalinos propios de Aguas Costeras Frías (ACF) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) con influencias de vertidos antrópicos y variaciones locales de evaporación como resultado de menores profundidades en las áreas evaluadas. El oxígeno disuelto superficial en Samanco fue mayor a 8 mg/L por influencia de microorganismos fitoplanctónicos formadores de marea roja; en caleta Culebras y Huarmey fueron menores a 3,50 mg/L por el proceso de afloramiento costero. Los nutrientes presentaron algunos valores que superaron lo indicado por la normatividad vigente. Se detectó diatomeas de aguas cálidas: *Planktoniella sol*, *Proboscia alata*, *Rhizosolenia robusta* y *Protoperidinium oceanicum*. Los dinoflagelados potencialmente tóxicos fueron *Dinophysis acuminata*, *D. caudata* y *D. tripos* que se encontraron en todas las bahías y caletas y, *Prorocentrum cordatum* en El Ferrol, Samanco, Tortuga y Casma. Los agentes contaminantes de sólidos suspendidos totales en promedio no superaron lo establecido (60 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. La demanda bioquímica de oxígeno en la cuenca baja de los ríos estuvo dentro de la normatividad vigente.

PALABRAS CLAVE: ambiente, calidad de agua, contaminación, zona costera

ABSTRACT

GARCÍA V, OROZCO R, PEREA M. 2019. Assessment of the quality of the coastal and marine environment on the littoral of the Ancash Region, 2018. Bol Inst Mar Peru. 34(2): 406-431.- In November-December 2018, the environmental quality of the Ancash Region was assessed. Sampling was carried out in Coishco, El Ferrol, Samanco, Los Chimus, Tortuga, Casma, Huarmey, and Culebras cove Bays and in the Santa, Lacramarca, Samanco, Nepeña, Casma, Culebras, and Huarmey Rivers were typical of Cold Coastal Waters (CFW) and Surface Subtropical Waters (SSA) with influence of anthropic discharges and local variations of evaporation (result of shallower depths in the evaluated areas). Surface dissolved oxygen in Samanco was greater than 8 mg/L due to the presence of red tide; in Culebras cove and Huarmey, it was less than 3.50 mg/L due to coastal upwelling. The nutrients presented some values that surpassed the current regulations. Warm water diatoms were detected: *Planktoniella sol*, *Proboscia alata*, *Rhizosolenia robusta*, and *Protoperidinium oceanicum*. The potentially toxic dinoflagellates were: *Dinophysis acuminata*, *D. caudata*, and *D. tripos* found in all bays and coves and, *Prorocentrum cordatum* in El Ferrol, Samanco, Tortuga, and Casma. The total suspended solids pollutants on average did not exceed what was established (60 mg/L) by the National Environmental Quality Standards for Water. The biochemical oxygen demand in the lower river basin was within the current regulations.

KEYWORDS: environment, water quality, pollution, coastal zone

1. INTRODUCCIÓN

La industria pesquera en Chimbote está orientada a la producción de harina, aceite de pescado, conservas, maricultura y pesca artesanal para consumo humano directo para el mercado interno y externo, bajo este contexto los desechos producidos son vertidos directamente al mar por algunas fábricas que no se han modernizado y no están asociadas al emisor

1. INTRODUCTION

In Chimbote, the fishing industry is oriented to the production of fish meal, fish oil, preserves, mariculture, and artisanal fishing for direct human consumption for the internal and external market. Both the waste from some factories that have not been modernized and are not associated with the submarine emitter (which operates in El

1 IMARPE, Laboratorio Costero de Chimbote, Prolongación Los Pinos, s/n, La Caleta, Chimbote. vgarcia@imarpe.gob.pe

2 IMARPE, Esquina Gamarra y Gral. Valle, Callao, Perú

submarino, que opera en la bahía El Ferrol, si a estas condiciones se le agregan las aguas domésticas producidas por las ciudades adyacentes al litoral costero, se agudizan los problemas de contaminación.

Las actividades productivas vierten continuamente diferentes tipos de desechos: líquidos, sólidos y biomédicos al medio acuático, estos vertidos influyen en las condiciones oceanográficas, los agentes contaminantes producen perturbación del ecosistema marino, que en ocasiones generan situaciones de hipoxia y en casos extremos condiciones de anoxia que perjudica la relación recurso - ambiente.

En la bahía El Ferrol se efectuaron trabajos sobre calidad ambiental hasta 1998 (CONOPUMA, 1989; CUADROS y GONZALES, 1991; SÁNCHEZ *et al.*, 1994; OROZCO *et al.*, 1996; JACINTO *et al.*, 1997; ENRIQUEZ *et al.*, 1998), en el 2002 se retomaron estos estudios con la evaluación de las bahías de Coishco y El Ferrol (GUZMÁN *et al.*, 2002); a partir del 2006 se realiza en el litoral costero hasta Huarney (GARCÍA *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013) demostrándose que en época de actividad pesquera las aguas residuales influyen en el medio marino detectándose áreas contaminadas; en tanto que, en época de veda se produce un ligero restablecimiento del ecosistema marino.

La bahía de Samanco presenta diversidad biológica que se manifiesta en la presencia de recursos marinos de importancia no sólo ecológica, sino también socio-económica, permitiendo el desarrollo de la pesca industrial, artesanal y actividades de maricultura, observándose impactos de restos de materia orgánica; condición similar se encontró en Tortuga; en Casma, caleta Culebras y Huarney sobresale la pesca artesanal que tiende al lavado del pejerrey cuyos residuos son descargados al medio marino generando contaminación, además, en Huarney también hay embarque de minerales a través del muelle de Antamina (GARCÍA *et al.*, 2011).

En el litoral costero de la Región Áncash a lo largo de su área marina se encuentran zonas arenosas y acantilados rocosos formando ensenadas y bahías, que en muchos de los casos presentan áreas semicerradas como las bahías El Ferrol, Samanco y Tortuga, donde la circulación marina es lenta, que no permiten la rápida depuración de las masas de agua. El presente trabajo da a conocer la información sistemática sobre el estado de afectación ambiental del litoral marino costero de la Región Áncash.

Ferrol Bay), as well as domestic wastewater are discharged directly into the sea, contributing to pollution.

The productive activities continuously dump different types of waste: liquid, solid, and biomedical into the aquatic environment influencing oceanographic conditions. Pollutants disrupt the marine ecosystem, sometimes leading to hypoxia or anoxia, damaging the resource-environment relationship.

In El Ferrol Bay, environmental quality studies were carried out until 1998 (CONOPUMA, 1989; CUADROS & GONZALES, 1991; SÁNCHEZ *et al.*, 1994; OROZCO *et al.*, 1996; JACINTO *et al.*, 1997; ENRIQUEZ *et al.*, 1998). In 2002, these studies were retaken with the assessment of Coishco and El Ferrol Bays (GUZMÁN *et al.*, 2002); from 2006 onwards, it was carried out on the coastline up to Huarney (GARCÍA *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013) demonstrating that during the fishing season, wastewater influences the marine environment and polluted areas are detected; while during the closed season, there is a slight re-establishment of the marine ecosystem.

In Samanco Bay, there is a diversity of marine resources of not only ecological but also socio-economic importance; industrial fishing, artisanal fishing, and mariculture activities are carried out there, resulting in impacts of residual organic matter; this situation was also found in Tortuga. In Casma, Culebras cove, and Huarney, where silverside is washed by artisanal fisheries, whose residues are discharged into the marine environment, generating pollution. In addition, there is an ore-shipping dock (Antamina) in Huarney (GARCÍA *et al.*, 2011).

Sandy areas and rocky cliffs forming inlets and bays, which in many cases have semi-enclosed areas such as the El Ferrol, Samanco, and Tortuga Bays, are characteristic features of the littoral of the Ancash Region. Such elements do not allow rapid purification of water masses since marine circulation is slow. This paper provides systematic information on the condition of the coastal marine environment of the Ancash Region.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio.- El litoral costero está determinado por las latitudes 8°47' a 10°07'S (Fig. 1), comprende sistemas de bahías abiertas y cerradas, con zonas protegidas por las islas Santa (Coishco), Blanca y Ferroles (El Ferrol), Redonda (Samanco), Los Chimus y Tortuga (Tortuga), y por acantilados rocosos que se extienden por las bahías de Casma y Huarney, estos cordones litorales que se levantan en el borde de la unidad morfológica no permiten la acción directa de los vientos predominantes al medio acuático; el área evaluada comprende las provincias Del Santa (bahías Coishco, El Ferrol, Samanco y Los Chimus), Casma (bahías Tortuga y Casma) y Huarney (caleta Culebras y bahía Huarney).

Muestreo de campo.- Durante el 2018 la prospección por mar se realizó del 15 al 22 de noviembre; por mar somero y ríos del 28 al 30 de noviembre y del 1 al 5 de diciembre se evaluó el litoral costero de las principales bahías y caletas de la Región Áncash.

Se monitorearon las bahías Coishco, El Ferrol, Samanco, Los Chimus, Tortuga, Casma, Huarney y caleta Culebras; así como la cuenca baja de los ríos Santa, Lacramarca, Samanco, Nepeña, Casma, Culebras y Huarney. El monitoreo se realizó entre las latitudes 8°47' a 10°07'S (Fig. 1), utilizando para la navegación el BIC Imarpe V provisto de un compás magnético y un equipo de posicionamiento global (GPS) y por línea de playa y riberas de los ríos se utilizó una camioneta y un GPS de marca Garmin.

2. MATERIAL AND METHODS

Study Area.- The coastline is located between latitude 8°47' to 10°07'S (Fig. 1) and includes open and closed bays, with protected areas for the Santa (Coishco), Blanca, and Ferroles (El Ferrol), Redonda (Samanco), Los Chimus, and Tortuga (Tortuga) Islands, and rocky cliffs stretching across the Casma and Huarney Bays, which do not allow the direct action of winds on the aquatic environment. The evaluated area includes the Del Santa (Coishco, El Ferrol, Samanco, and Los Chimus Bays), Casma (Tortuga and Casma Bays) and Huarney (Culebras cove and Huarney bay) Provinces.

Field sampling.- In 2018, a survey by sea was carried out from 15 to 22 November; by shallow sea and rivers from 28 to 30 November, and by the coastline of the main bays and coves of the Ancash Region from 1 to 5 December.

The Coishco, El Ferrol, Samanco, Los Chimus, Tortuga, Casma, Huarney Bays, and Culebras cove were monitored, as well as the lower basin of the Santa, Lacramarca, Samanco, Nepeña, Casma, Culebras, and Huarney Rivers. The monitoring was carried out onboard the R/V Imarpe V, which is equipped with a magnetic compass and global positioning equipment (GPS), between latitude 8°47' to 10°07'S (Fig. 1). Also, a pick-up truck and a Garmin GPS were used along the beach and riverbanks located in that area.

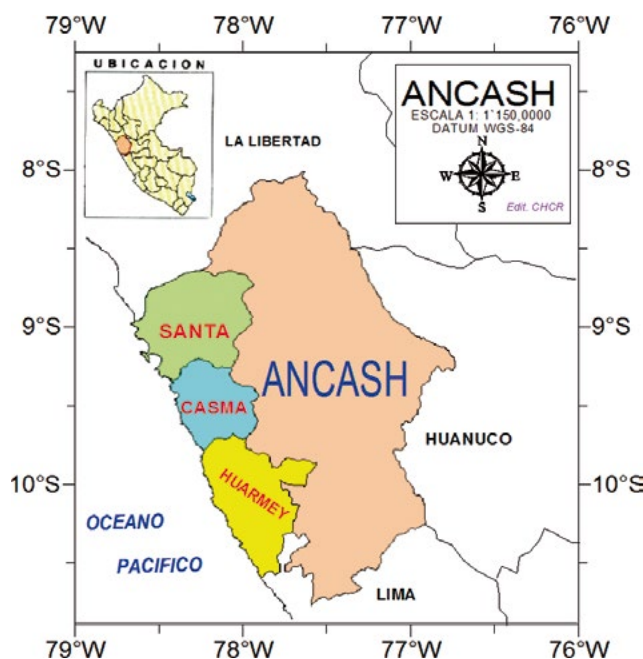


Figura 1.- Ubicación de las áreas evaluadas en la Región Áncash

Figure 1. Location of the assessed areas in the Ancash Region

Muestreo por mar.- En cada una de las bahías Coishco, Los Chimus, Tortuga y Casma se evaluaron ocho estaciones; 10 estaciones en las bahías El Ferrol, Samanco y Huarmey y, 11 en caleta Culebras, haciendo un total de 73 estaciones hidrográficas y oceanográficas con muestreos a 0 y 5 m (provincias Del Santa y Casma), a 15 m de la superficie (provincia de Huarmey) y a un metro del fondo (Figs. 2, 3, 4).

En cada nivel se registró la temperatura con un termómetro de mercurio y de inversión Kahlsico. La transparencia se midió con disco Secchi. Las muestras en superficie se recolectaron con un balde de plástico de 10 litros, y en el fondo con una botella Niskin de 5 litros de capacidad provista de portatermómetro. Se determinó el oxígeno disuelto y pH *in situ*, se recolectaron muestras para salinidad, nutrientes, sólidos suspendidos totales, aceites y grasa, sulfuros, demanda bioquímica de oxígeno e indicadores de contaminación microbiológica.

Sampling by sea.- In each of the Coishco, Los Chimus, Tortuga, and Casma Bays, a total of eight stations were assessed; 10 stations in the El Ferrol, Samanco, and Huarmey Bays and 11 in Culebras cove, totaling 73 hydrographic and oceanographic stations with sampling at 0 and 5 m (Del Santa and Casma Provinces), 15 m from the surface (Huarmey Province), and one meter from the bottom (Figs. 2, 3, 4).

At each level, the temperature was recorded with a mercury thermometer and Kahlsico reversing thermometer. Transparency was measured with a Secchi disk. The surface samples were collected with a plastic bucket of 10 liters, and in the bottom with a 5-liter Niskin bottle equipped with a thermometer holder. Dissolved oxygen and pH were determined *in situ*, samples were collected for salinity, nutrients, total suspended solids, oils and fat, sulfides, biochemical oxygen demand, and indicators of microbial pollution.

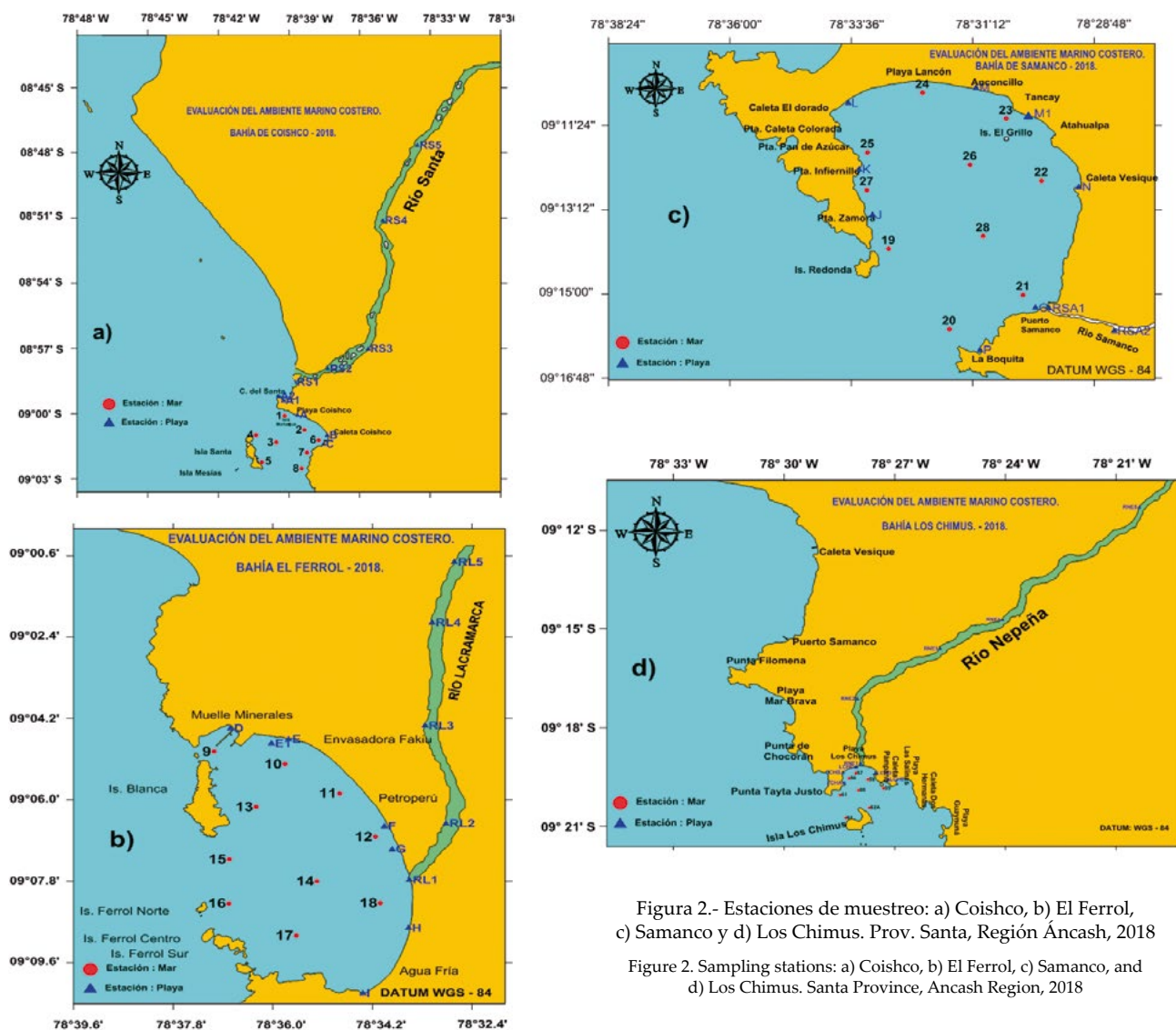


Figura 2.- Estaciones de muestreo: a) Coishco, b) El Ferrol, c) Samanco y d) Los Chimus. Prov. Santa, Región Áncash, 2018
 Figure 2. Sampling stations: a) Coishco, b) El Ferrol, c) Samanco, and d) Los Chimus. Santa Province, Ancash Region, 2018

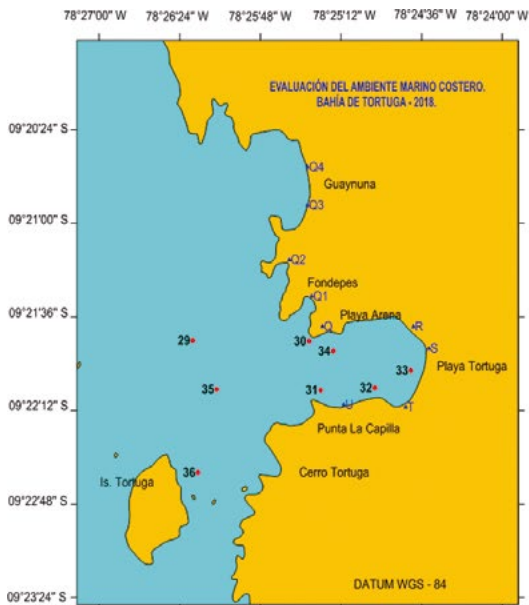


Figura 3.- Estaciones de muestreo a) Tortuga, b) Casma. Prov. de Casma, Región Ancash, 2018

Figure 3. Sampling stations: a) Tortuga, b) Casma. Casma Province, Ancash Region, 2018



Figura 4.- Estaciones de muestreo a) caleta Culebras, b) Huarney. Prov. de Huarney, Región Ancash, 2018

Figure 4. Sampling stations: a) Culebras cove, b) Huarney. Huarney Province, Ancash Region, 2018

Para el estudio de materia orgánica se obtuvieron muestras de sedimentos con una draga van Veen. Todas las muestras fueron preservadas a bordo con hielo a excepción de las destinadas a la determinación de oxígeno disuelto, sulfuro de hidrógeno y salinidad. Las corrientes marinas se registraron con un correntómetro Aandera RCM9. Las muestras de fitoplancton se lograron con arrastres subsuperficiales por 5 minutos y velocidad entre 2 y 3 nudos.

Muestreo por línea de playa y ribera de ríos.- Por línea de playa se seleccionaron 43 estaciones, 5 en la cuenca baja de los ríos Santa, Lacramarca y Nepeña; 2 en Casma y 4 en Huarney. En el río Samanco se trabajó en dos estaciones pero en el río Culebras no se obtuvo muestras por estar seco en toda su extensión. Los puntos de muestreo en el río Samanco se tomaron en la desembocadura al mar y aproximadamente a mil metros de distancia entre cada uno de los puntos,

For the study of organic matter, sediment samples were obtained with a van Veen dredge. All samples were preserved on board with ice, except those for dissolved oxygen, hydrogen sulfide, and salinity. Marine currents were recorded with an Aandera RCM9 current meter. Phytoplankton samples were obtained through subsurface trawls for 5 minutes and at a speed between 2 and 3 knots.

Sampling by beach line and riverbanks.- By beach line, a total of 43 stations were selected, 5 in the lower basin of the Santa, Lacramarca, and Nepeña Rivers; 2 in Casma, and 4 in Huarney. In the Samanco River, work was carried out in two stations, but in the Culebras River, samples were not obtained since it is dry in all its extension. Sampling points on the Samanco River were taken at the mouth of the sea and approximately one thousand meters between each of the points, except for the RS4 and

a excepción de los puntos RS₄ y RS₅ que estuvieron a 2.500 m de distancia aproximadamente; por línea de playa estuvieron a 20 m de distancia de la orilla y se tomaron muestras en muelles y zonas de mezcla.

Metodología analítica.- Las determinaciones físico-químicas y microbiológicas se basaron en los siguientes métodos:

Método titulométrico de Winkler modificado por CARRIT & CARPENTERS (1966) para determinación de oxígeno disuelto.

Método colorimétrico de STICKLAND & PARSONS (1972) para determinación de nutrientes.

Método colorimétrico de Fonselius (Grasshof, 1976) para determinación de sulfuro de hidrógeno.

Método potenciométrico, equipo portátil pH-metro para determinación del pH.

Método gravimétrico de USEPA (1986) para determinación de sólidos suspendidos.

Método gravimétrico (ENVIRONMENT WATER RESOURCES SERVICE 1976) para determinación de aceites y grasas.

Método de inducción, Portasal Guildline 8410A, para determinación de salinidad.

Método del International Standard Organization 5815, (1983) para determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Método de tubos múltiples (Número más probable) (APHA, 1995) para el examen de aguas residuales.

La circulación marina se registró con un correntómetro Aandera RCM9. Los análisis geoquímicos de materia orgánica total se basaron en DEAN (1974).

En laboratorio se obtuvieron los volúmenes de plancton por centrifugación a 2.400 RPM durante 5 minutos, y se empleó la fórmula:

$$V = \frac{Vc}{K}$$

Donde:

V = volumen de plancton

Vc = volumen de plancton centrifugado (mL)

K = 6,6273 m³, constante que indica el agua filtrada por la red

RS5 points which were approximately 2,500 m away; along the beach line, they were 20 m away from the shore and samples were taken in docks and mixing zones.

Analytical methodology.- The physical-chemical and microbiological determinations were based on the following methods:

Winkler titrimetric method modified by CARRIT & CARPENTER (1966) for the determination of dissolved oxygen.

STICKLAND & PARSONS (1972) colorimetric method (1972) for nutrient determination.

Fonselius colorimetric method (GRASSHOF, 1976) for the determination of hydrogen sulfide.

Potentiometric method, portable pH meter for pH determination.

USEPA gravimetric method (1986) for the determination of suspended solids.

Gravimetric method (ENVIRONMENT WATER RESOURCES SERVICE 1976) for the determination of oils and fat.

Induction method, Portasal Guildline 8410A, for determination of salinity.

International Standard Organization Method 5815, (1983) for the Determination of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅).

Multiple-tube method (Most Probable Number) (APHA, 1995) for the examination of wastewater

Marine circulation was recorded with an Aandera RCM9 current meter. Geochemical analyses of total organic matter were based on DEAN (1974).

In the laboratory, plankton volumes were obtained by centrifugation at 2,400 RPM for 5 minutes, and the following formula was used:

$$V = \frac{Vc}{K}$$

Where:

V = plankton volume

Vc = centrifuged plankton volume (mL)

K = 6.6273 m³, constant that indicates the water filtered by the plankton network

Los resultados finales son expresados en mililitros de plancton por metro cúbico de agua de mar filtrada (mL/m³).

Las muestras fueron analizadas semicuantitativamente considerando la proporción de los principales grupos del plancton, así como de las especies más abundantes, otorgándoles valores convencionales según metodología estandarizada: Ausente 0, Presente 1, Escaso 2, Abundante y Muy abundante 4.

3. RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

Transparencia (m)

La transparencia varió de 2,3 m en Samanco a 6,1 m en Huarmey, el promedio anual fue 3,8 m de profundidad (Tabla 1). Las mejores visibilidades se encontraron en el frente oceánico; en tanto que, las más bajas en el borde costero.

Temperatura (°C)

Los registros térmicos superficiales en noviembre variaron de 15,9 °C (Huarmey) a 20,1 °C (Samanco), el promedio anual fue 17,8 °C. Los registros térmicos más altos se presentaron en las bahías El Ferrol y Samanco (norte de la Región), que por presentar forma de media luna no permiten rápido cambio de sus masas de agua; las temperaturas menores a 17 °C se encontraron desde Casma hasta Huarmey (sur de la Región) (Tabla 1).

A cinco metros de profundidad osciló entre 16,5 °C (Casma) y 19,2 °C (Samanco), el promedio anual fue 17,9 °C. A quince metros de profundidad los valores térmicos variaron de 15,5 °C (Huarmey) a 15,6 °C (caleta Culebras), el promedio anual de 15,6 °C. Ambos valores se localizaron en la provincia de Huarmey, al sur de la Región, que son áreas abiertas con mayor flujo de desplazamientos de sus masas de agua. En el fondo varió entre 15,3 °C (caleta Culebras, Huarmey) y 18,3 °C (Samanco).

Salinidad (ups)

En superficie la salinidad promedio varió de 34,738 ups (Coishco) a 35,120 ups (Samanco), el promedio anual fue 34,964 ups (Tabla 1). Las concentraciones menores a 34,800 ups se encontraron muy cerca al borde costero en Coishco. La distribución halina estuvo influenciada por las descargas continentales; así como, por vertidos antrópicos. Se presentó mezcla de Aguas Costeras Frías (ACF) con Aguas Subtropicales Superficiales (ASS).

The final results are expressed in milliliters of plankton per cubic meter of filtered seawater (mL/m³).

The samples were analyzed semi-quantitatively by considering the proportion of the main plankton groups, as well as the most abundant species, giving them conventional values according to standardized methodology: Absent 0, Present 1, Scarce 2, Abundant and Very abundant 4.

3. RESULTS

PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS

Transparency (m)

Transparency ranged from 2.3 m in Samanco to 6.1 m in Huarmey, the annual mean was 3.8 m of depth (Table 1). The best visibilities were found in the oceanfront, while the lowest ones were found in the coastal edge.

Temperature (°C)

In November, surface temperature records ranged from 15.9 °C (Huarmey) to 20.1 °C (Samanco), with an annual mean of 17.8 °C. The highest thermal records were found in El Ferrol and Samanco Bays (north of the Region) since they are crescent-shaped and therefore do not allow rapid change of their water masses; temperatures below 17 °C were found from Casma to Huarmey (south of the Region) (Table 1).

At a depth of five meters, it ranged from 16.5 °C (Casma) to 19.2 °C (Samanco), with an annual mean of 17.9 °C. At fifteen meters of depth, the thermal values varied from 15.5 °C (Huarmey) to 15.6 °C (Culebras cove), and the annual mean of 15.6 °C. Both values were located in the Huarmey Province, to the south of the Region, which are open areas with a greater flow of their water masses. At the bottom, it varied between 15.3 °C (Culebras cove, Huarmey) and 18.3 °C (Samanco).

Salinity (ups)

At the surface level, the mean salinity ranged from 34.738 ups (Coishco) to 35.120 ups (Samanco), the annual mean was 34.964 ups (Table 1). Concentrations less than 34.800 ups were found very close to the coastline in Coishco. The haline distribution was influenced by continental discharges, and by anthropogenic discharges. A mixture of Cold Coastal Waters (CCW) and Surface Subtropical Waters (SSW) was presented.

Tabla 1.- Parámetros físicos promedio. Calidad ambiental marino y costero. Región Áncash, 2018

Lugar	Nivel s = superficie i = intermedio 5 y 15 m f = fondo	Transparencia (m)	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Corrientes marinas		
					Velocidad (cm)	Dirección (°)	
Coishco	s	2,8	18,1	34,738	15,19	86	
	i=5		18,0	34,780	11,85	128	
	f		16,9	34,886	9,29	190	
El Ferrol	s	2,7	18,6	34,832	10,21	139	
	i=5		18,3	34,873	7,72	157	
	f		17,9	34,861	6,60	142	
Samanco	s	2,3	20,1	35,120	15,10	145	
	i=5		19,2	35,045	9,56	169	
	f		18,3	35,031	7,76	215	
Los Chimus	s	3,6	18,3	35,022	9,38	146	
	i=5		18,1	35,005	7,12	204	
	f		16,2	34,983	5,17	246	
Tortuga	s	4,9	18,0	35,017	10,00	173	
	i=5		17,1	34,981	6,74	251	
	f		16,5	34,977	6,23	187	
Casma	s	3,9	16,8	34,977	10,81	92	
	i=5		16,5	34,977	7,44	230	
	f		15,7	34,730	8,76	166	
Caleta Culebras	s	4,1	16,2	35,010	12,93	134	
	i=15		15,6	34,988	9,79	195	
	f		15,3	34,965	10,32	144	
Huarmey	s	6,1	15,9	34,992	12,51	43	
	i=15		15,5	34,986	7,02	196	
	f		15,3	34,968	5,85	132	
Promedio anual	s	3,8	17,8	34,964	12,02	120	
	i = 5 m		...	17,9	34,944	8,41	189
	i = 15 m		...	15,6	34,987	8,41	196
	f	...	16,5	34,925	7,50	178	

A 5 m de profundidad, de Coishco a Casma, las concentraciones variaron de 34,780 ups (Coishco) a 35,045 ups (Samanco), el promedio anual fue 34,944 ups. A 15 m de profundidad, de caleta Culebras a Huarmey, presentó concentraciones más estables y con homogeneidad de valores (>34,800 ups). Al mismo nivel, desde el sur de Huarmey hasta el norte de caleta Culebras, la distribución halina incrementó su concentración. En fondo varió de 34,730 ups (Casma) a 35,031 ups (Samanco), el promedio anual fue 34,925 ups. La distribución halina presentó las concentraciones más bajas por inmediaciones del puerto de Casma; en tanto que, en Samanco se localizaron las concentraciones mayores a 35,000 ups.

Corrientes marinas (cm/s)

En superficie la velocidad y dirección promedio de las corrientes marinas superficiales presentaron intensidades de flujo de 9,38 cm/s (Los Chimus) a 15,19 cm/s (Coishco), el promedio anual fue 12,02 cm/s (Tabla 1). Las masas de agua presentaron flujos mayores a 12 cm/s en las bahías Coishco, Samanco, Huarmey y caleta Culebras; los flujos próximos a

At a depth of 5 m, from Coishco to Casma, concentrations ranged from 34.780 ups (Coishco) to 35.045 ups (Samanco), the annual mean was 34.944 ups. At a depth of 15 m, from Culebras cove to Huarmey, it presented more stable concentrations with homogeneous values (>34.800 ups). At the same level, from the south of Huarmey to the north of Culebras cove, the haline distribution increased its concentration. At the bottom, it varied from 34.730 ups (Casma) to 35.031 ups (Samanco), the annual mean was 34.925 ups. The haline distribution presented the lowest concentrations in the surroundings of the port of Casma; while in Samanco, concentrations greater than 35.000 ups were observed.

Marine currents (cm/s)

At the surface, the mean speed and direction of the surface currents presented flow intensities of 9.38 cm/s (Los Chimus) to 15.19 cm/s (Coishco); the annual mean was 12.02 cm/s (Table 1). Water masses presented flows greater than 12 cm/s in Coishco, Samanco, Huarmey, and Culebras Bays; flows close to 10 cm/s, were presented in El Ferrol,

10 cm/s, se presentaron en El Ferrol, Los Chimus, Tortuga y Casma. Se observaron variaciones locales con movimientos ciclónicos en las bahías El Ferrol, Samanco y Tortuga al ser bahías semicerradas.

A cinco metros de profundidad la velocidad osciló entre 6,74 cm/s (Tortuga) y 11,85 cm/s (Coishco), el promedio anual fue 8,41 cm/s; al mismo nivel, la circulación presentó valores menores a 12 cm/s de Coishco a Casma. A 15 m de profundidad las intensidades variaron de 7,02 cm/s (Huarney) a 9,79 cm/s (caleta Culebras), el promedio anual fue 8,41 cm/s. En el fondo las velocidades variaron de 5,17 cm/s (Los Chimus) a 10,32 cm/s (caleta Culebras), el promedio anual fue 7,50 cm/s).

Potencial de iones Hidronio (pH)

En superficie el pH presentó concentraciones de 8,45 unidades (El Ferrol, Casma y Huarney) a 8,99 unidades (Samanco) (Tabla 2). Las concentraciones más altas estuvieron asociadas a la marea roja observada en Samanco.

En el fondo varió de 8,15 unidades (Los Chimus) a 8,89 unidades (Samanco). Las concentraciones más altas se localizaron en Samanco y Tortuga. Se observó relación directa de la concentración de pH con el oxígeno (Fig. 5).

Oxígeno disuelto (mg/L)

En superficie el oxígeno promedio fluctuó entre 1,86 mg/L en Huarney y 8,52 mg/L en Samanco, el promedio anual fue 5,85 mg/L (Tabla 2). Los valores mayores a 8,00 mg/L encontrados en Samanco fueron influenciados por marea roja; por la zona sur, de caleta Culebras a Huarney, estuvieron influenciados por el afloramiento costero con valores de oxígeno < 3,50 mg/L.

Los Chimus, Tortuga, and Casma. Local variations with cyclonic movements were observed in El Ferrol, Samanco, and Tortuga Bays as they are semi-closed bays.

At a depth of five meters, the speed ranged from 6.74 cm/s (Tortuga) to 11.85 cm/s (Coishco), the annual mean was 8.41 cm/s; at the same level, circulation was less than 12 cm/s from Coishco to Casma. At a depth of 15 m, the intensities ranged from 7.02 cm/s (Huarney) to 9.79 cm/s (Culebras cove), with an annual mean of 8.41 cm/s. At the bottom, speeds ranged from 5.17 cm/s (Los Chimus) to 10.32 cm/s (Culebras cove), the annual mean was 7.50 cm/s).

Potential Hydronium Ions (pH)

At the surface, the pH presented concentrations from 8.45 units (El Ferrol, Casma, and Huarney) to 8.99 units (Samanco) (Table 2). The highest concentrations were associated with the red tide observed in Samanco.

At the bottom, it ranged from 8.15 units (Los Chimus) to 8.89 units (Samanco). The highest concentrations were located in Samanco and Tortuga. A direct ratio between pH concentration and oxygen was observed (Fig. 5).

Dissolved oxygen (mg/L)

At the surface, the mean oxygen fluctuated between 1.86 mg/L in Huarney and 8.52 mg/L in Samanco; the annual mean was 5.85 mg/L (Table 2). Values greater than 8.00 mg/L found in Samanco were influenced by the red tide; in the southern zone, from Culebras cove to Huarney, they were influenced by coastal upwelling with oxygen values < 3.50 mg/L.

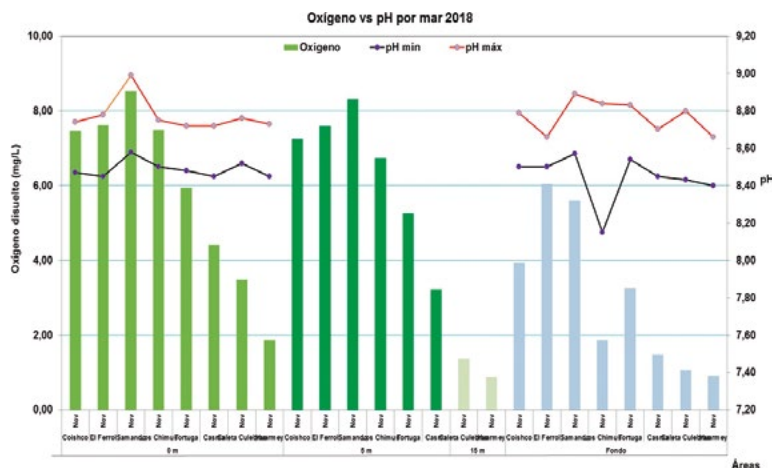


Figura 5.- Variación de oxígeno (mg/L) promedio vs. pH. Región Áncash – 2018

Figure 5. Mean oxygen variation (mg/L) vs. pH. Ancash Region – 2018

Tabla 2.- Parámetros químicos promedio. Calidad ambiental marino y costero. Región Áncash, 2018

Table 2. Mean chemical parameters. Marine and coastal environmental quality. Ancash Region, 2018

Lugar	Nivel		pH	Oxígeno (mg/L)	Fosfatos (μ M)	Silicatos (μ M)	Nitratos (μ M)	Nitritos (μ M)	
	s = superficie	i = intermedio 5 y 15 m							
	f = fondo	mín							máx
Coishco	s		8,47	8,74	7,46	1,86	8,33	6,39	1,72
	i=5		...	...	7,24	1,73	7,94	5,62	1,67
	f		8,50	8,79	3,93	2,20	7,90	6,64	2,32
El Ferrol	s		8,45	8,78	7,61	1,96	17,31	8,38	1,70
	i=5		...	...	7,59	1,93	15,17	6,84	1,66
	f		8,50	8,66	6,05	2,23	18,08	8,93	1,96
Samanco	s		8,58	8,99	8,52	1,42	7,20	2,09	0,47
	i=5		...	...	8,31	1,37	6,47	1,11	0,73
	f		8,57	8,89	5,60	1,75	9,87	3,87	1,11
Los Chimus	s		8,50	8,75	7,49	2,11	9,75	10,68	1,50
	i=5		...	...	6,73	2,22	9,72	10,16	1,51
	f		8,15	8,84	1,86	2,75	14,01	9,01	2,35
Tortuga	s		8,48	8,72	5,94	2,99	10,74	8,08	2,63
	i=5		...	...	5,27	3,06	11,46	8,86	2,85
	f		8,54	8,83	3,25	3,32	12,81	8,00	3,17
Casma	s		8,45	8,72	4,42	3,09	11,87	10,20	2,75
	i=5		...	...	3,23	3,36	12,45	9,76	2,84
	f		8,45	8,70	1,48	3,47	16,41	8,48	3,69
Caleta Culebras	s		8,52	8,76	3,48	3,57	17,17	7,15	5,27
	i=15		...	...	1,37	3,54	17,57	6,37	5,69
	f		8,43	8,80	1,07	3,69	18,80	6,15	5,99
Huarmey	s		8,45	8,73	1,86	3,60	19,51	6,99	5,71
	i=15		...	...	0,89	3,07	17,13	6,74	5,54
	f		8,40	8,66	0,91	3,65	20,42	5,98	5,66
Promedio anual	s		8,45	8,99	5,85	2,58	12,74	7,50	2,72
	i = 5 m		...	...	6,40	2,28	10,54	7,06	1,88
	i = 15 m		...	...	1,13	3,31	17,35	6,56	5,62
	f		8,15	8,89	3,02	2,88	14,78	7,13	3,28

A cinco metros de profundidad varió de 3,23 mg/L (Casma) a 8,31 mg/L (Samanco), el promedio anual fue 6,40 mg/L. El valor más alto estuvo influenciado por la marea roja observada en Samanco, las concentraciones más bajas se localizaron en Tortuga y Casma. A 15 m de profundidad las concentraciones de oxígeno variaron de 0,89 mg/L (Huarmey) a 1,37 mg/L (caleta Culebras), el promedio anual fue 1,13 mg/L. Estas concentraciones estuvieron asociadas al proceso de afloramiento costero. En el fondo fluctuó entre 0,91 mg/L (Huarmey) y 6,05 mg/L (El Ferrol), el promedio anual fue 3,02 mg/L (Fig. 5).

Fosfatos (μ M)

Superficialmente en promedio fluctuaron entre 1,42 μ M (Samanco) y 3,60 μ M (Huarmey), el promedio anual fue 2,58 μ M (Tabla 2). Se observó por la parte norte de la Región que las concentraciones fueron menores a 2 μ M y por la zona sur fueron mayores a 3 μ M.

At a depth of five meters, it ranged from 3.23 mg/L (Casma) to 8.31 mg/L (Samanco), with an annual mean of 6.40 mg/L. The highest value was influenced by the red tide observed in Samanco, the lowest concentrations were located in Tortuga and Casma. At a depth of 15 m, oxygen concentrations ranged from 0.89 mg/L (Huarmey) to 1.37 mg/L (Culebras cove), with an annual mean of 1.13 mg/L. These concentrations were associated with the coastal upwelling process. At the bottom, it fluctuated between 0.91 mg/L (Huarmey) and 6.05 mg/L (El Ferrol), the annual mean was 3.02 mg/L (Fig. 5).

Phosphates (μ M)

At the surface, on average, they fluctuated between 1.42 μ M (Samanco) and 3.60 μ M (Huarmey); the annual mean was 2.58 μ M (Table 2). It was observed in the northern part of the Region that the concentrations were lower than 2 μ M and in the southern zone, they were higher than 3 μ M.

A cinco metros de profundidad la concentración varió de 1,37 μM (Samanco) a 3,36 μM (Casma); la distribución presentó similar tendencia a lo observado en superficie, concentraciones altas al norte y bajas al sur. A 15 m de profundidad los fosfatos fluctuaron entre 3,07 μM (Huarmey) y 3,54 μM (caleta Culebras), el promedio anual fue 3,31 μM . La distribución incrementó su concentración de Huarmey a caleta Culebras. En el fondo se presentaron concentraciones de 1,75 μM (Samanco) a 3,69 μM (caleta Culebras), el promedio anual fue 2,88 μM .

Silicatos (μM)

Superficialmente varió de 7,20 μM en Samanco a 19,51 μM en Huarmey, el promedio anual fue 12,74 μM (Tabla 2). La distribución presentó concentraciones mayores a 15 μM en El Ferrol, caleta Culebras y Huarmey; las concentraciones más bajas se localizaron en Coishco y Samanco.

A cinco metros de profundidad fluctuaron entre 6,47 μM (Samanco) y 15,17 μM (El Ferrol), el promedio anual fue 10,54 μM . La distribución presentó concentraciones menores a 10 μM en Coishco, Samanco y Los Chimus y mayores a 15 μM en El Ferrol. A 15 m de profundidad se presentaron concentraciones homogéneas de caleta Culebras a Huarmey, con valores próximos a 17 μM . En el fondo los silicatos variaron de 7,90 μM (Coishco) a 20,42 μM (Huarmey), el promedio anual fue 14,79 μM . Las concentraciones más altas se localizaron en caleta Culebras y Huarmey; en el resto del área se encontraron concentraciones menores a 18,50 μM .

Nitratos (μM)

Los nitratos promedio superficiales fluctuaron entre 2,09 μM en Samanco y 10,68 μM en Casma, el promedio anual fue 7,50 μM (Tabla 2). La distribución presentó las concentraciones más altas en Los Chimus y Casma; en tanto que, en el resto del área evaluada fueron menores a 10 μM .

A cinco metros de profundidad la concentración varió de 1,11 μM (Samanco) a 10,16 μM (Los Chimus), el promedio anual fue 7,06 μM . A 15 m de profundidad se presentaron concentraciones homogéneas menores a 7 μM desde caleta Culebras hasta Huarmey. En el fondo las concentraciones variaron de 3,87 μM (Samanco) a 9,01 μM (Los Chimus), el promedio anual fue 7,13 μM .

At a depth of five meters, the concentration varied from 1.37 μM (Samanco) to 3.36 μM (Casma); the distribution was similar to that observed at the surface, high concentrations to the north and low concentrations to the south. At a depth of 15 m, the phosphates fluctuated between 3.07 μM (Huarmey) and 3.54 μM (Culebras cove); the annual mean was 3.31 μM . The distribution increased its concentration from Huarmey to Culebras cove. At the bottom, concentrations of 1.75 μM (Samanco) to 3.69 μM (Culebras cove) were presented, the annual mean was 2.88 μM .

Silicates (μM)

At the surface, it varied from 7.20 μM in Samanco to 19.51 μM in Huarmey, the annual mean was 12.74 μM (Table 2). The distribution presented concentrations greater than 15 μM in El Ferrol, Culebras cove, and Huarmey; the lowest concentrations were located in Coishco and Samanco.

At a depth of five meters, they fluctuated between 6.47 μM (Samanco) and 15.17 μM (El Ferrol), the annual mean was 10.54 μM . The distribution presented concentrations lower than 10 μM in Coishco, Samanco, and Los Chimus and higher than 15 μM in El Ferrol. At a depth of 15 m, homogeneous concentrations, from Culebras cove to Huarmey, were presented, with values close to 17 μM . At the bottom, the silicates varied from 7.90 μM (Coishco) to 20.42 μM (Huarmey), the annual mean was 14.79 μM . The highest concentrations were located in Culebras and Huarmey coves; in the remaining area, concentrations lower than 18.50 μM were found.

Nitrates (μM)

Mean surface nitrates ranged from 2.09 μM in Samanco to 10.68 μM in Casma, with an annual mean of 7.50 μM (Table 2). The distribution presented the highest concentrations in Los Chimus and Casma, while in the remaining area they were less than 10 μM .

At a depth of five meters, the concentration ranged from 1.11 μM (Samanco) to 10.16 μM (Los Chimus), the annual mean was 7.06 μM . At a depth of 15 m, homogeneous concentrations of less than 7 μM , from Culebras cove to Huarmey, were presented. At the bottom, concentrations varied from 3.87 μM (Samanco) to 9.01 μM (Los Chimus), the annual mean was 7.13 μM .

Nitritos (μM)

En superficie el promedio varió de 0,47 μM en Samanco a 5,71 μM en Huarmey, el promedio anual fue 2,72 μM (Tabla 2). Las concentraciones más altas se encontraron en caleta Culebras y Huarmey; en el resto de las áreas fueron menores a 3 μM .

Acincometros de profundidad las concentraciones fluctuaron entre 0,73 μM (Samanco) y 2,85 μM (Tortuga), el promedio anual fue 1,88 μM . La distribución, de Tortuga a Casma, presentó concentraciones homogéneas próximas a 2,85 μM . A 15 m de profundidad la concentración varió de 5,54 μM (Huarmey) a 5,69 μM (caleta Culebras). En el fondo, las concentraciones más altas se encontraron por el extremo sur del área evaluada con valores mayores a 5 μM ; las concentraciones mayores a 3 μM se registraron de Coishco a Casma.

Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)

En superficie los sólidos suspendidos totales fluctuaron entre 10,31 mg/L (Tortuga) y 20,55 mg/L (caleta Culebras), el promedio anual fue 14,25 mg/L y en el fondo las concentraciones variaron de 7,88 mg/L (Tortuga) a 20,00 mg/L (caleta Culebras) con promedio de 14,30 mg/L (Tabla 3). La distribución presentó tanto en superficie como en fondo concentraciones menores a 21 mg/L.

Aceites y grasa (mg/L)

En superficie, el promedio de aceites y grasa fluctuó entre 0,33 mg/L en Tortuga y 0,86 mg/L en Samanco, el promedio anual fue 0,54 mg/L (Tabla 3). La distribución presentó las concentraciones mayores a 0,60 mg/L en Coishco, El Ferrol y Samanco.

Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO_5 (mg/L)

En superficie, el promedio del DBO_5 fluctuó entre 3,76 mg/L (Coishco) y 6,90 mg/L (Samanco), el promedio anual fue 5,42 mg/L (Tabla 4). La distribución presentó las concentraciones más altas en El Ferrol y Samanco; en el resto de áreas evaluadas se encontraron valores menores a 6 mg/L.

Indicadores de contaminación microbiológica por mar

En superficie, el promedio de los coliformes totales varió de menos 1,80 a 1.700 NMP/100 mL (Tabla 4). Las concentraciones más altas se localizaron en Samanco y Coishco; en el resto de áreas evaluadas se encontraron valores menores a 800 NMP/100 mL.

Nitrites (μM)

At the surface, the mean ranged from 0.47 μM in Samanco to 5.71 μM in Huarmey, with an annual mean of 2.72 μM (Table 2). The highest concentrations were found in Culebras cove and Huarmey; in the remaining areas, they were less than 3 μM .

At a depth of five meters, concentrations ranged from 0.73 μM (Samanco) to 2.85 μM (Tortuga), with an annual mean of 1.88 μM . The distribution, from Tortuga to Casma, presented homogeneous concentrations close to 2.85 μM . At a depth of 15 m, the concentration varied from 5.54 μM (Huarmey) to 5.69 μM (Culebras cove). At the bottom, the highest concentrations were found at the southern end of the assessed area with values greater than 5 μM ; concentrations greater than 3 μM were recorded from Coishco to Casma.

Total suspended solids (mg/L)

At the surface, total suspended solids fluctuated between 10.31 mg/L (Tortuga) and 20.55 mg/L (Culebras cove), the annual mean was 14.25 mg/L and at the bottom, concentrations varied from 7.88 mg/L (Tortuga) to 20.00 mg/L (Culebras cove) with a mean of 14.30 mg/L (Table 3). The distribution presented both surface and bottom concentrations lower than 21 mg/L.

Oils and fat (mg/L)

At the surface, the mean oils and fat fluctuated between 0.33 mg/L in Tortuga and 0.86 mg/L in Samanco; the annual mean was 0.54 mg/L (Table 3). The distribution presented concentrations greater than 0.60 mg/L in Coishco, El Ferrol, and Samanco.

Biochemical Oxygen Demand - BOD_5 (mg/L)

At the surface, the mean BOD_5 fluctuated between 3.76 mg/L (Coishco) and 6.90 mg/L (Samanco); the annual mean was 5.42 mg/L (Table 4). The distribution presented the highest concentrations in El Ferrol and Samanco; in the remaining assessed areas, values lower than 6 mg/L were found.

Indicators of microbial pollution by sea

At the surface, the mean of the total coliforms ranged from less than 1.80 to 1,700 NMP/100 mL (Table 4). The highest concentrations were found in Samanco and Coishco; in the remaining assessed areas, values less than 800 NMP/100 mL were found.

Tabla 3.- Parámetros de agentes contaminantes promedio. Calidad ambiental marino costero. Región Áncash, 2018

Table 3. Mean pollutant parameters. Marine and coastal environmental quality. Ancash Region, 2018

Año Lugar	Nivel s = superficie f = fondo	Sólidos	Aceites
		Suspendidos Totales (mg/L)	y Grasa (mg/L)
2018			
Coishco	s	18,19	0,73
	f	18,56	...
El Ferrol	s	14,40	0,64
	f	13,00	...
Samanco	s	12,55	0,86
	f	12,95	...
Los Chimus	s	14,38	0,50
	f	15,06	...
Tortuga	s	10,31	0,33
	f	7,88	...
Casma	s	12,63	0,42
	f	10,94	...
Caleta Culebras	s	20,55	0,40
	f	20,00	...
Huarmey	s	11,10	0,41
	f	16,75	...
Promedio	s	14,25	0,54
	f	14,30	...

Tabla 4.- Parámetros de agentes microbianos superficiales promedio. Región Áncash 2018

Table 4. Mean microbial agent parameters. Marine and coastal environmental quality. Ancash Region, 2018

Año Lugar	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Coliformes totales (NMP/100 mL)		Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
2018					
Coishco	3,76	< 1,80	1600,00	< 1,80	33,00
El Ferrol	6,75	< 1,80	130,00	< 1,80	33,00
Samanco	6,90	< 1,80	1700,00	< 1,80	< 1,80
Los Chimus	5,90	23,00	700,00	< 1,80	49,00
Tortuga	5,64	< 1,80	79,00	< 1,80	33,00
Casma	4,99	< 1,80	49,00	< 1,80	33,00
Caleta Culebras	4,94	< 1,80	700,00	< 1,80	49,00
Huarmey	4,44	< 1,80	49,00	< 1,80	33,00
Promedio	5,42	...	...	...	...

El promedio de los coliformes termotolerantes, en superficie, fluctuó entre menos 1,80 y 49 NMP/100 mL (Tabla 4). La concentración más baja se registró en Samanco, en el resto de áreas fueron mayor a 30 NMP/100 mL.

Identificación y características de la comunidad fitoplanctónica

Respecto al fitoplancton se encontraron especies indicadores de aguas costeras frías (ACF) como *Protoberidinium obtusum* y de aguas oceánicas (AO) como *Planktoniella sol*, *Proboscia alata*, *Rhizosolenia robusta* y *Protoberidinium oceanicum*, pero también estuvo representado por diatomeas típicas de afloramiento, de fases iniciales a intermedias, destacando *Chaetoceros affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. debilis*, *Ch. didymus*, *Ch. lorenzianus*, *Ch. socialis*, *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus perforatus*, *C. centralis*, *C. granii*, siendo *C. perforatus* la especie que alcanzó abundancia relativa de ABUNDANTE y se registró en todas las bahías en estudio.

En cuanto a los dinoflagelados potencialmente tóxicos se reportó a *Dinophysis acuminata*, *D. caudata* y *D. tripos* en toda el área evaluada y *Prorocentrum cordatum* se identificó en El Ferrol, Samanco, Tortuga y Casma.

The mean of the surface thermotolerant coliforms fluctuated between minus 1.80 and 49 NMP/100 mL (Table 4). The lowest concentration was recorded in Samanco, in the remaining assessed areas, they were greater than 30 NMP/100 mL.

Identification and characteristics of the phytoplankton community

Regarding phytoplankton, indicator species of cold coastal waters (CCW) such as *Protoberidinium obtusum* and oceanic waters (OW) such as *Planktoniella sol*, *Proboscia alata*, *Rhizosolenia robusta*, and *Protoberidinium oceanicum* were found, but it was also represented by typical upwelling diatoms, from initial- to intermediate-stages, with the predominance of *Chaetoceros affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. debilis*, *Ch. didymus*, *Ch. lorenzianus*, *Ch. socialis*, *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus perforatus*, *C. centralis*, *C. granii*, although *C. perforatus* was the species that reached relative abundance of ABUNDANT and was recorded in all the bays under study.

Regarding potentially toxic dinoflagellates, *Dinophysis acuminata*, *D. caudata*, and *D. tripos* were reported throughout the assessed area and *Prorocentrum cordatum* was identified in El Ferrol, Samanco, Tortuga, and Casma.

At the surface level, the phytoplankton volume varied from 0.15 mL/m³ in Huarmey to 1.06 mL/m³ in Los Chimus, with an annual mean of 0.53 mL/m³

A nivel superficial el volumen de fitoplancton varió de 0,15 mL/m³ en Huarmey a 1,06 mL/m³ en Los Chimus, promedio anual de 0,53 mL/m³ (Tabla 5). La distribución fitoplanctónica presentó los valores más altos en Coishco y Los Chimus; en el resto de áreas evaluadas fueron menores a 0,80 mL/m³.

Sulfuro de hidrógeno (mg/L)

En fondo las concentraciones de los sulfuros de hidrógeno oscilaron entre <0,0100 y 0,0186 mg/L (Tabla 6). La concentración más alta se localizó en El Ferrol; en el resto de las áreas evaluadas se encontraron valores menores a 0,0100 mg/L.

Materia Orgánica Total (%)

En el sedimento marino la materia orgánica total (MOT) presentó concentraciones de 1,91% en Casma a 9,80% en El Ferrol, el promedio anual fue 4,97% (Tabla 6). Las concentraciones más altas se determinaron en Coishco y El Ferrol y, la más baja en Casma.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS POR PLAYAS

Temperatura.- Varió de 17,4 °C en caleta Culebras a 21,4 °C en Samanco, el promedio anual fue 19,4 °C (Tabla 7). Los registros térmicos más altos se presentaron en El Ferrol, Samanco, Tortuga y Guaynumá; en el resto de áreas evaluadas fueron menores a 20 °C.

Salinidad.- Las concentraciones fueron de 25,199 ups en Coishco a 35,036 ups en Tortuga, promedio anual de 33,938 ups (Tabla 7). Las concentraciones menores a 34,800 ups se localizaron en Coishco, Puerto Santa y El Ferrol; en el resto del área evaluada estuvieron próximos a 35,000 ups.

Tabla 5.- Volumen promedio de fitoplancton superficial. Región Áncash, 2018

Table 5. Mean volume of surface phytoplankton. Ancash Region, 2018

Lugar	Volumen plancton marino (mL/m ³)
Coishco	1,05
El Ferrol	0,53
Samanco	0,68
Los Chimus	1,06
Tortuga	0,38
Casma	0,14
Caleta Culebras	0,22
Huarmey	0,15
Promedio	0,53

(Table 5). The phytoplankton distribution presented the highest values in Coishco and Los Chimus; in the remaining assessed areas, they were less than 0.800 mL/m³.

Hydrogen sulfide (mg/L)

At the bottom, hydrogen sulfide concentrations ranged from <0.0100 to 0.0186 mg/L (Table 6). The highest concentration was located in El Ferrol; in the remaining assessed areas, values lower than 0.0100 mg/L were found.

Total Organic Matter (%)

In the marine sediment, the total organic matter (TOM) presented concentrations from 1.91% in Casma to 9.80% in El Ferrol, the annual mean was 4.97% (Table 6). The highest concentrations were determined in Coishco and El Ferrol and the lowest in Casma.

PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS BY BEACHES

Temperature.- It ranged from 17.4 °C in Culebras cove to 21.4 °C in Samanco, with an annual mean of 19.4 °C (Table 7). The highest thermal records were found in El Ferrol, Samanco, Tortuga, and Guaynumá; in the remaining assessed areas, they were less than 20 °C.

Salinity.- Concentrations ranged from 25.199 ups in Coishco to 35.036 ups in Tortuga, with an annual mean of 33.938 ups (Table 7). Concentrations less than 34.800 ups were located in Coishco, Puerto Santa, and El Ferrol; in the remaining assessed area, they were close to 35.000 ups.

Tabla 6.- Promedios de sulfuro de hidrógeno y materia orgánica total en fondo. Región Áncash, 2018

Table 6. Mean hydrogen sulfide and total organic matter at the bottom. Ancash Region, 2018

Lugar	Sulfuro de hidrógeno en agua de mar (mg/L)		Materia orgánica total en sedimento (%)
	Mínimo	Máximo	
Coishco	<0,0100	0,0065	6,30
El Ferrol	<0,0100	0,0186	9,80
Samanco	<0,0100	0,0053	4,83
Los Chimus	<0,0100	<0,0100	4,12
Tortuga	<0,0100	0,0054	4,59
Casma	<0,0100	0,0079	1,91
Caleta Culebras	<0,0100	0,0071	4,44
Huarmey	<0,0100	0,0068	3,76
Promedio anual	<0,0100	0,0186	4,97

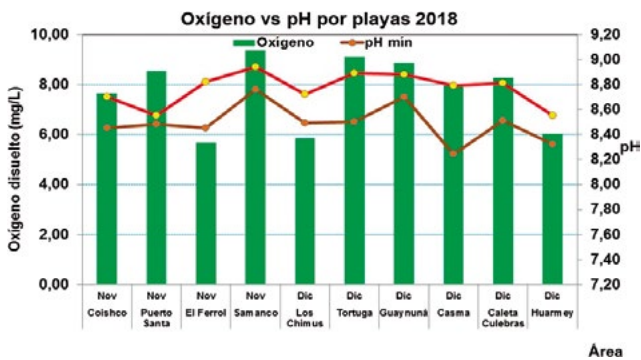


Figura 6.- Variación de oxígeno (mg/L) promedio vs pH por playas. Región Áncash, 2018

Figure 6. Mean oxygen variation (mg/L) vs pH by beaches. Ancash Region, 2018

Se observó por el borde costero central de Coishco y El Ferrol aguas mixohalinas como producto de mezcla de aguas marinas con aguas continentales y antrópicas, disminuyendo la salinidad; en Samanco, Tortuga y Guaynumá se produjo el proceso de evaporación, lo que indujo a incrementar la concentración halina.

Oxígeno disuelto.- La concentración fluctuó entre 5,68 mg/L (El Ferrol) y 9,35 mg/L (Samanco), el promedio anual fue 7,73 mg/L (Tabla 8). La distribución de oxígeno presentó las concentraciones más altas en Samanco y Tortuga; en el resto de áreas fueron menores a 8 mg/L (Fig. 6).

Potencial de iones de Hidronio, pH.- Por la línea costera se presentaron concentraciones de 8,24 unidades en Casma a 8,94 unidades en Samanco (Tabla 8). La distribución presentó las concentraciones más altas en Samanco, Tortuga y Guaynumá y las más bajas en Coishco, Puerto Santa, El Ferrol y Casma. Se observó que las concentraciones de pH son impactadas por los vertidos de aguas domésticas e industriales y descargas continentales de ríos. El pH presentó una relación directa con el oxígeno disuelto (Fig. 6).

Fosfatos.- Las concentraciones variaron de 1,27 µM (Samanco) a 5,04 µM (Puerto Santa), el promedio anual fue 3,37 µM (Tabla 8). La distribución presentó las concentraciones más altas en Coishco, Puerto Santa y El Ferrol; en el resto de áreas evaluadas se encontraron valores menores a 4 µM.

Silicatos.- Se presentaron concentraciones de 2,39 µM en Samanco y 42,08 µM en Coishco, el promedio anual fue 11,42 µM (Tabla 8). La

Tabla 7.- Parámetros físicos promedio superficial en playas. Región Ancash, 2018

Table 7. Mean physical parameters by beaches. Ancash Region, 2018

Lugar	Mes	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)
Coishco	Noviembre	19,3	25,199
Puerto Santa	Noviembre	18,6	34,629
El Ferrol	Noviembre	20,4	34,583
Samanco	Noviembre	21,4	34,982
Los Chimus	Diciembre	18,7	34,989
Tortuga	Diciembre	20,8	35,036
Guaynumá	Diciembre	20,1	35,013
Casma	Diciembre	17,8	34,989
Caleta Culebras	Diciembre	17,4	34,972
Huarmey	Diciembre	19,1	34,985
Promedio		19,4	33,938

Mixohaline waters were observed along the central coastal edge of Coishco and El Ferrol as a product of the mixture of marine waters with continental and anthropogenic waters, resulting in a decrease in salinity; in Samanco, Tortuga, and Guaynumá, the evaporation process took place, which led to an increase in the haline concentration.

Dissolved oxygen.- The concentration fluctuated between 5.68 mg/L (El Ferrol) and 9.35 mg/L (Samanco); the annual mean was 7.73 mg/L (Table 8). Oxygen distribution had the highest concentrations in Samanco and Tortuga; in the remaining areas, they were less than 8 mg/L (Fig. 6).

Potential Hydronium Ions, pH.- Along the coastline, there were concentrations ranging from 8.24 units in Casma to 8.94 units in Samanco (Table 8). The distribution presented the highest concentrations in Samanco, Tortuga, and Guaynumá and the lowest in Coishco, Puerto Santa, El Ferrol, and Casma. pH concentrations are impacted by domestic and industrial water discharges and continental river discharges. The pH presented a direct ratio with dissolved oxygen (Fig. 6).

Phosphates.- Concentrations ranged from 1.27 µM (Samanco) to 5.04 µM (Puerto Santa), the annual mean was 3.37 µM (Table 8). The distribution presented the highest concentrations in Coishco, Puerto Santa, and El Ferrol; in the remaining assessed areas, values less than 4 µM were found.

Silicates.- There were concentrations of 2.39 µM in Samanco and 42.08 µM in Coishco, the annual mean was 11.42 µM (Table 8). The

Tabla 8.- Parámetros químicos superficiales promedio en playas. Región Áncash, 2018

Table 8. Mean chemical parameters by beaches. Ancash Region, 2018

Lugar	Mes	pH		Oxígeno (mg/L)	Fosfatos (μ M)	Silicatos (μ M)	Nitratos (μ M)	Nitritos (μ M)
		mín	máx					
Coishco	Noviembre	8,45	8,70	7,64	4,51	42,08	43,40	2,63
Puerto Santa	Noviembre	8,48	8,55	8,54	5,04	10,15	15,23	2,40
El Ferrol	Noviembre	8,45	8,82	5,68	4,74	10,71	5,80	1,89
Samanco	Noviembre	8,76	8,94	9,35	1,26	2,39	1,56	0,34
Los Chimus	Diciembre	8,49	8,72	5,85	2,90	9,26	13,14	2,95
Tortuga	Diciembre	8,50	8,89	9,11	3,17	7,65	10,64	2,09
Guaynuná	Diciembre	8,70	8,88	8,85	2,60	8,63	13,09	2,20
Casma	Diciembre	8,24	8,79	7,96	2,56	6,56	11,49	2,72
Caleta Culebras	Diciembre	8,51	8,81	8,26	3,69	9,49	14,45	3,84
Huarmey	Diciembre	8,32	8,55	6,02	3,26	7,31	13,41	3,56
Promedio	...	...	...	7,73	3,37	11,42	14,22	2,46

concentración más alta se registró en Coishco; en el resto del área evaluada se encontraron concentraciones menores a 11 μ M.

Nitratos.- Las concentraciones fluctuaron entre 1,56 μ M (Samanco) y 43,40 μ M (Coishco), el promedio anual fue 14,22 μ M (Tabla 8). La concentración más alta estuvo en Coishco; en el resto del área evaluada se encontraron concentraciones menores a 20 μ M.

Nitritos.- Las concentraciones variaron de 0,34 μ M en Samanco a 3,84 μ M en caleta Culebras, el promedio anual fue 2,46 μ M (Tabla 8). La distribución presentó los valores más altos al sur de la Región; desde la zona central hasta la parte norte de la Región se encontraron concentraciones menores a 3 μ M.

Sólidos suspendidos totales.- Las concentraciones fluctuaron entre 10,50 mg/L (Guaynuná) y 51,83 mg/L (Coishco), el promedio anual fue 25,84 mg/L (Tabla 9). La distribución presentó las concentraciones más altas desde Coishco hasta El Ferrol; en el resto de áreas evaluadas fueron menores a 30 mg/L.

Aceites y grasa.- Presentaron concentraciones de 0,37 mg/L (Coishco) a 1,01 mg/L (El Ferrol), el promedio anual fue 0,53 mg/L (Tabla 9). Las concentraciones más altas se registraron en Puerto Santa y El Ferrol; en el resto de áreas evaluadas fueron menores a 0,60 mg/L.

Demanda bioquímica de oxígeno.- Las concentraciones fluctuaron entre 5,26 mg/L

Tabla 9.- Parámetros de agentes contaminantes superficiales promedio en playas. Región Áncash, 2018

Table 9. Mean surface pollutant parameters by beaches. Ancash Region, 2018

Lugar	Mes	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Aceites y grasa (mg/L)
Coishco	Noviembre	51,83	0,37
Puerto Santa	Noviembre	32,75	0,75
El Ferrol	Noviembre	30,50	1,01
Samanco	Noviembre	24,69	0,48
Los Chimus	Diciembre	15,30	0,46
Tortuga	Diciembre	26,40	0,40
Guaynuná	Diciembre	10,50	0,55
Casma	Diciembre	21,00	0,46
Caleta Culebras	Diciembre	18,00	0,42
Huarmey	Diciembre	27,38	0,43
Promedio		25,84	0,53

highest concentration was recorded in Coishco; concentrations below 11 μ M were found in the remaining assessed area.

Nitrates.- Concentrations ranged from 1.56 μ M (Samanco) to 43.40 μ M (Coishco), with an annual mean of 14.22 μ M (Table 8). The highest concentration was in Coishco; concentrations below 20 μ M were found in the remaining assessed area.

Nitrites.- Concentrations ranged from 0.34 μ M in Samanco to 3.84 μ M in Culebras cove, with an annual mean of 2.46 μ M (Table 8). The distribution had the highest values south of the Region; from the central zone to the northern part of the Region, concentrations of less than 3 μ M were found.

(Puerto Santa) y 7,04 mg/L (Tortuga), el promedio anual fue 6,31 mg/L (Tabla 10). Las concentraciones predominantes próximas a 6 mg/L se encontraron en toda el área evaluada; las más altas se localizaron en Coishco, El Ferrol, Samanco, Tortuga y Huarmey.

Indicadores de contaminación microbiana.-

Los coliformes totales variaron de menos de 1,80 a 170.000 NMP/100 mL (Tabla 10). Las concentraciones más altas se determinaron en Coishco y El Ferrol; en el resto del área evaluada se encontraron concentraciones menores a 1.000 NMP/100 mL.

Coliformes termotolerantes.-

Las concentraciones variaron de menos de 1,80 a 49.000 NMP/100 mL (Tabla 10). Las concentraciones más altas se registraron en Coishco y El Ferrol; en el resto de áreas evaluadas las concentraciones fueron menores a 400 NMP/100 mL.

Sulfuros de hidrógeno.-

En fondo variaron con valores menores a 0,0100 hasta 0,4824 mg/L (Tabla 11). La concentración más alta se encontró en El Ferrol.

Materia orgánica total.-

En la superficie del sedimento presentó concentraciones de 0,76% (Coishco) a 1,73% (Guaynumá), el promedio anual fue 1,13% (Tabla 11). Las concentraciones más altas se localizaron en Samanco y Guaynumá; en el resto de áreas evaluadas se encontraron concentraciones menores a 1,50%, la textura del sedimento fue de arena fina y sin olor a sulfuros.

Total suspended solids.- Concentrations ranged from 10.50 mg/L (Guaynumá) to 51.83 mg/L (Coishco), with an annual mean of 25.84 mg/L (Table 9). The distribution presented the highest concentrations from Coishco to El Ferrol; in the remaining assessed areas, they were less than 30 mg/L.

Oils and fat.- They presented concentrations ranging from 0.37 mg/L (Coishco) to 1.01 mg/L (El Ferrol), with an annual mean of 0.53 mg/L (Table 9). The highest concentrations were recorded in Puerto Santa and El Ferrol; in the remaining assessed areas, they were less than 0.60 mg/L.

Biochemical oxygen demand.- Concentrations ranged from 5.26 mg/L (Puerto Santa) to 7.04 mg/L (Tortuga), with an annual mean of 6.31 mg/L (Table 10). Predominant concentrations close to 6 mg/L were found throughout the assessed area; the highest ones were located in Coishco, El Ferrol, Samanco, Tortuga, and Huarmey.

Indicators of microbial pollution.- Total coliforms ranged from less than 1.80 to 170,000 NMP/100 mL (Table 10). The highest concentrations were determined in Coishco and El Ferrol; in the remaining assessed area, concentrations less than 1,000 NMP/100 mL were found.

Thermotolerant coliforms.- Concentrations ranged from less than 1.80 to 49,000 NMP/100 mL (Table 10). The highest concentrations were recorded in Coishco and El Ferrol; in the remaining assessed areas, concentrations were less than 400 NMP/100 mL.

Hydrogen sulfides.- At the bottom, they ranged from 0.0100 to 0.4824 mg/L (Tabla 11). The highest concentration was found in El Ferrol.

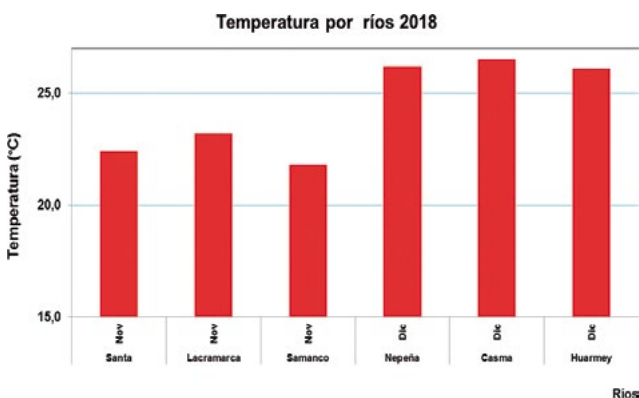


Figura 7.- Variación de temperatura (°C) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 7. Mean temperature variation (°C) by rivers. Ancash Region, 2018

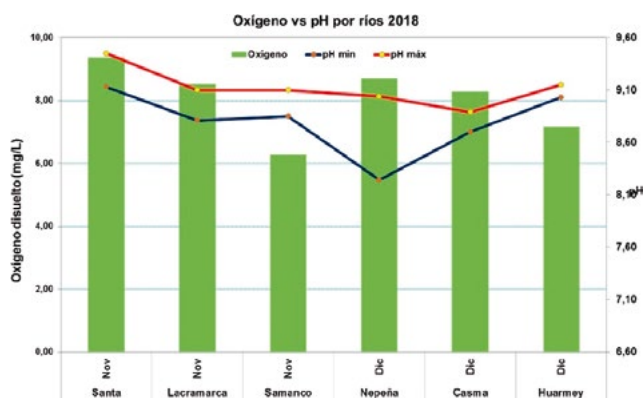


Figura 8.- Variación de oxígeno (mg/L) promedio vs pH por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 8. Mean oxygen variation (mg/L) vs pH by rivers. Ancash Region, 2018

Tabla 10.- Parámetros de agentes microbianos promedio superficial en playas. Región Áncash, 2018

Table 10. Mean surface microbial agent parameters by beaches. Ancash Region, 2018

Lugar	Mes	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Coliformes totales (NMP/100 mL)		Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Coishco	Noviembre	6,68	<1,80	170000,00	<1,80	2400,00
Puerto Santa	Noviembre	5,26	<1,80	79,00	<1,80	49,00
El Ferrol	Noviembre	6,80	<1,80	70000,00	<1,80	49000,00
Samanco	Noviembre	6,95	<1,80	33,00	<1,80	33,00
Los Chimus	Diciembre	6,32	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80
Tortuga	Diciembre	7,04	<1,80	33,00	<1,80	<1,80
Guaynumá	Diciembre	6,24	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80
Casma	Diciembre	5,72	<1,80	130,00	<1,80	<1,80
Caleta Culebras	Diciembre	5,51	<1,80	920,00	<1,80	350,00
Huarmey	Diciembre	6,60	<1,80	33,00	<1,80	33,00
Promedio		6,31	...	...	...	...

CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS POR RÍOS

Temperatura.- Por la cuenca baja de los ríos se registró el promedio de 21,8 °C en Samanco y 26,5 °C en Casma, el promedio anual fue 24,4 °C. La distribución térmica presentó los valores más bajos desde Santa hasta Samanco; en el resto del área evaluada fueron mayores a 25 °C (Fig. 7).

Oxígeno disuelto.- Las concentraciones fluctuaron entre 6,27 mg/L (Samanco) y 9,37 mg/L (Santa), el promedio anual fue 8,05 mg/L. Mayores concentraciones se encontraron en los ríos Santa, Lacramarca, Nepeña y Casma; en el resto del área evaluada fueron menores a 8 mg/L (Fig. 8).

Potencial de iones de Hidronio, pH.- Presentó concentraciones de 8,24 unidades en Nepeña a 9,45 unidades en Santa. Las concentraciones más bajas se localizaron desde el río Lacramarca hasta Casma; las más altas en los ríos Santa y Huarmey (Fig. 8).

Fosfatos.- Presentaron concentraciones de 0,95 µM (Nepeña) a 2,73 µM (Lacramarca), el promedio anual fue 1,89 µM. La distribución presentó las concentraciones más bajas en los ríos Nepeña y Casma; en el resto de áreas se encontraron concentraciones mayores a 2 µM (Fig. 9).

Silicatos.- Las concentraciones en las cuencas de los ríos fluctuaron entre 44,63 µM (Santa) y 89,76 µM (Samanco), el promedio anual fue 66,87 µM. La concentración más alta se localizó en Samanco; mientras que, en el resto de áreas evaluadas fueron menores a 80 µM (Fig. 10).

Tabla 11.-Parámetros de sulfuro de hidrógeno y material orgánica total superficial en playas. Región Áncash, 2018

Table 11. Mean hydrogen sulfide and surface total organic matter parameters by beaches. Ancash Region, 2018

		Sulfuro de hidrógeno en agua de mar (mg/L)		Materia orgánica total en sedimento (%)
		Mínimo	Máximo	
Coishco	Noviembre	0,0069	0,0237	0,76
Puerto Santa	Noviembre	<0,0100	<0,0100	1,36
El Ferrol	Noviembre	0,0050	0,4824	0,94
Samanco	Noviembre	<0,0100	0,0108	1,67
Los Chimus	Diciembre	<0,0100	0,0211	1,19
Tortuga	Diciembre	<0,0100	0,0143	0,89
Guaynumá	Diciembre	<0,0100	0,0093	1,73
Casma	Diciembre	<0,0100	0,0051	1,07
Caleta Culebras	Diciembre	<0,0100	0,0065	0,77
Huarmey	Diciembre	<0,0100	0,0061	0,89
Promedio				1,13

Total organic matter.- On the surface of the sediment, it presented concentrations from 0.76% (Coishco) to 1.73% (Guaynumá), the annual mean was 1.13% (Table 11). The highest concentrations were located in Samanco and Guaynumá; in the remaining assessed areas, concentrations lower than 1.50% were found; the sediment texture was fine sand and had no sulfur odor.

PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS BY RIVERS

Temperature.- For the lower basin of the rivers, the mean temperature was 21.8 °C in Samanco and 26.5 °C in Casma; the annual mean was 24.4 °C. The thermal distribution presented the lowest values from Santa to Samanco; in the remaining assessed area, they were greater than 25 °C (Fig. 7).

Dissolved oxygen.- Concentrations ranged from 6.27 mg/L (Samanco) to 9.37 mg/L (Santa), with an annual mean of 8.05 mg/L. Higher concentrations were found in the Santa, Lacramarca, Nepeña, and Casma Rivers; in the remaining assessed area, they were less than 8 mg/L (Fig. 8).

Potential Hydronium Ions, pH.- The concentrations ranging from 8.24 units in Nepeña to 9.45 units in Santa. The lowest concentrations were located from the Lacramarca River to Casma; the highest in the Santa and Huarmey Rivers (Fig. 8).

Phosphates.- The concentrations ranging from 0.95 µM (Nepeña) to 2.73 µM (Lacramarca), the annual mean was 1.89 µM. The distribution presented the lowest concentrations in the Nepeña and Casma Rivers; in the remaining areas, concentrations greater than 2 µM were found (Fig. 9).

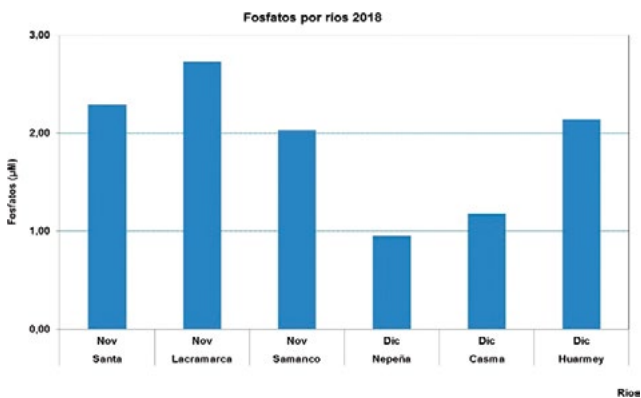


Figura 9.- Variación de fosfatos (µM) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 9. Mean phosphate variation (µM) by rivers. Ancash Region, 2018

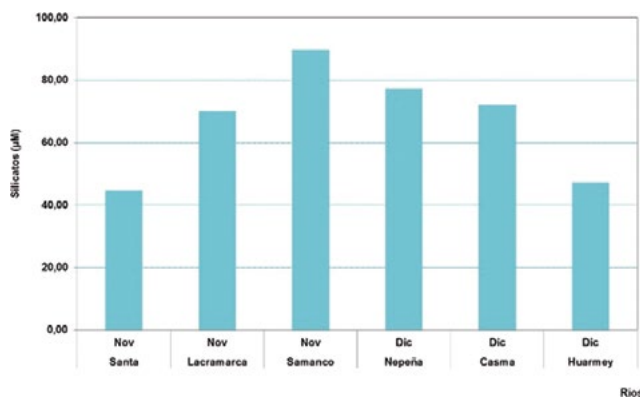


Figura 10.- Variación de silicatos (µM) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 10. Mean silicate variation (µM) by rivers. Ancash Region, 2018

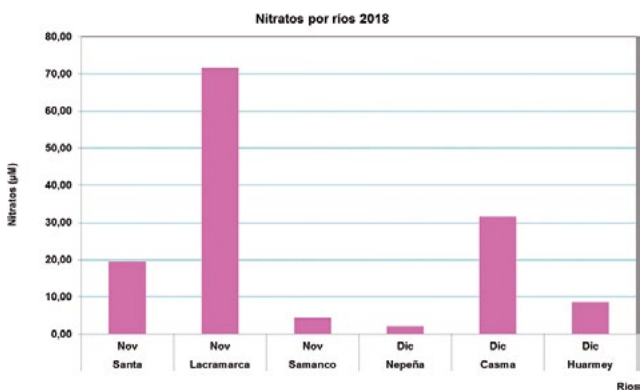


Figura 11.- Variación de nitratos (µM) por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 11. Nitrates variation (µM) by rivers. Ancash Region, 2018

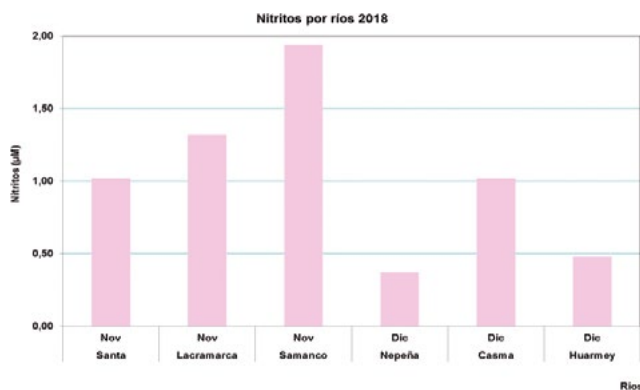


Figura 12.- Variación de nitritos (µM) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 12. Mean nitrite variation (µM) by rivers. Ancash Region, 2018

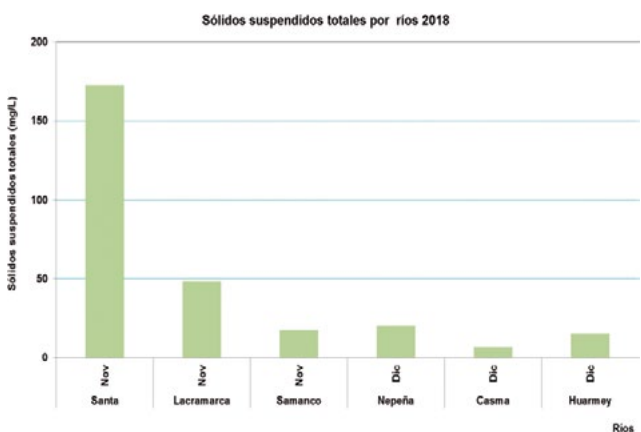


Figura 13.- Variación de sólidos suspendidos totales (mg/L) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 13. Mean total suspended solids variation (mg/L) by rivers. Ancash Region, 2018

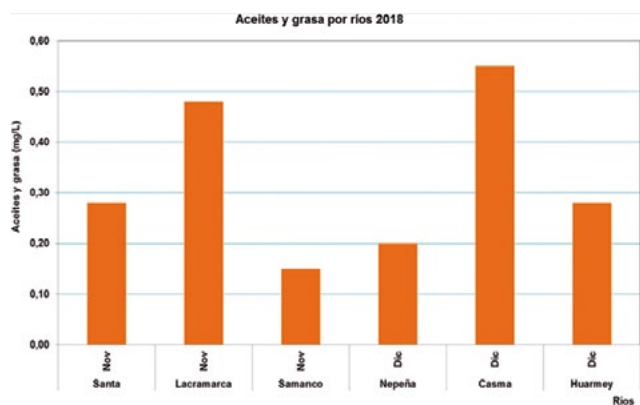


Figura 14.- Variación de aceites y grasa (mg/L) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 14. Mean oils and fat (mg/L) variation by rivers. Ancash Region, 2018

Nitratos.- Las concentraciones variaron de 2,09 μM (Nepeña) a 71,57 μM (Lacramarca), el promedio anual fue 22,97 μM . En las áreas evaluadas predominaron las concentraciones menores a 35 μM (Fig. 11).

Nitritos.- Las concentraciones fluctuaron entre 0,37 μM (Nepeña) y 1,94 μM (Samanco), el promedio anual fue 1,03 μM . Las concentraciones más bajas se encontraron en Nepeña y Huarney; en el resto del área evaluada fueron mayores a 1 μM (Fig. 12).

Sólidos suspendidos totales.- Presentaron concentraciones de 6,75 mg/L (Casma) a 172,70 mg/L (Santa), el promedio anual fue 46,91 mg/L. Predominaron concentraciones menores a 100 mg/L (Fig. 13).

Aceites y grasa.- Estas concentraciones fluctuaron entre 0,15 mg/L (Samanco) y 0,55 mg/L (Casma), el promedio anual fue 0,32 mg/L. La distribución presentó las concentraciones más altas en Lacramarca y Casma; en el resto de áreas evaluadas fueron menores a 0,35 mg/L (Fig. 14).

Demanda bioquímica de oxígeno.- Las concentraciones variaron de 3,79 mg/L (Casma) a 9,17 mg/L (Samanco), el promedio anual fue 5,84 mg/L. En algunas estaciones de Samanco y Huarney se registraron concentraciones mayores a 10 mg/L. Las concentraciones más altas se localizaron en Samanco y Huarney; en el resto de áreas evaluadas se encontraron menores a 6 mg/L (Fig. 15).

Silicates.- Concentrations in river basins ranged from 44.63 μM (Santa) to 89.76 μM (Samanco), with an annual mean of 66.87 μM . The highest concentration was located in Samanco; while in the remaining assessed areas, they were less than 80 μM (Fig. 10).

Nitrates.- Concentrations ranged from 2.09 μM (Nepeña) to 71.57 μM (Lacramarca), the annual mean was 22.97 μM . In the assessed areas, concentrations lower than 35 μM predominated (Fig. 11).

Nitrites.- Concentrations ranged from 0.37 μM (Nepeña) to 1.94 μM (Samanco), with an annual mean of 1.03 μM . The lowest concentrations were found in Nepeña and Huarney; in the remaining assessed area, they were greater than 1 μM (Fig. 12).

Total suspended solids.- They presented concentrations ranging from 6.75 mg/L (Casma) to 172.70 mg/L (Santa), with an annual mean of 46.91 mg/L. Concentrations below 100 mg/L predominated (Fig. 13).

Oils and fat.- These concentrations ranged from 0.15 mg/L (Samanco) to 0.55 mg/L (Casma), with an annual mean of 0.32 mg/L. The distribution presented the highest concentrations in Lacramarca and Casma; in the remaining assessed areas, they were less than 0.35 mg/L (Fig. 14).

Biochemical oxygen demand.- Concentrations ranged from 3.79 mg/L (Casma) to 9.17 mg/L (Samanco), with an annual mean of 5.84 mg/L. In some stations of Samanco and Huarney, concentrations higher than 10 mg/L were recorded. The highest concentrations were found in Samanco and Huarney; in the remaining assessed areas, they were less than 6 mg/L (Fig. 15).

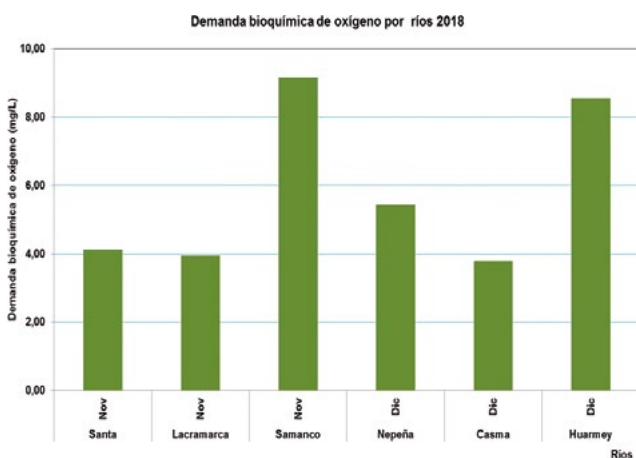


Figura 15.- Variación de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 15. Mean biochemical oxygen demand (mg/L) variation by rivers. Ancash Region, 2018

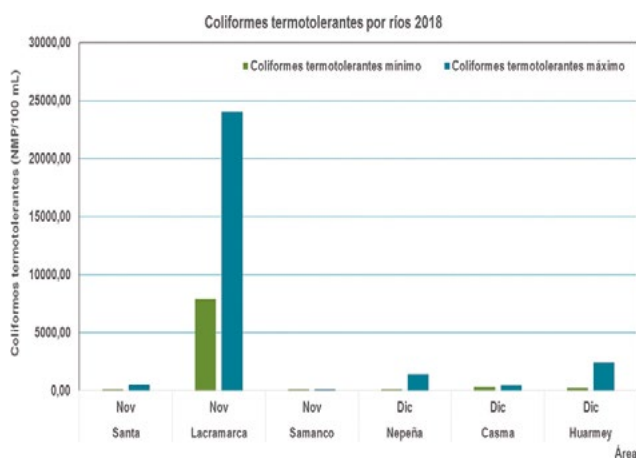


Figura 16.- Variación de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 16. Thermotolerant coliforms variation (NMP/100 mL) by rivers. Ancash Region, 2018

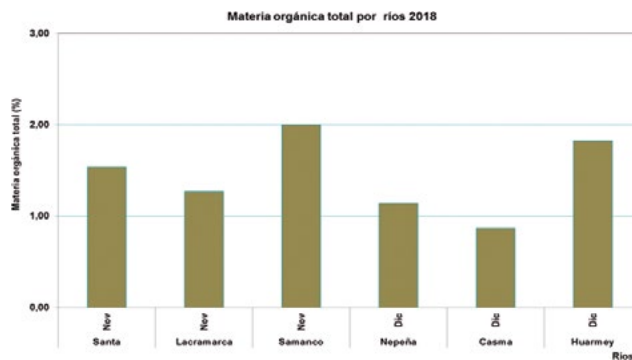


Figura 17.- Variación de materia orgánica total (%) promedio por ríos. Región Áncash, 2018

Figure 17. Mean total organic matter variation (%) by rivers. Ancash Region, 2018

Coliformes termotolerantes.-Las concentraciones variaron de 23 NMP/100 mL en Santa y Nepeña a 24.000 NMP/100 mL (Lacramarca). La distribución presentó concentraciones menores a 10.000 NMP/100 mL en la mayor parte de los ríos evaluados (Fig. 16).

Thermotolerant coliforms.- Concentrations ranged from 23 NMP/100 mL in Santa and Nepeña to 24,000 NMP/100 mL (Lacramarca). The distribution presented concentrations lower than 10,000 NMP/100 mL in most of the assessed rivers (Fig. 16).

Materia orgánica total.- En sedimento de río se presentaron concentraciones de 0,87% (Casma) a 2,00% (Samanco), el promedio anual fue 1,44%. La distribución presentó las concentraciones más altas en Samanco y Huarmey; en la mayor parte de los ríos evaluados se encontraron menores a 1,60%, algunas de ellas presentaron características organolépticas con textura de arena fina con fango y sin olor a sulfuros (Fig. 17).

Total organic matter.- In river sediment, concentrations ranging from 0.87% (Casma) to 2.00% (Samanco) were presented; the annual mean was 1.44%. The distribution presented the highest concentrations in Samanco and Huarmey; in most of the assessed rivers, they were less than 1.60%, some of them presented organoleptic characteristics with fine sand and mud texture and no sulfur odor (Fig. 17).

4. DISCUSIÓN

4. DISCUSSION

En el ecosistema marino-costero de la Región Áncash, en noviembre-diciembre 2018 las condiciones ambientales tuvieron un comportamiento de moderado a cálido, con registros térmicos altos en la bahía de Samanco y, variaciones locales propias de bahías semicerradas. Se registraron anomalías de 0,6 °C comparando con noviembre 2016 y 1,0 °C con diciembre 2017 (GARCÍA *et al.*, 2016, 2017). Los desplazamientos de las masas de agua presentaron velocidad y dirección variable pero con características locales propias en las bahías El Ferrol, Samanco y Tortuga, que por ser semicerradas no permiten una adecuada depuración y recambio de sus masas de agua. En las bahías Coishco, Los Chimus, Casma, Huarmey y caleta Culebras la circulación marina fue con dirección sur.

In November-December 2018, the environmental conditions in the coastal-marine ecosystem of the Áncash Region were moderate to warm, with high thermal records in Samanco Bay and local variations of semi-enclosed bays. There were anomalies of 0.6 °C as compared to November 2016 and 1.0 °C as compared to December 2017 (GARCÍA *et al.*, 2016, 2017). The movements of the water masses presented variable speed and direction but with their own local characteristics in the El Ferrol, Samanco, and Tortuga Bays since they are semi-enclosed and do not allow adequate purification and replacement of their water masses. In the Coishco, Los Chimus, Casma, Huarmey, and Culebras Bays, the marine circulation was southbound.

Los cambios observados en los campos termohalinos se explican considerando la intrusión de masas de aguas continentales (MORAGA *et al.*, 2001)

The changes observed in the thermo-haline fields are explained by considering the intrusion of

de los ríos Santa, Lacramarca, Samanco, Nepeña, Casma y Huarmey; así como, por el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, que en muchos de los casos no han tenido tratamiento primario, por que presentan la misma condición a los años 2012 y 2013 (GARCÍA *et al.*, 2012, 2013).

Los nutrientes presentaron algunas concentraciones que superaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 4 (Conservación del ambiente acuático, Ecosistemas marino costeros: Marinos) (MINAM, 2017). Los valores ligeramente altos se deben, probablemente, al continuo vertimiento de efluentes domésticos, industriales y algunas fábricas pesqueras no asociadas al emisor submarino. Los altos valores de nutrientes traen como consecuencia el proceso de la eutrofización (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011) y favorece el crecimiento masivo de algas, ocasionando *blooms* algales lo cual genera problemas ambientales, entre otros.

Los agentes contaminantes de sólidos suspendidos totales presentaron concentraciones que no superaron (60 mg/L) lo establecido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, (ECA), categoría 2 (Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, subcategoría C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras) (MINAM, 2017); respecto a los aceites y grasa durante la evaluación se determinaron concentraciones que presentaron valores puntuales mayores a 1 mg/L en algunas estaciones de las bahías de Coishco, El Ferrol y Samanco que sobrepasaron (1,00 mg/L) la normatividad vigente por los ECAs; los sulfuros de hidrógeno encontrados se presentaron menores a los ECA.

Durante la evaluación las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno no superaron lo permitido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2 (Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, subcategoría C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras) (MINAM, 2017), mientras que en el periodo del 2011 al 2013 presentaron concentraciones puntuales que sobrepasaron los ECAs.

Los indicadores de contaminación microbiológica respecto a coliformes totales presentaron las

inland water masses (MORAGA *et al.*, 2001) of the Santa, Lacramarca, Samanco, Nepeña, Casma, and Huarmey Rivers; as well as by the dumping of domestic and industrial wastewater, which in many cases have not had primary treatment, because they present the same condition in 2012 and 2013 (GARCÍA *et al.*, 2012, 2013).

According to the National Environmental Quality Standards for Water, category 4 (Conservation of the aquatic environment, Coastal marine ecosystems: Marine) (MINAM, 2017), nutrients surpassed, in a slightly way, the values established by such regulation. This is probably due to the continuous dumping of effluents from domestic, industrial, and some fishing factories origin not associated with the submarine emitter. The high values of nutrients lead to the process of eutrophication (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011) and favor the massive growth of algae, causing harmful algal blooms generating environmental problems, among others.

Total suspended solids pollutants showed concentrations that did not exceed (60.00 mg/L) what was established by the National Environmental Quality Standards for Water, (EQS), category 2 (Extraction, culture, and other coastal and continental marine activities, subcategory C2. Extraction and culture of other hydrobiological species in coastal marine waters) (MINAM, 2017); regarding oils and fat during the assessment, concentrations that presented specific values greater than 1 mg/L were determined in some stations of the Coishco, El Ferrol, and Samanco Bays that surpassed (1.00 mg/L) the regulations in force by the EQSs; the hydrogen sulfides found were lower than the EQSs.

During the assessment, concentrations of biochemical oxygen demand did not exceed what is permitted by the National Environmental Quality Standards for Water, category 2 (Extraction, culture, and other coastal and continental marine activities, subcategory C2. Extraction and culture of other hydrobiological species in coastal marine waters) (MINAM, 2017), while in the period from 2011 to 2013, they presented specific concentrations that exceeded the EQSs.

In Coishco and Samanco, microbial pollution indicators had the highest concentrations

concentraciones más altas en Coishco y Samanco (>1.500,00 NMP/100 mL); en tanto que en el resto de áreas evaluadas fueron <1.000 NMP/100 mL. Los indicadores de coliformes termotolerantes presentaron en algunas estaciones concentraciones que sobrepasaron lo normado ($\leq 30,00$ NMP/100 mL) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2 (Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, subcategoría C2) (MINAM, 2017).

La bahía El Ferrol mostró las concentraciones más altas de materia orgánica total denotándose mayor cantidad de sedimento fangoso, que se debe a los aportes continentales, antrópicos y sobre todo a pasivos ambientales de años anteriores. El sedimento marino presentó casos de olores a sulfuros y color negro propio de sustratos reducidos y semireducidos. El proceso de óxido – reducción del sedimento indica el estado de afectación del fondo marino, sobre todo en áreas sometidas a perturbación, como es el caso de estudio.

La calidad acuática por la línea costera de la Región Áncash, presentó registros térmicos variables y valores de oxígeno normales para la estación; en tanto que, la distribución halina fue influenciada por descargas continentales y vertidos antrópicos con valores por debajo de 34,800 ups en la parte norte, desde El Ferrol hasta Coishco, en estas dos áreas existen descargas continentales de los ríos Santa en Coishco y Lacramarca en El Ferrol, aunados al vertido continuo de la industria pesquera en Coishco y de algunas empresas pesqueras no asociadas al emisor submarino en el Ferrol, la que produjo altos valores de nutrientes que en algunos casos presentaron valores puntuales que sobrepasaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2. Subcategoría C3. Actividades industriales o de saneamiento en aguas marino costeras (MINAM, 2017).

Los sólidos suspendidos totales presentaron concentraciones que no sobrepasaron lo permitido (70,00 mg/L) por la normatividad vigente; las demás áreas evaluadas cumplieron dicha norma; los aceites y grasa presentaron un valor puntual de 2,30 mg/L en la bahía El Ferrol que sobrepasó (2,00 mg/L) la normatividad vigente. Los sulfuros de hidrógeno en el 2018 presentaron un valor puntual de 0,4824 mg/L en la bahía El Ferrol que superó lo permitido (0,0500 mg/L) por el ECA.

of total coliforms (>1,500.00 NMP/100 mL); while in the remaining assessed areas, they were <1,000 NMP/100 mL. Thermotolerant coliform indicators showed concentrations in some stations that surpassed what was regulated ($\leq 30,00$ NMP/100 mL) by the National Environmental Quality Standards for Water, category 2 (Extraction, culture, and other coastal marine and inland activities, subcategory C2) (MINAM, 2017).

El Ferrol Bay had the highest concentrations of total organic matter denoting a greater amount of muddy sediment, which is originated by continental, anthropogenic, and above all, environmental liabilities from previous years. The marine sediment was characterized by sulfur odors and the black color of reduced and semi-reduced substrates. The oxidation-reduction process of the sediment indicates how affected the seabed is, especially in areas undergoing disturbance, such as the case study.

The aquatic quality along the coastline of the Ancash Region presented variable thermal records and normal oxygen values for the season; While the haline distribution was influenced by continental and anthropogenic discharges with values below 34.800 ups in the northern part, from El Ferrol to Coishco; in these two areas, there are continental discharges from the Santa River in Coishco and Lacramarca River in El Ferrol, coupled with the continuous dumping of the fishing industry in Coishco and some fishing companies not associated with the submarine emitter in Ferrol, which produced high values of nutrients that, in some cases, presented specific values that surpassed National Environmental Quality Standards for Water, category 2. Subcategory C3. Industrial or sanitation activities in coastal marine waters (MINAM, 2017).

The total suspended solids presented concentrations that did not exceed what was permitted (70.00 mg/L) by current regulations; the other assessed areas complied with such regulations; the oils and fat presented a specific value of 2.30 mg/L in El Ferrol Bay that exceeded (2.00 mg/L) current regulations. Hydrogen sulfides, in 2018, presented a specific value of 0.4824 mg/L in El Ferrol Bay, which exceeded the maximum limit (0.0500 mg/L).

En la bahía de Coishco, la demanda bioquímica de oxígeno en el 2018 presentó un valor puntual de 10,76 mg/L que superó lo permitido de 10,00 mg/L; y las demás áreas evaluadas fueron menores a lo estipulado en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Respecto a los coliformes termotolerantes presentaron, en algunas estaciones, valores puntuales que superaron ($\leq 30,00$ NMP/100 mL) a la normatividad vigente de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2. Extracción, cultivos y otras actividades marino costeras (MINAM, 2017).

Los ríos de la costa presentaron en su mayoría terreno pedregoso con parches de arena fina y en algunos casos restos de fango, donde los valores de materia orgánica total no fueron altos en comparación a lo encontrado en el medio marino.

5. CONCLUSIONES

La calidad ambiental de la Región Áncash presentó una leve mejoría en relación a años anteriores, a excepción de las bahías de Coishco y El Ferrol las cuales siguen influenciadas por los continuos vertimientos de aguas de uso doméstico, aguas de escorrentía agrícola y ocasionalmente industrial y el pasivo ambiental de más de 50 años como es el caso de El Ferrol, estas fuentes de contaminación tienen un impacto negativo sobre el ecosistema marino, las actividades económicas y la salud humana.

Por mar somero y línea de playa se encontraron restos de basura doméstica como bolsas, botellas de plástico, empaques de *sixpack*; manchas negras oleosas, restos de vegetales descomposición de mamíferos y aves marinas, principalmente en la zona central de Coishco, y parte norte y central de El Ferrol.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a los señores: César Tinoco Robles, Armando Crispín Carpio, Agustín Pizán Cadillo, David Bayona, Luis Cadillo, a la Ing. Georgina Flores, Ing. Manuel Guzmán, Blgo. Daysi Tirado por su apoyo en los análisis físicos, químicos y biológicos, también a los miembros de la tripulación Imarpe V.

In Coishco Bay, the biochemical oxygen demand in 2018 had a specific value of 10.76 mg/L, which exceeded the limit of 10.00 mg/L; and the other assessed areas were lower than what was established in the National Environmental Quality Standards for Water. Regarding thermotolerant coliforms, in some stations, they presented specific values that exceeded (≤ 30.00 NMP/100 mL) the current regulations of the National Environmental Quality Standards for Water, category 2. Extraction, culture, and other coastal marine activities (MINAM, 2017).

The coastal rivers presented mostly stony terrain with patches of fine sand and in some cases remains of mud, where the total organic matter values were not high in comparison to what was found in the marine environment.

5. CONCLUSIONS

The environmental quality of the Ancash Region showed a slight improvement over previous years, except for the Coishco and El Ferrol Bays which are still influenced by continuous discharges of domestic water, agricultural, and occasionally industrial runoff and the environmental liabilities of more than 50 years as is the case of El Ferrol, these sources of pollution have a negative impact on the marine ecosystem, economic activities, and human health.

By shallow sea and beach line, remains of domestic garbage were found, such as bags, plastic bottles, six-pack packages; oily black spots, remains of vegetable decomposition of marine mammals and birds, mainly in the central area of Coishco, and the northern and central part of El Ferrol.

Acknowledgments

Special thanks to César Tinoco Robles, Armando Crispín Carpio, Agustín Pizán Cadillo, David Bayona, Luis Cadillo, Engr. Georgina Flores, Engr. Manuel Guzmán, Biol. Daysi Tirado for their support in the physical, chemical, and biological analyses, also to the members of the Imarpe V crew.

REFERENCIAS / REFERENCES

- APHA, AWWA, WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition.
- CAMPUZANO S, CAMACHO J E, ALVAREZ A. 2006. Caracterización del desecho tóxico producido en PYMES que fabrican detergentes. *Gestión y Ambiente*, 9(1), undefined-undefined. [fecha de Consulta 18 de Octubre de 2019]. ISSN: 0124-177X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1694/169421183006>
- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater. *NASCD Report. Journal of Marine Research*. 24: 286 - 318.
- CONOPUMA C. 1989. Inventario y caracterización de la contaminación proveniente de actividades terrestres en el área costera de Lima Metropolitana y Chimbote. Seminario sobre Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina en el Pacífico Sudeste, Cali - Colombia.
- CUADROS M, GONZALES J. 1991. Estudio del impacto ambiental de los efluentes de la industria pesquera en la Bahía Ferrol en Chimbote.
- DEAN JR. W E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *J. Sedim. Petrol.* 44(1): 242 - 248.
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENT. 1976. Environmental Laboratory Water Resources Service. A laboratory manual for the chemical analysis of waters, wastewater sediments and biological tissues. Second Edition Vancouver. B.C.
- ENRIQUEZ E, OROZCO R, CASTILLO S, FERNÁNDEZ E, SÁNCHEZ S, MORÓN O, CÓRDOVA J. 1998. Estado del ecosistema marino de las bahías El Ferrol y Samanco afectado por vertidos orgánicos, Chimbote. Junio 1997. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú*.
- GARCÍA V, OROZCO R. 2017. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Diciembre 2017. Informe Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, OROZCO R. 2016. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Noviembre y Abril-mayo 2016. Informes Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, OROZCO R. 2015. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Noviembre y Abril. Informes Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, GONZALES I, OROZCO R, SÁNCHEZ S. 2014. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Diciembre, Setiembre y Abril. Informes Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, RUBIO J, SÁNCHEZ G, OROZCO R. 2009. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Agosto-setiembre y Marzo. Informes Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, HUERTO M, CERVANTES C, LEÓN J, CÓRDOVA N. 2011. Caracterización ambiental y potencial pesquero 2004 - 2011: Bahía de Samanco, Chimbote, Perú. Informe Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, RUBIO J, SÁNCHEZ G, OROZCO R, DOMÍNGUEZ N. 2008. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Setiembre-octubre 2008. Informe Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, RUBIO J, SÁNCHEZ S, OROZCO R, HUERTO M, CERVANTES C. 2013. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Informe Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, RUBIO J, SÁNCHEZ G, OROZCO R, HUERTO M, CERVANTES C. 2012. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Informe Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, RUBIO J, SÁNCHEZ G, OROZCO R, HUERTO M, CERVANTES C. 2011. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Informe Interno. Inst. Mar Perú. Vol. 40. N°s 1-2.
- GARCÍA V, RUBIO J, SÁNCHEZ G, OROZCO R, HUERTO M, CERVANTES C. 2010. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Octubre-noviembre y Junio. Informes Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, TRESIERRA A, SÁNCHEZ G, OROZCO R, BERNALES A, CAMPOS M. 2007. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Marzo. Informe Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, TRESIERRA A, SÁNCHEZ G, OROZCO R, DELGADO E, CRISPÍN A. 2006. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Abril. Informe Interno. Inst. Mar Perú.
- GARCÍA V, RUBIO J, TRESIERRA A, SÁNCHEZ G, OROZCO R, BERNALES A, DOMÍNGUEZ N. 2008. Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Áncash. Junio y Abril. Informes Interno. Inst. Mar Perú.
- GRASSHOF K. 1976. Methods of seawater Analysis. Verlag CEIME. New York.
- GUZMÁN M, JACINTO M, GANOZA F, VELAZCO F, CRISPÍN M. 2002. Prospección para la evaluación de las condiciones ambientales y sedimentológicas en la bahía El Ferrol, Chimbote. 22 al 25 Junio. Informe interno. Inst. Mar Perú. 09-16.
- HERNÁNDEZ E, AGUIRRE N, PALACIO J. 2011. Relación entre la determinación del pigmento Clorofila "a" y el Biovolumen geométrico algal en el lago de planicie de inundación (Ciénaga de Ayapel, Córdoba-Colombia). Mayo 2011. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquía-Colombia*. 60: 159 - 169.
- INTERNATIONAL STANDARD. 1983. Water quality deterioration of biochemical oxygen demand after day (BODn). Dilution and seeding method. ISO 5815. International Standard. 12 pp.
- JACINTO M, CHÁVEZ J, MORÓN O, SÁNCHEZ S, CÓRDOVA J. 1997. Evaluación de la calidad del medio marino en la bahía de Ferrol, Chimbote (17 - 19 abril 1996). *Inf. Prog. Inst. Mar Perú*. 69: 15-46.
- JACINTO M, GUZMÁN M, MORÓN O, DELGADO E, CÓRDOVA J. 1997. Evaluación de la calidad del medio marino en la bahía de Ferrol, Chimbote. Octubre 1995. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú*. 49: 3 - 30.
- MINAM. 2017. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Norma Legal, El Peruano.
- MORAGA J, VALDEBENITO E, RUTLLANT J. 2001. Condiciones oceanográficas durante la fase de relajación de un evento de surgencia invernal frente a Punta Lengua de

- Vaca, Coquimbo. Investigaciones marinas, 29(1), 59-71. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782001000100006>
- MORÓN O. 2000. Características del ambiente marino frente a la costa peruana. Bol Inst Mar Perú. 19 (1-2): 179 - 204.
- OROZCO R, ENRIQUEZ E, MORÓN O, CASTILLO S, FERNÁNDEZ E, CÓRDOVA J. 1996. Evaluación de la contaminación y calidad microbiológica del agua de mar en las bahías de Ferrol y Samanco, Chimbote. Febrero 1996. Inf. Prog. Inst. Mar Perú. 56.
- SÁNCHEZ G, LI G, FLORES G, MORÓN O, OROZCO R. 1994. Evaluación de efectos de la contaminación en comunidades marinas en las bahías El Ferrol y Samanco. Chimbote. Informe Interno. Inst. Mar Perú. 08-23.
- STRICKLAND J, PARSON T. 1972. Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Board of Canada Ottawa. Bulletin 167.
- TRESIERRA A, GARCÍA V, HUERTO M, BERRÚ P, REYES D, CERVANTES C. 2007. Recursos vivos y ambiente de las bahías Coishco, El Ferrol y Samanco de la Región Áncash, Chimbote. Perú 2001 - 2005. Enero - Marzo 2007. Inf. Vol. 34. N° 1 Prog. Inst. Mar Perú. 09-51.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). 1986. Quality Criteria for Water. 1 May 1986. Determination total solid suspended. Office of Water Regulations and Standards, Washington D.C., USA.

BIODIVERSIDAD DEL MICROFITOPLANCTON FRENTE A CALLAO (12°S)

BIODIVERSITY OF MICROPHYTOPLANKTON OFF CALLAO (12°S)

Elcira Delgado Loayza¹

RESUMEN

DELGADO E. 2019. Biodiversidad del microfitoplancton frente a Callao (12°S). Bol Inst Mar Perú. 34(2): 432-455.- Diatomeas y dinoflagelados son considerados como los grupos más abundantes y diversos de microalgas del fitoplancton. Esta investigación da a conocer la composición relativa del microfitoplancton, recolectado mediante arrastres superficiales con red (75 µm de luz de malla) dentro de las 20 mn de la zona costera del Callao, en el período abril 1993 a noviembre 2010. El análisis del material se efectuó con microscopios de luz. Se determinaron 241 especies, 124 de diatomeas, 114 de dinoflagelados y 3 de silicoflagelados. Mayor riqueza presentaron *Chaetoceros* (25 especies), *Protoperidinium* (28 especies) y *Tripes* (32 especies). Se describe variación interanual, estacional y temporal de la riqueza de especies de los grupos del microfitoplancton, incluyendo información acerca de indicadores biológicos de masas de agua, de eventos El Niño/La Niña y su distribución. La riqueza de especies en el Callao se considera alta, especialmente porque es una de las principales áreas de afloramiento con similares riquezas que en otras zonas del mar peruano. Cinco especies correspondieron a nuevos registros: *Entomoneis alata* Ehrenberg, *Amylax triacantha* Sournia, *Dinofurcula* cf. *ventralis* Kofoid & Skogsberg, *Protoperidinium venustum* Balech y *Glenodinium* cf. *cinctum* Ehrenberg.

PALABRAS CLAVE: biodiversidad, diatomeas, dinoflagelados, silicoflagelados, Callao

ABSTRACT

DELGADO E. 2019. Biodiversity of microphytoplankton off Callao (12°S). Bol Inst Mar Peru. 34(2): 432-455.- Diatoms and dinoflagellates are considered as the most abundant and diverse groups of phytoplankton microalgae. This research reveals the relative composition of microphytoplankton within the 20 nm of the coastal zone of Callao, from April 1993 to November 2010, collected by means of superficial trawls with net (75 µm mesh size). The material was analyzed with light microscopes. A total of 241 species were determined: 124 diatoms, 114 dinoflagellates, and 3 silicoflagellates. *Chaetoceros* (25 species), *Protoperidinium* (28 species), and *Tripes* (32 species) presented greater richness. Inter-annual, seasonal, and temporal variation of species richness is described, including information on biological indicators of water masses, El Niño/La Niña events, and their distribution. The species richness in Callao is considered high since it is one of the main upwelling areas with a similar richness to other areas of the Peruvian sea. Five species corresponded to new records: *Entomoneis alata* Ehrenberg, *Amylax triacantha* Sournia, *Dinofurcula* cf. *ventralis* Kofoid & Skogsberg, *Protoperidinium venustum* Balech, and *Glenodinium* cf. *cinctum* Ehrenberg.

KEYWORDS: biodiversity, diatoms, dinoflagellates, silicoflagellates, Callao

1. INTRODUCCIÓN

El fitoplancton marino es una comunidad de microalgas que habita el ambiente pelágico y tiene, en su mayoría, capacidad de fotosíntesis. Sin embargo, muchas especies consideradas como autótrofas (fotosíntesis) son mixotróficas o aún heterótrofas y predadoras como los dinoflagelados. Esta comunidad heterogénea de microalgas (entre 2 µm y 2 mm en tamaño) incluye casi 20 clases taxonómicas de microalgas o protistas que se encuentran errantes en el ambiente pelágico y son productores primarios, lo que los sitúa como la base de las tramas alimenticias en el medio marino (HERNÁNDEZ-BECERRIL, 2003).

1. INTRODUCTION

Marine phytoplankton is a microalgae community that inhabits the pelagic environment and has, mostly, photosynthesis capacity. Nevertheless, many species considered as autotrophic (photosynthesis) are mixotrophic or even heterotrophic and predatory such as dinoflagellates. This heterogeneous microalga community (between 2 µm and 2 mm in size) includes almost 20 taxonomic classes of microalgae or protists that are errant in the pelagic environment and are primary producers, which places them at the base of food webs in the marine environment (HERNÁNDEZ-BECERRIL, 2003).

1 IMARPE, DGIOCC. Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. edelgado@imarpe.gob.pe

El ecosistema de la corriente de Humboldt frente a Perú considerado como uno de los más productivos del mundo (RYTHER, 1969; CHAVEZ & BARBER, 1985), en el que el fitoplancton como primer nivel de la malla trófica determina una extraordinaria riqueza biológica reflejada en la productividad marina donde se realizan las principales pesquerías pelágicas (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1985). En el mar peruano son dominantes las variaciones estacionales e interanuales en el que destacan fenómenos trascendentales y con características peculiares como el afloramiento costero, El Niño (EN) y La Niña (LN) que regulan en gran medida el régimen hídrico de la franja costera (régimen hídrico y el ecosistema costero).

El fitoplancton se distribuye a lo largo del litoral peruano; en ciertas áreas la mayor abundancia llega hasta las 60 millas náuticas, siendo el grupo de las diatomeas uno de los componentes principales, afuera de ella, el fitoplancton está representado por los dinoflagelados y cocolitofóridos (OCHOA y GÓMEZ, 1988).

La distribución del fitoplancton cambia durante el año, dependiendo de las condiciones ambientales y de las diferentes masas de agua que dominan en la región, es decir cuando se presenta El Niño el efecto es inmediato en el primer nivel trófico, la gran productividad que caracteriza al mar peruano disminuye considerablemente, cambia la composición, distribución y la abundancia fitoplanctónica. Las diatomeas son remplazadas por especies de diatomeas y dinoflagelados tropicales (OCHOA, 1987, 1997). Mientras que ante eventos fríos, tipo La Niña, se produce mayor intensidad de los afloramientos, corrientes y vientos, factores que favorecen al crecimiento del fitoplancton.

En la zona frente al Callao, la distribución del fitoplancton en la región costera está constituida principalmente por diversidad de diatomeas y muchas especies de dinoflagelados. Los cocolitofóridos se distribuyen en la región oceánica, coinciden con otras áreas de afloramiento como Chimbote y San Juan donde se desarrolla una secuencia de poblaciones alrededor del centro de surgencia que reflejan las etapas de la sucesión fitoplanctónica.

El presente trabajo tiene como propósito fundamental conocer la biodiversidad del microfitoplancton marino en la zona del Callao con énfasis en los cambios de la riqueza específica y distribución horizontal de la comunidad del microfitoplancton dentro de las 20 millas náuticas y durante el período 1993 y 2010.

The ecosystem of the Humboldt Current off Peru is considered one of the most productive areas in the world (RYTHER, 1969; CHAVEZ & BARBER, 1985), where phytoplankton, as the first level of the food web, determines an extraordinary biological richness reflected in the great marine productivity where the main pelagic fisheries are carried out (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1985). Seasonal and inter-annual variations are dominant in the Peruvian sea, with transcendental phenomena and particular characteristics such as the coastal upwelling, El Niño (EN), and La Niña (LN) that regulate to a great extent the hydric regime of the coastal stripe (hydric regime and coastal ecosystem).

The phytoplankton is distributed along the Peruvian coast; in certain areas, the greatest abundance reaches up to 60 nautical miles and the diatoms group is one of the main components; outside of it, the phytoplankton is represented by dinoflagellates and coccolithophorids (OCHOA & GÓMEZ, 1988).

The phytoplankton distribution changes throughout the year, depending on the environmental conditions and the different water masses that dominate the region. When El Niño occurs, the effect is immediate at the first trophic level, being reflected in a decrease in the productivity of the Peruvian sea; the composition, distribution, and abundance of phytoplankton changes. Diatoms are replaced by tropical species of diatoms and dinoflagellates (OCHOA, 1987, 1997). While in cold events, (La Niña) greater intensity of upwelling, currents, and winds, factors that favor the growth of phytoplankton are presented.

Phytoplankton is mainly formed by a diversity of diatoms and many species of dinoflagellates in the coastal zone off Callao. The coccolithophorids are distributed in the oceanic region and coincide with other upwelling areas such as Chimbote and San Juan where a sequence of populations develops around the upwelling center that reflect the stages of phytoplankton succession.

This work has as its main objective to know the biodiversity of marine microphytoplankton in Callao, with an emphasis on the changes in the specific richness and horizontal distribution of the microphytoplankton community, within 20 nautical miles and between 1993 and 2010.

Importancia del fitoplancton marino

En el 2003 HERNÁNDEZ-BECERRIL explicó los papeles ecológicos que se han relacionado al fitoplancton marino y que son de gran importancia como:

“Las características fotosintéticas de la gran mayoría de especies fitoplanctónicas las convierte en productores primarios, pero la capacidad de mixotrofia y heterotrofia de otras especies (especialmente los dinoflagelados, crisofíceas y haptofíceas) también convierte a parte del fitoplancton en consumidores primarios, por lo que sus especies ocupan diferentes nichos ecológicos y cuyas características incrementan la complejidad de las redes tróficas microbianas marinas”.

“La incorporación del bióxido de carbono (CO₂) por la comunidad del fitoplancton es muy notable; las investigaciones oceanográficas revelan que la mayoría de los componentes fitoplanctónicos, principalmente las diatomeas (Mann, 1999; Smetacek, 1999) juegan un papel vital en la asimilación del CO₂ y en el ciclo del carbono oceánico, pues la liberación de oxígeno a la atmósfera es considerable”.

“El fitoplancton marino interviene en ciclos bioquímicos del Carbono, Oxígeno, Hidrógeno, Nitrógeno, Fósforo, Silíceo y otros elementos como: Azufre, Sodio, Cloro, Potasio, Hierro; así como otros en diferentes metales traza. La mayoría de estos elementos se presentan en formas iónicas constituyendo los denominados nutrientes que son asimilados por el fitoplancton para su crecimiento”.

“Existen especies fitoplanctónicas productoras de toxinas que afectan la vida marina y amenazan la salud humana, ya que provocan intoxicaciones y síndromes en zonas costeras de todo el mundo, causando pérdidas económicas a la acuicultura y las pesquerías. En los últimos años se ha observado un incremento en los casos de fitoplancton tóxico y nocivo a nivel mundial (Hallegraeff, 1993)”.

“Se ha demostrado que muchas especies del fitoplancton marino producen n-dimetil sulfuro (DMS), sustancia precursora que interviene en la formación de nubes (Malin *et al.*, 1994); los cocolitofóridos juegan un papel muy importante en esta producción (Malin *et al.*, 1992; Brown & Yoder, 1994), las proliferaciones primaverales de cocolitofóridos en el Atlántico Norte son probablemente la fuente de lluvia

Importance of marine phytoplankton

In 2003, HERNÁNDEZ-BECERRIL explained the ecological roles that have been related to marine phytoplankton and that are of great importance such as:

“The photosynthetic characteristics of the vast majority of phytoplanktonic species make them primary producers, but the mixotrophy and heterotrophy capacity of other species (especially the dinoflagellates, chrysophyta, and haptophyte) also makes part of the phytoplankton primary consumers, so their species occupy different ecological niches and whose characteristics increase the complexity of marine microbial food webs”.

“It is noticeable the incorporation of carbon dioxide (CO₂) by the phytoplankton community; oceanographic research reveals that most phytoplanktonic components, mainly diatoms (Mann, 1999; Smetacek, 1999) play a vital role in the assimilation of CO₂ and in the ocean carbon cycle, as the release of oxygen into the atmosphere is considerable”.

“Marine phytoplankton intervenes in carbon biochemical cycles. Oxygen, Hydrogen, Nitrogen, Phosphorus, Silicon, and other elements such as Sulphur, Sodium, Chlorine, Potassium, Iron; as well as others in different trace metals. Most of these elements are presented in ionic forms constituting the so-called nutrients that are assimilated by the phytoplankton for their growth”.

“There are toxin-producing phytoplankton species that affect marine life and threaten human health, causing poisonings and syndromes in coastal areas worldwide and generating economic losses to aquaculture and fisheries. Recent years have seen an increase in cases of toxic and harmful phytoplankton worldwide (Hallegraeff, 1993)”.

“Many species of marine phytoplankton have been shown to produce dimethyl sulfide (DMS), a precursor substance involved in cloud formation (Malin *et al.*, 1994); coccolithophorids play a very important role in this production (Malin *et al.*, 1992; Brown & Yoder, 1994), the spring proliferations of coccolithophorids in the North Atlantic are probably the source of acid rain in Western

ácida en Europa Occidental (Malin *et al.*, 1993) y por otro lado, el efecto de la radiación ultravioleta se ha venido estudiando en la comunidad de fitoplancton del sur del planeta, donde el agotamiento de la capa de ozono es muy conspicuo (Marchant *et al.*, 1991; Neale *et al.*, 1992; Vincent & Roy, 1993). Pero también en otras zonas del planeta (Häder, 1997)".

También, es importante mencionar las utilidades del fitoplancton marino; se han ampliado los usos de cepas y cultivos de especies fitoplanctónicas para alimentación de larvas, juveniles y adultos de especies con potencial comercial y el cultivo masivo de muchas especies para la extracción de sustancias y compuestos como pigmentos, biodiesel, entre otros.

Por otro lado, varias especies están consideradas para hacer estudios de modelos oceanográficos, en estudios de paleoceanografía, de evolución y de biogeografía. Los registros fósiles de diatomeas, dinoflagelados, coccolitofóridos y silicoflagelados se usan en paleontología y reconstrucción de ambientes ancestrales.

Conceptos generales sobre diversidad biológica

La Convención sobre diversidad biológica (biodiversidad) realizada en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992, establece que "Diversidad biológica significa la variabilidad entre grupos vivos de todos los orígenes y los complejos ecológicos de los cuales ellos son parte; esto incluye la diversidad dentro de especies y de ecosistemas" (GASTON & SPICER, 1998). La biodiversidad puede ser medida de diferentes maneras, pero en la práctica se mide en término de riqueza de especies.

Especie es la unidad más común y práctica cuando se describe y se mide la biodiversidad y se considera la especie como el nivel biológico más natural. El recuento de especies (riqueza específica) es una medida más frecuentemente usadas en biodiversidad (JOHN, 1944). La tarea de definir el concepto de especie es muy complicado en especial cuando se trata de microalgas o protistas, donde la reproducción sexual se conoce muy poco o no existe y entonces el concepto biológico de especie no se aplica (MANN, 1989, 1999). La gran mayoría de especies de microalgas planctónicas han sido definidas como especies morfológicas, con muy poca información sobre los procesos y mecanismos de reproducción, de tal manera que el concepto dominante de algas y microalgas es el morfológico (MANHART & McCOURT, 1992; WOOD & LEATHAM, 1992; MEDLIN, 1997). Se han tratado de utilizar secuencias moleculares

Europe (Malin *et al.*, 1993) and on the other hand, the effect of ultraviolet radiation has been studied in the phytoplankton community of the global south, where ozone depletion is very conspicuous (Marchant *et al.*, 1991; Neale *et al.*, 1992; Vincent & Roy, 1993). But also, in other areas of the planet (Häder, 1997)".

The utilities of marine phytoplankton should also be mentioned. The use of strains and cultures of phytoplankton species for feeding larvae, juveniles, and adults of species with commercial potential and the massive culture of many species for the extraction of substances and compounds such as pigments, biodiesel, among others, have been expanded.

On the other hand, several species are considered for studies of oceanographic models, paleoceanography, evolution, and biogeography studies. Fossil records of diatoms, dinoflagellates, coccolithophorids, and silicoflagellates are used in paleontology and reconstruction of ancestral environments.

General concepts on biological diversity

In June 1992, the Convention on Biological Diversity (Biodiversity) held in Rio de Janeiro, Brazil, states that "Biodiversity means the variability among living groups of all origins and ecological complexes from which they are a part; this includes diversity within species and ecosystems" (GASTON & SPICER, 1998). Biodiversity can be measured in different ways, but in practice, it is measured in terms of species richness.

Species is the most common and practical unit when describing and measuring biodiversity and considering the species as the most natural biological level. The counting of species (specific richness) is the most frequently used measure of biodiversity (JOHN, 1944). The task of defining the concept of species is very complicated, especially when it comes to microalgae or protists, where sexual reproduction is little known or does not exist and so the biological concept of species does not apply (MANN, 1989, 1999). The vast majority of planktonic microalgae species have been defined as morphological species, with very little information on the processes and mechanisms of reproduction, so that the dominant concept of algae and microalgae is morphological (MANHART & McCOURT, 1992; WOOD & LEATHAM, 1992; MEDLIN,

para separar (y en pocos casos, definir) especies fitoplanctónicas (MEDLIN *et al.*, 1991; MEDLIN, 1997). Por lo expuesto, en este estudio se hace referencia a las especies cuya determinación se basa en las características morfológicas de las células.

Recuento sistemático

A nivel mundial las revisiones taxonómicas del fitoplancton estuvieron enfocadas al grupo de las diatomeas y los dinoflagelados, las que se realizaron a inicios del siglo XX, siendo la primera la de Hustedt (1927-1966) y la segunda de Schiller (1931-1937). En 1991, Sournia con otros autores presentaron un registro de los organismos vivos del fitoplancton marino a nivel mundial, basados en SOURNIA (1986), RICARD (1987) y CHRÉTIENNOT-DINET *et al.* (1990). En 1993 CHRÉTIENNOT-DINET *et al.* (1993) publicaron una clasificación taxonómica del fitoplancton marino del mundo.

Dentro del fitoplancton marino, para el siglo XXI, HERNÁNDEZ-BECERRIL (2003) mencionó los cálculos más recientes para ese momento, indicando entre 3.444 y 4.375 especies reconocidas (SOURNIA *et al.*, 1991), entre 3.365 y 4.024 especies (SOURNIA, 1995) y cerca de 5.000 especies (TETT & BARTON, 1995). Los autores también difieren en el número de clases taxonómicas que forman parte del fitoplancton. Este número varía entre 15 y 19, con las propuestas de nuevas clases, como Pedinophyceae (MOESTRUP, 1991), Pelagophyceae (ANDERSEN *et al.*, 1993), Phaeothamniophyceae (BAILEY *et al.*, 1998), Bolidophyceae (GUILLOU *et al.*, 1999).

El Perú cuenta con una sola sinopsis sobre la flora planctónica marina (diatomeas y dinoflagelados) realizada desde 1950 hasta 1998, en la que fueron registradas 169 especies de diatomeas, agrupadas en 62 géneros, 20 familias y 2 órdenes, y 208 dinoflagelados incluidos en 38 géneros, 21 familias y 8 órdenes (OCHOA *et al.*, 1999).

Algunas características generales del microfitoplancton

Las diatomeas (Bacillariophyta, Diatomophyceae) son el grupo más conocido y diverso del fitoplancton marino; dependiendo de la clasificación tradicional, que se basa en la simetría de las valvas, se dividen en Centrales (presentan simetría radial) y Pennales (muestran simetría bilateral), también se han propuesto clasificaciones diferentes (ROUND *et al.*, 1990). El número estimado de especies planctónicas marinas varía de 1.365 a 1.783 spp. (SOURNIA, 1995). Diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*, producen ácido domoico (AD), una toxina que ocasiona envenenamiento amnésico por consumo de mariscos.

1997). Efforts have been made to use molecular sequences to separate (and in a few cases, define) phytoplankton species (MEDLIN *et al.*, 1991; MEDLIN, 1997). For these reasons, this study refers to species whose determination is based on the morphological characteristics of the cells.

Systematic counting

Taxonomic reviews of phytoplankton were focused on the group of diatoms and dinoflagellates, which were carried out worldwide at the beginning of the 20th century, the first being that of Hustedt (1927-1966) and the second of Schiller (1931-1937). In 1991, Sournia along with other authors presented a register of the living organisms of marine phytoplankton worldwide, based on SOURNIA (1986), RICARD (1987), and CHRÉTIENNOT-DINET *et al.* (1990). In 1993, CHRÉTIENNOT-DINET *et al.* (1993) published a taxonomic classification of the world's marine phytoplankton.

For the 21st century, HERNÁNDEZ-BECERRIL (2003) mentioned the most recent estimates of marine phytoplankton for that time, indicating between 3,444 and 4,375 recognized species (SOURNIA *et al.*, 1991), between 3,365 and 4,024 species (SOURNIA, 1995), and about 5,000 species (TETT & BARTON, 1995). The authors also differ in the number of taxonomic classes forming phytoplankton. This number varies between 15 and 19, with proposals for new classes, such as Pedinophyceae (MOESTRUP, 1991), Pelagophyceae (ANDERSEN *et al.*, 1993), Phaeothamniophyceae (BAILEY *et al.*, 1998), Bolidophyceae (GUILLOU *et al.*, 1999).

Peru has only one synopsis on marine planktonic flora (diatoms and dinoflagellates) elaborated from 1950 to 1998, in which 169 species of diatoms were registered, clustered in 62 genera, 20 families, and 2 orders, and 208 dinoflagellates included in 38 genera, 21 families, and 8 orders (OCHOA *et al.*, 1999).

Some general characteristics of microphytoplankton

Diatoms (Bacillariophyta, Diatomophyceae) are the most known and diverse group of marine phytoplankton; depending on the traditional classification, based on the symmetry of the valves, they are divided into Centrals (present radial symmetry) and Pennates (show bilateral symmetry), also different classifications have been proposed (ROUND *et al.*, 1990). The estimated number of marine planktonic species varies from

Los dinoflagelados (Dinophyta, Dinophyceae) son un grupo diverso y complejo de flagelados unicelulares, de acuerdo al tipo de teca, existen dos formas, los dinoflagelados tecados (con teca endurecida) y dinoflagelados atecados o desnudos (con teca frágil). El número de especies en el plancton marino según SOURNIA (1995) es de 1.514 y 1.880 spp. Pero según TAYLOR (1987) y STEIDINGER & TANGEN (1997) el número aproximado de especies vivientes es de 2.000. Existe un considerable número de especies que producen "mareas rojas" y toxinas que provocan diversos envenenamientos en los seres humanos (HALLEGRAEFF, 1993). Son sensibles a la temperatura y salinidad por lo que se les utiliza como indicadores de masas de agua.

Los silicoflagelados (Heterocontophyta, Dictyochophyceae) se conoce que forman un grupo bien definido de algas unicelulares y flageladas, exclusivamente marinas y planctónicas. Actualmente se considera un número reducido de especies vivientes, SOURNIA (1995) menciona de 1 a 3, todos dentro del género *Dictyocha*.

Antecedentes en el Perú

En el Perú, las primeras investigaciones sobre diatomeas y dinoflagelados, se iniciaron en aguas someras y de carácter local por LANDA (1953), BARREDA (1957) y ROJAS DE MENDIOLA (1958). Entre otros estudios que han considerado información sobre fitoplancton en aguas peruanas están: BARREDA (1957), BLASCO (1971), ROJAS DE MENDIOLA (1966a, b), ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1969, 1981, 1985), SOLÉ (1974), ROJAS DE MENDIOLA y ESTRADA (1976), OCHOA y GÓMEZ (1981, 1987, 1988 y 1997), DERTEANO (1982), OCHOA *et al.* (1985), SÁNCHEZ *et al.* (1988), ANTONIETTI (1989), DELGADO (1990, 1995), VÍLCHES *et al.* (1991), CALIENES (1992, 1966, 1973), ANTONIETTI *et al.* (1993), SÁNCHEZ (1994), GOMERO (1993).

Así mismo, se cuenta con los estudios de varios investigadores extranjeros, entre ellos GRAHAM y BRONIKOVSKY (1944), AVARIA (1965), HASLE & ROJAS DE MENDIOLA (1967), STRICKLAND *et al.* (1969), BALECH & ROJAS DE MENDIOLA (1977), BALECH (1978, 1988), PESANTES (1978, 1980), SUKHANOVA *et al.* (1978), RAT'KOVA (1981) y HENDRIKSON *et al.* (1982).

OCHOA *et al.* (1999) realizaron un listado de las diatomeas y dinoflagelados registrados en el mar peruano desde 1950 hasta 1998 y determinaron que estos dos grupos de fitoplanctontes representarían el 12% y 14% del total registrado en el mundo.

1,365 to 1,783 spp. (SOURNIA, 1995). Diatoms of the genus *Pseudo-nitzschia*, produce domoic acid (DA), a toxin that causes amnesic poisoning from seafood consumption.

Dinoflagellates (Dinophyta, Dinophyceae) are a diverse and complex group of unicellular flagellates, according to the type of theca, there are two forms, the one with hardened theca and the one with fragile theca. The number of species in marine plankton according to SOURNIA (1995) is 1,514 and 1,880 spp. On the other hand, TAYLOR (1987) and STEIDINGER & TANGEN (1997), estimate the approximate number of living species in 2,000. There is a considerable number of species that produce "red tides" and toxins that cause various poisonings in humans (HALLEGRAEFF, 1993). They are sensitive to temperature and salinity so they are used as indicators of water masses.

The silicoflagellates (Heterocontophyta, Dictyochophyceae) are known to form a well-defined group of unicellular and flagellates, exclusively marine and planktonic algae. SOURNIA (1995) mentions from 1 to 3, all within the genus *Dictyocha*.

Background in Peru

In Peru, the first researches on diatoms and dinoflagellates were initiated in shallow and local waters by LANDA (1953), BARREDA (1957), and ROJAS DE MENDIOLA (1958). Among other studies that have considered information on phytoplankton in Peruvian waters are: BARREDA (1957), BLASCO (1971), ROJAS DE MENDIOLA (1966a, b), ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1969, 1981, 1985), SOLÉ (1974), ROJAS DE MENDIOLA & ESTRADA (1976), OCHOA & GÓMEZ (1981, 1987, 1988, and 1997), DERTEANO (1982), OCHOA *et al.* (1985), SÁNCHEZ *et al.* (1988), ANTONIETTI (1989), DELGADO (1990, 1995), VÍLCHES *et al.* (1991), CALIENES (1992, 1966, 1973), ANTONIETTI *et al.* (1993), SÁNCHEZ (1994), GOMERO (1993).

It also includes the studies of several foreign researchers, among them GRAHAM & BRONIKOVSKY (1944), AVARIA (1965), HASLE & ROJAS DE MENDIOLA (1967), STRICKLAND *et al.* (1969), BALECH & ROJAS DE MENDIOLA (1977), BALECH (1978, 1988), PESANTES (1978, 1980), SUKHANOVA *et al.* (1978), RAT'KOVA (1981), and HENDRIKSON *et al.* (1982).

OCHOA *et al.* (1999) listed the diatoms and dinoflagellates recorded in the Peruvian Sea from 1950 to 1998 and determined that these two groups of phytoplankton would represent 12% and 14% of the total recorded in the world.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio comprende la zona frente al Callao, considerada como una de las principales áreas de surgencias del mar peruano, ubicada en 12°S. Las estaciones de muestreo se localizaron en una transecta perpendicular a la costa hasta 20 millas náuticas (mn). Las 4 estaciones con posiciones fijas fueron pre-seleccionadas, siendo éstas enumeradas correlativamente del 1 al 4 y localizadas a 5, 8, 13,5 y 20 millas náuticas (mn), respectivamente (Fig. 1).

Los cambios en la biodiversidad de los diferentes grupos se explican al haber analizado 388 muestras recolectadas entre julio de 1993 y noviembre de 2010. Los muestreos se iniciaron con una periodicidad mensual, luego bimensual y posteriormente por estación del año, en la Tabla 1 se da la relación de los muestreos y muestras recolectadas.

2. MATERIAL AND METHODS

The study area includes the zone off Callao -one of the main upwelling areas of the Peruvian sea- located at 12°S. The sampling stations were located in a transect perpendicular to the coast up to 20 nautical miles (nm). The 4 stations with fixed positions were pre-selected, being listed correlatively from 1 to 4 and located at 5, 8, 13.5, and 20 nautical miles (nm), respectively (Fig. 1).

Through the analyses of 388 samples, collected between July 1993 and November 2010, changes in the biodiversity of the different groups are explained. Sampling began monthly, then bimonthly, and then by the season of the year. Table 1 shows the ratio between the samplings and samples collected.

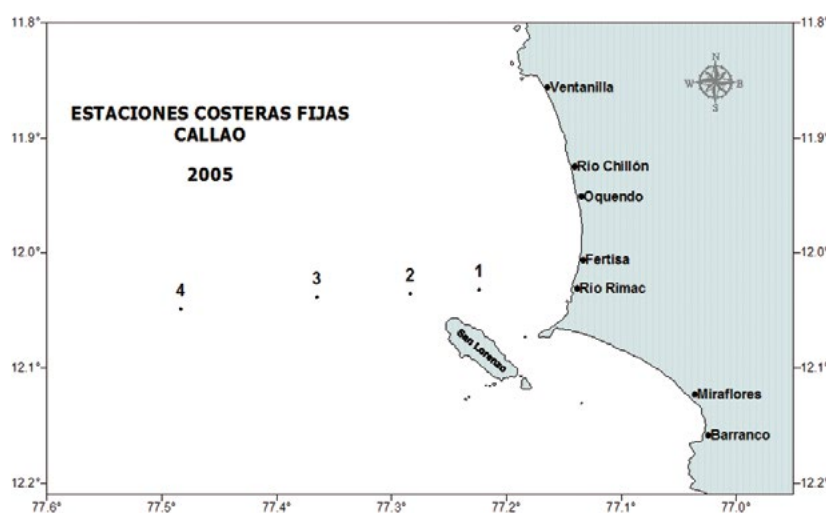


Figura 1.- Carta de posición de la Estación Costera Fija (ECF)

Figure 1. Fixed Coast Station (FCS) Position Chart

Tabla 1.- Relación de muestreos y muestras colectadas en la EFC Callao durante el período 1993-2010

Table 1.- List of samplings and samples collected in the Callao FCS. Period 1993-2010

Estación Station	Distancia a la costa Distance from the coast (mn)	Período de muestreo Sampling period	Nº de muestreos Nº of samples	Muestras recolectadas Collected samples
1	5	Julio 1993- noviembre 2010	106	116
2	8	Junio 1994 – noviembre 2010	100	100
3	13,5	Abril 1995 – noviembre 2010	90	88
4	20	Abril 1995 – noviembre 2010	90	84
Total				388

Muestreo y análisis biológico

Los muestreos se realizaron con una red estándar de fitoplancton de 75 µm de abertura de malla, mediante arrastres superficiales durante 5 minutos a 3 nudos de velocidad, siendo preservadas con formalina al 20%. Las muestras fueron analizadas utilizando microscopio de luz equipado con contraste de fase (Leica DM 2000 LED), según metodología del IMARPE y los resultados se expresaron en base a las abundancias relativas de cada componente del microfitoplancton (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1985).

Método de análisis

Para obtener el listado de las especies, presentados en la Tabla 2 (Anexo) se extrajeron de cada una de las fichas de análisis todos los registros (nombres científicos) de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados determinadas con certeza y también aquellos nombres inciertos (*circa forma- cf*) de especies que podrían incrementar el listado. El listado de nombres fue actualizado y depurado utilizando varias fuentes de información (CHRÉTIENNOT-DINET *et al.*, 1993; OCHOA *et al.*, 1999; GUIRY & GUIRY, 2019) señalando los sinónimos utilizados en la literatura consultada. En cada uno de los registros se anotó la estación por distancia a la costa donde el taxón fue encontrado y su frecuencia de aparición, considerando pautas de MEAVE DEL CASTILLO *et al.* (2003) quienes establecieron cuatro categorías: especies raras (<10%), especies escasas (10<30%), especies comunes (30<80%) y especies abundantes (>80%), los taxa contenidos en esta última fueron considerados como los formadores de florecimientos. Por último, se consultaron datos de literatura especializada así como también tesis y artículos de investigación (HASLE & ROJAS DE MENDIOLA, 1967; HASLE *et al.*, 1996; HENDEY, 1964; HERMOSILLA, 1973; HERNÁNDEZ-BECERRIL & MEAVE, 1996, 1997; HUSTED, 1927-1966; GRAHAM & BRONIKOVSKY, 1944; GRAHAM, 1942; BALECH, 1974, 1978, 1988; BALECH & ROJAS DE MENDIOLA 1977; ROJAS DE MENDIOLA, 1966a, 1966b, 1981; ROJAS DE MENDIOLA & ESTRADA, 1976; ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1981, 1985; CUPP, 1943; SOURNIA, 1967; SOURNIA *et al.*, 1979; SCHILLER, 1971; SUNDSTRÖM, 1986; GÁRATE-LIZÁRRAGA, 1988, 1989, 1991; LICEA *et al.*, 1995; VIDAL & LÓPEZ GARCÍA, 2011).

Para la determinación de especies indicadoras de masas de agua se utilizó los trabajos de OCHOA y GÓMEZ (1987, 1988, 1997), ANTONIETTI (1989), ZUTA y GUILLÉN (1970) y para algunos nuevos registros de especies se consideró los trabajos de HASLE *et al.* (1996) y BALECH (1988).

Sampling and biological analysis

The samples were taken by using a standard 75 µm phytoplankton net, by means of surface trawls for 5 minutes at a speed of 3 knots and they were preserved with 20% formalin. The samples were analyzed using a light microscope equipped with phase contrast (Leica DM 2000 LED), following the IMARPE methodology and the results were expressed based on relative abundances of each component of the microphytoplankton (ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1985).

Analysis method

In order to obtain the list of species presented in Table 2 (Annex), all the records (scientific names) of certain diatoms, dinoflagellates, and silicoflagellates and also those uncertain names (*circa forma- cf*) of species that could increase the list were extracted from each of the analysis sheets. The list of names was updated and refined through various sources of information (CHRÉTIENNOT-DINET *et al.*, 1993; OCHOA *et al.*, 1999; GUIRY & GUIRY, 2019) indicating the synonyms used in the referenced literature. In each of the records, the station by distance to the coast where the taxon was found and its frequency of appearance were noted, considering MEAVE DEL CASTILLO *et al.* (2003) guidelines which established four categories: rare species (<10%), scarce species (10<30%), common species (30<80%), and abundant species (>80%), the taxa contained in the latter were considered as bloom formers. Finally, data from specialized literature were consulted, as well as theses and research articles (HASLE & ROJAS DE MENDIOLA, 1967; HASLE *et al.*, 1996; HENDEY, 1964; HERMOSILLA, 1973; HERNÁNDEZ-BECERRIL & MEAVE, 1996, 1997; HUSTED, 1927-1966; GRAHAM & BRONIKOVSKY, 1944; GRAHAM, 1942; BALECH, 1974, 1978, 1988; BALECH & ROJAS DE MENDIOLA 1977; ROJAS DE MENDIOLA, 1966a, 1966b, 1981; ROJAS DE MENDIOLA & ESTRADA, 1976; ROJAS DE MENDIOLA *et al.*, 1981, 1985; CUPP, 1943; SOURNIA, 1967; SOURNIA *et al.*, 1979; SCHILLER, 1971; SUNDSTRÖM, 1986; GÁRATE-LIZÁRRAGA, 1988, 1989, 1991; LICEA *et al.*, 1995; VIDAL & LÓPEZ GARCÍA, 2011).

The works of OCHOA & GÓMEZ (1987, 1988, 1997), ANTONIETTI (1989), ZUTA & GUILLÉN (1970) were used to determine indicator species of water masses, and for some new species records the works of HASLE *et al.* (1996), and BALECH (1988) were considered.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se incluyen las clases taxonómicas que están representadas por especies en la Estación Fija Callao, en un intento de conocer el estado en cuanto a la diversidad microfitoroplanctónica marina (diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados) en aguas superficiales dentro de las 20 millas náuticas frente al Callao, considerada como una de las principales áreas de surgencia del mar peruano.

Se obtuvo un listado de 241 especies, de las cuales fueron 124 diatomeas, 114 dinoflagelados y 3 silicoflagelados (Fig. 2). Resultados que coincidieron con la revisión de la diversidad microalgal de Perú efectuada por OCHOA *et al.* (1999) quienes recopilaron los registros de las especies de microalgas o protistas en ambiente marino, siendo las diatomeas y dinoflagelados tecados (con cubierta rígida y preservable) los dos componentes principales de microalgas planctónicas más conocidas y estudiadas del mar peruano con 169 diatomeas y 208 dinoflagelados.

Del total de especies registradas, cinco correspondieron a nuevos registros para el Callao: La diatomea *Entomoneis alata* (Ehrenberg) Ehrenberg y los dinoflagelados *Amylax triacantha* (Jørgensen) Sournia, *Dinofurcula* cf. *ventralis* Kofoid & Skogsberg, *Protoperidinium venustum* (Matzenauer, 1993) Balech, 1974 y *Glenodinium* cf. *cinctum* Ehrenberg (Tabla 2 Anexo).

Las especies determinadas estuvieron contenidas en las clases Bacillariophyta, Dinophyta y Heterocontophyta.

Aproximadamente 42 de las especies registradas tuvieron valores de frecuencia mayores a 50% por lo que se puede señalar el siguiente listado de especies como típicas y/o características de esta zona: *Chaetoceros affinis* Lauder, *Ch. debilis* Cleve, *Ch. compressus* Lauder, *Ch. curvisetus* Cleve, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. lorenzianus*, *Coscinodiscus perforatus* Cleve & Möller, *C. wailesii* Gran & Angst, *Detonula pumila* Gran, *Ditylum brightwellii* Grunow, *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg, *Lithodesmium undulatum* Ehrenberg, *Planktoniella sol* Schütt, *Pleurosigma* sp. Smith, *Pseudo-nitzschia pacifica* Husted, *P. pungens* Hasle, *Neocaliptrella robusta* Hernández-Becerril & Meave del Castillo, *Skeletonema costatum* Cleve, *Thalassionema frauenfeldii* Tempere & Peragallo, *Thalassionema nitzschioides* Mereschkowsky, *Thalassiosira angulata* Hasle, *Thalassiosira subtilis* Gran, *Tripos dens* Gómez, *T. buceros* Gómez, *T. fusus* Gómez, *T. furca* Gómez, *T. vultur* Gómez,

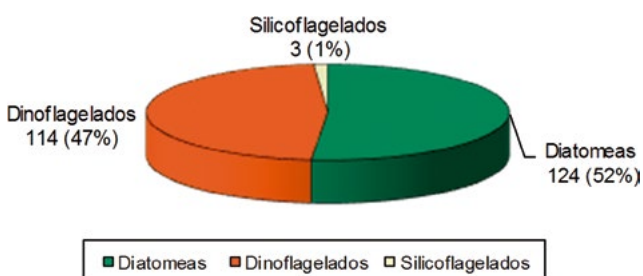


Figura 2.- Relativa contribución de los principales grupos taxonómicos del microfitoroplancton marino frente a Callao durante el período 1993-2010

Figure 2. Main taxonomic groups of marine microphytoplankton off Callao. Period 1993-2010

3. RESULTS AND DISCUSSION

The taxonomic classes are represented by species in the Callao Fixed Station, in an attempt to ascertain the status of marine microphytoplankton diversity (diatoms, dinoflagellates, and silicoflagellates) in surface waters within 20 nautical miles off Callao, which is one of the main upwelling areas of the Peruvian sea.

A total of 241 species were listed, including 124 diatoms, 114 dinoflagellates, and 3 silicoflagellates (Fig. 2). Results coinciding with the review of the microalgal diversity of Peru elaborated by OCHOA *et al.* (1999) who compiled the registers of the species of microalgae or protists in marine environment, being the diatoms and thecal dinoflagellates (with rigid and preservable cover) the two main components of planktonic microalgae, the most well-known and studied of the Peruvian sea (169 diatoms and 208 dinoflagellates).

Five of the total species registered corresponded to new registers for Callao: The diatom *Entomoneis alata* (Ehrenberg) Ehrenberg and the dinoflagellates *Amylax triacantha* (Jørgensen) Sournia, *Dinofurcula* cf. *ventralis* Kofoid & Skogsberg, *Protoperidinium venustum* (Matzenauer, 1993) Balech, 1974, and *Glenodinium* cf. *cinctum* Ehrenberg (Table 2, Annex).

The determined species were contained in the classes Bacillariophyta, Dinophyta, and Heterocontophyta.

About 42 of the registered species had frequency values greater than 50%, so the following list of species can be considered typical and/or distinctive of this area: *Chaetoceros affinis* Lauder, *Ch. debilis* Cleve, *Ch. compressus* Lauder, *Ch. curvisetus* Cleve, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. lorenzianus*, *Coscinodiscus perforatus* Cleve & Möller, *C. wailesii* Gran & Angst, *Detonula pumila* Gran, *Ditylum brightwellii* Grunow, *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg, *Lithodesmium undulatum* Ehrenberg, *Planktoniella sol* Schütt, *Pleurosigma* sp. Smith, *Pseudo-nitzschia pacifica* Husted, *P. pungens* Hasle, *Neocaliptrella robusta* Hernández-Becerril & Meave del Castillo, *Skeletonema costatum* Cleve, *Thalassionema frauenfeldii* Tempere & Peragallo, *Thalassionema nitzschioides* Mereschkowsky, *Thalassiosira angulata* Hasle, *Thalassiosira subtilis* Gran, *Tripos dens* Gómez, *T. buceros* Gómez, *T. fusus* Gómez, *T. furca* Gómez, *T. vultur* Gómez,

Ch. curvisetus Cleve, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. lorenzianus*, *Coscinodiscus perforatus* Cleve y Möller, *C. walesii* Gran & Angst, *Detonula pumila* Gran, *Ditylum brightwellii* Grunow, *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, *Lithodesmium undulatum* Ehrenberg, *Planktoniella sol* Schütt, *Pleurosigma* sp. Smith, *Pseudo-nitzschia pacifica* Husted, *P. pungens* Hasle, *Neocaliptrella robusta* Hernández-Becerril y Meave del Castillo, *Skeletonema costatum* Cleve, *Thalassionema frauenfeldii* Tempere & Peragallo, *Thalassionema nitzschioides* Mereschkowsky, *Thalassiosira angulata* Hasle, *Thalassiosira subtilis* Gran, *Tripos dens* Gómez, *T. buceros* Gómez, *T. fusus* Gómez, *T. furca* Gómez, *T. vultur* Gómez, *Dinophysis caudata* Saville-Kent, *Prorocentrum gracile* Schütt, *Protoperidinium conicum* Balech, *P. conicoides* Balech, *P. crassipes* Balech, *P. grande* Balech, *P. oblongum* Parke & Dodge, *P. pedunculatum* Balech, *P. conicoides* Balech, *P. depressum* Balech, *P. leonis* Balech, *P. mendiolae* Balech, *P. obtusum* Parke & Dodge (especie indicadora de Aguas Costeras Frías – ACF), *P. oceanicum* Balech, *P. pentagonum* Balech y *Dictyocha fibula* Ehrenberg (Tabla 2, Anexo).

Variación Temporal de la biodiversidad del microfitoplancton

Variación interanual: el análisis de este aspecto en relación a la riqueza específica determinó que la mayor contribución del número de microfitoplanctontes se presentó durante 1997, con un total de 147 especies, de las cuales 82 fueron diatomeas, 63 dinoflagelados y 2 silicoflagelados; la menor contribución se registró en 1993 al determinarse 100 especies, de las cuales 62 fueron diatomeas, 36 dinoflagelados y 2 silicoflagelados (Tabla 2, Anexo, Fig. 2).

Resaltó el incremento de especies de aguas cálidas y/o raras debido al evento EN 97-98, que coincidió con los resultados obtenidos por GUTIÉRREZ *et al.* (2005) para las zonas costera de Paita y San José, OCHOA y RUILLÓN (2001) y GÓMEZ (2001) para la bahía de Ancón e Ilo, respectivamente. Este comportamiento se explica por el ingreso de nuevas especies, situación que también sucedió durante EN 2006 (tipo moderado) observado en este estudio con 142 especies (85 diatomeas, 55 dinoflagelados y 2 silicoflagelados) (Tabla 2 Anexo, Fig. 3). En todos esos años (1993-2010) las diatomeas fueron las que tuvieron mayor incidencia porque esta zona corresponde a un sistema productivo.

Por otro lado, se produjo un incremento de especies principalmente en 1998 con 136 especies (74 diatomeas, 60 dinoflagelados y 2 silicoflagelados), en este período el afloramiento más activo pudo favorecer la predominancia de diatomeas de alta tasa de reproducción, propias de áreas costeras (Fig. 3).

Dinophysis caudata Saville-Kent, *Prorocentrum gracile* Schütt, *Protoperidinium conicum* Balech, *P. conicoides* Balech, *P. crassipes* Balech, *P. grande* Balech, *P. oblongum* Parke & Dodge, *P. pedunculatum* Balech, *P. conicoides* Balech, *P. depressum* Balech, *P. leonis* Balech, *P. mendiolae* Balech, *P. obtusum* Parke & Dodge (Cold Coastal Waters indicator species – CCW), *P. oceanicum* Balech, *P. pentagonum* Balech, and *Dictyocha fibula* Ehrenberg (Table 2, Annex).

Temporal variation of microphytoplankton biodiversity

Inter-annual variation: the analysis of this aspect regarding specific richness determined that the greatest contribution of the number of microphytoplankton occurred in 1997, with a total of 147 species, including 82 diatoms, 63 dinoflagellates, and 2 silicoflagellates; the lowest contribution was recorded in 1993 when 100 species, including 62 diatoms, 36 dinoflagellates, and 2 silicoflagellates were determined (Table 2 Annex, Fig. 2).

The increase in warm water and/or rare species caused by the EN 97-98, coinciding with the results obtained by GUTIÉRREZ *et al.* (2005) for the coastal areas of Paita and San José, OCHOA & RUILLÓN (2001) and GÓMEZ (2001) for Ancón Bay and Ilo, respectively, was noteworthy. This behavior is explained by the entry of new species, a situation that also occurred during EN 2006 (moderate) observed in this study with 142 species (85 diatoms, 55 dinoflagellates, and 2 silicoflagellates) (Table 2 Annex, Fig. 3). Between 1993-2010, diatoms were the most prevalent since this area corresponds to a productive system.

In 1998, an increase in species occurred with 136 species (74 diatoms, 60 dinoflagellates, and 2 silicoflagellates). The most active upwelling in this period could have favored the predominance of diatoms with a high reproduction rate, typical of coastal areas (Fig. 3).

Seasonal variation: the results showed that summer and spring were the seasons with the highest number of species (209 and 201, respectively) and autumn contribution was lower (172 species). Diatoms contributed with the highest species richness throughout the year, especially in winter (116 species), followed by summer (110 species), spring (106 species), and autumn (96 species). Regarding the composition, there were common diatoms (30 <80%) such

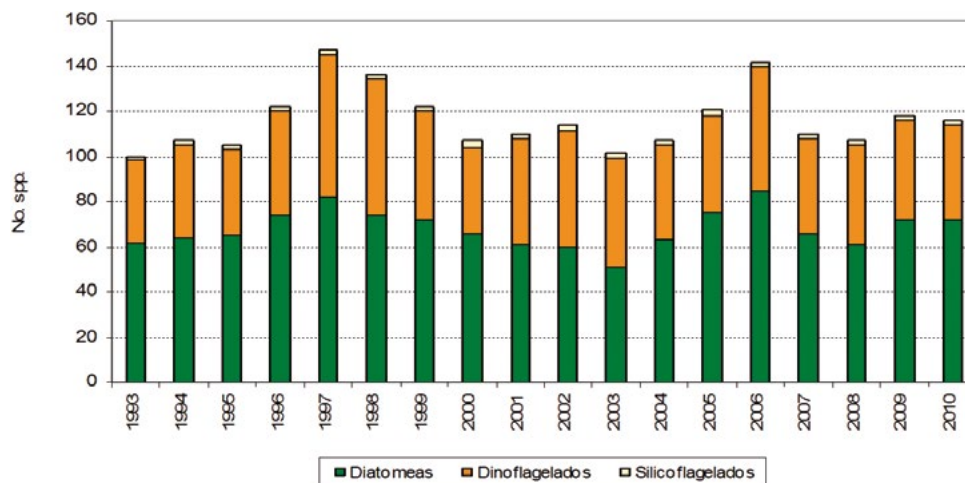


Figura 3.- Relativa contribución interanual del número de especies de los componentes del microfitoplancton frente a Callao durante el período 1993-2010

Figure 3. Relative inter-annual contribution of the number of species of the microphytoplankton components off Callao. Period 1993-2010

Variación estacional: los resultados mostraron que el verano y la primavera fueron las estaciones con mayor número de especies (209 y 201, respectivamente) y el aporte de otoño fue menor (172 especies). Se apreció que durante todo el año las diatomeas contribuyeron con la mayor riqueza de especies, destacando el invierno (116 especies), seguida del verano (110 especies), primavera (106 especies) y otoño (96 especies). En relación a la composición se presentaron diatomeas que fueron comunes (30 <80%) como *Asterionellopsis glacialis* Round, *Chaetoceros compressus* Lauder, *Ch. curvisetus* Cleve, *Ch. costatus* Pavillard, *Detonula pumila* Gran, *Guinardia delicatula* Hasle, *Lauderia annulata* Cleve, *Leptocylindrus danicus* Cleve y *Thalassionema frauenfeldii* Tempere & Peragallo, aunadas a las especies típicas citadas anteriormente, es decir aquellas que presentaron más de 50% de frecuencia.

Los dinoflagelados obtuvieron alta riqueza específica durante el verano con 96 especies y primavera con 92 especies, representados por *Ceratium buceros* Gómez, *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann, *Gonyaulax polygramma* Stein y *Prorocentrum gracile* Schütt. Otoño, fue la época que mostró 73 especies, destacando *Noctiluca scintillans*, *Protoperidinium leonis* Balech y *P. pentagonum* Balech. Los silicoflagelados fueron "Constantes" con 3 especies representados por *Dictyocha fibula* Ehrenberg, *D. speculum* Ehrenberg y *Octactis octonaria* Hovasse (Fig. 4).

Variación estacional por distancia a la costa: acerca de la biodiversidad por distancia a la costa y en las 4 estaciones del año se ha determinado que, en líneas

as *Asterionellopsis glacialis* Round, *Chaetoceros compressus* Lauder, *Ch. curvisetus* Cleve, *Ch. costatus* Pavillard, *Detonula pumila* Gran, *Guinardia delicatula* Hasle, *Lauderia annulata* Cleve, *Leptocylindrus danicus* Cleve, and *Thalassionema frauenfeldii* Tempere & Peragallo, as well as the typical species mentioned above, i.e. those with a frequency of more than 50%.

Dinoflagellates obtained high species richness in summer (96 species) and spring (92 species) represented by *Ceratium buceros* Gómez, *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann, *Gonyaulax polygramma* Stein, and *Prorocentrum gracile* Schütt. In autumn, 73 species, including *Noctiluca scintillans*, *Protoperidinium leonis* Balech, and *P. pentagonum* Balech. Silicoflagellates were "Constant" with 3 species represented by *Dictyocha fibula* Ehrenberg, *D. speculum* Ehrenberg, and *Octactis octonaria* Hovasse (Fig. 4).

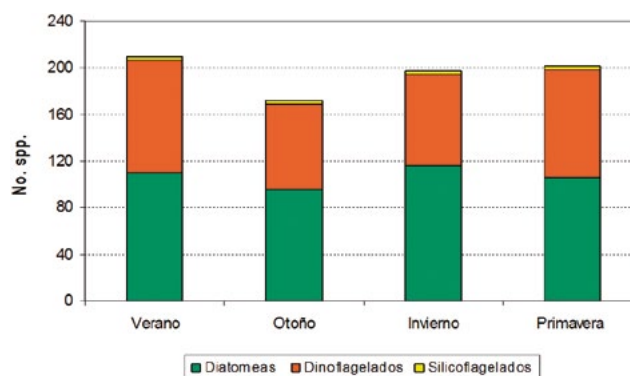


Figura 4.- Variación estacional de la riqueza de especies del microfitoplancton frente a Callao durante el período 1993-2010

Figure 4. Seasonal variation in the species richness of microphytoplankton off Callao. Period 1993-2010

generales la comunidad estuvo representada por mayor riqueza de especies en el verano, invierno y primavera con valores máximos totales de 175 especies a 8 mn (Est. 2), 170 especies a 5 mn (Est. 1) y 172 especies a 13,5 mn (Est.3), a diferencia del otoño que alcanzó un menor valor: 128 especies a 8 mn (Est. 2) (Tabla 2, Anexo, Fig. 5). Situación similar se produce en el ciclo anual del fitoplancton, pues un primer incremento de especies se presenta en invierno y otro en primavera y/o verano, en este caso con poca diferencia significativa (Tabla 2, Anexo, Fig. 5).

Las diatomeas sustentaron la gran diversidad de especies en todas las estaciones, debido a que su contribución es mayor en zonas neríticas y de surgencias, donde los nutrientes están disponibles en concentraciones altas (OCHOA y GÓMEZ, 1988; DELGADO, 1995). Invierno fue la época cuando las diatomeas registraron el mayor número de especies variando entre 95 y 104 especies, ubicadas a 20 y 5 mn en las Ests. 4 y 1, respectivamente. Las especies que caracterizaron el invierno fueron *Asterionellopsis glacialis* Round, *Chaetoceros constrictus* Gran, *Ch. decipiens* Cleve, *Coscinodiscus wailesii* Gran & Angst, *C. granii* Gough, *Cyclotella* sp. Brébisson, *Guinardia delicatula* Hasle, *Pseudosolenia calcaravis* Sundström, *Rhizosolenia chunii* Karsten, *R. styliformis* Brightwell, *Stephanopyxis palmeriana* Grunow, *Thalassiosira rotula* Meunier, *Pseudonitzschia pungens* Hasle, *Dinophysis caudata* Saville-Kent y *Octactis octonaria* Hovasse las que obtuvieron abundancias relativas de categoría "Constantes" (30 <80%).

Así mismo, se observó que tanto en el verano como en la primavera sobresalieron las diatomeas, sin embargo, se hace hincapié que esta riqueza de especies para el verano fluctuó entre 81 y 91 especies localizadas a 20 mn (Est. 4) y 5 mn (Est. 1), respectivamente; en esa época del año, sobresalieron las diatomeas *Chaetoceros debilis* Cleve, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. lorenzianus* Grunow, *Entomoneis alata* Ehrenberg, *Leptocylyndrus danicus* Cleve y *Proboscia alata* f. *indica*. En la primavera la variación fue de 84 especies a 8 mn (Est.2) y 95 especies a 13,5 mn (Est. 3), siendo las diatomeas *Chaetoceros lauderi*, *Ch. lorenzianus*, *C. wailesii*, *Cylyndrotheca closterium*, *Helicotheca tamesis*, *Porosira glacialis*, *Rhizosolenia chunii*, *S. palmeriana*, *S. costatum* y *Thalassionema frauenfeldii* las que fueron "Constantes" (Tabla 2 Anexo, Fig. 5)

Seasonal variation by distance from the coast: overall, it has been determined that community was represented by a greater richness of species in summer, winter, and spring with maximum total values of 175 species at 8 nm (Est. 2), 170 species at 5 nm (Est. 1), and 172 species at 13.5 nm (Est. 3), unlike autumn which reached a lower value: 128 species at 8 nm (Est. 2) (Table 2, Annex, Fig. 5). A similar situation occurs in the annual cycle of phytoplankton since the first increase of species occurs in winter and another in spring and/or summer, in this case with little significant difference (Table 2 Annex, Fig. 5).

Diatoms sustained the great diversity of species in all seasons since their contribution is greatest in neritic and upwelling zones, where nutrients are available in high concentrations (OCHOA & GÓMEZ, 1988; DELGADO, 1995). Winter was the time when diatoms recorded the highest number of species varying between 95 and 104 species, located at 20 and 5 nm in the Ests. 4 and 1, respectively. The species that characterized the winter were *Asterionellopsis glacialis* Round, *Chaetoceros constrictus* Gran, *Ch. decipiens* Cleve, *Coscinodiscus wailesii* Gran & Angst, *C. granii* Gough, *Cyclotella* sp. Brébisson, *Guinardia delicatula* Hasle, *Pseudosolenia calcaravis* Sundström, *Rhizosolenia chunii* Karsten, *R. styliformis* Brightwell, *Stephanopyxis palmeriana* Grunow, *Thalassiosira rotula* Meunier, *Pseudonitzschia pungens* Hasle, *Dinophysis caudata* Saville-Kent, and *Octactis octonaria* Hovasse which obtained relative abundances of "Constant" (30 <80%).

Likewise, it was observed that diatoms stood out both in summer and spring, however, it is stressed that their species richness for summer fluctuated between 81 and 91 species located at 20 nm (Est. 4) and 5 nm (Est. 5). 1), respectively; at that time of year, the diatoms *Chaetoceros debilis* Cleve, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. lorenzianus* Grunow, *Entomoneis alata* Ehrenberg, *Leptocylyndrus danicus* Cleve, and *Proboscia alata* f. *indica* predominated. In spring, the variation was from 84 species at 8 nm (Est. 2) to 95 species at 13.5 nm (Est. 3), being the diatoms *Chaetoceros lauderi*, *Ch. lorenzianus*, *C. wailesii*, *Cylyndrotheca closterium*, *Helicotheca tamesis*, *Porosira glacialis*, *Rhizosolenia chunii*, *S. palmeriana*, *S. costatum*, and *Thalassionema frauenfeldii* those that were classified as "Constants" (Table 2 Annex, Fig. 5)

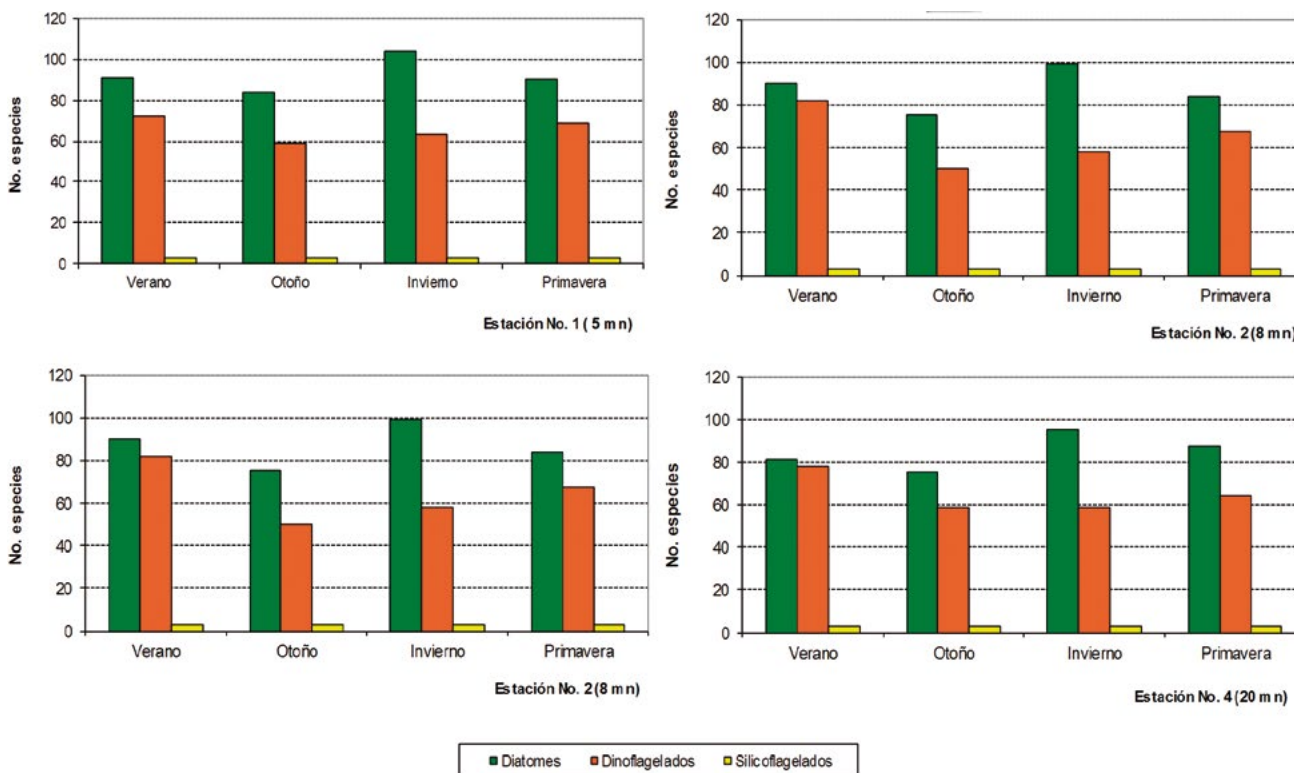


Figura 5.- Variación estacional por distancia a la costa de la riqueza de especies del microfitoplancton frente a Callao durante el período 1993-2010

Figure 5. Seasonal variation of the species richness of microphytoplankton by distance from the coast Callao. Period 1993-2010

En el grupo de los dinoflagelados se comprobó que la alta riqueza de especies se registró durante el verano y primavera con máximos totales de 82 especies a 8 mn (Est. 2) y 74 especies a 13,5 mn (Est. 3), tal como se debía esperar, pues en estos períodos los dinoflagelados se presentaron con mayor frecuencia debido a las condiciones ambientales favorables para su crecimiento. Los dinoflagelados que caracterizaron el verano fueron *Gonyaulax spinifera*, *Protopteridinium grande*, *P. longipes*, *P. longispinum*, *P. obtusum*, *P. pentagonum*, *P. peruvianum*, *P. subinermis* y *Tripos furca* y para la primavera se pueden citar a *Pronoctiluca pelagica*, *Protopteridinium divergens*, *P. elegans*, *P. globulus*, *P. granii*, *P. oceanicum*, *P. quarnerense*, *P. tenussimum*, *P. venustum* y *Tripos azoricus*. Todas estas especies también alcanzaron abundancias con escala de “Constantes”.

En otoño e invierno la fluctuación fue de 52 y 63 especies, respectivamente. Resaltan los dinoflagelados que caracterizaron el otoño como *Diplopsalopsis bomba*, *Ornithocercus steinii*, *Tripos buceros*, *Protopteridinium brochii*, *P. elegans* y *Dinophysis acuminata*. En el invierno destacaron *Dinophysis caudata*, *P. pellucidum*, *P. longispinum*, *P. subinermis*, *T. azoricus* y el silicoflagelado *Octactis octonaria*.

In dinoflagellates, it was found that the high species richness was recorded in summer and spring with total maximum of 82 species at 8 nm (Est. 2) and 74 species at 13.5 nm (Est. 3), as should be expected, since in these periods the dinoflagellates occurred more frequently given the favorable environmental conditions for their growth. The dinoflagellates typical of summer were *Gonyaulax spinifera*, *Protopteridinium grande*, *P. longipes*, *P. longispinum*, *P. obtusum*, *P. pentagonum*, *P. peruvianum*, *P. subinermis*, and *Tripos furca* and for spring *Pronoctiluca pelagica*, *Protopteridinium divergens*, *P. elegans*, *P. globulus*, *P. granii*, *P. oceanicum*, *P. quarnerense*, *P. tenussimum*, *P. venustum*, and *Tripos azoricus*. All these species had relative abundances of “Constant”.

In autumn and winter, the fluctuation was 52 and 63 species, respectively. In autumn, the predominant dinoflagellates were *Diplopsalopsis bomba*, *Ornithocercus steinii*, *Tripos buceros*, *Protopteridinium brochii*, *P. elegans*, and *Dinophysis acuminata*. In winter, *Dinophysis caudata*, *P. pellucidum*, *P. longispinum*, *P. subinermis*, *T. azoricus*, and the silicoflagellate *Octactis octonaria* predominated, all species were “Constant”.

octoritaria, todas las especies fueron "Constantes". Por consiguiente, se deduce que la riqueza de estas especies no presentó grandes variaciones, pues el comportamiento de la variación fue casi homogéneo dentro de las 13,5 mn.

Efectos El Niño y La Niña en la biodiversidad del microfitoplancton

En el caso específico de la variación de la riqueza de especies de la comunidad microfitoplanctónica en la serie de tiempo (1995-2010) depende de las condiciones oceanográficas desde años normales, El Niño (EN) a La Niña (LN) indicando un número de cambios principalmente en la composición de diatomeas y dinoflagelados. Bajo esta premisa durante el período 1995 y 2010 se logró distinguir algunas características como: en los años noventa se registró el mayor número de especies resaltando, principalmente durante 1996 (marzo) con 79 especies (48 diatomeas y 31 dinoflagelados) a 5 mn. A diferencia de la década de los 2000 cuando la riqueza de especies obtuvo un valor máximo el 2009 (agosto) 53 especies (39 diatomeas y 14 dinoflagelados) a 8 mn (Tabla 2 Anexo, Fig. 6).

En todo el período de estudio se apreciaron algunos eventos como EN 1997-98 catalogado como "Muy Fuerte" (marzo 1997-agosto 1998), EN tipo débil entre el 2002-2003 (octubre 2002-enero 2003), 2008 (junio-agosto), 2009 (junio-agosto) y 2010 (diciembre 2009-febrero 2010) y LN tipo débil 2004 (marzo-julio) y 2006 (febrero-mayo).

En la etapa del Pre-EN, es decir en 1995 se observó fuerte decremento de la riqueza de diatomeas y dinoflagelados (0 spp) a 13,5 mn (setiembre y octubre), 20 mn (junio y octubre) y 8,5 mn (junio) en éste último solo con 15 dinoflagelados. Al respecto, se podría atribuir que el fitoplancton es un sensor de alerta a situaciones de anomalías.

Durante El Niño 97-98 se observó drástica disminución del número de especies tanto de diatomeas como de dinoflagelados (0 spp.) en setiembre 1997 (5 mn), enero 1998 (8,5 mn) y en noviembre y diciembre 1997 a 13,5 y 20 mn, respectivamente. Posterior a estos meses los dinoflagelados fueron los que finalmente predominaron, pero con pocas especies en febrero 1998 a 13,5 mn (24 especies) y en enero y febrero 1998 a 20 mn (21 especies) (Fig. 6).

En La Niña 2004 (moderada) que por sus condiciones frías se observó un incremento significativo con máximos de riqueza de diatomeas a 5 y 8,5 mn de

Therefore, it is deduced that the richness of these species did not present great variations since the behavior of the variation was almost homogeneous within 13.5 nm.

Effects of El Niño and La Niña on microphytoplankton biodiversity

The variation of the species richness of the microphytoplankton community in the time series (1995-2010) depends on the oceanographic conditions in normal years and during El Niño (EN) and La Niña (LN) events, which indicate a number of changes mainly in the composition of diatoms and dinoflagellates. Based on this, between 1995-2010, it was possible to distinguish some characteristics such as: in the 1990s, the highest number of species was recorded, especially in 1996 (March) with 79 species (48 diatoms and 31 dinoflagellates) at 5 nm. Unlike the 2000s, when species richness peaked in 2009 (August) 53 species (39 diatoms and 14 dinoflagellates) at 8 nm (Table 2 Annex, Fig. 6).

Throughout the study period some events were observed such as EN 1997-98 cataloged as "Very Strong" (March 1997-August 1998), weak EN between 2002-2003 (October 2002-January 2003), 2008 (June-August), 2009 (June-August), and 2010 (December 2009-February 2010) and weak LN in 2004 (March-July) and 2006 (February-May).

In the Pre-EN stage, *i.e.* in 1995, there was a strong decrease in the richness of diatoms and dinoflagellates (0 spp) at 13.5 nm (September and October), 20 nm (June and October), and 8.5 nm (June) in the latter with only 15 dinoflagellates. In this regard, it could be attributed that phytoplankton is an alert sensor to anomaly situations.

During El Niño 97-98, there was a drastic decrease in the number of species of both diatoms and dinoflagellates (0 spp.) in September 1997 (5 nm), January 1998 (8.5 nm), and in November and December 1997 at 13.5 and 20 nm, respectively. After these months, the dinoflagellates were the ones that finally predominated, but with few species in February 1998 at 13.5 nm (24 species) and in January and February 1998 at 20 nm (21 species) (Fig. 6).

In La Niña 2004 (moderate), given its cold conditions, a significant increase was observed with maximum values of diatoms richness at 5 and 8.5 nm from the coast with 22 species (March and May). The frequency of diatoms (11 species)

la costa con 22 especies (marzo y mayo). También resaltó la frecuencia solo de diatomeas (11 especies) en mayo a 20 mn. Por otro lado, durante LN 2006 (débil) la riqueza tanto de diatomeas como de dinoflagelados se mantuvo con una variación de diatomeas entre 12 especies (abril) y 27 especies (febrero) a 20 mn y dinoflagelados de 11 especies (febrero) a 20 especies (abril) a 5 mn (Fig. 6).

Los eventos EN débiles indicaron fuertes variaciones de la riqueza específica repercutiendo principalmente a 20 mn en el 2002 (diciembre) donde se obtuvo dos especies de diatomeas y ninguna de dinoflagelados. Así mismo, para el EN 2008 (agosto) a 20 mn solo se registró ocho especies (7 diatomeas y 1 dinoflagelado). Durante EN 2009 (agosto) se observó un cambio de poca magnitud con 39 especies (29 diatomeas y 10 dinoflagelados). Finalmente, EN 2010 (enero) también denominado débil tuvo consecuencias negativas en el número de especies a 20 mn donde se registraron seis especies de diatomeas y siete de dinoflagelados (Tabla 2, Anexo, Fig. 6).

in May at 20 nm was also noticeable. On the other hand, during LN 2006 (weak) the richness of both diatoms and dinoflagellates remained with a variation of diatoms between 12 (April) and 27 species (February) at 20 nm and dinoflagellates from 11 (February) to 20 species (April) at 5 nm (Fig. 6).

Weak EN events indicated strong variations in species richness with repercussions mainly at 20 nm in 2002 (December) where two species of diatoms and none of the dinoflagellates were obtained. Likewise, for the EN 2008 (August) at 20 nm only eight species were recorded (7 diatoms and 1 dinoflagellate). In 2009 (August) a small change was observed with 39 species (29 diatoms and 10 dinoflagellates). Finally, EN 2010 (January), also known as weak, had negative consequences on the number of species at 20 nm where six species of diatoms and seven species of dinoflagellates were recorded (Table 2 Annex, Fig. 6).

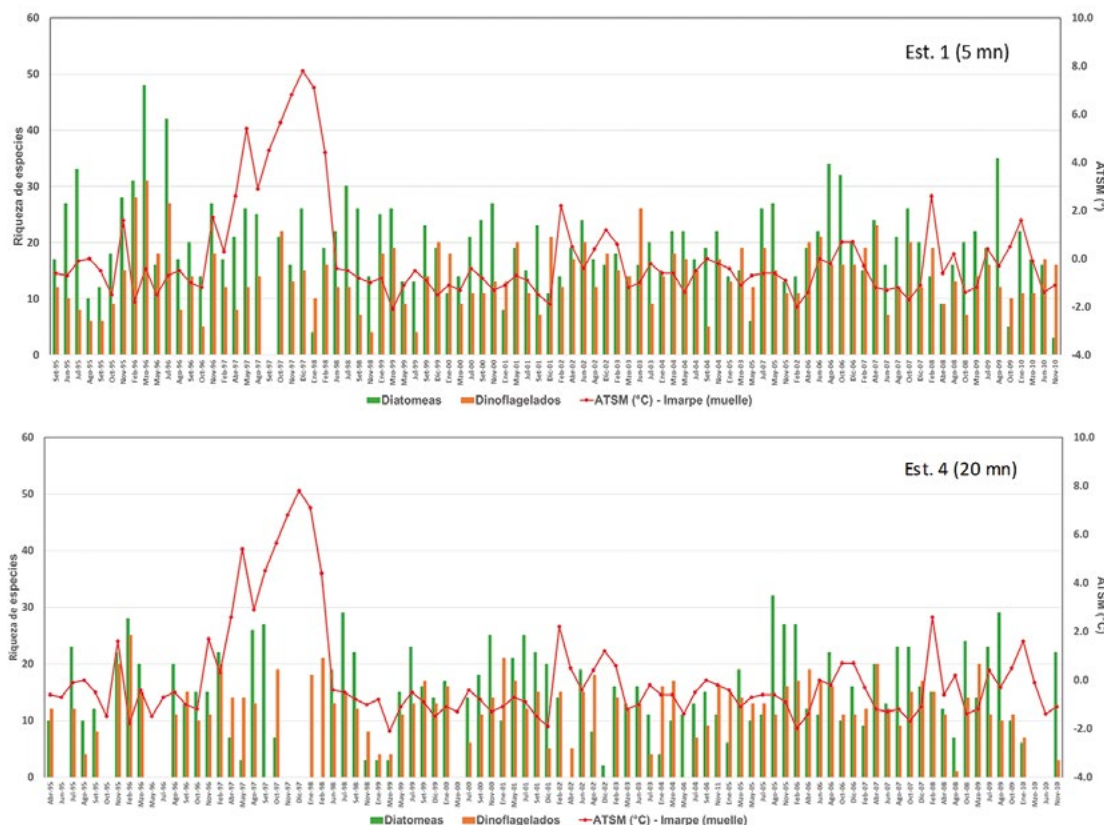


Figura 6.- Series de tiempo de riqueza de especies (diatomeas y dinoflagelados) a 5 y 20 mn frente a Callao entre 1995 y 2010 y anomalías térmicas superficiales del mar (ATSM) en el muelle del Imarpe. Las ATSM corresponden a los registros litorales del IMARPE (Muelle), climatología 1980-2010 (Datos y Procesamiento: LHF/AFIOF/DGIOCC/IMARPE)

Figure 6. Time series. Species richness (diatoms and dinoflagellates) at 5 and 20 nm off Callao between 1995 and 2010 and sea surface thermal anomalies (SSTA) at the IMARPE pier. The SSTA correspond to the coastal records of IMARPE (Pier), climatology 1980-2010 (Data and Processing: LHF/AFIOF/DGIOCC/IMARPE)

Según ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1985) el evento EN que se caracteriza por presencia de aguas de altas temperaturas y salinidades de 35 o menos de 34,8 UPS, de acuerdo a la masa de agua que ingresa, produce cambios significativos en la comunidad fitoplanctónica tanto en la abundancia, distribución como en la composición específica. En años normales la predominancia esta dada por diatomeas como *Detonula pumila*, *Thalassionema nitzschioides*, *Skeletonema costatum*, *Asterionellopsis glacialis* y *Chaetoceros* spp., y los dinoflagelados *Tripes furca*, *Protoperidinium obtusum*, *P. depressum*, etc. En épocas consideradas anormales se presentan otras especies como *Thalassiosira partheneia*, *Rhizosolenia temperei*, *R. castracanei*, *Streptotheca thamesis* y *Hemiaulus sinensis*; dentro de los dinoflagelados *Ceratium breve*, *T. falcatus*, *T. azoricus*, *Tripes trichoceros*, *Ceratocorys horrida*, *Ornithocercus magnificus*, *O. quadratus*, *O. steinii* y *Protoperidinium elegans*, entre otros. Resultados que coinciden con los obtenidos en el período 1995-2010, pues cuando se presentaron los eventos EN se observó que el efecto más fuerte fue a 20 mn, esta variación se reflejó en la disminución de la riqueza de especie las que fueron reemplazados por diatomeas oceánicas y dinoflagelados termófilos similar situación se apreció en Ancón (OCHOA y RUILLÓN, 2001) e Ilo (GÓMEZ, 2001).

Algunos dinoflagelados han sido considerados como indicadores biológicos de origen y movimiento de masas de agua por ser estrictos en sus requerimientos de temperatura y salinidad. En el Perú ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1985) y OCHOA (1988) determinaron a *Ceratium breve* como especie indicadora de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), a *Protoperidinium obtusum* de Aguas Costeras Frías (ACF) y a *Tripes praelongus* y *Tripes incisum* como indicadoras de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) (Tabla 2, Anexo). Los organismos de AES y ASS fueron observados durante EN; mientras que en años normales y períodos LN fue registrado el organismo de ACF. Resultados que coinciden con los obtenidos por GUTIÉRREZ *et al.* (2005), DELGADO *et al.* (2001), OCHOA y RUILLÓN (2001) y GÓMEZ (2001).

Floraciones algales

Cuando las condiciones oceanográficas son ideales para su desarrollo, el fitoplancton tiende a incrementar su abundancia, lo cual se conoce como florecimiento algal. Estos pueden llegar a ser nocivos cuando proliferan especies que producen compuestos como amoníaco, mucílago, espumas, polisacáridos y toxinas marinas (saxitoxinas,

ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1985) indicated that EN event is characterized by the presence of high-temperature waters and salinities of 35 or less than 34.8 ups, depending on the water mass that enters, producing significant changes in the phytoplankton community both in abundance, distribution, and species composition. In normal years, the predominance is given by diatoms such as *Detonula pumila*, *Thalassionema nitzschioides*, *Skeletonema costatum*, *Asterionellopsis glacialis*, and *Chaetoceros* spp., and the dinoflagellates *Tripes furca*, *Protoperidinium obtusum*, *P. depressum*, etc. In anomalous times, other species such as *Thalassiosira partheneia*, *Rhizosolenia temperei*, *R. castracanei*, *Streptotheca thamesis*, and *Hemiaulus sinensis*; within the dinoflagellates *Ceratium breve*, *T. falcatus*, *T. azoricus*, *Tripes trichoceros*, *Ceratocorys horrida*, *Ornithocercus magnificus*, *O. quadratus*, *O. steinii*, and *Protoperidinium elegans*, were predominant, among others. These results coincide with those obtained in 1995-2010 since when EN events occurred the strongest effect was observed at 20 nm, this variation was reflected in the decrease in species richness which was replaced by oceanic diatoms and thermophilic dinoflagellates. A similar situation was observed in Ancón (OCHOA & RUILLÓN, 2001) and Ilo (GÓMEZ, 2001).

Some dinoflagellates have been considered as biological indicators of origin and movement of water masses given their strict temperature and salinity requirements. In Peru, ROJAS DE MENDIOLA *et al.* (1985) and OCHOA (1988) determined *Ceratium breve* as an indicator species of Surface Equatorial Waters (SEW), *Protoperidinium obtusum* is an indicator of Cold Coastal Waters (CCW), and *Tripes praelongus* and *Tripes incisum* are indicators of Surface Subtropical Waters (SSW) (Table 2, Annex). The SEW and SSW organisms were observed during EN; while in normal years and LN periods, the CCW organism was recorded. These results coincide with those obtained by GUTIÉRREZ *et al.* (2005), DELGADO *et al.* (2001), OCHOA & RUILLÓN (2001), and GÓMEZ (2001).

Algal bloom

Phytoplankton tends to increase its abundance when oceanographic conditions are ideal for its development; this is known as an algal bloom. These can become harmful when species that produce compounds such as ammonia, mucilage,

diarreicos, gimnomidinas, entre otras) las cuales al ser ingeridas por otros organismos, incluidos los seres humanos, pueden causar daños diversos o incluso la muerte en casos extremos (LÓPEZ *et al.*, 2016)

En todo el período de estudio las especies que produjeron floraciones algales inocuas de dinoflagelados fueron *Akashiwo sanguinea*, *Tripos fusus*, *Ceratium tripos*, *Heterosigma akashiwo*, *Prorocentrum micans*, *Cochlodinium polykrikoides* y *Alexandrium ostenfeldii*, especies que obtuvieron abundancias relativas de categoría "Abundantes" (>80%) que generalmente se presentaron en verano, inicios de otoño y primavera.

4. CONCLUSIONES

Se ha determinado en total 124 diatomeas, 114 dinoflagelados y 3 silicoflagelados frente al Callao durante el período 1993-2010, siendo las diatomeas centrales el grupo predominante seguido de los dinoflagelados tecados.

Cinco especies correspondieron a nuevos registros para el Callao: *Entomoneis alata* Ehrenberg, *Amylax triacantha* Sournia, *Dinofurcula cf. ventralis* Kofoid & Skogsberg, *Protoperidinium venustum* Balech y *Glenodinium cf. cinctum* Ehrenberg.

En la década de los años 1990 se registró mayor frecuencia de diatomeas que alcanzaron categoría de especies constantes (>50%) con 27 especies, a diferencia de la década de los 2000 en los que se registraron 15 especies de diatomeas constantes.

Los eventos El Niño afectan a la comunidad microfitoplanctónica provocando cambios en su riqueza específica (disminución y/o reemplazo de especies) con mayor incidencia a 20 millas náuticas. Sin embargo, durante eventos La Niña se registraron incrementos de diatomeas típicas de afloramiento costero.

El área del Callao ha sido estudiada con detalle en cuanto a las floraciones algales; en el período de estudio las especies que produjeron floraciones algales inocuas fueron los dinoflagelados atecados *Akashiwo sanguinea* y *Cochlodinium polykrikoides*; dinoflagelados tecados como *Tripos fusus*, *Ceratium tripos*, *Prorocentrum micans* y *Alexandrium ostenfeldii*; y el fitoflagelado *Heterosigma akashiwo*.

foams, polysaccharides, and marine toxins (saxitoxins, diarrhea, gymnomidines, among others) proliferate, which when ingested by other organisms, including humans, can cause various damages or even death in extreme cases (LÓPEZ *et al.*, 2016)

Throughout the study period the dinoflagellates that produced harmless algal blooms were *Akashiwo sanguinea*, *Tripos fusus*, *Ceratium tripos*, *Heterosigma akashiwo*, *Prorocentrum micans*, *Cochlodinium polykrikoides*, and *Alexandrium ostenfeldii*, species that obtained relative abundances of category "Abundant" (>80%) that generally appeared in summer, early autumn, and spring.

4. CONCLUSIONS

Between 1993-2010, a total of 124 diatoms, 114 dinoflagellates, and 3 silicoflagellates have been determined off Callao. Central diatoms were the predominant group followed by the thecal dinoflagellates.

Five species corresponded to new records for Callao: *Entomoneis alata* Ehrenberg, *Amylax triacantha* Sournia, *Dinofurcula cf. ventralis* Kofoid & Skogsberg, *Protoperidinium venustum* Balech, and *Glenodinium cf. cinctum* Ehrenberg.

In the 1990s, there was a higher frequency of diatoms that reached the category of constant species (>50%) with 27 species, as opposed to the 2000s, when 15 species of constant diatoms were recorded.

The El Niño events affect the microphytoplanktonic community causing changes in its species richness (decrease and/or replacement of species) with a greater incidence at 20 nautical miles. Nevertheless, in La Niña events, increases in diatoms typical of coastal upwelling were recorded.

During the study period, the area of Callao has been evaluated in detail in terms of algal blooms; the species that produced harmless algal blooms were the dinoflagellates *Akashiwo sanguinea* and *Cochlodinium polykrikoides*; thecal dinoflagellates such as *Tripos fusus*, *Ceratium tripos*, *Prorocentrum micans*, and *Alexandrium ostenfeldii*; and the phytoflagellate *Heterosigma akashiwo*.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ANDERSEN R A, SAUNDERS G W, PASKIND M P, SEXTON J P. 1993. Ultrastructure and 18S RNA gene sequence for *Pelagomonas calceolate* gen. y sp. n, and the description of a new algal class, the Pelagophyceae classis nov. *Journal of Phycology*. 29: 701 - 715.
- ANTONIETTI E. 1989. El fitoplancton en dos bahías del litoral peruano en abril de 1987. *Rev. Com. Permanente Pacífico Sur*. No. especial: 127 - 133.
- ANTONIETTI E, VILLANUEVA P, DELGADO E, CHANG F. 1993. Dinoflagelados indicadores de El Niño 1991-1992. *Bol. ERFEN*, No. 32-33: 20 - 24.
- AVARIA S. 1965. Diatomeas y Silicoflagelados de la Bahía de Valparaíso. *Revista de Biología marina*. Valparaíso 1258: 61 - 120.
- BAILEY J C, BIDIGARE R R, CHRISTENSEN S J, ANDERSEN R A. 1998. Phaeothamnophyceae classis nova: a new lineage of Chromophytes based upon photosynthetic pigments, rbcL sequence analysis and ultrastructure. *Protist*. 149: 245 - 563.
- BALECH E. 1988. Los Dinoflagelados del Atlántico Occidental. *Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.* (1). 219.
- BALECH E. 1978. *Protoperdinium (Archaeperdinium) mendiolae* n. sp. *Neotropica*. 24 (71): 3 - 7.
- BALECH E. 1974. El género *Protoperdinium* Berg. 1881 ("*Peridinium* Ehrenberg, 1831, partium). *Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat. Bs. As. Hidrobiología*. 4(1): 1 - 79.
- BALECH E, ROJAS DE MENDIOLA B. 1977. Un nuevo *Gonyaulax* productor de hemotalasia en Perú. *Neotropica*, 23(69): 49 - 54.
- BARREDA M. 1957. El plancton de la bahía de Pisco. *Bol. Comp. Adm. del Guano*. 33(9): 7 - 24.
- BLASCO D. 1971. Composición y distribución del fitoplancton en la región del afloramiento de las costas peruanas. *Inv. Pesq.* 35 (1): 61 - 112.
- BROWN C W, YODER J A. 1994. Coccolithophorid blooms in the global ocean. *Journal of Plankton Research* 99 (C4): 7467 - 7482.
- CALIENES R. 1992. Proyecto Monitoreo Oceanográfico Pesquero en Áreas Seleccionadas (MOPAS). Proyecto CEE/IMARPE, Callao-Perú. *Inf Inst Mar Perú*. 102: 168.
- CALIENES R. 1973. Diversidad y asociación del fitoplancton en Callao 1961-1962. Tesis de Bachiller. Univ. Nac. San Agustín de Arequipa. Perú.
- CALIENES R. 1966. Fluctuaciones del fitoplancton en relación con los fosfatos, temperatura y el desove de la anchoveta (*Engraulis ringens* J.) en el área de Callao en los años 1961-1962. *Mem. Primer Seminario Latinoamericano sobre el Océano Pacífico Oriental*. Univ. Nac. Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 70 - 72 pp.
- CHAVEZ F, BARBER R T. 1985. La productividad de las aguas frente a la costa del Perú. *Bol. ERFEN*. (15): 10 - 13.
- CHRÉTIENNOT-DINET M J. 1990. Chlorarachniphycees, Chrophycees, Chrysophycees, Criptophycees, Euglenophycees, Eustigmatophycees, Prasinophycees, Prymnesiophycees, Rhodophycees et Tribophycees. *In: Atlas du phytoplankton marin*" (A. Sournia, ed.). Editions du C.N.R.S., Paris.
- CHRÉTIENNOT-DINET M J, SOURNIA A, RICARD M, BILLARD C. 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from class to genus. *Phycologia*. 32(3): 159 - 179.
- CUPP E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bull. Scropps. Inst. Oceanogr.* 5: 1 - 237.
- DELGADO E. 1995. Variación estacional del fitoplancton en el área del Callao durante El Niño 1987 (10-200 mn). Tesis de Licenciatura. Universidad Ricardo Palma. Lima. Perú.
- DELGADO E. 1990. Variación estacional de los dinoflagelados en el área del Callao durante el año 1987. Tesis de Bachiller. Universidad Ricardo Palma. Lima. Perú.
- DELGADO E, SÁNCHEZ S, CHANG F, VILLANUEVA P, FERNÁNDEZ C. 2001. El fitoplancton frente a la costa peruana durante El Niño 1997-1988. En: J. TARAZONA, W.E. ARNTZ y E. CASTILLO DE MARUENDA (eds). 2001. *El Niño en América Latina Impactos Biológicos y Sociales*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima. 29 - 38 pp.
- DERTEANO M. 1982. Análisis del fitoplancton presente en el verano de 1981 en playa Cantolao y playa Arenilla (Callao). Tesis de Licenciatura, Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú. 48 p.
- GÁRATE-LIZARRAGA I. 1991. Análisis de una marea roja causada por *Noctiluca scintillans* (Macartney) Ehr. En Bahía Concepción, Baja California Sur en febrero de 1989. *Revista de Investigación Científica*. 2: 35 - 43.
- GÁRATE-LIZARRAGA I. 1989. Nuevos registros de especies del género *Rhizosolenia* en la región central del Golfo de California y Bahía Magdalena. *B.C.S. Investigaciones Marinas CICIMAR*. 4: 291 - 296.
- GÁRATE-LIZARRAGA I. 1988. Un análisis de la estructura de asociaciones microfitorplanctónicas de la región central del Golfo de California y su distribución espacial en el otoño de 1986. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 121 p.
- GASTON K J, SPICER J I. 1998. *Biodiversity: An Introduction*. Blackwell Sci. Ltd., Oxford. 113 p.
- GOMERO F. 1993. Estudio comparativo del fitoplancton presente en las playas Arenilla y Cantolao durante el verano de 1993. *Décimo Simp. Cient. Tecnológico*. Com. Tec. Mixta del Frente Marítimo, Montevideo-Uruguay. 57 - 58 pp.
- GÓMEZ O. 2001. Efecto de El Niño en el fitoplancton de la bahía de Ilo, Moquegua. 2001. En: J. Tarazona, W.E. Arntz y E. Castillo de Maruenda (eds). 2001. *El Niño en América Latina Impactos Biológicos y Sociales*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima. 47 - 54 pp
- GRAHAM H. 1942. Studies morphology, taxonomy and ecology of the Peridinales. *Carnegie Inst. Wash. Publ.* 542: 1 - 129.
- GRAHAM H, BRONIKOVSKY N. 1944. The genus *Ceratium* in the Pacific and North Atlantic Oceans. *Carnegie Ins. Wash. Publ.* 565 p.
- GUILLOU L, CHRÉTIENNOT-DINET M J, MEDLIN L K, CLAUSTRE H, LOISEAUX DE GOER, VAULOT D. 1999. *Bolidomonas*: a new genus with two species belonging to a new class, the Bolidophyceae (Heterokonta). *Journal of Phycology*. 35: 368 - 381.
- GUIRY M D, GUIRY G M. 2019. *AlgaeBase*. World- wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 8 January 2019.
- GUTIÉRREZ D, ARONÉS K, CHANG F, QUIPUZCOA L, VILLANUEVA P. 2005. Impacto de la variación oceanográfica estacional e interanual sobre los ensambles de microfitorplancton, mesozooplancton, ictioplancton y microzooplancton de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994-2002. *Bol Inst Mar Perú*. 22(1-2): 60.
- HALLEGRAEFF G M. 1993. A review of harmful of algal blooms and their apparent global increase. *Phycology*. 32: 79 - 99.

- HASLE G R, ROJAS DE MENDIOLA B. 1967. The fine structure of some *Thalassionema* and *Thalassiothrix* species. *Phycologia*. 69(2-3): 107 - 125.
- HASLE R, SYVERTSEN E, STEIDINGER K, TANGEN K. 1996. Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. (C R. Tomas, ed.) Academic Press, Inc. San Diego, California. 598 p.
- HENDEY I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part. V. Bacillariophyceae (Diatoms). Her Majesty's Stationery Office, London. 317 pp.
- HENDRIKSON P K, SELLSNER K G, ROJAS DE MENDIOLA B, OCHOA N, ZIMMERMANN R. 1982. The composition of particulate organic matter and biomass. En: Coastal Upwelling. F.A. Richards (ed). American Geophysical Union, Washington, D.C. 203 - 211.
- HERMOSILLA J. 1973. Contribución al conocimiento sistemático de los dinoflagelados de la bahía de Concepción. Chile. Gayana. Univ. Concepción. Chile. (24): 1 - 149.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL D. 2003. Diversidad del fitoplancton marino de México. Un acercamiento actual. Cap. 1: 1-18. En: BARREIRO-GÜEMES M T, M E MEAVE DEL CASTILLO, M SIGNNORET-POILLON y M G FIGUEROA-TORRES (Eds.) Sociedad Mexicana de Planctología, A.C. México Planctología Mexicana. 300 pp.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL D, MEAVE DEL CASTILLO M E. 1997. *Neocalyptrella*, gen. nov., a new name replace *Calyptrella* Hernández-Becerril et Meave. *Phycology*. 36(4): 329.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL D, MEAVE DEL CASTILLO M E. 1996. The marine planktonic diatom *Rhizosolenia robusta*: morphological studies support its transfer to a new genus *Calyptrella* gen. nov. *Phycology*. 35: 198 - 203.
- HUSTED F. 1927-1966. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der ubrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. En: L. Rabenhorst's, Kriptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. vol.7: Teil 11-5) 1927-1930; Teil 2(1-6) 1931-1959; Teil 3(1-4) 1961-1966. Akad. Verlag. Leipzig.
- JOHN D M. 1994. Biodiversity and conservation: an algal perspective. *The Phycologist*. 38: 3 - 15.
- LANDA M. 1953. Análisis de muestras diarias de fitoplancton superficial en Chimbote, julio 1951 a junio 1952. *Bol. Cient. Comp. Adm. Guano*. I: 63 - 75.
- LICEA S, MORENO J L, SANTOYO H, FIGUEROA G. 1995. Dinoflagelados del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur - SEP. FOMES. México. 165 p.
- LÓPEZ MAGAÑA J L, MANZANO M, HURTADO M, PIÑA P, HERNÁNDEZ O, ZATARAIN O, HERNÁNDEZ F. 2016. Fitoplancton: pequeños centinelas del océano. *Ciencia*. 7p.
- MANHART J R, MCCOURT R M. 1992. Molecular data and species concepts in the algae. *Journal of Phycology*. 28: 730 - 737.
- MANN D G. 1999. The species concept in diatoms: *Phycologia*. 38: 437 - 495.
- MANN D G. 1989. The species concept in diatoms: evidence for morphologically distinct, sympatric gamodemes in four epipelagic species. *Plant Systematics and Evolution* 164: 215 - 237.
- MEAVE DEL CASTILLO M E, ZAMUDIO-RESENDIZ M E, AKÉ-CASTILLO J, GUERRA-MARTÍNEZ S L, BARBOSA-LEDEZMA I F. 2003. Diversidad de diatomeas (Bacillariophyta) en la columna de agua del Pacífico Mexicano. En: Barreiro-Güemes M.T., M.E. Meave del Castillo, M. Signoret-Poillon y M. G. Figueroa-Torres (Eds.) Planctología Mexicana. Sociedad Mexicana de Planctología, A.C. México. Cap. 3: 43 - 84.
- MEDLIN L K. 1997. Can molecular techniques help define species limits? *Diatoms*. 13: 19 - 23.
- MEDLIN L K, ELWOOD S H J, STICKEL S, SOGIN M L: 1991. Morphological and genetic variation within the diatom *Skeletonema costatum* Bacillariophyta: evidence for a new species *Skeletonema pseudocostatum*. *Journal of Phycology*. 27: 514 - 524.
- MOESTRUP Ø. 1991. Further studies of presumed primitive green algae, including the description of *Pedinophyceae* class. *Nov. and Resulter gen. nov. Journal of Phycology*. 27: 119 - 133.
- NEALE P J, LESSER M P, CULLEN J J. 1992. Detecting UV-induced inhibition of photosynthesis in Antarctic phytoplankton. *Antarctic Journal (Review)*. 27: 122 - 124.
- 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.
- OCHOA N, GÓMEZ O. 1988. Variación espacio - temporal del fitoplancton frente a Callao, Perú. *Recursos y Dinámica del Ecosistema de Afloramiento Peruano*. *Bol Inst Mar Perú*. Vol. Extraordinario: 51 - 57.
- OCHOA N, GÓMEZ O. 1987. Dinoflagellates as indicators of water masses during El Niño, 1982-1983. *Journal of Geophysical Research*. 92(C13): 14355 - 14367.
- OCHOA N, GÓMEZ O. 1981. Variaciones del fitoplancton en el área de Chimbote durante 1977. *Bol Inst Mar del Perú*. Vol. Extraordinario. ICANE. Callao: 119 - 128.
- OCHOA N, RUILLÓN G. 2001. Variabilidad del fitoplancton en la bahía de Ancón, Lima, Perú, durante El Niño 1997-1988. En: J. Tarazona, W.E. Arntz y E. Castillo de Maruenda (eds). *El Niño en América Latina Impactos Biológicos y Sociales*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima. 39 - 45 pp.
- OCHOA N, GÓMEZ O, SÁNCHEZ S, DELGADO E. 1999. Diversidad de diatomeas y dinoflagelados marinos del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú* 18(1-2): 1 - 14.
- OCHOA N, ROJAS DE MENDIOLA B, GÓMEZ O. 1985. Identificación del Fenómeno El Niño a través de los organismos fitoplanctónicos. En: *El Niño y su impacto en la fauna marina*. *Bol Inst Mar Perú*. Vol. Extraordinario. 23 - 31.
- PESANTES F. 1980. Distribución de los dinoflagelados en el fitoplancton del Mar Ecuatoriano. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias Naturales. Univ. Guayaquil. 131 p.
- PESANTES F. 1978. Dinoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil. *Publ. Inst. Ocean. Armada del Ecuador*. 2(2): 70.
- RATKOVA T N. 1981. Size distribution in phytoplankton in the Perú current region in March 1978. *Oceanology*. 21(6): 748 - 753.
- RICARD M. 1987. Atlas du phytoplancton marin: Vol. II. Diatomophycées. Édition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Francia. 279 p.
- SOURNIA M. 1995. Red tide and toxic phytoplankton of the world ocean: an inquiry into diversity. In: Lassus P, G. Arzul, E. Erand, P. Gentien and C. Marcaillou (Eds). *Harmful Marine Algal Blooms*. Lavoisier, Intercept Ltd. 103 - 112 pp.

- SOURNIA M. 1986. Atlas du phytoplancton marin: Volume I. Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées, Raphidophycées. Édition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 216 p.
- SOURNIA M, CHRÉTIENNOT-DINET D M, RICARD M. 1991. Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? Journal of Plankton Research. 13: 1093 - 1099.
- ROJAS DE MENDIOLA B. 1981. Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian Coast. En: Coastal Upwelling. F. A. Richards, (ed.), American Geophysical Union. Washington D. C. 348 - 356.
- ROJAS DE MENDIOLA B. 1966a. Estimación de la producción fitoplanctónica en el área de Chimbote durante agosto de 1961. 1er Seminario Latinoamericano sobre el Océano Pacífico Oriental. UNMSM: 50 - 56.
- ROJAS DE MENDIOLA B. 1966b. Relación entre la cosecha de fitoplancton, el desove y la alimentación de la anchoveta (*Engraulis ringens* J.). 1er. Sem. Latinoamericano sobre el Pacífico Oriental. UNMSM., 60 - 69 p.
- ROJAS DE MENDIOLA B. 1958. Breve estudio sobre la variación cualitativa anual del plancton superficial de la bahía de Chimbote. Bol. Comp. del Guano. 34(12): 7 - 16.
- ROJAS DE MENDIOLA B, ESTRADA M. 1976. El fitoplancton en el área de Pimentel. Verano de 1972. Inv. Pesq. 40(2): 463 - 490.
- ROJAS DE MENDIOLA B, GÓMEZ O, OCHOA N. 1985. Efectos del Fenómeno "El Niño" 1982 - 1983 sobre el fitoplancton de la costa peruana. Simp. Int. Afl. fr., Inst. Inv. Pesq. Barcelona. I: 417 - 433.
- ROJAS DE MENDIOLA B, OCHOA N, GÓMEZ O. 1981. Los dinoflagelados como indicadores biológicos de masas de agua. Fenómeno El Niño 1972. Memorias del Seminario sobre Indicadores Biológicos del Plancton, UNESCO, Montevideo. 54 - 73.
- ROUND F E, CRAWFORD R M, MANN DG. 1990. The Diatoms, Biology and Morphology of the Genera. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 747 p.
- RYTHER J H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science. 166: 348 - 356.
- SÁNCHEZ S. 1994. Fito plâncton e condiciones oceanográficas em áreas de ressurgência do Peru. (Inverno de 1987 e 1988). Teses de Maestria em Ciências - Oceanografia Biológica. Universidade de Rio Grande, Brasil.
- SÁNCHEZ S. 1989. Composición y distribución del fitoplancton en áreas neríticas del litoral peruano (Pimentel-Ilo). Tesis de título. Universidad Ricardo Palma.
- SÁNCHEZ S, TARAZONA J, FLORES R, MALDONADO M, CARBAJAL G. 1988. Características del fitoplancton de invierno en Bahía Independencia, Perú. En: Recursos y dinámica del ecosistema de afloramiento peruano. H. SALZWEDEL, A. LANDA. (Eds.). Bol Inst Mar Perú. Vol. Extraordinario: 59 - 66.
- SCHILLER J. 1971. Dinoflagellatae (Peridineae) in monographischer Behandlung. 1 Teil. En: Rabenhorst (ed) Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz., Vol. X Flagellatae, Section III3, Part. I. Reprint by Johnson Repr. Corp. New York, London. 617 pp.
- SOLÉ M. 1974. Dinoflagelados de la Caleta de Pucusana. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú. Rev. Per. Biol. 1: 5 - 16.
- SOURNIA A. 1995. Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: an inquiry into diversity. In: Lassus, P., G. Arzul, E. Erand, P. Gentien y C. Marcaillou (eds.). Harmful Marine Algal Blooms. Lavoisier, Intercept Ltd. 103 - 112 pp.
- SOURNIA A. 1986. Atlas du Phytoplancton Marin. Vol. 1. Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées. Cons. Nat. Res. Scié. Paris. 219 pp.
- SOURNIA A. 1967. Le genre *Ceratium* (Péridinien Planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution a une révision mondiale. Vie et Milieu 18(2^a-A): 375 - 580.
- SOURNIA A, CHRÉTIENNOT-DINET M J, RICARD M. 1991. Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? Plankton Research. 13(5): 1093 - 1099.
- SOURNIA A, GRALL J R, JACQUES G. 1979. Diatomées et dinoflagellés planctoniques d'une coupe méridienne dans le sud de l'océan Indien (campagne "Antiproduct 1" du Marion-Dufresne. Mars 1977). Bot. Mar. 22: 183 - 198 p.
- SUKHANOVA I N, KONOVALOVA G V, RAT'KOCA T N. 1978. Phytoplankton numbers and species structure in the Peruvian upwelling region. Oceanology. 18(1): 72 - 76.
- SUNDSTRÖM H. 1986. The marine diatoms genus *Rhizosolenia*. A new approach to the taxonomy. Lund Sweden: 196 pp/ Throndsen, J. 1978. Preservation and storage. En: A. Sournia (ed.). Phytoplankton manual. UNESCO, Paris. 69 - 74.
- STEIDINGER K A, TANGEN K. 1997. Dinoflagellates. In: Tomas, C. R. (Ed). Identifying marine phytoplankton. Acad. Press. Inc. San Diego, USA. 387 - 584.
- STRICKLAND J D H, EPPLEY R W, ROJAS DE MENDIOLA B. 1969. Poblaciones de fitoplancton, nutrientes y fotosíntesis en aguas costeras peruanas. Bol Inst Mar Perú. 2(1): 1 - 45.
- TAYLOR F J R. 1987. The Biology of Dinoflagellates. Blackwell, Oxford. 705 pp.
- TETT P, BARTON E D. 1995. Why are there about 5000 species of phytoplankton in the sea? Journal of Plankton Research. 17: 1963 - 1704.
- VIDAL L, LÓPEZ GARCÍA Y. 2011. Revisión de los taxones del género *Neoceratium*. Gómez D, Moreira ET, P. López García (Dinophyceae) y Primer registro de *N. dens* en el Mar Caribe Colombiano. Santa Marta, Colombia. Bol. Invest. Mar Cost. 40(1): 143 - 183.
- VÍLCHEZ R, ZUZUNAGA J, PEÑA N, CALIENES R, CÁRDENAS G, NÍQUEN M, ANTONIETTI E, CARRASCO S, SÁNCHEZ G. 1991. Evaluación de los principales recursos pelágicos de la costa peruana. Inf Inst Mar Perú. 101: 71 pp.
- VINCENT W F, ROY S. 1993. Solar ultraviolet-B radiation and aquatic primary production: damage, protection and recovery. Environmental Review. 9: 1 - 12.
- WOOD A.M, LEATHAM T. 1992. The species concept in phytoplankton ecology. Journal of Phycology. 28: 723 - 729.
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Bol Inst Mar Perú. 2(5): 157 - 324.

ANEXO

Tabla 2.- Relación de especies del fitoplancton registradas en la Estación Costera Fija Callao y su frecuencia durante el período 1993-2010

Distancia a costa (millas nauticas)	5 mn				10 mn				15 mn				20 mn			
	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P
DIATOMEAS																
<i>Achnanthes longipes</i> C. Agardh, 1824 Ø	0,0	13,0	12,5	7,4	8,0	15,0	17,2	0,0	4,5	5,3	3,8	4,5	4,8	11,8	19,2	0,0
<i>Actinocyclus curvatus</i> Janisch 1874 Ø	12,0	8,7	9,4	7,4	8,0	15,0	17,2	16,7	0,0	0,0	0,0	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Actinocyclus</i> sp. Ehrenberg 1937 Ø	16,0	13,0	15,6	18,5	16,0	10,0	6,9	0,0	4,5	21,1	19,2	0,0	0,0	0,0	11,5	5,9
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1943 Ø	16,0	26,1	9,4	18,5	12,0	20,0	20,7	8,3	4,5	10,5	3,8	0,0	4,8	23,5	3,8	5,9
<i>Actinocyclus splendens</i> (Shadboldt) Ralfs in Pritchard 1961 Ø	0,0	17,4	12,5	7,4	12,0	15,0	27,6	0,0	9,1	10,5	11,5	4,5	14,3	0,0	11,5	5,9
<i>Actinocyclus</i> Ehrenberg 1841 Ø	0,0	5,3	6,3	7,4	8,0	10,0	10,3	0,0	0,0	5,3	3,8	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0
<i>Amphipoma</i> (Ehrenberg) Cleve 1843 Ø	16,0	21,7	12,5	14,8	12,0	20,0	10,3	16,7	27,3	21,1	19,2	18,2	23,8	5,9	7,7	11,8
<i>Amphora</i> sp. Ehrenberg ex Kützing 1840 Ø	16,0	13,0	12,5	11,1	20,0	10,0	20,7	12,5	4,5	0,0	7,7	13,6	19,0	0,0	7,7	11,8
<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round 1990 Ø	12,0	26,1	18,8	22,2	12,0	25,0	34,5	41,7	9,1	15,8	23,1	13,6	14,3	5,9	23,1	29,4
<i>Asteromphalus robustus</i> Castracane 1875 (= <i>Asteromphalus brookei</i>) Ø	12,0	0,0	9,4	11,1	16,0	15,0	13,8	4,2	4,5	0,0	3,8	4,5	9,5	5,9	0,0	5,9
<i>Asteromphalus heptactis</i> (Brébisson) Ralfs 1857 in Pritchard 1861 Ø	12,0	13,0	6,3	14,8	16,0	10,0	6,9	4,2	9,1	0,0	0,0	9,1	9,5	5,9	0,0	11,8
<i>Asteromphalus</i> sp. Ehrenberg 1845 Ø	0,0	0,0	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bacteriastrium delicatulum</i> Cleve 1897*, Ø	0,0	13,0	9,4	11,1	8,0	15,0	10,3	4,2	9,1	5,3	0,0	4,5	9,5	5,9	0,0	11,8
<i>Bacteriastrium hyalinum</i> Lauder 1864*, Ø	12,0	0,0	6,3	11,1	12,0	10,0	17,2	8,3	4,5	5,3	15,4	18,2	0,0	5,9	7,7	0,0
<i>Centaulina pelagica</i> (Cleve) Hendey 1937 Ø	12,0	13,0	6,3	18,5	12,0	20,0	17,2	8,3	13,6	21,1	19,2	22,7	14,3	5,9	7,7	5,9
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1964 Ø	48,0	43,5	40,6	37,0	36,0	45,0	75,9	54,2	50,0	68,4	57,7	40,9	28,6	58,8	53,8	35,3
<i>Chaetoceros anasomus</i> Grunow 1882*, Ø	0,0	0,0	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	4,5	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve 1873*, Ø	0,0	0,0	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	3,8	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0
<i>Chaetoceros coarctatus</i> Lauder 1864*, Ø	8,0	0,0	6,3	7,4	8,0	10,0	10,3	4,2	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	3,8	5,9
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder 1864*, Ø	28,0	17,4	31,3	25,9	20,0	20,0	51,7	29,2	27,3	10,5	65,4	31,8	9,5	23,5	42,3	35,3
<i>Chaetoceros concavicornis</i> Mangin 1917*, Ø	0,0	0,0	6,3	7,4	8,0	10,0	10,3	0,0	0,0	0,0	3,8	4,5	0,0	0,0	3,8	11,8
<i>Chaetoceros constrictus</i> Gran 1897 Ø	24,0	17,4	25,0	18,5	20,0	20,0	37,9	12,5	22,7	15,8	26,9	9,1	9,5	17,6	7,7	0,0
<i>Chaetoceros convolutus</i> Castracane 1886*, Ø	0,0	0,0	9,4	11,1	8,0	10,0	13,8	0,0	0,0	0,0	3,8	4,5	0,0	11,8	3,8	17,6
<i>Chaetoceros costatus</i> Pavillard 1911*, Ø	0,0	8,7	6,3	7,4	8,0	15,0	6,9	4,2	0,0	0,0	3,8	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Chaetoceros curvatus</i> Cleve 1889 Ø	24,0	21,7	25,0	18,5	16,0	30,0	55,2	25,0	18,2	15,8	34,6	31,8	14,3	17,6	30,8	17,6
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889 Ø	0,0	8,7	9,4	11,1	20,0	10,0	10,3	0,0	9,1	0,0	3,8	0,0	19,0	0,0	3,8	5,9
<i>Chaetoceros debilis</i> Cleve 1894 Ø	28,0	43,5	43,8	25,9	40,0	45,0	75,9	37,5	22,7	36,8	69,2	69,2	23,8	35,3	65,4	47,1
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873 Ø	0,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg 1846 Ø	32,0	26,1	15,6	29,6	40,0	30,0	51,7	41,7	40,9	42,1	34,6	34,6	28,6	23,5	50,0	41,2
<i>Chaetoceros elzevini</i> Grunow 1822*, Ø	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	10,5	3,8	3,8	0,0	5,9	0,0	0,0
LEYENDA																
*, Aguas cálidas, Ø: En Ochoa et al. (1999), §: Especie nueva.																
V= Verano																
O= Otoño																
I= Invierno																
P=Primavera																
<i>Chaetoceros neogmclei</i> S. L. VanLandingham, 1968 (= <i>Chaetoceros gmclei</i>) Ø	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Chaetoceros lauderi</i> Ralfs 1864 Ø	20,0	17,4	18,8	18,5	16,0	20,0	34,5	16,7	13,6	10,5	30,8	30,8	4,8	17,6	23,1	5,9
<i>Chaetoceros lorentzianus</i> Grunow 1963 Ø	40,0	52,2	50,0	25,9	36,0	55,0	72,4	45,8	18,2	78,9	65,4	65,4	23,8	52,9	61,5	23,5
<i>Chaetoceros pelagicus</i> Cleve 1873 Ø	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0
<i>Chaetoceros penicillatus</i> Brügge 1858*, Ø	8,0	8,7	6,3	11,1	8,0	10,0	13,8	0,0	0,0	0,0	11,5	11,5	0,0	0,0	0,0	17,6
<i>Chaetoceros radicans</i> F. Schütt 1895*, Ø	8,0	8,7	6,3	7,4	12,0	10,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
<i>Chaetoceros rostratus</i> Lauder 1864*	8,0	8,7	9,4	11,1	8,0	10,0	10,3	0,0	9,1	0,0	7,7	7,7	0,0	0,0	7,7	5,9
<i>Chaetoceros socialis</i> H.S. Lauder 1864 Ø	8,0	8,7	12,5	11,1	12,0	15,0	20,7	4,2	0,0	5,3	11,5	11,5	0,0	0,0	15,4	5,9
<i>Chaetoceros tetrastrichus</i> Cleve 1987*, Ø	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Chaetoceros tortissimus</i> Gran 1900 Ø	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	13,8	0,0	4,5	0,0	11,5	11,5	0,0	0,0	7,7	0,0
<i>Chaetoceros</i> sp. Ehrenberg 1845	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	0,0	0,0	3,8	3,8	4,8	0,0	0,0	5,9
<i>Corethron hystrix</i> Hensen 1887 Ø	8,0	13,0	18,8	11,1	8,0	15,0	13,8	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1	0,0
<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg 1840 Ø	16,0	21,7	18,8	11,1	20,0	20,0	34,5	12,5	4,5	10,5	0,0	0,0	0,0	11,8	11,5	11,8
<i>Coscinodiscus concinnus</i> W. Smith 1856 Ø	20,0	21,7	15,6	14,8	12,0	25,0	13,8	4,2	13,6	21,1	26,9	26,9	9,5	5,9	3,8	0,0
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough 1905 Ø	16,0	34,8	21,9	11,1	20,0	20,0	34,5	16,7	27,3	31,6	19,2	19,2	19,0	29,4	26,9	17,6
<i>Coscinodiscus perforatus</i> Cleve y Möller 1878 Ø	52,0	65,2	53,1	37,0	52,0	60,0	89,7	79,2	72,7	78,9	7,7	7,7	42,9	58,8	69,2	47,1
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg 1840 Ø	12,0	21,7	12,5	7,4	8,0	10,0	20,7	4,2	4,5	5,3	19,2	19,2	4,8	11,8	23,1	5,9
<i>Coscinodiscus wailesii</i> Gran & Angst 1931*, Ø	8,0	13,0	12,5	7,4	8,0	10,0	27,6	20,8	4,5	0,0	80,8	80,8	9,5	5,9	19,2	23,5
<i>Coscinodiscus</i> sp. Ehrenberg 1839	8,0	8,7	12,5	14,8	12,0	10,0	24,1	12,5	4,5	10,5	3,8	3,8	4,8	5,9	0,0	17,6
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewinn 1964 Ø (= <i>Nitzschia closterium</i>)	16,0	13,0	15,6	14,8	16,0	15,0	27,6	12,5	22,7	5,3	7,7	7,7	14,3	17,6	15,4	35,3
<i>Cyclotella</i> sp. (Kützing) Brébisson 1838	8,0	13,0	9,4	7,4	12,0	15,0	13,8	8,3	0,0	5,3	30,8	30,8	9,5	5,9	0,0	11,8
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> Round, Crawford 1996 Ø (= <i>Rhizosolenia fragilissima</i>)	8,0	8,7	9,4	7,4	12,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	23,1	23,1	4,8	0,0	0,0	5,9
<i>Detonula confervacea</i> (Cleve) Gran 1897 Ø	8,0	8,7	9,4	11,1	20,0	15,0	20,7	25,0	9,1	0,0	30,8	30,8	4,8	5,9	23,1	11,8
<i>Detonula pumila</i> (Castracane) Gran 1900 Ø	20,0	17,4	25,0	29,6	24,0	20,0	41,4	62,5	27,3	36,8	42,3	42,3	23,8	17,6	30,8	47,1
<i>Ditylum brightwellii</i> (T. West) Grunow 1885 Ø	36,0	34,8	28,1	29,6	36,0	50,0	48,3	66,7	31,8	36,8	65,4	65,4	28,6	35,3	53,8	23,5
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1845 § (= <i>Entomoneis alata</i> var. <i>alata</i>)	24,0	17,4	12,5	14,8	32,0	15,0	6,9	8,3	18,2	10,5	3,8	3,8	9,5	11,8	0,0	11,8
<i>Eucampia comuta</i> (Cleve) Grunow 1883*, Ø	16,0	8,7	6,3	18,5	24,0	15,0	20,7	4,2	0,0	5,3	7,7	7,7	0,0	5,9	3,8	5,9
<i>Eucampia zoodonum</i> Ehrenberg 1840 Ø	28,0	26,1	18,8	44,4	48,0	20,0	51,7	66,7	54,5	31,6	53,8	53,8	52,4	35,3	42,3	52,9
<i>Fragilariopsis dolotus</i> (Wallich) Medin & P.A.Sims 1993 Ø	20,0	26,1	15,6	18,5	28,0	25,0	17,2	20,8	18,2	21,1	19,2	19,2	23,8	23,5	26,9	11,8
<i>Gammatophom angulosa</i> Ehrenberg 1841 Ø	12,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	10,3	0,0	9,1	0,0	3,8	0,0	0,0	11,8	3,8	0,0
<i>Gammatophom marina</i> (Lyngbye) Kützing 1844 Ø	24,0	17,4	18,8	11,1	20,0	20,0	24,1	16,7	18,2	0,0	19,2	22,7	14,3	5,9	11,5	11,8
<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle 1997 Ø	16,0	17,4	21,9	18,5	20,0	20,0	44,8	45,8	27,3	21,1	30,8	31,8	23,8	23,5	23,1	35,3
<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) H. Peragallo 1892 Ø	8,0	8,7														

<i>Hemianulus sinensis</i> Greville 1865 ♂	8,0	17,4	12,5	11,1	12,0	20,0	17,2	12,5	9,1	15,8	11,5	0,0	4,8	0,0	11,5	5,9
<i>Hemisdiscus cuneiformis</i> Wallich 1860 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Lauderia annulata</i> Cleve 1873 ♂	16,0	8,7	9,4	11,1	24,0	15,0	17,2	20,8	18,2	15,8	26,9	22,7	19,0	5,9	15,4	11,8
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve 1889 ♂	24,0	13,0	15,6	18,5	36,0	10,0	27,6	25,0	40,9	26,3	15,4	36,4	19,0	11,8	19,2	29,4
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> (H. Peragallo) Hasle 1975 ♂	8,0	13,0	9,4	7,4	8,0	20,0	10,3	12,5	4,5	10,5	3,8	9,1	4,8	17,6	3,8	5,9
<i>Leptocylindrus minutus</i> Gran 1915 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
<i>Licnophora abbreviata</i> C. Agardh 1831 ♂	16,0	21,7	12,5	14,8	12,0	30,0	13,8	12,5	9,1	15,8	7,7	0,0	9,5	5,9	15,4	11,8
<i>Lioloma delicatulum</i> (Cupp) Hasle 1996*, ♂	16,0	13,0	12,5	7,4	12,0	25,0	27,6	20,8	22,7	5,3	19,2	13,6	9,5	0,0	19,2	29,4
<i>Lioloma pacificum</i> (Cupp) Hasle 1996*, ♂	20,0	17,4	15,6	11,1	12,0	15,0	24,1	8,3	13,6	0,0	11,5	9,1	14,3	0,0	19,2	5,9
<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg 1839 ♂	40,0	60,9	34,4	25,9	44,0	60,0	75,9	62,5	27,3	84,2	69,2	50,0	28,6	47,1	65,4	41,2
<i>Melosira moniliformis</i> (O.F.Müller) C. Agardh 1824 ♂	12,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	6,9	8,3	4,5	0,0	3,8	9,1	0,0	0,0	0,0	11,8
<i>Navicula</i> sp. Bory de Saint-Vincent 1822	16,0	26,1	9,4	18,5	20,0	20,0	10,3	25,0	22,7	21,1	23,1	22,7	23,8	23,5	19,2	5,9
<i>Neocalyptrella robusta</i> (G.Norman ex Ralfs) Hernández-Becerril & Meave del Castillo 1997 (= <i>Rhizosolenia robusta</i>) ♂	32,0	34,8	28,1	18,5	16,0	35,0	51,7	54,2	18,2	42,1	42,3	40,9	33,3	35,3	46,2	41,2
<i>Planktoniella sol</i> (C.G.Wallich) Schütt 1892*, ♂	44,0	39,1	37,5	37,0	40,0	25,0	69,0	50,0	27,3	36,8	53,8	40,9	9,5	35,3	50,0	29,4
<i>Pleurosigma</i> sp. W.M. Smith, 1852 ♂	8,0	13,0	15,6	7,4	12,0	15,0	13,8	4,2	4,5	5,3	15,4	4,5	4,8	5,9	11,5	5,9
<i>Porosira glacialis</i> (Grunow) Jörgensen, 1905	20,0	26,1	25,0	22,2	20,0	30,0	44,8	45,8	0,0	5,3	7,7	0,0	9,5	0,0	11,5	5,9
<i>Proboscia alata f. indica</i> (H. Peragallo) Licea & Moreno in Moreno, Licea & Santoyo, 1996 (= <i>Rhizosolenia alata f. indica</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	17,2	0,0	40,9	47,4	42,3	27,3	33,3	41,2	26,9	41,2
<i>Proboscia alata f. gracillima</i> (Brightwell) Sundström 1896 (= <i>Rhizosolenia alata f. gracillima</i>)*, ♂	12,0	13,0	6,3	14,8	12,0	15,0	6,9	8,3	9,1	0,0	15,4	9,1	4,8	0,0	7,7	11,8
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden, 1928 ♂ (= <i>Nitzschia delicatissima</i>)	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	10,3	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	3,8	0,0
<i>Pseudo-nitzschia lineola</i> (Cleve) Hasle 1965 ♂ (= <i>Nitzschia lineola</i>)	8,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	17,2	0,0	9,1	5,3	15,4	4,5	0,0	0,0	7,7	5,9
<i>Pseudo-nitzschia pacifica</i> (Cupp) Hustedt, 1958 ♂ (= <i>Nitzschia pacifica</i>)	28,0	34,8	40,6	33,3	28,0	30,0	62,1	54,2	18,2	31,6	65,4	45,5	47,6	17,6	76,9	82,4
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) G.R. Hasle 1993 ♂ (= <i>Nitzschia pungens</i>)	20,0	26,1	28,1	25,9	12,0	25,0	55,2	20,8	27,3	36,8	50,0	27,3	4,8	35,3	38,5	17,6
<i>Pseudo-nitzschia prolongatoides</i> (G.R. Hasle) G.R. Hasle 1993 ♂ (= <i>Nitzschia prolongatoides</i>)	20,0	17,4	12,5	11,1	16,0	10,0	17,2	0,0	9,1	0,0	7,7	4,5	9,5	0,0	7,7	0,0
<i>Pseudo-nitzschia seriatula</i> (Cleve) H. Peragallo 1899 ♂ (= <i>Nitzschia seriatula</i>)	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) B.G. Sundström 1986* (= <i>Rhizosolenia calcar-avis</i>)	16,0	26,1	18,8	14,8	16,0	30,0	27,6	20,8	18,2	21,1	30,8	22,7	14,3	11,8	30,8	23,5
<i>Rhizosolenia acuminata</i> (H. Peragallo) H. Peragallo 1807*, ♂	8,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	4,8	0,0	3,8	0,0
<i>Rhizosolenia bergonii</i> H. Peragallo 1892*, ♂	8,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	17,2	0,0	0,0	10,5	3,8	9,5	0,0	11,8	19,2	5,9
<i>Rhizosolenia castaneae</i> H. Peragallo 1888*, ♂	16,0	13,0	12,5	11,1	12,0	10,0	13,8	4,2	4,5	0,0	3,8	4,1	0,0	0,0	7,7	5,9
<i>Rhizosolenia chunii</i> Karsten 1905 ♂	8,0	26,1	28,1	14,8	8,0	25,0	24,1	33,3	0,0	15,8	38,5	9,1	4,8	5,9	30,8	0,0
<i>Rhizosolenia formosa</i> H. Peragallo 1888*	12,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0
<i>Rhizosolenia hyalina</i> Ostenfeld 1901*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	0,0
<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell 1858 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	16,0	10,0	10,3	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell 1858*	8,0	8,7	9,4	11,1	8,0	10,0	10,3	0,0	0,0	5,3	3,8	4,5	4,8	5,9	7,7	17,6
<i>Rhizosolenia setigera f. pungens</i> (Cleve-Euler) Brunel, 1962	8,0	13,0	12,5	11,1	16,0	10,0	13,8	4,2	9,1	5,3	15,4	9,1	0,0	5,9	0,0	17,6
<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell 1858 ♂	12,0	17,4	6,3	7,4	8,0	20,0	24,1	16,7	18,2	15,8	34,6	27,3	4,8	23,5	7,7	11,8
<i>Rhizosolenia</i> sp. C. G. Ehrenberg 1843 ♂	24,0	8,7	15,6	11,1	16,0	10,0	13,8	4,2	9,1	3,8			41,2	3,8	5,9	
<i>Roperia tessellata</i> (Roper) Grunow ex Pelletan 1889 ♂	12,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	17,6	0,0	0,0	0,0
<i>Roperia</i> sp. Grunow ex J. Pelletan, 1889 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	12,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	3,8	4,5	0,0	5,9	0,0	0,0
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve, 1873 ♂	32,0	43,5	28,1	18,5	32,0	45,0	55,2	45,8	27,3	57,9	34,6	27,3	28,6	0,0	38,5	29,4
<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Greville) Grunow, 1884 ♂	8,0	21,7	28,1	11,1	8,0	15,0	34,5	33,3	4,5	21,1	38,5	18,2	4,8	0,0	19,2	11,8
<i>Stephanopyxis turris</i> (Greville) Ralfs, 1861 ♂	8,0	8,7	12,5	14,8	12,0	10,0	17,2	12,5	13,6	10,5	11,5	4,5	9,5	0,0	15,4	5,9
<i>Thalassionema bacillare</i> (Heiden) Kolbe, 1995 ♂	12,0	8,7	12,5	14,8	12,0	10,0	17,2	12,5	4,5	5,3	7,7	9,1	4,8	0,0	11,5	11,8
<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Tempere & Peragallo, 1910 ♂	8,0	30,4	21,9	25,9	24,0	25,0	31,0	20,8	27,3	15,8	38,5	31,8	28,6	29,4	30,8	35,3
<i>Thalassionema nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky, 1902 ♂	36,0	34,8	34,4	29,6	28,0	25,0	58,6	58,3	36,4	36,8	50,0	45,5	38,1	23,5	42,3	52,9
<i>Thalassiosira angulata</i> (W. Gregory) Hasle, 1978 ♂	28,0	34,8	31,3	22,2	36,0	45,0	41,4	29,2	36,4	36,8	50,0	22,7	28,6	29,4	42,3	23,5
<i>Thalassiosira angustilameata</i> (A. Schmidt) G. A. Fryxell & Hasle, 1977 ♂	16,0	34,8	21,9	22,2	12,0	20,0	27,6	12,5	9,1	15,8	7,7	13,6	9,5	11,8	15,4	11,8
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenbergii) Cleve, 1904 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	12,0	10,0	10,3	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Thalassiosira mendiolana</i> Hasle & Heimdal, 1970 ♂	16,0	21,7	15,6	11,1	12,0	10,0	20,7	16,7	9,1	15,8	7,7	9,1	4,8	17,6	11,5	5,9
<i>Thalassiosira minima</i> Gaarder, 1951 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Thalassiosira parthenia</i> Schröder 1972*, ♂	8,0	8,7	9,4	7,4	12,0	10,0	10,3	4,2	4,5	0,0	7,7	4,5	0,0	0,0	11,5	0,0
<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier 1910 ♂	20,0	13,0	12,5	14,8	20,0	15,0	31,0	29,2	22,7	10,5	30,8	22,7	4,8	11,8	30,8	23,5
<i>Thalassiosira subtilis</i> (Ostenfeld) Gran, 1900 ♂	32,0	26,1	25,0	25,9	24,0	25,0	55,2	41,7	36,4	42,1	50,0	40,9	23,8	23,5	38,5	35,3
<i>Thalassiosira</i> sp. Cleve	8,0	13,0	21,9	11,1	16,0	15,0	24,1	25,0	4,5	26,3	19,2	22,7	9,5	17,6	19,2	29,4
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve & Grunow, 1880 ♂	12,0	17,4	18,8	7,4	12,0	20,0	17,2	8,3	9,1	10,5	15,4	18,2	4,8	5,9	11,5	11,8
<i>Trigonium alternans</i> (J.W. Bailey) A. Mann, 1907 (= <i>Odontella alternans</i>) ♂	24,0	13,0	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Trichotoxon reinholdii</i> (Van Heurck) Reid et Round, 1988 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0
DINOFLAGELADOS																
<i>Akashiwo sanguinea</i> (K. Hirasaka) G. Hansen & Moestrup, 2000 (= <i>Gymnodinium sanguineum</i>) ♂	20,0	30,4	9,4	14,8	16,0	30,0	17,2	4,2	13,6	10,5	3,8	4,5	19,0	23,5	7,7	5,9
<i>Alexandrium ostenfeldii</i> (Paulsen) Balech & Tangen, 1985 (= <i>Alexandrium peruvianum</i>) ♂	8,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Amplex tricantha</i> (Jörgensen) Sournia, 1984*, §	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Archaeoperidinium minutum</i> (Kofoid) Jörgensen, 1912 (= <i>Protoperidinium minutum</i>) ♂	28,0	21,7	9,4	14,8	20,0	15,0	6,9	8,3	22,7	21,1	0,0	18,2	0,0	5,9	7,7	17,6
<i>Ceratium breve var. pallellum</i> (Schmidt) Jörgensen, 1911*, ♂	0,0	0,0	0,0	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Ceratium breve var. schmidtii</i> (Jörgensen) Sournia, 1966*, ♂	8,0	0,0	9,4		8,0	0,0	6,9	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Ceratium gibberum var. dispar</i> (Pouchet) Sournia, 1966*, ♂	8,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	9,1	0,0	11,5	4,5	9,5	11,		

<i>Diplosalopsis bomba</i> (Stein) J.D. Dodge & S. Toriumi, 1993 (= <i>Diplopelta asymmetrica</i>) \emptyset	8,0	30,4	6,3	11,1	12,0	20,0	17,2	33,3	13,6	15,8	19,2	0,0	0,0	23,5	7,7	17,6
<i>Diplopelta steinii</i> (T.H. Abe) Balech, 1988 \emptyset	8,0	0,0	9,4	11,1	12,0	10,0	13,8	12,5	9,1	0,0	11,5	0,0	0,0	5,9	3,8	5,9
<i>Gonyaulax digitalis</i> (Pouchet) Kofoid, 1911 (= <i>Gonyaulax digitale</i>) *, \emptyset	12,0	8,7	18,8	14,8	20,0	10,0	13,8	4,2	13,6	0,0	3,8	0,0	0,0	5,9	7,7	17,6
<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein, 1883 \emptyset	0,0	8,7	0,0	7,4	8,0	0,0	6,9	4,2	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	3,8	0,0
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing 1866 *, \emptyset	24,0	39,1	6,3	14,8	28,0	35,0	10,3	20,8	31,8	21,1	0,0	0,0	0,0	11,8	3,8	11,8
<i>Gonyaulax</i> sp. Diesing, 1866	16,0	17,4	6,3	7,4	8,0	15,0	6,9	8,3	4,5	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0
<i>Glennodinium</i> cf. <i>cinctum</i> Ehrenberg, 1836	16,0	13,0	6,3	11,1	8,0	10,0	6,9	4,2	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
<i>Gymnodinium lohmanni</i> Paulsen, 1908 \emptyset	16,0	8,7	6,3	7,4	12,0	10,0	6,9	4,2	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
<i>Gymnodinium</i> sp. Stein, 1878	12,0	8,7	6,3	14,8	12,0	10,0	10,3	0,0	9,1	0,0	7,7	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0
<i>Kofoidinium velleioides</i> Pavillard, 1928 *, \emptyset	8,0	13,0	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Lingulodinium polyedrum</i> (F. Stein) J. D. Dodge, 1989 (= <i>Gonyaulax polyedra</i>) *, \emptyset	8,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy, 1921 \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0
<i>Ornithocercus quadratus</i> Schütt, 1900 *, \emptyset	8,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Ornithocercus magnificus</i> Stein, 1883 *, \emptyset	8,0	13,0	6,3	7,4	8,0	20,0	17,2	20,8	22,7	36,8	15,4	0,0	0,0	23,5	7,7	11,8
<i>Ornithocercus steinii</i> Schütt, 1900 *, \emptyset	8,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Ornithocercus quadratus</i> Schütt, 1900 *, \emptyset	8,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Oxytoxum tesellatum</i> (Stein) Schütt, 1895 *, \emptyset	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Podolampas bipes</i> Stein, 1883 *, \emptyset	20,0	8,7	6,3	7,4	16,0	10,0	10,3	0,0	4,5	5,3	3,8	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0
<i>Podolampas palmipes</i> Stein, 1883 *, \emptyset	8,0	17,4	6,3	0,0	8,0	0,0	6,9	0,0	4,5	5,3	4,5	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0
<i>Podolampas spinifera</i> Okamura, 1912 *, \emptyset	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Phalacroma cuneus</i> F. Schütt, 1895 (= <i>Dinophysis cuneus</i>) *, \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Phalacroma doriphorum</i> Stein, 1883 (= <i>Dinophysis doriphora</i>) *, \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	13,6	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Phalacroma nitida</i> F. Schütt, 1895 *, \emptyset	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	5,9
<i>Phalacroma oxytoxoides</i> (Kofoid) F. Gómez, P. López-García & D. Moreira, 2011 (= <i>Oxyphysis oxytoxoides</i>) \emptyset	24,0	17,4	6,3	11,1	24,0	20,0	6,9	12,5	18,2	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Claparède & Lachmann) Kofoid & Michener, 1911 (= <i>Dinophysis rotundata</i>) \emptyset	16,0	8,7	12,5	7,4	20,0	25,0	13,8	12,5	22,7	15,8	11,5	9,1	0,0	5,9	7,7	11,8
<i>Preperidinium meunieri</i> (Pavillard) Elbräther, 1993 (= <i>Diplopetopsis minor</i>) \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	0,0	4,5	9,5	5,9	0,0	5,9
<i>Pronoctiluca acuta</i> (Lohmann) Schiller, 1993 *, \emptyset	16,0	13,0	6,3	7,4	12,0	10,0	6,9	0,0	9,1	0,0	3,8	22,7	4,8	0,0	0,0	5,9
<i>Pronoctiluca pelagica</i> Fabre-Domergue, 1889 *, \emptyset	28,0	34,8	15,6	25,9	44,0	25,0	17,2	41,7	36,4	36,8	23,1	22,7	4,8	35,3	15,4	35,3
<i>Proocentrum gracile</i> Schütt, 1895 \emptyset	36,0	39,1	21,9	29,6	32,0	45,0	17,2	29,2	40,9	52,6	19,2	4,5	4,8	35,3	23,1	23,5
<i>Proocentrum micans</i> Ehrenberg, 1834 \emptyset	8,0	17,4	6,3	7,4	12,0	10,0	6,9	0,0	9,1	0,0	0,0	4,5	19,0	5,9	3,8	0,0
<i>Protoperidinium brochii</i> (Kofoid & Swezy, 1921) Balech, 1974 *, \emptyset	24,0	30,4	12,5	18,5	20,0	15,0	27,6	12,5	45,5	31,6	11,5	4,5	4,8	29,4	34,6	29,4
<i>Protoperidinium claudicans</i> (Paulsen, 1907) Balech, 1974 *, \emptyset	16,0	13,0	9,4	7,4	16,0	15,0	6,9	8,3	4,5	15,8	7,7	4,5	4,8	11,8	11,5	5,9
<i>Protoperidinium conicoide</i> (Paulsen, 1905) Balech, 1974 \emptyset	40,0	60,9	43,8	48,1	52,0	60,0	79,3	83,3	77,3	73,7	65,4	4,5	23,8	47,1	53,8	58,8
<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran, 1900) Balech, 1974 \emptyset	40,0	39,1	25,0	18,5	32,0	35,0	24,1	58,3	77,3	42,1	30,8	4,5	4,8	41,2	38,5	52,9
<i>Protoperidinium cressipes</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974 \emptyset	44,0	65,2	40,6	40,7	60,0	70,0	89,7	91,7	95,5	73,7	69,2	4,5	9,5	64,7	65,4	76,5
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey, 1854) Balech, 1974 \emptyset	12,0	13,0	15,6	14,8	20,0	20,0	24,1	25,0	9,1	21,1	34,6	40,9	14,3	5,9	23,1	11,8
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg, 1840) Balech, 1974 \emptyset	8,0	8,7	6,3	11,1	8,0	10,0	6,9	4,2	9,1	0,0	3,8	31,8	38,1	5,9	3,8	5,9
<i>Protoperidinium elegans</i> (Cleve, 1900) Balech, 1974 *, \emptyset	16,0	17,4	12,5	22,2	16,0	15,0	17,2	20,8	18,2	31,6	11,5	16,2	38,1	23,5	11,5	17,6
<i>Protoperidinium excentricum</i> (Paulsen, 1907) Balech, 1974 *, \emptyset	8,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	10,3	0,0	9,1	5,3	3,8	4,5	4,8	5,9	3,8	5,9
<i>Protoperidinium globulus</i> (Stein, 1883) Balech, 1974 *, \emptyset	8,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	0,0	77,3	23,8	5,9	3,8	11,8
<i>Protoperidinium grande</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974 *, \emptyset	20,0	21,7	9,4	18,5	28,0	20,0	20,7	37,5	27,3	21,1	26,9	40,9	52,4	23,5	26,9	23,5
<i>Protoperidinium granii</i> (Ostenfeld) Balech, 1974 \emptyset	36,0	39,1	25,0	22,2	36,0	35,0	34,5	29,2	50,0	36,8	23,1	68,2	47,6	29,4	23,1	5,9
<i>Protoperidinium leonis</i> (Pavillard, 1916) Balech, 1974 \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	9,1	5,3	3,8	22,7	81,0	0,0	3,8	5,9
<i>Protoperidinium longipes</i> Balech, 1974 *, \emptyset	36,0	39,1	15,6	29,6	28,0	30,0	13,8	29,2	40,9	26,3	3,8	18,2	19,0	29,4	0,0	17,6
<i>Protoperidinium longispinum</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974 \emptyset	32,0	34,8	31,3	22,2	28,0	30,0	27,6	25,0	31,8	26,3	26,9	4,5	28,6	23,5	7,7	35,3
<i>Protoperidinium mendiolae</i> Balech, 1979 \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	0,0	0,0	4,2	18,2	10,5	11,5	9,1	28,6	11,8	15,4	5,9
<i>Protoperidinium nurayii</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974 *, \emptyset	12,0	12,7	12,5	18,5	8,0	20,0	20,7	29,2	13,6	0,0	15,4	13,6	14,3	5,9	3,8	17,6
<i>Protoperidinium oblongum</i> (Aurivillius) Parke & Dodge, 1976 *, \emptyset	44,0	60,9	40,6	44,4	52,0	55,0	62,1	75,0	63,6	73,7	61,5	45,5	38,1	58,8	46,2	29,4
<i>Protoperidinium obtusum</i> (Karsten) Parke & Dodge, 1976 \emptyset	28,0	26,1	34,4	14,8	48,0	40,0	51,7	45,8	31,8	31,6	42,3	27,3	28,6	41,2	46,2	35,3
<i>Protoperidinium oceanicum</i> (VanHöffen, 1987) Balech, 1974 *, \emptyset	16,0	13,0	9,4	14,8	16,0	15,0	10,3	8,3	13,6	5,3	7,7	36,4	14,3	5,9	7,7	5,9
<i>Protoperidinium pedunculatum</i> (Schütt, 1895) Balech, 1974 *, \emptyset	36,0	39,1	12,5	29,6	44,0	40,0	24,1	58,3	54,5	47,4	15,4	0,0	19,0	23,5	26,9	47,1
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Berg, 1881 \emptyset	20,0	34,8	31,3	25,9	32,0	30,0	37,9	58,3	18,2	15,8	23,1	9,1	4,8	41,2	15,4	41,2
<i>Protoperidinium pentagonum</i> (Gran, 1902) Balech, 1974 *, \emptyset	16,0	21,7	9,4	11,1	12,0	15,0	10,3	0,0	13,6	5,3	3,8	13,6	33,3	17,6	7,7	5,9
<i>Protoperidinium peruvianum</i> (Balech, 1961) Balech, 1974 *, \emptyset	16,0	21,7	9,4	11,1	12,0	15,0	10,3	4,2	13,6	0,0	0,0	13,6	33,3	17,6	0,0	0,0
<i>Protoperidinium quamerense</i> (B. Schöder, 1900) Balech, 1974 *, \emptyset	8,0	8,7	12,5	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	0,0	0,0	0,0	59,1	23,8	5,9	7,7	0,0
<i>Protoperidinium steinii</i> (Jørgensen, 1899) Balech, 1974 *, \emptyset	16,0	21,7	6,3	11,1	28,0	15,0	13,8	8,3	13,6	5,3	5,3	22,7	9,5	5,9	19,2	0,0
<i>Protoperidinium subinerme</i> (Paulsen) Loeblich III, 1969 \emptyset	16,0	26,1	9,4	14,8	24,0	30,0	31,0	37,5	13,6	26,3	26,3	4,5	42,9	17,6	19,2	23,5
<i>Protoperidinium tenuissimum</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974 *, \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	8,3	0,0	0,0	5,3	45,5	23,8	0,0	0,0	0,0
<i>Protoperidinium venustum</i> (Matzenauer, 1933) Balech, 1974 \S	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	31,8	9,5	0,0	0,0	0,0
<i>Ptychodiscus noctiluca</i> Stein, 1883 *, \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	8,3	0,0	0,0	0,0	4,5	19,0	0,0	0,0	0,0
<i>Pyrocystis elegans</i> Pavillard, 1931 *, \emptyset	12,0	21,7	6,3	22,2	12,0	10,0	20,7	20,8	18,2	5,3	5,3	4,5	9,5	5,9	11,5	0,0
<i>Pyrocystis fusiformis</i> C. W. Thompson, 1976 *, \emptyset	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,									

<i>Tripos eucarvatus</i> (Jørgensen) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium eucarvatum</i>)*, ♂	20,0	17,4	18,8	11,1	16,0	25,0	20,7	4,2	13,6	15,8	15,8	22,7	19,0	5,9	11,5	11,8
<i>Tripos falcatus</i> (Kofoid) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium falcatum</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Tripos fusus</i> (Ehrenberg) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium fusus</i>) ♂	48,0	60,9	37,5	44,4	48,0	55,0	79,3	87,5	68,2	78,9	78,9	68,2	66,7	70,6	69,2	70,6
<i>Tripos furca</i> (Ehrenberg) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium furca</i>) ♂	28,0	43,5	15,6	18,5	36,0	40,0	34,5	12,5	36,4	47,4	47,4	31,8	42,9	47,1	26,9	11,8
<i>Tripos gmvuidus</i> (Gourret) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium gmvuidum</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
<i>Tripos hexacanthus</i> (Gourret) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium hexacanthum</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
<i>Tripos incisum</i> (Karsten) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium incisum</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	4,5	0,0	5,3	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Tripos karstenii</i> (Pavillard) F. Gómez, 1913 (= <i>Centium contortum</i> var. <i>karstenii</i>)*, ♂	8,0	8,7	9,4	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	11,8
<i>Tripos kofoidii</i> (Jørgensen) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium kofoidii</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	5,3	4,5	0,0	0,0	3,8	0,0
<i>Tripos lineatus</i> (Ehrenberg) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium lineatum</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0
<i>Tripos longinostus</i> (Gourret) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium longinostum</i>)*	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	4,5	0,0	0,0	4,5	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Tripos lunula</i> (Schimper ex Karsten) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium lunula</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	9,1	0,0	0,0	9,1	9,5	5,9	0,0	11,8
<i>Tripos nurocens</i> (Ehrenberg) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium nurocens</i>)*, ♂	8,0	13,0	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	4,8	0,0	3,8	0,0
<i>Tripos massiliensis</i> (Gourret) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium massiliense</i>)*, ♂	12,0	8,7	6,3	7,4	8,0	15,0	13,8	8,3	4,5	5,3	11,5	4,5	4,8	0,0	7,7	5,9
<i>Tripos pentagonus</i> (Gourret) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium pentagonum</i>)*, ♂	8,0	13,0	6,3	7,4	8,0	10,0	13,8	4,2	0,0	0,0	7,7	4,5	4,8	5,9	3,8	5,9
<i>Tripos pnelongus</i> (Lemmermann) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium pnelongum</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	4,5	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Tripos pulchellus</i> (Schröder) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium tripos</i> var. <i>pulchellum</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Tripos nanipes</i> (Cleve) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium nanipes</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0
<i>Tripos seta</i> (Ehrenberg) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium fusus</i> var. <i>seta</i>)*, ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Tripos trichocens</i> (Ehrenberg) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium trichocens</i>)*, ♂	16,0	13,0	15,6	14,8	16,0	20,0	13,8	12,5	18,2	5,3	15,4	9,1	14,3	5,9	15,4	11,8
<i>Tripos vultur</i> (Cleve) F. Gómez, 2013 (= <i>Centium vultur</i>)*, ♂	36,0	47,8	31,3	33,3	36,0	45,0	72,4	62,5	50,0	36,8	26,9	59,1	47,6	0,0	65,4	58,8
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III, 1976 ♂	8,0	8,7	6,3	7,4	8,0	10,0	6,9	4,2	4,5	0,0	0,0	4,5	4,8	5,9	3,8	0,0
SILICOFLAGELADOS																
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg, 1839 ♂	48,0	47,8	34,4	18,5	40,0	60,0	62,1	41,7	63,6	63,2	53,8	59,1	66,7	76,5	46,2	47,1
<i>Dictyocha speculum</i> Ehrenberg, 1839 ♂	12,0	8,7	6,3	7,4	20,0	10,0	24,1	12,5	13,6	5,3	23,1	4,5	9,5	5,9	34,6	11,8
<i>Octactis octonaria</i> (Ehrenberg) Hovasse, 1946 ♂	28,0	30,4	25,0	14,8	20,0	25,0	17,2	12,5	13,6	21,1	19,2	18,2	14,3	23,5	30,8	17,6

VOLÚMENES DEL ZOOPLANCTON, DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE ICTIOPLANCTON, EUFÁUSIDOS Y PARALARVAS, VERANO 2018

ZOOPLANKTON VOLUMES, DISTRIBUTION, AND ABUNDANCE OF ICHTHYOPLANKTON, EUPHAUSIIDS, AND PARALARVAE, SUMMER 2018

Jonathan Correa¹Carmela Nakazaki¹

RESUMEN

CORREA J, NAKAZAKI C. 2019. Volúmenes del zooplancton, distribución y abundancia de ictioplancton, eufáusidos y paralarvas, verano 2018. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 456-472.- El área de estudio se ubicó fuera de la plataforma continental. Los volúmenes del zooplancton fluctuaron entre 1,6 y 55,0 mL/muestra, con mayores valores al norte del área de muestreo. En el ictioplancton las principales familias fueron Phosichthyidae (84,42%), Myctophidae (62,34%), Engraulidae (22,08%), Bathylagidae (18,18%). *Vinciguerria lucetia* se distribuyó en toda el área de estudio, su abundancia varió entre 3 y 52.608 huevos/m² y entre 3 y 300 larvas/m². La presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* fueron más frecuentes entre los grados 8 y 10°S, fluctuando entre 63 y 9.438 huevos/m² y entre 3 y 87 larvas/m², representando 9,68% y 0,21% de la abundancia total del ictioplancton, respectivamente. En los Scombridae, las larvas de *Auxis rochei* fueron frecuentes en 10,39% del total de estaciones y se distribuyeron entre 5°S y 9°S, la frecuencia de larvas de *Scomber japonicus* fue 3,90% y se localizaron en 5°S; las larvas de *Trachurus murphyi* (jurel) tuvieron frecuencia de 1,30% localizándose en 5°S. Furciliarias y juveniles de eufáusidos fueron abundantes y frecuentes; juveniles del género *Euphausia* fueron representativos. Paralarvas de la familia Argonautidae alcanzaron el 96,92% de frecuencia, con abundancia total de 1.665 Ind/m², el género *Argonauta* se distribuyó en toda el área de estudio con abundancias superiores a 100 Ind/m² entre Supe y Huacho y al sur de bahía Independencia. Las comunidades zooplanctónicas distribuidas en el área de estudio estuvieron asociadas mayormente a ASS y a la mezcla con ACF. La dinámica de las AES se mantuvo al norte de los 6°S.

PALABRAS CLAVE: eufáusidos, ictioplancton, paralarvas, *Engraulis ringens*, *Vinciguerria lucetia*

ABSTRACT

CORREA J, NAKAZAKI C. 2019. Zooplankton volumes, distribution and abundance of ichthyoplankton, euphausiids and paralarvae, summer 2018. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 456-472.- The volume of zooplankton ranged from 1.6 to 55.0 mL/sample, with higher values north of the sampling area. The main families of ichthyoplankton were Phosichthyidae (84.42%), Myctophidae (62.34%), Engraulidae (22.08%), Bathylagidae (18.18%). *Vinciguerria lucetia* was distributed throughout the study area. Abundance varied between 3 and 52,608 eggs/m² and between 3 and 300 larvae/m². The presence of *Engraulis ringens* eggs and larvae was frequent between grades 8 and 10°S, fluctuating between 63 and 9,438 eggs/m² and between 3 and 87 larvae/m², representing 9.68% and 0.21% of the total ichthyoplankton abundance, respectively. In Scombridae, *Auxis rochei* larvae were frequent in 10.39% of the total stations and were distributed between 5°S and 9°S, *Scomber japonicus* larvae frequency was 3.90% and were located in 5°S; *Trachurus murphyi* larvae had frequency of 1.30% and were located in 5°S. Furciliarias and euphausiid juveniles were abundant and frequent; *Euphausia* juveniles were representative. Paralarvas of the Argonautidae family reached 96.92% frequency, with total abundance of 1,665 Ind/m², *Argonauta* was distributed throughout the study area with abundances greater than 100 Ind/m² between Supe and Huacho, and south of Independencia Bay. The zooplanktonic communities were mainly associated with SSA and the mixture with FCF. The dynamics of the AES remained north of 6°S.

KEYWORDS: euphausiids, ichthyoplankton, paralarvae, *Engraulis ringens*, *Vinciguerria lucetia*

1. INTRODUCCIÓN

La constante evaluación de los recursos pesqueros en el mar peruano, mediante cruceros científicos, permite que el IMARPE recolecte muestras de zooplancton con la finalidad de realizar estudios sobre variabilidad de volúmenes, abundancia y distribución del zooplancton, enfatizando en eufáusidos y en las primeras etapas de vida de peces y cefalópodos.

1. INTRODUCTION

IMARPE, by means of scientific cruises, develops a constant evaluation of the fishing resources in the Peruvian sea and planktonic samples are collected to carry out studies on the variation of volumes, abundance, and distribution of the zooplankton, especially in euphausiids and in the early life stages of fish and cephalopods.

1 IMARPE, DGIOCC. Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. jcorrea@imarpe.gob.pe

Los volúmenes del zooplancton, así como de su comunidad son una herramienta que explica la variabilidad de las tendencias climáticas (AYÓN *et al.*, 2004). El seguimiento de los primeros estadios de los peces comerciales en especial de los migratorios (jurel y caballa), ofrece información sobre el reclutamiento de dichas especies y cuya constante presencia refuerza planteamientos sobre la existencia de stocks, substocks o subpoblaciones en gran parte independientes (SERRA, 1991; AYÓN y CORREA, 2013).

Los eufáusidos constituyen parte importante en la comunidad del macrozooplancton en términos de biomasa y actúan como intermediarios entre la producción primaria - secundaria y los predadores más grandes, contribuyendo al flujo vertical de carbono mediante sus migraciones verticales diarias. Durante estas migraciones, muchas especies de eufáusidos (como también sus estadios) cruzan gradientes de temperatura, salinidad y oxígeno demostrando así su amplia plasticidad ecofisiológica.

Del mismo modo, es importante resaltar la presencia de los estadios tempranos: huevos y paralarvas de los cefalópodos, que también tienen vida planctónica. Éstos responden a los cambios ambientales causados por la dinámica de los océanos (PIERCE *et al.*, 2008), relacionando su distribución y abundancia con regiones de surgencias (ALEJO-PLATA *et al.*, 2013) y cuya tasa de desarrollo larval y sobrevivencia del desove son afectados por las variaciones de la temperatura y salinidad (VIDAL *et al.*, 2010).

Así, para una mejor comprensión ecológica es importante efectuar el seguimiento en la variabilidad de dichas comunidades frente al litoral peruano.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El material biológico proviene del crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa - Cr 1803, que se realizó a bordo del BIC Humboldt, del 2 al 31 de marzo 2018, muestreándose por fuera de las 80 mn de la costa hasta una distancia máxima de 200 mn en el norte y 120 mn en el sur, en el área comprendida entre los 5°S y 18°S.

Se recolectaron 77 muestras de zooplancton con red Hensen de 300 micras de abertura de malla, operada en jales verticales desde 50 metros de profundidad hacia la superficie (Fig. 1). A bordo, se fijaron las muestras con formaldehído al 2%.

Zooplankton volumes are a tool that explains the variability of climatic patterns (AYÓN *et al.*, 2004). The monitoring of the early stages of commercial fish, especially migratory fish (jack and chub mackerel), provides information on the recruitment of these species and whose constant presence reinforces questions about the existence of largely independent stocks, substocks or sub-populations (SERRA, 1991; AYÓN & CORREA, 2013).

Euphausiids are an important part of the macrozooplankton community (in biomass) and act as intermediaries between primary - secondary production and larger predators, contributing to the vertical flow of carbon through their daily vertical migrations. Many species of euphausiids (as well as their stages) cross gradients of temperature, salinity, and oxygen during their migrations thus demonstrating their broad ecophysiological plasticity.

It is also noteworthy the presence of the early stages: cephalopod eggs and paralarvae, which also have a planktonic life, and respond to environmental changes caused by ocean dynamics (PIERCE *et al.*, 2008), relating their distribution and abundance to upwelling regions (ALEJO-PLATA *et al.*, 2013). Their rate of larval development and spawning survival are affected by variations in temperature and salinity (VIDAL *et al.*, 2010).

It is important to monitor the variability of these communities off the Peruvian coast for a better ecological understanding.

2. MATERIAL AND METHODS

From March 2 to 31, 2018, the Hydroacoustic Assessment Cruise for Jack and Chub Mackerel - Cr 1803 was carried out onboard the R/V Humboldt. The biological material was collected outside the 80 nm offshore up to a maximum distance of 200 nm in the north and 120 nm in the south, in the area located between 5°S and 18°S.

A total of 77 zooplankton samples were collected with a 300 µm Hensen net, operated in vertical trawls from a depth of 50 meters to the surface (Fig. 1). The samples were fixed with 2% formaldehyde.

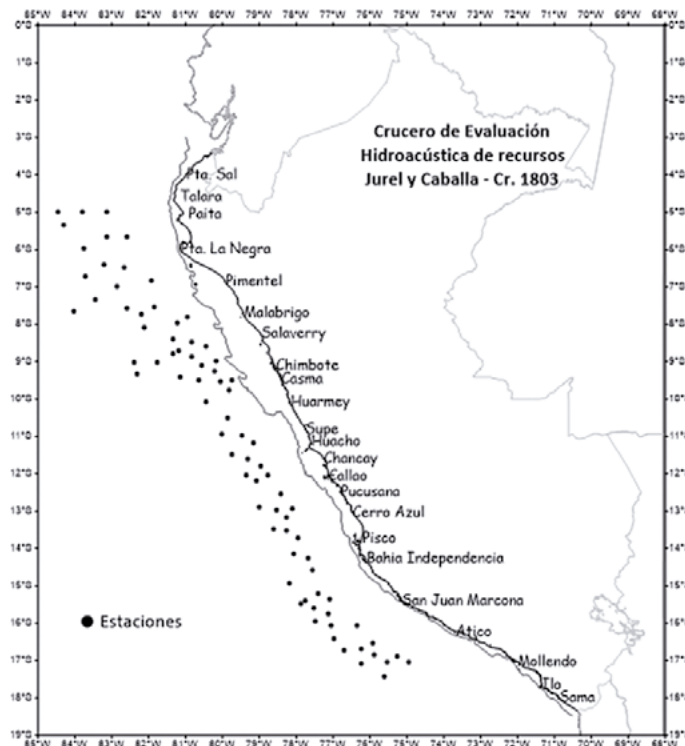


Figura 1.- Estaciones de muestreo. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803 BIC Humboldt

Figure 1. Sampling stations. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria (LZPS) de la sede central del IMARPE. Para la obtención de volúmenes de zooplancton se empleó el método por desplazamiento (KRAMER *et al.*, 1972) extrayéndose los organismos gelatinosos (medusas, salpas), el ictioplancton (abundante y con talla mayor a 2cm) y además el crustáceo *Pleuroncodes monodon* (Milne Edwards) “munida”, los cuales no se tomaron en cuenta para el cálculo del volumen. Los volúmenes fueron expresados en mL/muestra.

Para permitir el conteo rápido de las especies más abundantes, se utilizó el método del Beaker (VAN GUELPEN *et al.*, 1982), luego se procedió a la determinación, cuantificación y separación de huevos y larvas de peces, estadios de eufáusidos y paralarvas de cefalópodos. Las abundancias de las especies fueron expresadas en Ind/m².

Para la determinación de las especies del ictioplancton se consultó a MOSER (1996), EINARSSON y ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER y SANDOVAL DE CASTILLO (1973); para eufáusidos BODEN *et al.* (1955) y para las paralarvas SWEENEY *et al.* (1992). En el caso de paralarvas se tomó en cuenta al Complejo SD refiriéndose al grupo de dos especies *Sthenoteuthis oualaniensis* (Lesson) y *Dosidicus gigas* (d’Orbigny)

The analysis of the samples was performed at the Zooplankton and Secondary Production Laboratory (ZSPL) at IMARPE’s headquarters. The displacement method was used for estimating the volume (KRAMER *et al.*, 1972). To do so, the gelatinous organisms (jellyfish, gilt-head), ichthyoplankton (abundant and larger than 2cm), and the crustacean *Pleuroncodes monodon* (Milne Edwards) “squat lobster” were extracted. These ones were not considered when calculating the volume. Volumes were expressed in mL/sample.

The Beaker method was used (VAN GUELPEN *et al.*, 1982) to allow a rapid count of the most abundant species, followed by the determination, quantification, and separation of fish eggs and larvae, euphausiid stages, and cephalopod paralarvae. The abundances of the species were expressed in Ind/m².

MOSER (1996), EINARSSON & ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER & SANDOVAL DE CASTILLO (1973) for ichthyoplankton species; BODEN *et al.* (1955) for euphausiids, and SWEENEY *et al.* (1992) for paralarvae were consulted for the species determination. In the case of paralarvae, the SD Complex was considered, referring to two species *Sthenoteuthis oualaniensis* (Lesson) and *Dosidicus gigas* (d’Orbigny) which at

que a tallas menores a 3 y 4 mm de longitud de manto, no pueden ser identificadas morfológicamente, ya que aún no desarrollan las estructuras que separan a las especies.

El procesamiento de la información y los gráficos se hicieron en el programa Excel, mientras que los mapas de distribución y abundancia se elaboraron con el programa Surfer v15. Se empleó el programa Primer v6 para calcular los parámetros comunitarios en base a la frecuencia relativa superior al 10% del total del ictioplancton (PIELOU, 1984). Se estimaron los índices de diversidad de Shannon ($H' \log_2$) (bits/individuos), equidad (J'), riqueza específica (d), similitud de Bray Curtis, así como también el dendrograma, tomando en consideración aquellas estaciones con presencia de ictioplancton.

3. RESULTADOS

Volúmenes de zooplancton

Los volúmenes comprendieron el rango entre 1,6 y 55,0 mL/muestra, promedio de 16,18 mL/muestra. Más frecuentes estuvieron entre 10,1 y 20,0 mL/muestra (41,56%) distribuidos en casi toda el área de estudio (Fig. 2).

sizes less than 3 and 4 mm in mantle length, cannot be identified morphologically since they do not yet develop the structures that separate the species.

Information processing and graphs were made in Excel, while distribution and abundance maps were made with Surfer v15. The Primer v6 software was used to calculate community parameters based on the relative frequency greater than 10% of the total ichthyoplankton (PIELOU, 1984). The Shannon ($H' \log_2$) (bits/individuals), equity (J'), specific richness (d), Bray-Curtis similarity indices, as well as the dendrogram were estimated, by considering those stations with ichthyoplankton presence.

3. RESULTS

Zooplankton volumes

Volumes ranged from 1.6 to 55.0 mL/sample, with a mean of 16.18 mL/sample. The most frequent were between 10.1 and 20.0 mL/sample (41.56%) distributed in almost the entire study area (Fig. 2).

Volumes between 0.1 and 5.0 mL/sample were the least frequent (6.49%) located to the south, between 16°S and 17°S, closer to the coast. Volumes between

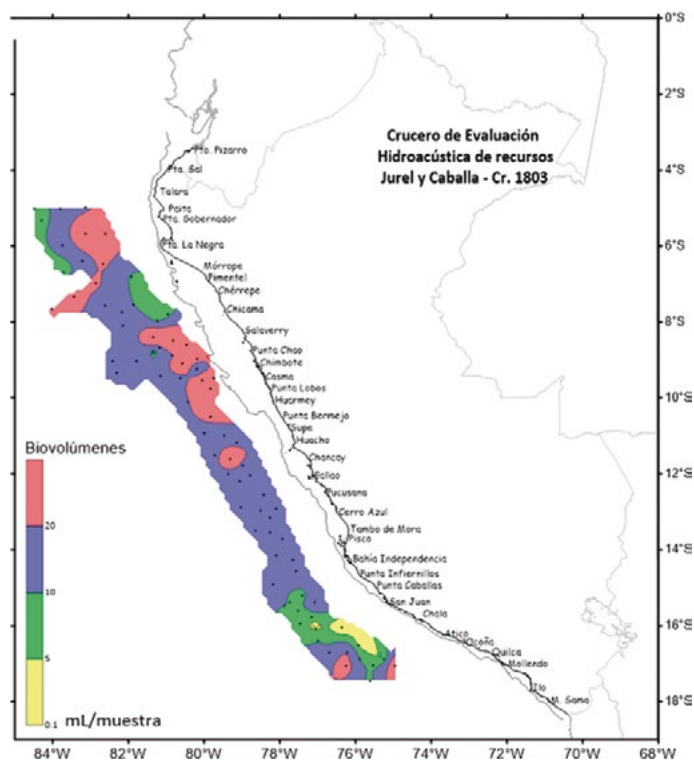


Figura 2.- Volúmenes de zooplancton mL/muestra. Cruce de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803 BIC Humboldt

Figure 2. Zooplankton volumes mL/sample. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Los volúmenes entre 0,1 y 5,0 mL/muestra fueron los menos frecuentes (6,49%) ubicados al sur entre 16°S y 17°S más cerca de la costa. Los volúmenes entre 5,1 y 10,0 mL/muestra y los mayores a 20,0 mL/muestra (25,97%) se distribuyeron en núcleos entre 16°S y 17°S y entre 5°S y 12°S, respectivamente (Tabla 1).

Composición del ictioplancton

El ictioplancton estuvo compuesto por 22 familias, 23 géneros y 18 especies. Las familias más frecuentes fueron Phosichthyidae (84,42%), Myctophidae (62,34%) y Engraulidae (22,08%), tanto Scombridae como Nomeidae tuvieron 16,88% de frecuencia (Tabla 2).

En la Tabla 3 (Anexo) se observa composición, frecuencia y abundancia de las especies del ictioplancton. Phosichthyidae es la familia más abundante, con la especie *Vinciguerria lucetia* (Garman) cuyos huevos y larvas fueron 85,98% y 2,27%, respectivamente. Engraulidae estuvo presentada por *Engraulis ringens* (Jenyns), sus huevos y larvas representaron el 9,68% y 0,22% de la abundancia total del ictioplancton.

Tabla 1.- Volúmenes del zooplancton mL/muestra. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa. BIC Humboldt

Table 1. Zooplankton volumes mL/sample. Hydroacoustic Assessment Cruise for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Rango / Range mL/muestra	Nº de estaciones Nº of stations	Frecuencia Frequency %
0,1 – 5,0	5	6,49
5,1 -10,0	20	25,97
10,1 – 20,0	32	41,56
>20	20	25,97
Total	77	100

5.1 and 10.0 mL/sample and those greater than 20.0 mL/sample (25.97%) were distributed in nuclei between 16°S and 17°S and between 5°S and 12°S, respectively (Table 1).

Ichthyoplankton composition

Ichthyoplankton was formed by 22 families, 23 genera, and 18 species. The most frequent families were Phosichthyidae (84.42%), Myctophidae (62.34%), and Engraulidae (22.08%), both Scombridae and Nomeidae had a frequency of 16.88% (Table 2).

Table 3 (Annex) shows the composition, frequency, and abundance of ichthyoplankton species. Phosichthyidae is the most abundant family, with

Tabla 2.- Composición, frecuencias y abundancias de las familias de Ictioplancton. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Table 2. Composition, frequencies, and abundances of the ichthyoplankton families. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Familia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Abundancia mínima	Abundancia máxima	Abund. Total (Ind/m ²)	Frec % Ind/m ²	ln (Ictiopl/m ²)
Bathylagidae	14	18,18	3	15	66	0,044	4,20
Blenniidae	2	2,60	3	3	6	0,004	1,95
Carangidae	1	1,30	3	3	3	0,002	1,39
Ceratiidae	3	3,90	3	3	9	0,006	2,30
Coryphaenidae	1	1,30	3	3	3	0,002	1,39
Engraulidae	17	22,08	3	9438	14730	9,901	9,60
Exocoetidae	6	7,79	3	9	27	0,018	3,33
Gobiidae	2	2,60	3	6	9	0,006	2,30
Gonostomatidae	1	1,30	3	3	3	0,002	1,39
Hemiramphidae	12	15,58	3	18	69	0,046	4,25
Melanocetidae	1	1,30	3	3	3	0,002	1,39
Mugilidae	5	6,49	3	12	30	0,020	3,43
Myctophidae	48	62,34	3	84	798	0,536	6,68
Nomeidae	13	16,88	3	57	192	0,129	5,26
Oneirodidae	2	2,60	3	3	6	0,004	1,95
Phosichthyidae	65	84,42	3	52626	131310	88,260	11,79
Sciaenidae	4	5,19	3	3	12	0,008	2,56
Scomberesocidae	3	3,90	3	3	9	0,006	2,30
Scombridae	13	16,88	3	60	147	0,099	5,00
Scopelarchidae	3	3,90	3	6	12	0,008	2,56
Trachipteridae	1	1,30	3	3	3	0,002	1,39
No determinado	37	48,05	3	291	1329	0,893	7,19

Abundancia y distribución del ictioplancton

Engraulis ringens, anchoveta

Los huevos y larvas de esta especie presentaron abundancias que fluctuaron entre 63 y 9.438 huevos/m² y entre 3 y 87 larvas/m², representando el 5,19% y el 16,88%, respectivamente (Tabla 3, Anexo). Aunque el área de estudio se ubicó fuera de la plataforma continental, se recolectaron sus huevos a 100 mn de costa, distribuidos desde 8°S hasta 10°S, entre Malabrigo y Chimbote. Así mismo, las larvas fueron frecuentes en esta misma área con focos distribuidos hacia bahía Independencia, e inclusive se recolectaron a 120 mn frente a Malabrigo (Fig. 3 a y b).

Vinciguerria lucetia, vinciguerría, pez luminoso

Fue la más representativa del ictioplancton, su abundancia de huevos osciló entre 3 y 52.608 huevos/m² mientras que las larvas fluctuaron entre 3 y 300 larvas/m², representando el 83,12% y 70,13%, respectivamente (Tabla 3, Anexo). Los huevos tuvieron distribución homogénea en toda el área de estudio. Similar fue en el caso de las larvas, pero éstas fueron más abundantes entre los 10°S y 18°S frente a Huarney y Atico (Fig. 4 a y b).

the species *Vinciguerria lucetia* (Garman) whose eggs and larvae were 85.98% and 2.27%, respectively. Engraulidae was represented by *Engraulis ringens* (Jenyns), its eggs and larvae represented 9.68% and 0.22% of the total ichthyoplankton abundance.

Ichthyoplankton abundance and distribution

Engraulis ringens, anchoveta

Its eggs and larvae presented abundances ranging from 63 to 9,438 eggs/m² and from 3 to 87 larvae/m², representing 5.19% and 16.88%, respectively (Table 3, Annex). Although the study area was located outside the shelf break, their eggs were collected at 100 nm offshore, distributed from 8°S to 10°S, between Malabrigo and Chimbote. Likewise, larvae pockets were frequent in this same area distributed towards Independencia Bay and were even collected at 120 nm off Malabrigo (Fig. 3 a and b).

Vinciguerria lucetia, Panama lightfish

It was the most representative ichthyoplankton species, with egg abundance ranging from 3 to 52,608 eggs/m² while larvae fluctuated between 3 and 300 larvae/m², representing 83.12% and 70.13%, respectively (Table 3, Annex). Eggs were homogeneously distributed throughout the study area. The larvae were similar, but more abundant between 10°S and 18°S off Huarney and Atico (Fig. 4 a and b).

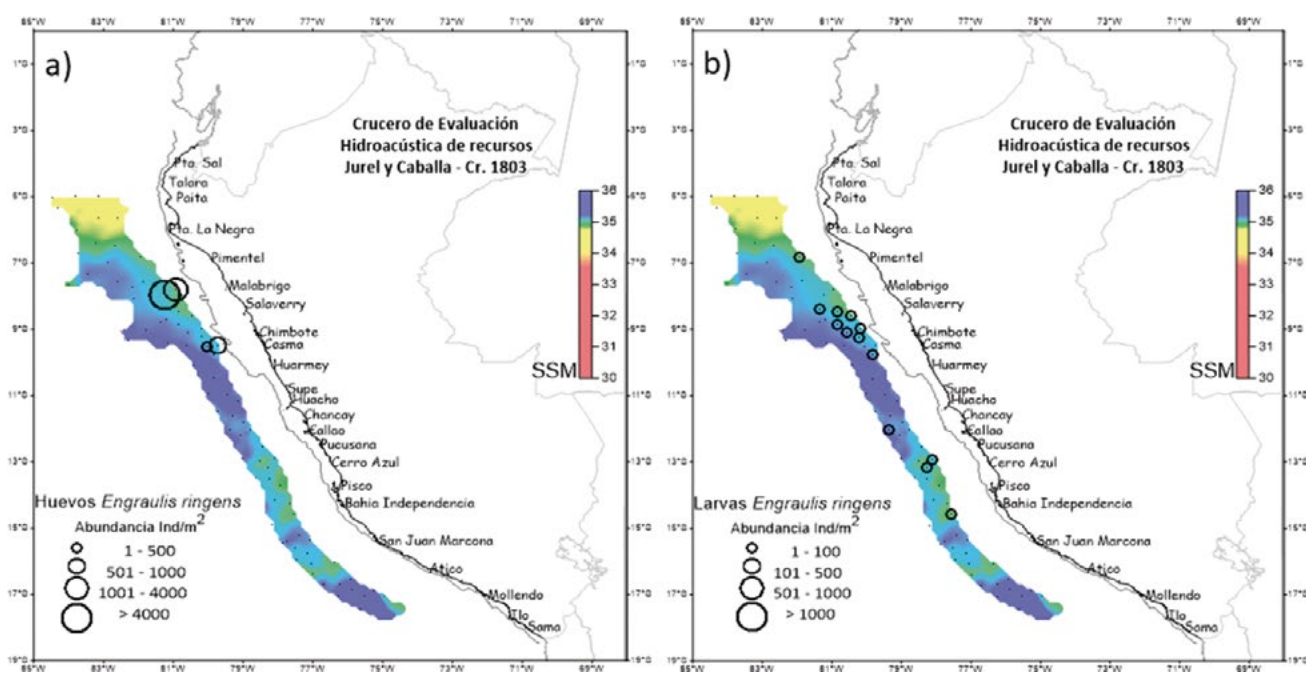


Figura 3.- Distribución y abundancia de anchoveta (a) huevos y (b) larvas, asociados a salinidad superficial del mar (SSM). Crucero de Evaluación Hidroacústica de recursos Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 3. Distribution and abundance of anchoveta (a) eggs and (b) larvae associated with sea surface salinity (SSS). Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Otras especies

En los mictófidios *Diogenichthys laternatus* (Garman) “linterna de Diógenes” estuvo frecuente en 49,35% de las estaciones, con abundancia de 591 larvas/m². Éstas larvas se distribuyeron en toda el área, pero las mayores abundancias se localizaron en 5°S, 9°S, 13°S y 17°S. Las larvas de *Lampanyctus parvicauda* (Parr) “pez linterna” fueron frecuentes en 32,47% del área de estudio, cuya abundancia de 135 larvas/m² se registró en 17°S (Tabla 3 Anexo, Fig. 5 a, b).

En los Scombridae, *Auxis rochei* (Risso) “melva” fue más frecuente en 10,39% del total de estaciones, con 123 larvas/m² distribuidas entre 5°S y 9°S. En cambio, *Scomber japonicus* (Houttuyn) “caballa”, de menor frecuencia (3,90%), tuvo abundancia de 12 larvas/m² localizadas en 5°S. Las larvas de *Trachurus murphyi* (Nichols) “juel” tuvieron frecuencia de 1,30% localizándose en 5°S (Tabla 3, Anexo, Fig. 6 a, b, c).

Composición y abundancia de eufáusidos

Se determinaron cinco géneros y doce especies de eufáusidos: *Euphausia diomedae* (Ortmann), *E. distinguenda* (Hansen), *E. eximia* (Hansen), *E. lamelligera* (Hansen), *E. mucronata* (Sars), *E. tenera* (Hansen), *Nematobranchion flexipes* (Calman), *Nematoscelis gracilis* (Hansen), *Nyctiphanes simplex* (Hansen), *Stylocheiron*

Other species

In myctophids, *Diogenichthys laternatus* (Garman) “Diogenes lanternfish” was frequent in 49.35% of the stations, with a total abundance of 591 larvae/m². These larvae were distributed throughout the area, but the greatest abundances were located at 5°S, 9°S, 13°S, and 17°S. Larvae of *Lampanyctus parvicauda* (Parr) “lampfish” were frequent in 32.47%, whose abundance of 135 larvae/m² was recorded at 17°S (Table 3 Annex, Fig. 5 a, b).

In Scombridae, *Auxis rochei* (Risso) “bullet tuna” was more frequent in 10.39% of the total stations, with 123 larvae/m² distributed between 5°S and 9°S. On the other hand, *Scomber japonicus* (Houttuyn) “chub mackerel”, with a lower frequency (3.90%), had an abundance of 12 larvae/m² located at 5°S. The larvae of *Trachurus murphyi* (Nichols) “jack mackerel” had a frequency of 1.30% located at 5°S (Table 3, Annex, Fig. 6 a, b, c).

Euphausiids composition and abundance

Five genera and twelve species of euphausiids were identified: *Euphausia diomedae* (Ortmann), *E. distinguenda* (Hansen), *E. eximia* (Hansen), *E. lamelligera* (Hansen), *E. mucronata* (Sars), *E. tenera* (Hansen), *Nematobranchion flexipes* (Calman), *Nematoscelis gracilis*

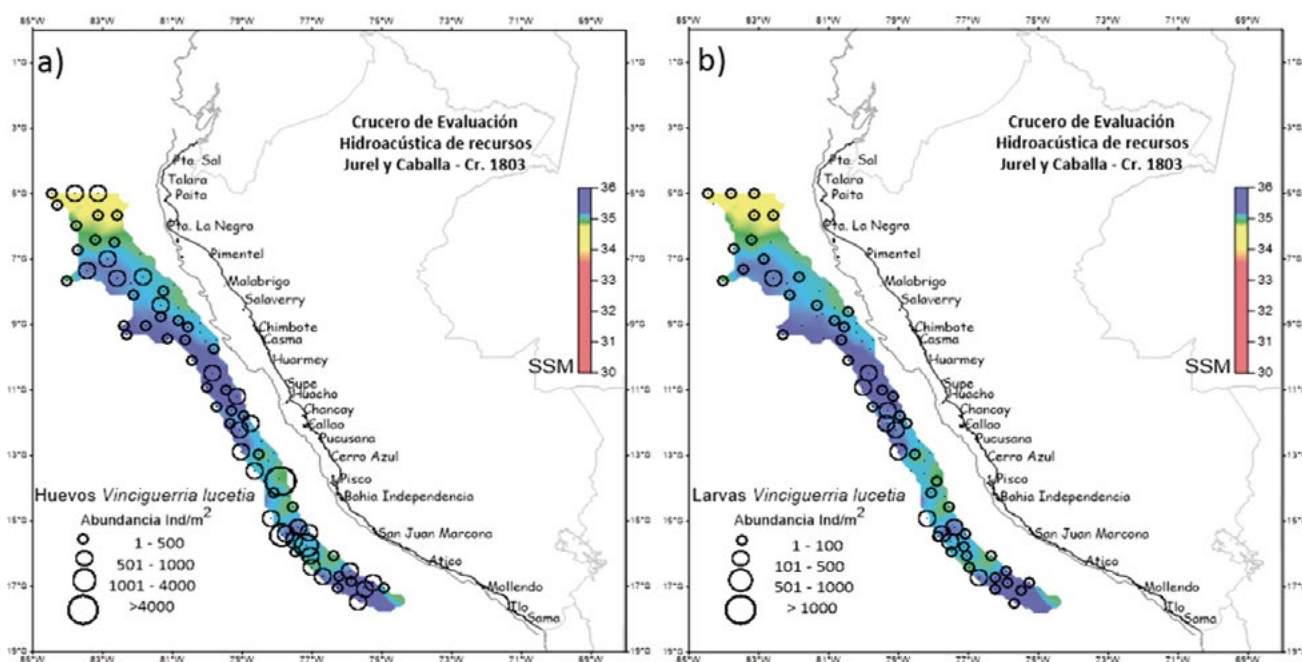


Figura 4.- Distribución y abundancia de pez luminoso (a) huevos y (b) larvas, asociados a salinidad superficial del mar (SSM). Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 4. Distribution and abundance of Panama lightfish (a) eggs and (b) larvae, associated with sea surface salinity (SSS). Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

affine (Hansen), *S. elongatum* (Sars) y *S. shumii* (Sars) (Tabla 2). Los estadios tempranos más frecuentes fueron furcilia (94,81%) y juveniles (84,42%) (Tabla 4). Los registros superiores a 1000 Ind/m² de furcilia y adultos se distribuyeron entre 7°S y 12°S y, los juveniles desde 5°S hasta 10°S. Los núcleos de caliptopis se localizaron en 8°S y 15°S (Figs. 7 a, b; 8 a, b).

Los juveniles de *Euphausia* fueron frecuentes en el 62,34%, con un total de 18.621 Ind/m². Las furcilia de *Stylocheiron* representaron el 55,84% cuya abundancia total no superó los 6.450 Ind/m² (Tabla 5). Los adultos de *E. mucronata*, *E. distinguenda* y *E. eximia* tuvieron rango de frecuencia no mayor al 38,96%; la abundancia total de *E. mucronata* fue 6.210 Ind/m² (Tabla 5).

(Hansen), *Nyctiphanes simplex* (Hansen), *Stylocheiron affine* (Hansen), *S. elongatum* (Sars), and *S. shumii* (Sars) (Table 2). The most frequent early stages were furcilia (94.81%) and juveniles (84.42%) (Table 4). Records greater than 1000 Ind/m² of furcilia and adults were distributed between 7°S and 12°S, and juveniles from 5°S to 10°S. Caliptopis nuclei were located at 8°S and 15°S (Figs. 7 a, b; 8 a, b).

Juveniles from *Euphausia* were frequent in 62.34%, with a total of 18,621 Ind/m². The *Stylocheiron* furcilia represented 55.84% whose total abundance did not exceed 6,450 Ind/m² (Table 5). Adults of *E. mucronata*, *E. distinguenda*, and *E. eximia* had a frequency range no greater than 38.96%; the total abundance of *E. mucronata* was 6.210 Ind/m² (Table 5).

Tabla 4.- Composición, frecuencia y abundancia de los estadios tempranos de los Eufáusidos. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Table 4. Composition, frequency, and abundance of early stages of Euphausiids. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Estadio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Abundancia mínima	Abundancia máxima	Abund. Total (Ind/m ²)	Frec % Ind/m ²
Adulto	52	67,53	3	1869	13938	14,52
Juvenil	65	84,42	3	8022	25518	26,58
Furcilia	73	94,81	3	8784	43257	45,06
Calyptopis	58	75,32	3	4128	13110	13,65
Metanauplio	2	2,60	21	30	51	0,05
Nauplio	4	5,19	3	120	135	0,14

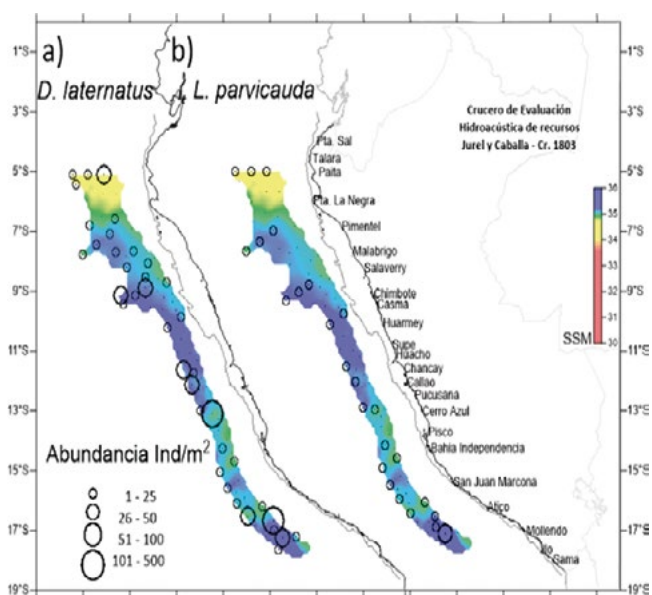


Figura 5.- Distribución y abundancia de larvas de (a) *D. laternatus*, (b) *L. parvicauda*, asociados a salinidad superficial del mar (SSM). Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 5. Distribution and abundance of Myctophidae larvae: (a) *D. laternatus*, (b) *L. parvicauda*, associated with sea surface salinity (SSM). Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and

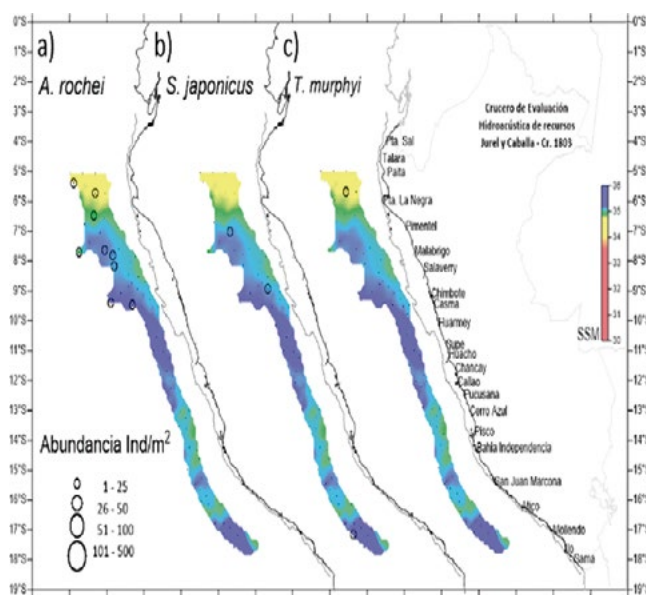


Figura 6.- Distribución y abundancia de (a, b) Scombridae, (c) Carangidae, asociados a salinidad superficial del mar (SSM). Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 6. Distribution and abundance of (a, b) Scombridae, (c) Carangidae, associated with sea surface salinity (SSM). Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Composición y abundancia de paralarvas

Las paralarvas recolectadas pertenecieron a dos órdenes, seis familias y siete especies. El orden Octopoda estuvo representado por las familias Amphitretidae y Argonautidae siendo la última la más frecuente (96,92%) con abundancia total de 1.665 Ind/m² (Tabla 6).

Argonauta se distribuyó en toda el área de estudio con abundancias superiores a 100 Ind/m² entre Supe y Huacho (11°S y 12°S) y también al sur de bahía Independencia (15°S y 18°S) (Fig. 9a). *Argonauta böettgeri* (Maltzan) fue la más notoria (89,23% y 1.110 Ind/m²), mientras que *Argonauta argo* (Linnaeus) tuvo frecuencia de 53,85% (Tabla 7). *Japetella diaphana* (Hoyle) (Amphitretidae) estuvo restringida al norte, entre 8°S y 9°S.

El orden Oegopsida estuvo representado por *Ancistrocheirus lesueurii* (d’Orbigny) (Ancistrocheiridae) que se distribuyó en 5°S y 7°S (Fig. 9 b), mientras que *Abraliopsis* sp. con frecuencias de 21,54% y *Dosidicus gigas* (d’Orbigny) con el complejo S-D (Ommastrephidae) (10,77%) se distribuyeron entre 5°S y 9°S, y en parches hacia el sur de 12°S (Fig. 9 d, e).

Paralarvae composition and abundance

The collected paralarvae belonged to two orders, six families, and seven species. The order Octopoda was represented by the families Amphitretidae and Argonautidae being the last one the most frequent (96.92%) with a total abundance of 1,665 Ind/m² (Table 6).

Argonauta was distributed throughout the study area with abundances greater than 100 Ind/m² between Supe and Huacho (11°S and 12°S) and also south of Independencia Bay (15°S and 18°S) (Fig. 9a). *Argonauta böettgeri* (Maltzan) (Argonautidae) was the most notorious (89.23% and 1,110 Ind/m²), while *Argonauta argo* (Linnaeus) had a frequency of 53.85% (Table 7). *Japetella diaphana* (Hoyle) (Amphitretidae) was restricted to the north, between 8°S and 9°S.

The order Oegopsida was represented by *Ancistrocheirus lesueurii* (d’Orbigny) (Ancistrocheiridae) which was distributed between 5°S and 7°S (Fig. 9 b), while *Abraliopsis* sp. with frequencies of 21.54% and *Dosidicus gigas* (d’Orbigny) with the S-D complex (Ommastrephidae) (10.77%) were distributed between 5°S and 9°S, and in patches south of 12°S (Fig. 9 d, e).

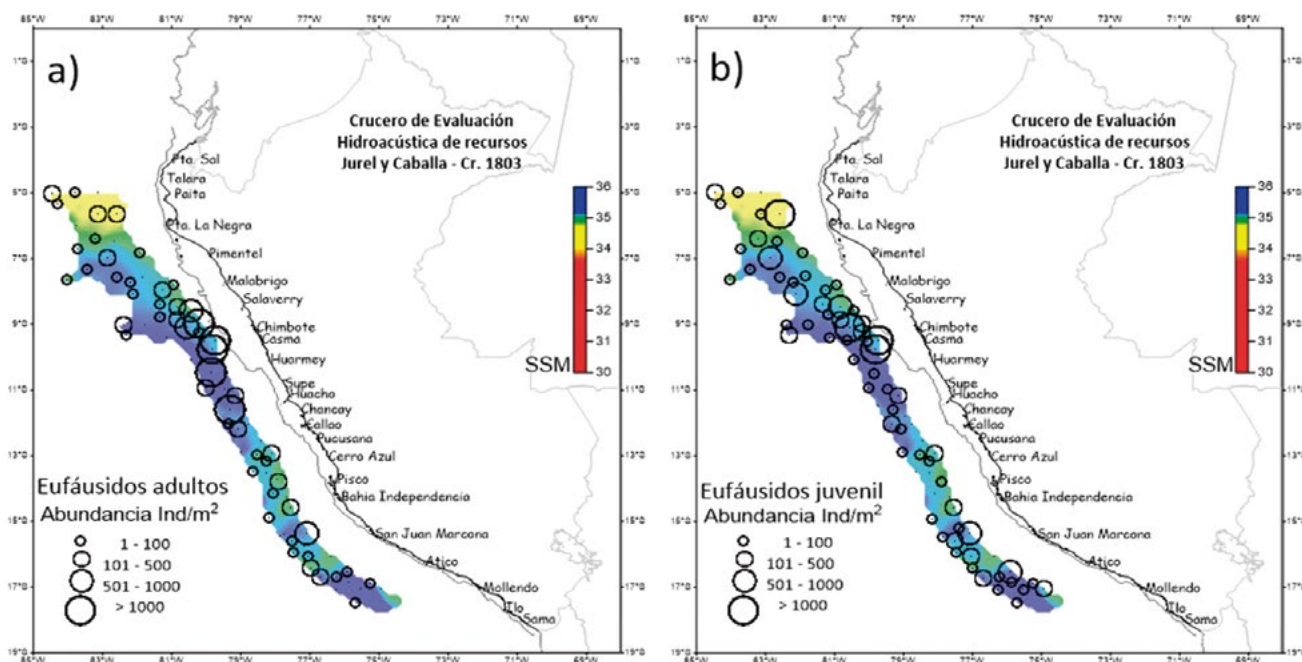


Figura 7.- Distribución y abundancia de eufáusidos, (a) adultos, (b) juveniles, asociados a salinidad superficial del mar (SSM). Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 7. Distribution and abundance of euphausiids, (a) adults, (b) juveniles, associated with sea surface salinity (SSS). Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

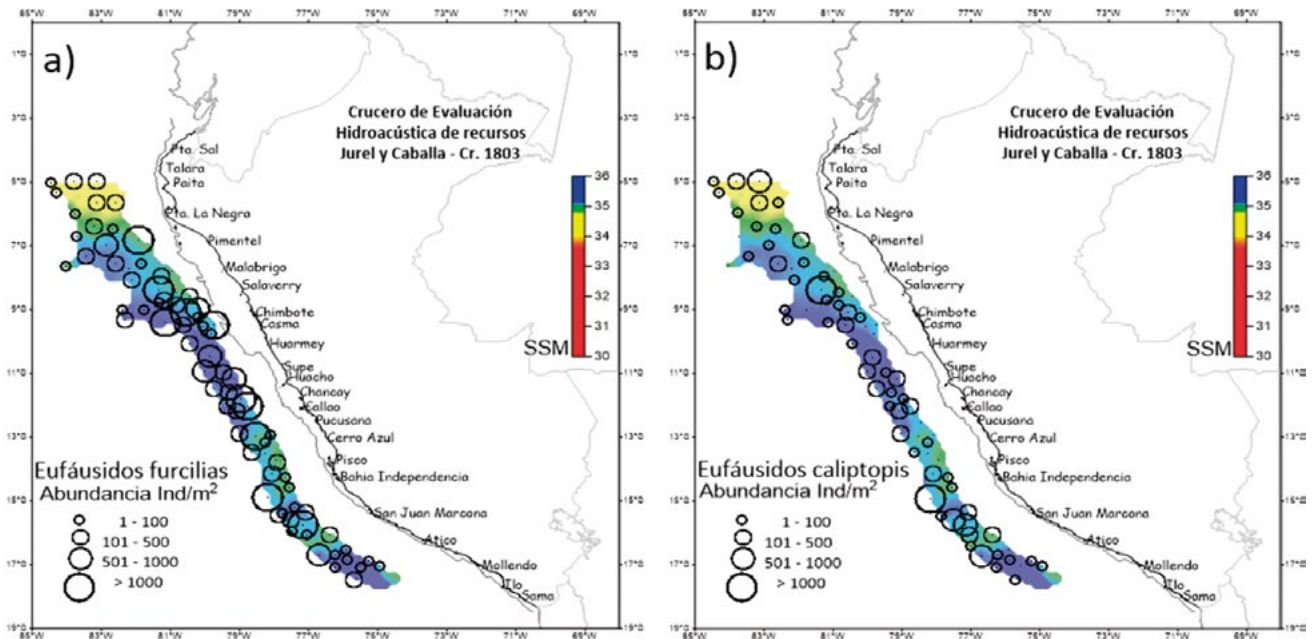


Figura 8.- Distribución y abundancia de estadios de eufáusidos: (a) furcilia, (b) caliptopis, asociados a salinidad superficial del mar (SSM). Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 8. Distribution and abundance of euphausiid stages: (a) furcilia, (b) calyptopis, associated with sea surface salinity (SSS). Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Tabla 5.- Composición, frecuencia y abundancia de especies de eufáusidos por estadio. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa, BIC Humboldt

Table 5. Composition, frequency, and abundance of euphausiid species by stage. Hydroacoustic Assessment Cruise for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Especie	Estadio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Abundancia mínima	Abundancia máxima	abundancia total (Ind/m ²)	Frec % Ind/m ²
<i>Euphausia diomedae</i>	adulto	1	1,30	12	12	12	0,012
<i>Euphausia distinguenda</i>	adulto	24	31,17	3	1260	4581	4,771
<i>Euphausia distinguenda</i>	juvenil	18	23,38	3	759	2406	2,506
<i>Euphausia eximia</i>	adulto	30	38,96	3	507	2349	2,447
<i>Euphausia eximia</i>	juvenil	13	16,88	6	138	543	0,566
<i>Euphausia lamelligera</i>	adulto	4	5,19	3	9	24	0,025
<i>Euphausia lamelligera</i>	juvenil	3	3,90	3	33	51	0,053
<i>Euphausia mucronata</i>	adulto	23	29,87	3	1440	6210	6,468
<i>Euphausia mucronata</i>	juvenil	18	23,38	3	726	2415	2,515
<i>Euphausia sp.</i>	juvenil	48	62,34	3	8016	18621	19,395
<i>Euphausia tenera</i>	adulto	11	14,29	3	267	576	0,600
<i>Euphausia tenera</i>	juvenil	11	14,29	3	42	195	0,203
<i>Nematobranchion flexipes</i>	adulto	1	1,30	3	3	3	0,003
<i>Nematoscelis gracilis</i>	adulto	5	6,49	3	9	33	0,034
<i>Nematoscelis sp.</i>	juvenil	18	23,38	3	168	402	0,419
No determinado	calyptopis	58	75,32	3	4128	13110	13,655
No determinado	furcilia	68	88,31	3	8784	36807	38,337
No determinado	metanaupliio	2	2,60	21	30	51	0,053
No determinado	nauplio	4	5,19	3	120	135	0,141
<i>Nyctiphanes simplex</i>	juvenil	1	1,30	261	261	261	0,272
<i>Stylocheiron affine</i>	adulto	16	20,78	3	33	120	0,125
<i>Stylocheiron affine</i>	juvenil	20	25,97	3	42	279	0,291
<i>Stylocheiron elongatum</i>	juvenil	1	1,30	3	3	3	0,003
<i>Stylocheiron sp.</i>	furcilia	43	55,84	3	1656	6450	6,718
<i>Stylocheiron sp.</i>	juvenil	11	14,29	3	108	279	0,291
<i>Stylocheiron suhmii</i>	adulto	6	7,79	3	15	30	0,031
<i>Stylocheiron suhmii</i>	juvenil	4	5,19	3	45	63	0,066

Tabla 6.- Composición, frecuencia y abundancia de las paralarvas de Cefalópodos por familia. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Table 6. Composition, frequency, and abundance of Cephalopod paralarvae by family. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Orden	Familia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Abundancia mínima	Abundancia máxima	Abund. Total (Ind/m ²)	Frec % Ind/m ²
Oegopsida	Ancistrocheiridae	3	4,62	3	3	9	0,50
Oegopsida	Enoploteuthidae	14	21,54	3	12	72	4,01
Oegopsida	Ommastrephidae	8	12,31	3	6	27	1,51
Oegopsida	Onychoteuthidae	1	1,54	3	3	3	0,17
Oegopsida	No determinado	2	3,08	3	3	6	0,33
Octopoda	Amphitretidae	2	3,08	3	6	9	0,50
Octopoda	Argonautidae	63	96,92	3	105	1665	92,81
No determinado	No determinado	1	1,54	3	3	3	0,17

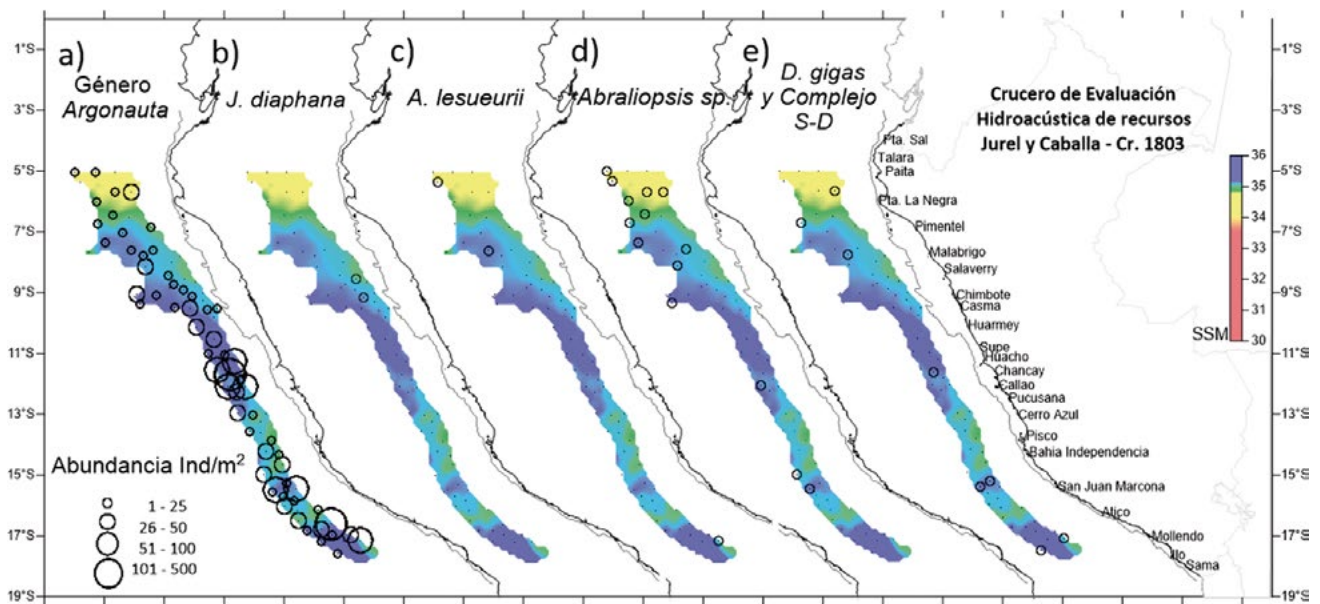


Figura 9.- Distribución y abundancia de paralarvas de cefalópodos: (a, b) Oegopsida, (c, d, e) Octopoda, asociadas a salinidad superficial del mar (SSM). Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 9. Distribution and abundance of cephalopod paralarvae: (a, b) Oegopsida, (c, d, e) Octopoda, associated with sea surface salinity (SSS). Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Tabla 7.- Composición, frecuencia y abundancia de las especies de paralarvas de Cefalópodos. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803. BIC Humboldt

Table 7. Composition, frequency, and abundance of Cephalopod paralarvae species. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Orden	Familia	Especie	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Abundancia mínima	Abundancia máxima	Abund. Total (Ind/m ²)	Frec % Ind/m ²
Octopoda	Amphitretidae	<i>Japetella diaphana</i>	1	3,08	3	6	9	0,50
Octopoda	Argonautidae	<i>Argonauta argo</i>	2	53,85	3	21	261	14,60
Octopoda	Argonautidae	<i>Argonauta hians</i>	35	4,62	3	6	12	0,67
Octopoda	Argonautidae	<i>Argonauta böettgeri*</i>	3	1,54	6	6	6	0,34
Octopoda	Argonautidae	<i>Argonauta böettgeri</i>	1	89,23	3	75	1110	62,08
Octopoda	Argonautidae	<i>Argonauta spp.</i>	58	55,38	3	27	267	14,93
Octopoda	No determinado	<i>No determinado</i>	36	1,54	3	3	3	0,17
Oegopsida	Ancistrocheiridae	<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1	4,62	3	3	9	0,50
Oegopsida	Enoploteuthidae	<i>Abraliopsis sp.</i>	3	21,54	3	12	72	4,03
Oegopsida	Ommastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	14	1,54	3	3	3	0,17
Oegopsida	Ommastrephidae	<i>Complejo S-D</i>	2	10,77	3	6	24	1,34
Oegopsida	Onychoteuthidae	<i>No determinado</i>	1	1,54	3	3	3	0,17
Oegopsida	No determinado	<i>No determinado</i>	7	3,08	3	3	6	0,34
No determinado	No determinado	<i>No determinado</i>	1	1,54	3	3	3	0,17

Tabla 8.- Índices comunitarios del ictioplancton. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Table 8. Ichthyoplankton community indices. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Estaciones	S (N°especies)	N (Abundancia)	d (Riqueza)	J' (Equidad)	H'(log2) (diversidad)	Estaciones	S (N°especies)	N (Abundancia)	d (Riqueza)	J' (Equidad)	H'(log2) (diversidad)
E3	5	1728	0,537	0,344	0,800	C26	3	510	0,321	0,328	0,520
E7	6	681	0,766	0,230	0,593	C28	2	27	0,303	0,503	0,503
E9	4	129	0,617	0,339	0,678	C29	3	39	0,546	0,488	0,773
E60	4	1548	0,408	0,039	0,077	C3	8	312	1,219	0,617	1,851
E63	2	582	0,157	0,248	0,248	C30	6	60	1,221	0,766	1,980
E67	5	108	0,854	0,555	1,289	C31	2	9	0,455	0,918	0,918
E122	8	150	1,397	0,584	1,753	C32	4	363	0,509	0,338	0,675
E125	3	30	0,588	0,991	1,571	C33	2	45	0,263	0,353	0,353
E170	3	48	0,517	0,708	1,122	C35	2	501	0,161	0,327	0,327
E173	3	201	0,377	0,236	0,375	C37	2	987	0,145	0,053	0,053
E194	3	81	0,455	0,938	1,487	C40	3	2925	0,251	0,079	0,126
E205	5	423	0,661	0,187	0,435	C41	5	252	0,723	0,555	1,289
E222	5	861	0,592	0,137	0,318	C42	2	192	0,190	0,449	0,449
E226	3	117	0,420	0,620	0,982	C43	2	876	0,148	0,232	0,232
E247	4	423	0,496	0,452	0,903	C46	2	78	0,230	0,235	0,235
E255	2	6666	0,114	0,052	0,052	C47	3	7932	0,223	0,011	0,018
E258	4	228	0,553	0,361	0,722	C48	2	1422	0,138	0,098	0,098
E264	3	13254	0,211	0,011	0,018	C5	4	261	0,539	0,202	0,405
E271	3	84	0,451	0,717	1,136	C53	4	15	1,108	0,961	1,922
E280	2	1455	0,137	0,318	0,318	C54	2	1602	0,136	0,036	0,036
E293	3	1575	0,272	0,091	0,145	C56	2	52632	0,092	0,002	0,002
E301	3	999	0,290	0,065	0,104	C6	7	186	1,148	0,553	1,552
E303	2	357	0,170	0,288	0,288	C61	2	1473	0,137	0,021	0,021
E306	5	1305	0,558	0,056	0,130	C62	2	2199	0,130	0,059	0,059
201/ C44	5	198	0,756	0,477	1,108	C63	3	1374	0,277	0,091	0,144
C10	5	240	0,730	0,197	0,457	C64	2	1821	0,133	0,131	0,131
C11	5	18	1,384	0,970	2,252	C65	2	15561	0,104	0,003	0,003
C17	5	2094	0,523	0,113	0,263	C67	4	762	0,452	0,132	0,264
C18	5	60	0,977	0,879	2,041	C7	3	39	0,546	0,921	1,460
C19	4	1269	0,420	0,101	0,202	C70	4	1164	0,425	0,406	0,811
C21	6	465	0,814	0,453	1,170	C71	3	126	0,414	0,346	0,549
C23	3	9474	0,218	0,025	0,040	C73	3	93	0,441	0,416	0,659
C25	3	753	0,302	0,535	0,849	C74	3	690	0,306	0,366	0,580
						C9	10	150	1,796	0,716	2,377

Análisis comunitarios

Se calcularon los parámetros comunitarios del ictioplancton a nivel de familia al ofrecer un mejor patrón de agrupación. En términos generales, la riqueza específica de Margalef (d) varió entre 0,092 y 1,796, la equidad de Pielou (J') varió entre 0,0024 y 0,991 y el índice de diversidad de Shannon (H'log2) presentó valores entre 0,002 y 2,377 bits.Ind¹ (Tabla 8).

Al evaluar el grado de similitud en la composición ictioplanctónica mediante el dendrograma, se estableció la formación de 6 grupos de similitud a nivel de 25% (Fig. 10). Los grupos presentaron distribución muy dispersa; el primer grupo estuvo influenciado por presencia de huevos de anchoveta y el quinto grupo por similar abundancia de

Community analysis

Community parameters of ichthyoplankton were calculated at the family level by offering a better clustering pattern. Overall, Margalef's specific richness (d) ranged from 0.092 to 1.796, Pielou's equity (J') ranged from 0.0024 to 0.991, and Shannon's diversity index (H'log2) ranged from 0.002 to 2.377 bits.Ind¹ (Table 8).

The formation of 6 similarity groups (at the 25% level) was established by means of a dendrogram -which assesses the degree of similarity in ichthyoplankton composition- (Fig. 10). The first group was influenced by the presence of anchoveta eggs and the fifth group by the similar abundance of larvae of that species.

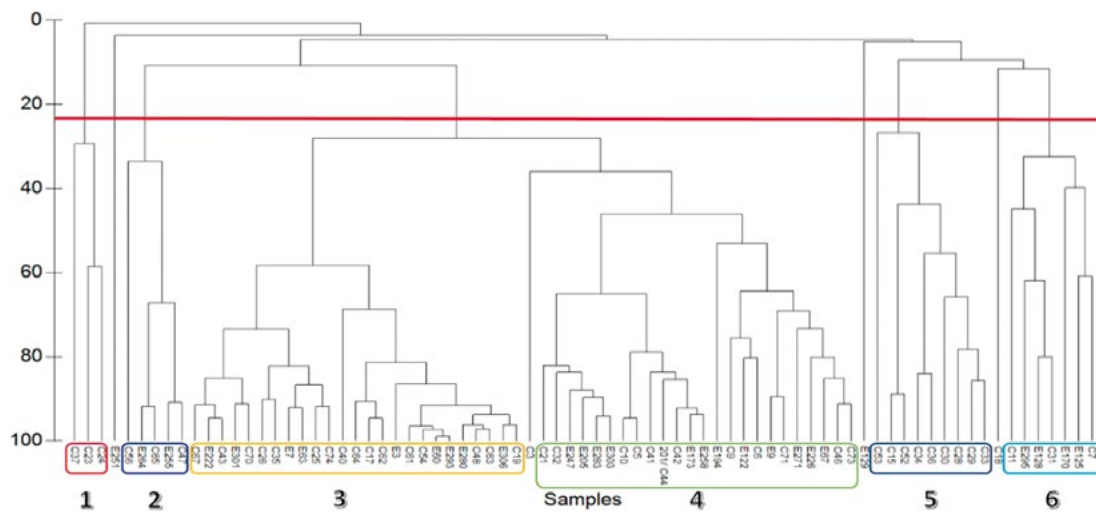


Figura 10.- Dendrograma de Similitud del Ictioplancton, entre familia y estaciones de muestro. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 10. Ichthyoplankton Similarity Dendrogram, between family and sampling stations. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

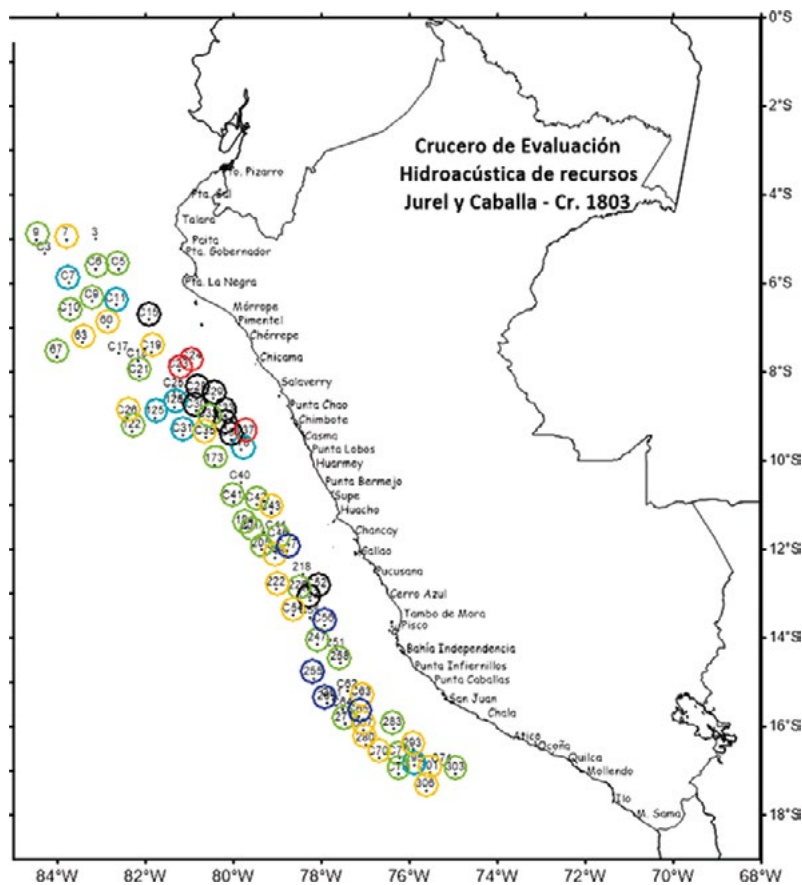


Figura 11.- Distribución de grupos de similitud por familia del ictioplancton. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Figure 11. Distribution of similarity groups by ichthyoplankton family. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

larvas de esa especie. El segundo grupo se asoció con mayores niveles de abundancia de huevos de vinciguerría, en el que también se registró el valor más bajo de equidad, riqueza y diversidad (estación C56) localizado frente a Cerro Azul (13°S). El tercer y cuarto grupo se asociaron especialmente a la frecuencia y abundancia de huevos y larvas de vinciguerría y mictófidios en toda el área de estudio; registrándose en el cuarto grupo el mayor valor de riqueza y diversidad (estación C9) frente a Punta La Negra (6°S). Finalmente, el sexto grupo tuvo más equidad en cuyas estaciones no existió dominancia de huevos o larvas de vinciguerría y otras especies, el mayor valor de equidad se localizó en la estación (E) E125 frente a Chicama (9°S) (Tabla 8, Fig. 11).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La comunidad zooplanctónica determinada proviene de un área oceánica fuera de la plataforma continental, la misma que estuvo asociada a masas de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y a mezcla con las Aguas Costeras Frías (ACF). Además de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) que estuvieron presentes hasta 6°S (IMARPE, 2018).

Como era de esperar, los huevos y larvas de vinciguerría fueron más frecuentes y abundantes debido a que el muestreo se realizó en la parte oceánica, su distribución estuvo asociada principalmente a ASS y a zonas de mezcla. La alta abundancia de huevos de esta especie se corroboró con su desove, cuyos estadios reproductivos desovado y desovante se registraron en los 8°S y hacia los 17°S, respectivamente (IMARPE, 2018).

Los huevos y larvas de anchoveta se recolectaron a 100 mn y 120 mn de Malabrigo, respectivamente. Esta distribución se puede explicar ya que se observó actividad desovante de esa especie entre los 7°S y 9°S (IMARPE, 2018), lo que se asoció a zonas de mezcla entre ACF y ASS.

Larvas de peces tranzonales, tales como melva y caballa, se distribuyeron al norte de 9°S, donde se registraron pequeños núcleos densos y dispersos de adultos de caballa, con tallas entre 25 y 31 cm. En cambio, larvas de jurel solo se ubicaron en 5°S, también se observó juveniles de esta especie frente a la costa de Punta Sal (IMARPE, 2018). En esa área existió mezcla entre ASS y AES, hábitat que favorece la sobrevivencia de estadios primarios de jurel y cuya presencia refuerza la existencia de un stock norte con distribución en el Pacífico Sudoriental (AYÓN y CORREA, 2013).

The second group was associated with higher levels of abundance of Panama lightfish eggs, which also recorded the lowest value of equity, richness, and diversity (C56 station) located off Cerro Azul (13°S). The third and fourth groups were especially associated with the frequency and abundance of eggs and larvae of Panama lightfish and myctophids throughout the study area; the fourth group had the highest values of richness and diversity (C9 station) off Punta La Negra (6°S). Finally, the sixth group had more equity since there was no dominance of eggs or larvae of Panama lightfish and other species in the stations. The highest equity value was located in the station (E) E125 off Chicama (9°S) (Table 8, Fig. 11).

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The zooplankton community determined comes from an oceanic area outside the shelf break, which was associated with Surface Subtropical Waters (SSW) and a mixture with Cold Coastal Waters (CCW). Also, Surface Equatorial Waters (SEW) that were present up to 6°S (IMARPE, 2018).

As expected, the eggs and larvae of Panama lightfish were more frequent and abundant since the sampling was carried out in the oceanic part. Its distribution was mainly associated with SSW and mixing zones. The high abundance of eggs of this species was corroborated by its spawning, whose breeding stages, spawned and spawning were recorded at 8°S and around 17°S, respectively (IMARPE, 2018).

Anchoveta eggs and larvae were collected at 100 nm and 120 nm from Malabrigo, respectively. This distribution occurred since its spawning activity was observed between 7°S and 9°S (IMARPE, 2018), which was associated with mixing zones between CCW and SSW.

Larvae of straddling fish, such as bullet mackerel and chub mackerel, were distributed north of 9°S, where small, dense, and dispersed nuclei of adult chub mackerel were recorded, with sizes between 25 and 31 cm. Nonetheless, jack mackerel larvae were only located at 5°S, and juveniles of this species were also observed off the coast of Punta Sal (IMARPE, 2018). There was a mixture between SSW and SEW in that area; this habitat favors the survival of primary stages of jack mackerel, whose presence reinforces the existence of a northern stock

La composición de eufáusidos recolectados fueron especies ecuatoriales y subtropicales asociadas a ASS y AES. Pero la presencia de estadios adultos de *E. mucronata*, propia de ACF, podría explicarse por la existencia de zonas de mezcla entre ASS y ACF para este estudio, además que la especie tiene suficiente plasticidad bioquímica y fisiológica para adaptarse a ambientes cálidos o migrar verticalmente a zonas con mínima de oxígeno (GONZALEZ & QUIÑONES, 2002).

Así mismo, la mayor frecuencia y distribución del estadio furcilia en el área oceánica muestreada se ajusta al modelo de "desarrollo ascendente" (MAUCHLINE & FISHER, 1969), en donde los caliptopis y furciliias capaces de alimentarse se encuentran a profundidades sobre 50 metros, siendo en este estudio recolectados con una red Hensen que operó hasta esa profundidad.

A nivel mundial, el número de paralarvas presentes en una muestra de zooplankton usualmente va de 1 a 5 ejemplares (VECCHIONE, 1999); sin embargo, en este estudio se encontró alta frecuencia de *Argonauta* (96,92%) distribuido en toda el área y con un registro máximo de 105 Ind/m² en una estación de muestreo. Del mismo modo, *J. diaphana* y *A. lesueurii* se distribuyeron al norte de 9°S; mientras que se localizaron abundancias en el norte, centro y sur (desde 5°S hasta 9°S, 12°S y hacia los 17°S) para *Abraliopsis* sp., *Dosidicus gigas* y el complejo S-D (Orden Oegopsida), todos asociados a AES, ASS y aguas de mezcla.

La presencia de complejo S-D en el área podría ser indicador de un desove reciente ya que la talla promedio que presentaban las paralarvas del complejos-D fueron menores a 3 y 4 mm y, la talla de una paralarva de un desove reciente es menor a 3 mm (SWEENEY *et al.*, 1992; YATSU *et al.*, 1999; STAAF *et al.*, 2008).

Los índices comunitarios mostraron que la zona con mayor riqueza, diversidad y equidad del ictioplancton estuvo localizada en el norte, entre 6°S y 9°S. Mientras que al sur; 13°S, se registraron los valores más bajos de equidad, riqueza y diversidad de especies. Los grupos de similitud del ictioplancton estuvieron agrupados y se diferenciaron debido a la frecuencia y abundancia de huevos y larvas de anchoveta, vinciguerría y mictófidios.

with distribution in the Southeastern Pacific (AYÓN & CORREA, 2013).

The euphausiid composition was formed by equatorial and subtropical species associated with SSW and SEW. The presence of adult stages of *E. mucronata*, typical of CCW, may also be explained by the existence of mixing zones between SSW and CCW for this study. In addition, this species has sufficient biochemical and physiological plasticity to adapt to warm environments or to migrate vertically to oxygen minimum zones (GONZALEZ & QUIÑONES, 2002).

Likewise, the greater frequency and distribution of the furcilia stage in the sampled oceanic area fits the "ascending development" model (MAUCHLINE & FISHER, 1969), where calyptopis and furciliias capable of feeding are found at depths above 50 meters, being collected, in this study, with a Hensen net that operated to that depth.

The number of paralarvae present in a zooplankton sample usually ranges from 1 to 5 specimens worldwide (VECCHIONE, 1999); however, this study found a high frequency of *Argonauta* (96.92%) distributed throughout the area with a maximum record of 105 Ind/m² in a sampling station. Similarly, *J. diaphana* and *A. lesueurii* were distributed north of 9°S; while abundances were located in the north, center, and south (from 5°S to 9°S, 12°S and towards 17°S) for *Abraliopsis* sp., *Dosidicus gigas* and the S-D complex (Order Oegopsida), all associated with SEW, SSW, and mixing waters.

The presence of the S-D complex in the area could be an indicator of a recent spawning given that their paralarvae mean size was less than 3 and 4 mm, and the size of a recent spawning paralarva is less than 3 mm (SWEENEY *et al.*, 1992; YATSU *et al.*, 1999; STAAF *et al.*, 2008).

Community indices showed that the area with the greatest richness, diversity, and equity of ichthyoplankton was located in the north, between 6°S and 9°S. In the south (13°S), the lowest values of equity, richness, and species diversity were recorded. The ichthyoplankton similarity groups were clustered and differentiated based on the frequency and abundance of eggs and larvae of anchoveta, Panama lightfish, and myctophids.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ALEJO-PLATA M C, GARCÍA-GUILLÉN R, HERRERA-GALINDO J. 2013. Paralarvas y juveniles de cefalópodos en el Pacífico sur de México. *Hidrobiológica*. 23(2): 250 - 264.
- AYÓN P, CORREA J. 2013. Variabilidad espacial y temporal de larvas de jurel *Trachurus murphyi* en el Perú entre 1966-2010. En: Csirke J., R. Guevara-Carrasco & M. Espino (Eds.). *Ecología, pesquería y conservación del jurel (Trachurus murphyi) en el Perú*. Rev. peru. biol. Número especial 20(1): 83 - 86.
- AYÓN P, PURCA S, GUEVARA-CARRASCO R. 2004. Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. *ICES Journal of Marine Science* 61: 478 - 484.
- BODEN B P, JOHNSON M W, BRINTON E. 1955. The Euphausiacea (Crustacea) of the north Pacific. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography of the University of California, La Jolla*. 6(8): 282 - 394.
- BOLETZKY S. V. 2003. Biology of early life stages in cephalopod molluscs. *Advances in Marine Biology*. 44: 143 - 204.
- EINARSSON H, ROJAS DE MENDIOLA B. 1963. Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842). *Bol. Inst. Invest. Recurs. Mar. Callao*. (1): 1 - 23.
- GONZALEZ R R, QUIÑONES R A. 2002. LDH activity in *Euphausia mucronata* and *Calanus chilensis*: implications for vertical migration behavior. *Journal of Plankton Research*. 24 (12): 1349 - 1356.
- IMARPE. 2018. Informe Ejecutivo Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803. BIC Humboldt, entre Paita y Camaná, del 02 al 31 de marzo del 2018.
- KRAMER D, KALIN M J, STEVENS E G, THRAILKILL J R, ZWEIFEL J R. 1972. Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current Region. NOAA technical report Infs, circ-370. U. S. Department of Commerce. NOAA. National Marine Fisheries Service: Seattle, WA. 38 pp.
- MAUHLIN J, FISHER L. 1969. The biology of euphausiids. *Advances in Marine Biology*. 7: 1 - 454.
- MOSER H. 1996. The early stages of fishes in the California Current Region. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*. Atlas nº 33: 1505.
- PIELOU E C. 1984. The interpretation of ecological data. A Primer on classification and ordination. *Wiley Intersci. Publ. John Wiley & sons, New York*. 263 pp.
- PIERCE G J, VALAVANIS V D, GUERRA A, JEREB P, et al. 2008. A review of cephalopod environment interactions in European Seas. *Hydrobiologia*. 612: 49 - 70.
- SANTANDER H Y SANDOVAL DE CASTILLO O. 1973. Estudio sobre la primera etapa de vida de la anchoveta. *Inf. Inst. Mar Perú-Callao* 4: 1 - 30.
- SERRA J R. 1991. IMPORTANT LIFE HISTORY ASPECTS OF THE CHILEAN JACK MACKEREL, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Invest. Pesq. (Chile)*. 36: 67 - 83.
- STAAF D J, CAMARILLO-COOP S H D, HADDOCK A C, NYACK J, PAYNE C A, SALINAS- ZAVALA B A, SEIBEL, TRUEBLOOD C, WIDMER W, GILLY F. 2008. Natural egg mass deposition by the Humboldt squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California and characteristics of hatchlings and paralarvae. *Journal of the Marine Biology Ass. U. K.* 88: 759 - 770.
- SWEENEY M J, ROPER C F E, MANGOLD K M, CLARKE M R, BOLETZKY S V (Eds). 1992. Larval and juvenile cephalopods: A manual for their identification. *Smithson. Conti'. Zool*. 513: 282 pp.
- VAN GUELPEN L, MARKLE D F, DUGGAN D. J. 1982. An evaluation of accuracy, precision and speed of several zooplankton subsampling techniques. *Journal du Conseil International pour L'exploration de la Mer*. 40: 226 - 236.
- VECCHIONE M. 1999. Extraordinary abundance of squid paralarvae in the tropical eastern Pacific Ocean during El Niño of 1987. *Fisheries Bulletin*. 97: 1025 - 1030.
- VIDAL E A G, HAIMOVICI M, HACKBART V C S. 2010. Distribution of paralarvae and small juvenile cephalopods in relation to primary production in an upwelling area off southern Brazil. *ICES J Mar Sci*. 67: 346 - 352.
- YATSU A, TAFUR R, MARAVI C. 1999. Embryos and *Rhynchoteuthion* paralarvae of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda) obtained through artificial fertilization from Peruvian waters. *Fisheries Science*. 65: 904 - 908.
- YOUNG R E, HIROTA J. 1990. Description of *Ommastrephes bartramii* (Cephalopoda: Ommastrephidae) paralarvae with evidence for spawning in Hawaiian waters. *Pacific Science*. 44: 71 - 80.

ANEXO

Tabla 3.- Composición, frecuencias y abundancias de las especies de Ictioplancton por cada estadio temprano.
Crucero de Evaluación Hidroacústica de Jurel y Caballa 1803, BIC Humboldt

Table 3. Composition, frequencies, and abundances of ichthyoplankton species for each early stage. Hydroacoustic Assessment Cruise 1803 for Jack mackerel and Chub mackerel, R/V Humboldt

Orden	Familia	Especie	Estadio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Abundancia mínima	Abundancia máxima	Abundancia total (Ind/m ²)	Frec % Ind/m ²
Anguilliformes	No determinado	<i>No determinado</i>	huevo	1	1,30	3	3	3	0,002
Aulopiformes	Scopelarchidae	<i>Scopelarchoides nicholsii</i>	larva	3	3,90	3	6	12	0,008
Beloniforme	No determinado	<i>No determinado</i>	huevo	1	1,30	3	3	3	0,002
Beloniformes	Exocoetidae	<i>Exocoetus sp.</i>	huevo	2	2,60	3	6	9	0,006
Beloniformes	Exocoetidae	<i>No determinado</i>	huevo	3	3,90	3	9	15	0,010
Beloniformes	Exocoetidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Beloniformes	Hemiramphidae	<i>No determinado</i>	huevo	3	3,90	3	3	9	0,006
Beloniformes	Hemiramphidae	<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	huevo	10	12,99	3	15	54	0,036
Beloniformes	Hemiramphidae	<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	larva	2	2,60	3	3	6	0,004
Beloniformes	Scomberesocidae	<i>Scomberesox saurus</i>	huevo	3	3,90	3	3	9	0,006
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Engraulis ringens</i>	huevo	4	5,19	63	9438	14406	9,683
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Engraulis ringens</i>	larva	13	16,88	3	87	324	0,218
Lampridiformes	Trachipteridae	<i>No determinado</i>	huevo	1	1,30	3	3	3	0,002
Lophiiformes	Ceratidae	<i>No determinado</i>	larva	2	2,60	3	3	6	0,004
Lophiiformes	Ceratiidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Lophiiformes	Melanocetidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Lophiiformes	Oneirodidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Lophiiformes	Oneirodidae	<i>Oneirodes sp.</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Benthoessa sp.</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Cerascopelus sp.</i>	larva	5	6,49	3	12	36	0,024
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Diogenichthys laternatus</i>	larva	38	49,35	3	75	591	0,397
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Hygophum reinhardtii</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Lampanyctus parvicauda</i>	larva	25	32,47	3	36	135	0,091
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Myctophum nitidulum</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Myctophiformes	Myctophidae	<i>No determinado</i>	larva	2	2,60	3	6	9	0,006
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Triphoturus oculus</i>	larva	4	5,19	3	9	18	0,012
No determinado	No determinado	<i>No determinado</i>	huevo	34	44,16	3	282	1272	0,855
No determinado	No determinado	<i>No determinado</i>	larva	5	6,49	3	30	48	0,032
No determinado	No determinado	<i>No determinado</i>	larva RE	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Blenniidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Blenniidae	<i>Ophioblennius sp.</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Carangidae	<i>Trachurus murphyi</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Coryphaenidae	<i>Coryphaena hippurus</i>	huevo	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Gobiidae	<i>No determinado</i>	larva	2	2,60	3	6	9	0,006
Perciformes	Mugilidae	<i>No determinado</i>	huevo	4	5,19	3	12	27	0,018
Perciformes	Mugilidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Nomeidae	<i>Cubiceps pauciradiatus</i>	huevo	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Nomeidae	<i>Cubiceps pauciradiatus</i>	larva	4	5,19	3	24	63	0,042
Perciformes	Nomeidae	<i>No determinado</i>	huevo	4	5,19	3	42	63	0,042
Perciformes	Nomeidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	9	9	9	0,006
Perciformes	Nomeidae	<i>Psenes sio</i>	huevo	1	1,30	6	6	6	0,004
Perciformes	Nomeidae	<i>Psenes sio</i>	larva	7	9,09	3	15	48	0,032
Perciformes	Sciaenidae	<i>No determinado</i>	huevo	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Sciaenidae	<i>No determinado</i>	larva	3	3,90	3	3	9	0,006
Perciformes	Scombridae	<i>Auxis rochei</i>	larva	8	10,39	3	60	123	0,083
Perciformes	Scombridae	<i>Auxis sp.</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Perciformes	Scombridae	<i>No determinado</i>	larva	2	2,60	3	6	9	0,006
Perciformes	Scombridae	<i>Scomber japonicus</i>	larva	3	3,90	3	6	12	0,008
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Bathylagus sp.</i>	huevo	1	1,30	3	3	3	0,002
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Bathylagus wesethi</i>	huevo	1	1,30	15	15	15	0,010
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Bathylagus wesethi</i>	juvenil	1	1,30	3	3	3	0,002
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Bathylagus wesethi</i>	larva	8	10,39	3	6	27	0,018
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Leuroglossus sp.</i>	juvenil	1	1,30	3	3	3	0,002
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Leuroglossus urotronus</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>No determinado</i>	huevo	2	2,60	3	9	12	0,008
Stomiiformes	Gonostomatidae	<i>No determinado</i>	larva	1	1,30	3	3	3	0,002
Stomiiformes	Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	huevo	64	83,12	3	52608	127917	85,980
Stomiiformes	Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	juvenil	4	5,19	3	6	15	0,010
Stomiiformes	Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	larva	54	70,13	3	300	3378	2,271

ICTIOPLANCTON Y EUFÁUSIDOS FRENTE A LA COSTA PERUANA DURANTE EL OTOÑO 2015

ICHTHYOPLANKTON AND EUPHAUSIIDS OFF THE PERUVIAN COAST IN AUTUMN 2015

Katia Aronés Flores Carmela Nakasaki¹

RESUMEN

ARONÉS K, NAKAZAKI C. 2019. Ictioplancton y eufáusidos frente a la costa peruana durante el otoño 2015. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 473-488.- Durante el otoño del 2015, los biovolúmenes de zooplancton variaron entre 0,1 y 25,0 mL/muestra, los más frecuentes y de menor valor lo hicieron entre 0,1 y 5,0 mL/muestra (54,29%) y los menos frecuentes (5,71%) fueron mayores a 20,1 mL/muestra, localizados principalmente entre Chicama y Salaverry. Las especies *Euphausia lamelligera* (Hansen); *Nyctiphanes simplex* (Hansen) y *Stylocheiron* sp., fueron los eufáusidos más representativos en los estadios caliptopis, furcilia y juveniles. En el ictioplancton se determinaron 32 especies pertenecientes a 44 familias, las más frecuentes y abundantes fueron Engraulidae (33%) y Phosichthyidae (27%). *Engraulis ringens* (Jenyns) fue la más abundante con valores de 3 a 14.304 huevos/m² y 3 a 975 larvas/m². Los huevos y larvas de *Merluccius gayi peruanus* (Guichenot) se registraron al sur de Salaverry.

PALABRAS CLAVE: biovolúmenes eufáusidos, ictioplancton, anchoveta y merluza

ABSTRACT

ARONÉS K, NAKAZAKI C. 2019. Ichthyoplankton and euphausiids off the Peruvian coast in autumn 2015. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 473-488.- In autumn 2015, zooplankton biovolumes varied between 0.1 and 25.0 mL/sample, the most frequent and least valuable ones between 0.1 and 5.0 mL/sample (54.29%) and the least frequent ones (5.71%) were greater than 20.1 mL/sample, located mainly between Chicama and Salaverry. The species *Euphausia lamelligera* (Hansen); *Nyctiphanes simplex* (Hansen), and *Stylocheiron* sp., were the most representative euphausiids in the perivitelline, furcilia, and juvenile stages. In ichthyoplankton, a total of 32 species belonging to 44 families were determined, the most frequent and abundant being Engraulidae (33%) and Phosichthyidae (27%). *Engraulis ringens* (Jenyns) was the most abundant with values of 3 to 14,304 eggs/m² and 3 to 975 larvae/m². Eggs and larvae of *Merluccius gayi peruanus* (Guichenot) were recorded south of Salaverry.

KEYWORDS: euphausiid biovolumes, ichthyoplankton, anchoveta and Peruvian hake

1. INTRODUCCIÓN

Durante el 2015 el subsistema bentodemersal de la zona norte del mar peruano, hábitat de la merluza, evidenció condiciones cálidas en toda el área evaluada, influenciado por el arribo de una onda Kelvin, destacando procesos de mezcla asociados al desplazamiento de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) a zonas cercanas a la costa.

En este escenario ambiental y con la finalidad de evaluar el estado biológico y poblacional del stock disponible de merluza en el mar peruano y, para caracterizar las condiciones físicas, químicas y biológicas del subsistema bentodemersal, se ejecutó el "Crucero de Evaluación de Merluza y Otros Demersales en el otoño 2015", sobre la plataforma y borde superior del talud continental entre la frontera norte del dominio marítimo del Perú y Huarney, a bordo de los Buques de Investigación Científica (BIC) Humboldt y José Olaya Balandra.

1. INTRODUCTION

In 2015, warm conditions were present in the northern zone of the Peruvian sea (benthodemersal subsystem), the habitat of Peruvian hake, influenced by the arrival of a Kelvin wave, stressing mixing processes associated with the displacement of Surface Subtropical Waters (SSW) to near-shore areas.

The "Peruvian hake and other Demersal Assessment Cruise in autumn 2015" was executed on the shelf break and upper edge of the shelf slope between the northern border of the Peruvian sea and Huarney, onboard the R/V Humboldt and José Olaya Balandra, to evaluate the biological and population status of the available stock of hake in the Peruvian sea and to characterize the physical, chemical and biological conditions of the benthodemersal subsystem.

1 IMARPE, DGIIOC, Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. karones@imarpe.gob.pe

El Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria (LZPS) evalúa periódicamente los biovolúmenes del zooplancton y la composición de eufáusidos que son fuente de alimento de muchas especies pesqueras como la merluza, especie objetivo de este crucero, así mismo se determinan los primeros estadios (huevos y larvas) de estas especies.

En el presente informe se dan a conocer los resultados correspondientes a los biovolúmenes de eufáusidos y los primeros estadios de vida de peces (ictioplancton) de importancia comercial.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El material biológico de zooplancton e ictioplancton proviene del Crucero de evaluación de la población merluza y otros demersales que se realizó entre el 1 de junio y 4 de julio del 2015, ejecutado a bordo de los BIC Humboldt y José Olaya Balandra, entre 3°30' y 10°S, desde la parte costera de 2 mn hasta el máximo de 100 mn de distancia.

Se obtuvieron 70 muestras de zooplancton (Fig. 1) recolectadas con red Hensen de 300 micras de abertura de malla, operada en jales verticales desde 50 metros de profundidad hacia la superficie. La fijación y preservación de las muestras se hizo con formaldehído al 2%.

The Zooplankton and Secondary Production Laboratory (ZSPL) periodically evaluates the zooplankton biovolumes and the composition of euphausiids that are a source of food for many fishing species such as Peruvian hake as well as determining the first stages (eggs and larvae) of these species.

This report provides results for euphausiid biovolumes and early life stages of commercially important fish (ichthyoplankton).

2. MATERIAL AND METHODS

Between June 1 and July 4, 2015, samples were collected within the framework of the Peruvian hake and other demersal stock assessment cruise which was carried out onboard the R/Vs Humboldt and José Olaya Balandra, between 3°30' and 10°S, from the coastal area of 2 nm to the maximum distance of 100 nm.

A total of 70 zooplankton samples (Fig. 1) were collected with a 300 µm Hensen net, operated in vertical trawls from a depth of 50 meters to the surface. Samples were fixed and preserved with 2% formaldehyde.

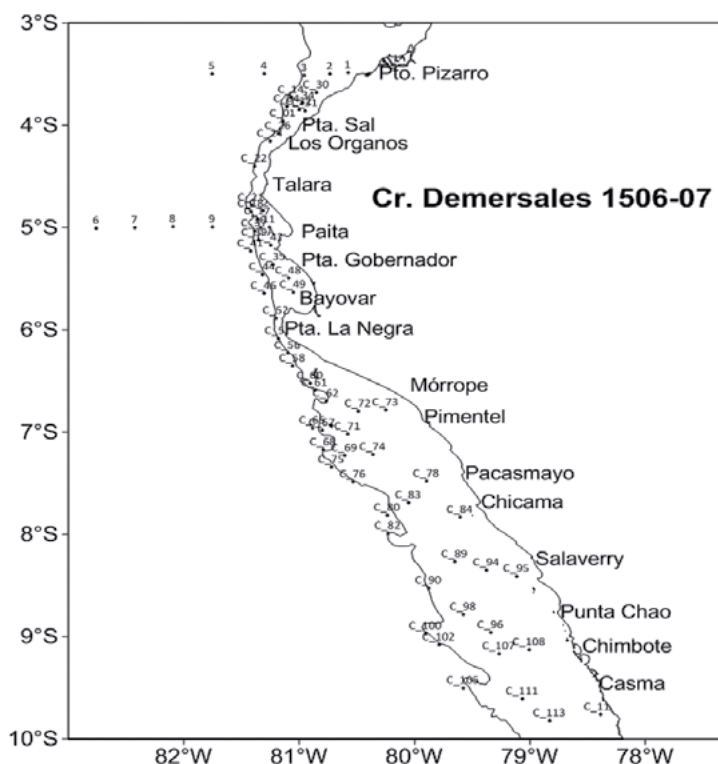


Figura 1.- Posiciones de muestreo de zooplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1506-07

Figure 1. Sampling positions of zooplankton. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

El análisis de las muestras se efectuó en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria (LZPS). La determinación de los biovolúmenes de zooplancton se realizó con el método por desplazamiento (FROLANDER, 1954; KRAMER *et al.*, 1972). Antes de determinar el biovolumen (POSTEL *et al.*, 2000; AYÓN *et al.*, 2004) se extrajo el ictioplancton y los organismos gelatinosos (medusas, salpas) mayores a 2 cm, que podrían sesgar la conversión de biovolumen a biomasa. Para la determinación de las especies del ictioplancton se emplearon los trabajos de EINARSSON y ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER y SANDOVAL DE CASTILLO (1973) y MOSER (1996), para determinar las especies de eufáusidos se empleó el de BODEN *et al.* (1955).

La abundancia de las especies se expresó en Ind/m² y los biovolúmenes en mL/muestra. El procesamiento de la información se hizo en el programa Excel y los gráficos en el programa Surfer v.15. Se empleó el programa Primer 6.0 para estimar parámetros comunitarios entre ellos Equidad, Riqueza de especies, Similaridad de Bray Curtis y Cluster, excluyendo las estaciones en las que se registró sólo una especie o no se registraron especies de ictioplancton. La diversidad se estimó a través del índice de Shannon-Weaner (bits/individuos).

3. RESULTADOS

Durante el otoño del 2015 el ambiente estuvo caracterizado por temperaturas superficiales que fluctuaron entre 20,0 y 27,0 °C, promedio 22,7 °C. Al norte de Talara se localizaron los mayores valores térmicos, asociados a la influencia de aguas del Golfo de Guayaquil (Fig. 2a). Los valores de ATSM determinaron el predominio de anomalías positivas de +5 °C entre Punta Sal y Talara, anomalías de +3 °C se localizaron próximos a la costa de Paita a Casma (Fig. 2b).

La topografía de la isoterma de 15 °C mostró flujos del norte y el sur, descubriendo el desplazamiento de la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC) hasta Punta La Negra, estas condiciones oceanográficas inciden en los patrones de distribución, concentración, características biológicas, poblacionales y reproductivas de la merluza peruana (IMARPE, 2015).

Las concentraciones de sales variaron de 30,217 a 35,233 ups, promedio 34,821 ups (Fig. 2c). Predominaron tres importantes masas de agua: Aguas Tropicales Superficiales (ATS) caracterizadas

Samples were analyzed at the Zooplankton and Secondary Production Laboratory (ZSPL). The displacement method (FROLANDER, 1954; KRAMER *et al.*, 1972) was used to determine zooplankton biovolumes. Before determining the biovolume (POSTEL *et al.*, 2000; AYÓN *et al.*, 2004) ichthyoplankton and gelatinous organisms (jellyfish, gilt-heads) of sizes greater than 2 cm were extracted, which could bias the conversion from biovolume to biomass. The works of EINARSSON & ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER & SANDOVAL DE CASTILLO (1973), and MOSER (1996) were used for the determination of ichthyoplankton species, while the work of BODEN *et al.* (1955) was used to determine euphausiid species.

Species abundance was expressed in Ind/m² and biovolumes in mL/sample. The processing of the information was done in Excel and for the graphs, Surfer v.15 was used. The Primer 6.0 software was used to estimate community parameters such as Equity, Species richness, Bray-Curtis Similarity, and Cluster, except for stations where only one species or no ichthyoplankton species were recorded. Diversity was estimated through the Shannon-Weaner index (bits/individuals).

3. RESULTS

In autumn 2015, the environment was characterized by surface temperatures that fluctuated between 20.0 and 27.0 °C, with a mean of 22.7 °C. The highest thermal values were located north of Talara, associated with the influence of waters from the Gulf of Guayaquil (Fig. 2a). The SSTA values determined the predominance of positive anomalies of +5 °C between Punta Sal and Talara, anomalies of +3 °C were located near the coast from Paita to Casma (Fig. 2b).

The topography of the 15 °C isotherm exhibited flows from the north and south, discovering the displacement of the Southern Extension of the Cromwell Current (SECC) up to Punta La Negra, these oceanographic conditions affect the distribution patterns, concentration, biological, population, and reproductive characteristics of the Peruvian hake (IMARPE, 2015).

Salt concentrations ranged from 30.217 to 35.233 ups, the mean was 34.821 ups (Fig. 2c). Three important water masses predominated: Tropical

con salinidades menores de 34,0 ups al norte de Punta Sal; Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) asociadas a salinidades de 34,0 a 34,8 ups ubicadas en una pequeña área al sur de Punta Sal y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) localizadas entre Talara y Casma, con gran aproximación a la costa en Paita, Punta La Negra, Pimentel y Chimbote, asociadas a temperaturas mayores de 21 °C y salinidades mayores de 35,1 ups, esta masa de agua fue predominante en el área observada. Aguas de mezcla entre los límites de AES y ASS se observaron en una pequeña área al norte de Talara y aguas de mezcla entre ASS y ACF se localizaron al sur de Talara, con mayor amplitud frente a Malabrigo (Fig. 2c). El comportamiento de las corrientes geostroficadas frente a Paita, indicó un núcleo con flujos al sur relacionados a la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC).

Las áreas de afloramiento costero se encontraron muy reducidas debido al debilitamiento de los vientos alisios al sur de los 6°S. El Frente Ecuatorial (FE) se ubicó frente a Punta Sal con salinidades entre 34,0 – 35,0 ups y temperaturas de 25 a 26 °C.

La distribución de oxígeno disuelto en la superficie mostró concentraciones de 2,73 a 6,9 mL/L. En general se presentaron altos valores de oxígeno al norte de Punta Sal por presencia de aguas cálidas provenientes del Golfo de Guayaquil y por aguas oceánicas por fuera de las 30 mn frente a Paita y al sur de Punta La Negra. Los valores menores de 4,0 mL/L se ubicaron dentro de las 10 mn entre Salaverry, Chimbote y en forma de pequeños núcleos al frente de Pimentel (Fig. 2d) (IMARPE, 2015).

Volúmenes de zooplancton

Los volúmenes estuvieron comprendidos en un rango entre 0,2 y 25,0 mL/muestra, con promedio de 6,7 mL/muestra. Los volúmenes entre 0,1 y 5,0 mL/muestra fueron más frecuentes (54,29%); los mayores a 20,1 mL/muestra fueron menos frecuentes (5,71%) (Tabla 1). La distribución de los volúmenes menores a 10 mL/muestra, se localizaron en casi toda el área evaluada; los superiores a 10,1 mL/muestra se registraron en dos núcleos, uno frente a Paita por fuera de la plataforma y otro entre Chicama y Punta Chao. Los mayores a 20 mL se registraron frente a Salaverry a 30 y 50 mn de la costa (Fig. 3).

Surface Waters (TSW) characterized with salinities less than 34.0 ups north of Punta Sal; Surface Equatorial Waters (SEW) associated with salinities of 34.0 to 34.8 ups located in a small area south of Punta Sal, and Subtropical Surface Waters (SSW) located between Talara and Casma, with great approximation to the coast in Paita, Punta La Negra, Pimentel, and Chimbote, associated with temperatures greater than 21 °C and salinities greater than 35.1 ups, this water mass was predominant in the observed area. Mixing waters (SEW + SSW) were observed in a small area north of Talara; also mixing waters (SSW + CCW) were located south of Talara, with greater amplitude off Malabrigo (Fig. 2c). The behavior of the geostrophic currents off Paita indicated a nucleus with flows to the south related to the Southern Extension of the Cromwell Current (SECC).

The coastal upwelling areas were very small due to the weakening of the trade winds south of 6°S. The Equatorial Front (EF) was located off Punta Sal with salinities between 34.0 - 35.0 ups and temperatures ranging from 25 to 26 °C.

Surface dissolved oxygen distribution ranged from 2.73 to 6.9 mL/L. Overall, high oxygen values were present north of Punta Sal given the presence of warm waters from the Gulf of Guayaquil and ocean waters at 30 nm offshore Paita and south of Punta La Negra. Values of less than 4.0 mL/L were located within 10 nm between Salaverry, Chimbote, and in small nuclei off Pimentel (Fig. 2d) (IMARPE, 2015).

Zooplankton volumes

Volumes ranged from 0.2 to 25.0 mL/sample, with a mean of 6.7 mL/sample. Volumes between 0.1 and 5.0 mL/sample were more frequent (54.29%), while those greater than 20.1 mL/sample were less frequent (5.71%) (Table 1). The distribution of volumes less than 10 mL/sample was located in almost the entire assessed area; those greater than 10.1 mL/sample were distributed in two nuclei, one off Paita outside the shelf break and the other between Chicama and Punta Chao. Those greater than 20 mL were recorded off Salaverry, at 30 and 50 nm offshore (Fig. 3).

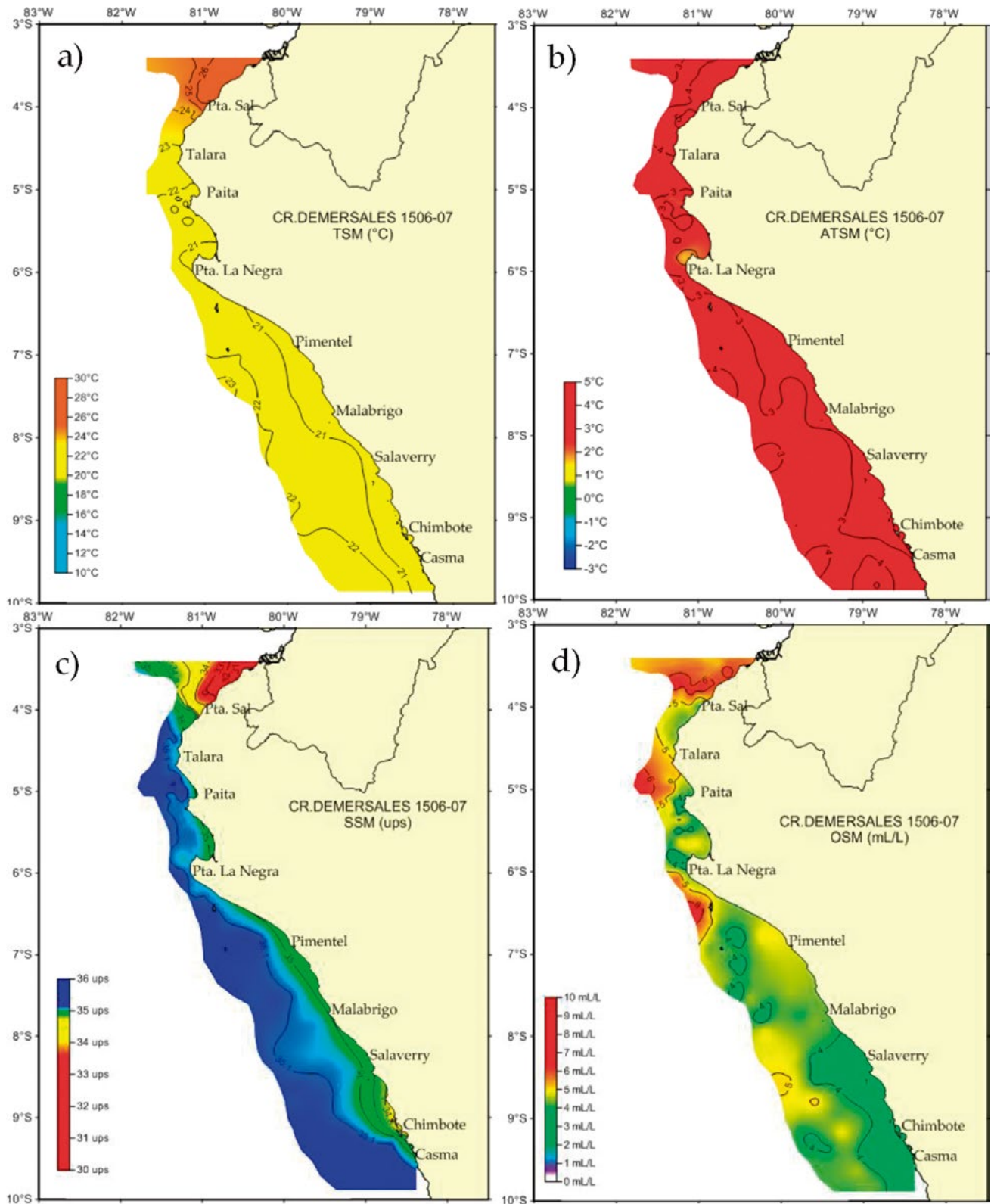


Figura 2.- Distribución de: a) temperatura superficial del mar (°C), b) anomalía térmica (°C), c) salinidad (ups), d) oxígeno disuelto (mL/L). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1506-07

Figure 2. Distribution of: a) sea surface temperature (°C), b) thermal anomaly (°C), c) salinity (ups), d) dissolved oxygen (mL/L). Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

Tabla 1.- Número de estaciones y frecuencia de los volúmenes del zooplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1505-06

Table 1. Number of stations and frequency of zooplankton volumes. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-07

Rango / Range mL/muestra	Número de estaciones / Number of stations	Frecuencia / Frequency (%)
0,1 - 5,0	38	54,29
5,1 - 10,0	21	30,00
10,1 - 20,0	7	10,00
>20,1	4	5,71
Total	70	100

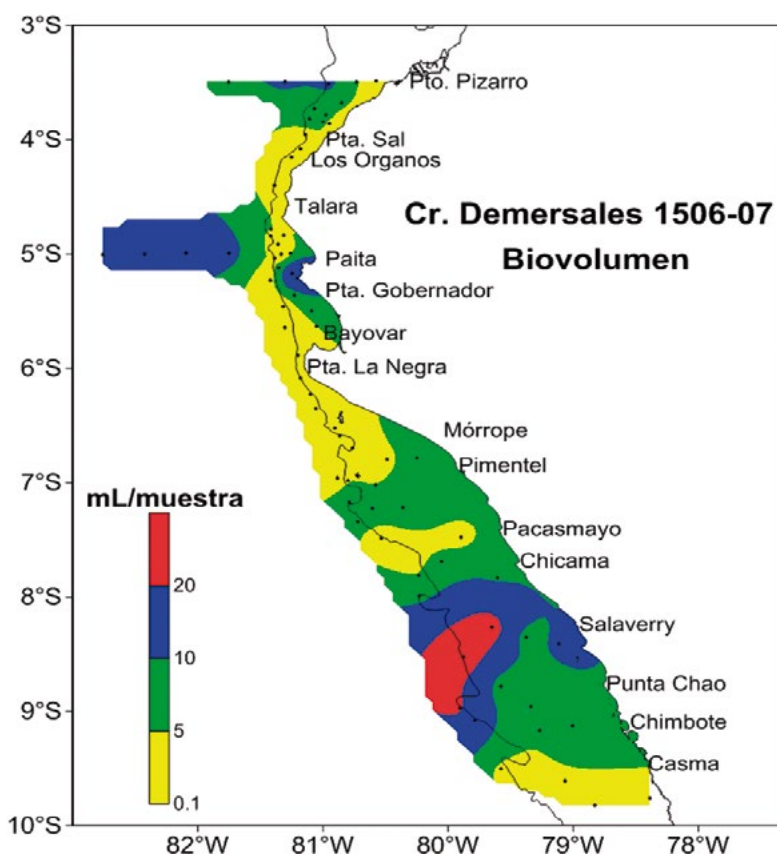


Figura 3.- Distribución de los volúmenes del zooplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1506-07

Figure 3. Distribution of zooplankton volumes. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

EUFÁUSIDOS

Composición y abundancia.- Se determinaron doce especies de eufáusidos, *Euphausia distinguenda* (Hansen), *E. eximia* (Hansen), *E lamelligera* (Hansen), *E. mucronata* (Sars), *E. tenera* (Hansen), *Nematoscelis gracilis* (Hansen), *Nematoscelis* sp., *Nyctiphanes simplex* (Hansen), *Stylocheiron affine* (Hansen) y *S. suhmii* (Sars), destacaron los eufáusidos en estadios caliptopis (96%), furciliias no determinadas (100%), furciliias de *Stylocheiron* sp. (83%) y juveniles de *E. lamelligera* y *S. affine* (36%) (Tabla 2).

EUPHAUSIIDS

Composition and abundance.- A total of 12 euphausiid species were determined, *Euphausia distinguenda* (Hansen), *E. eximia* (Hansen), *E lamelligera* (Hansen), *E. mucronata* (Sars), *E. tenera* (Hansen), *Nematoscelis gracilis* (Hansen), *Nematoscelis* sp., *Nyctiphanes simplex* (Hansen), *Stylocheiron affine* (Hansen), and *S. suhmii* (Sars), with high frequency of euphausiids in calyptopis stages (96%), undetermined furciliias (100%), furciliias of *Stylocheiron* sp. (83%), and juveniles of *E. lamelligera* and *S. affine* (36%) (Table 2).

Tabla 2.- Composición, abundancia (Ind/m²) y frecuencia (%) de Eufáusidos por especie y estadio. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Table 2. Composition, abundance (Ind/m²), and frequency (%) of Euphausiids by species and stage. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

Especie	Estadio	Frec. absoluta	Frec. relativa	Abund. mínima	Abund. máxima	Abund. total	Abund. relativa
No determinado	calyptopis	67	95,71	3	24384	140907	65,63
	furcilia	70	100,00	3	10656	66165	30,82
<i>Euphausia distinguenda</i>	juvenil	8	11,43	3	27	120	0,06
<i>Euphausia eximia</i>	juvenil	3	4,29	3	3	9	0,00
	adulto	4	5,71	6	24	45	0,02
<i>Euphausia lamelligera</i>	juvenil	25	35,71	3	246	1593	0,74
	adulto	4	5,71	3	6	18	0,01
<i>Euphausia mucronata</i>	juvenil	7	10,00	3	51	117	0,05
	adulto	8	11,43	6	156	480	0,22
<i>Euphausia sp.</i>	furcilia	1	1,43	9	9	9	0,00
	juvenil	4	5,71	15	420	570	0,27
<i>Euphausia tenera</i>	juvenil	5	7,14	6	63	192	0,09
<i>Nematoscelis gracilis</i>	juvenil	2	2,86	3	3	6	0,00
<i>Nematoscelis sp.</i>	furcilia	3	4,29	3	6	15	0,01
	juvenil	7	10,00	3	87	135	0,06
<i>Nyctiphanes simplex</i>	adulto	1	1,43	6	6	6	0,00
	furcilia	11	15,71	3	111	267	0,12
	juvenil	15	21,43	3	618	2166	1,01
	juvenil	25	35,71	3	78	552	0,26
<i>Stylocheiron sp.</i>	furcilia	58	82,86	3	78	1317	0,61
<i>Stylocheiron suhmii</i>	juvenil	1	1,43	9	9	9	0,00

Las mayores densidades de eufáusidos se observaron en los primeros estadios: caliptopis y furcilia, con abundancias de 140.907 Ind.m² y 66.165 Ind.m², que representaron el 66% y 31% respectivamente de la abundancia total de este grupo. La distribución de caliptopis se observó a lo largo del área, mayores densidades estuvieron entre Paita y Punta La Negra. Las furcilia registraron distribución similar con mayor cobertura con abundancias más altas por fuera de las 10 millas náuticas (Figs. 4, 5).

The highest densities of euphausiids were observed in the early stages: calyptopis and furcilia, with total abundances of 140,907 Ind.m² and 66,165 Ind.m², which represented 66% and 31%, respectively, of the total abundance of this group. The distribution of calyptopis was observed throughout the sampled area, its highest densities were between Paita and Punta La Negra. Furcilia recorded similar distribution with greater coverage in the distribution area and higher abundances outside 10 nm (Figs. 4, 5).

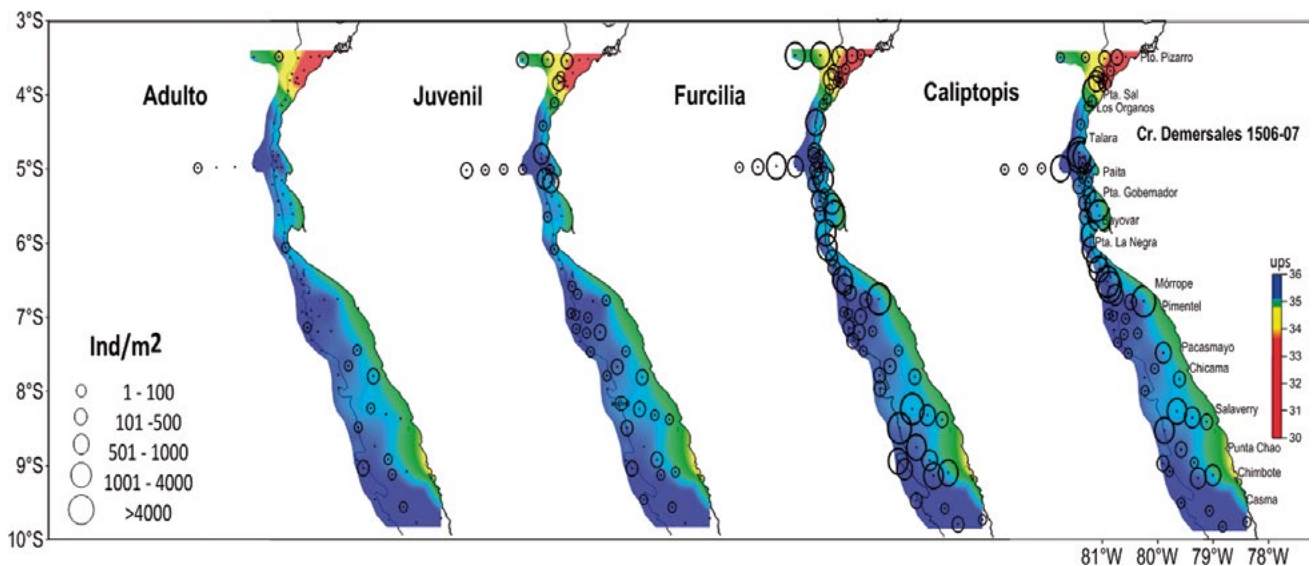


Figura 4.- Distribución y abundancia de estadios de eufáusidos con Salinidad Superficial del Mar (SSM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1506-07

Figure 4. Distribution and abundance of euphausiid stages with Sea Surface Salinity (SSS). Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

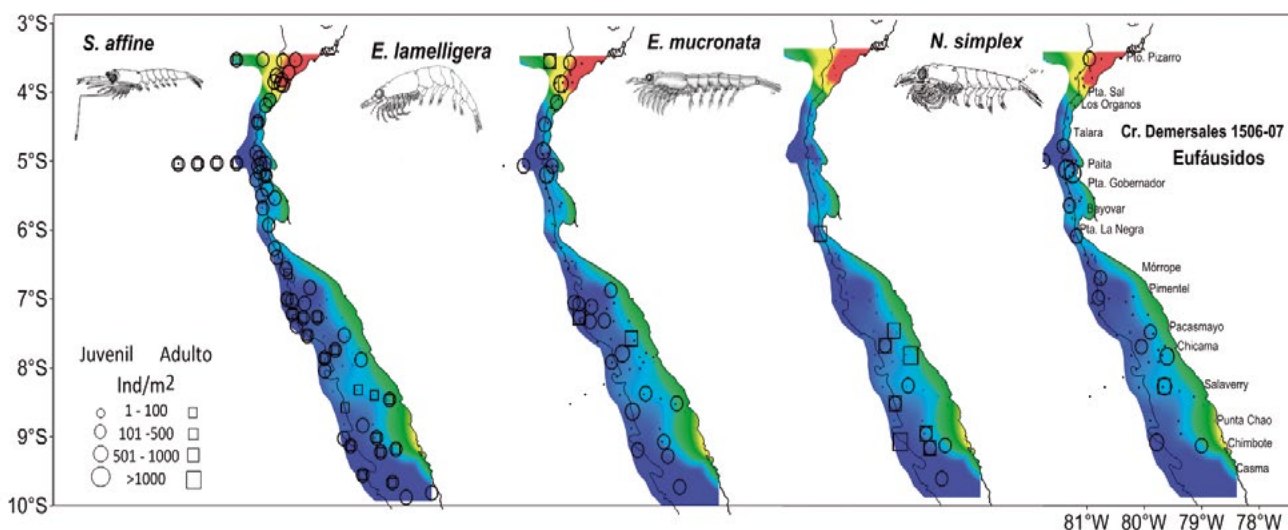


Figura 5.- Distribución y abundancia de juveniles y adultos de eufáusidos, con Salinidad Superficial del Mar (SSM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1506-07

Figure 5. Distribution and abundance of juvenile and adult euphausiids, with Sea Surface Salinity (SSS). Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

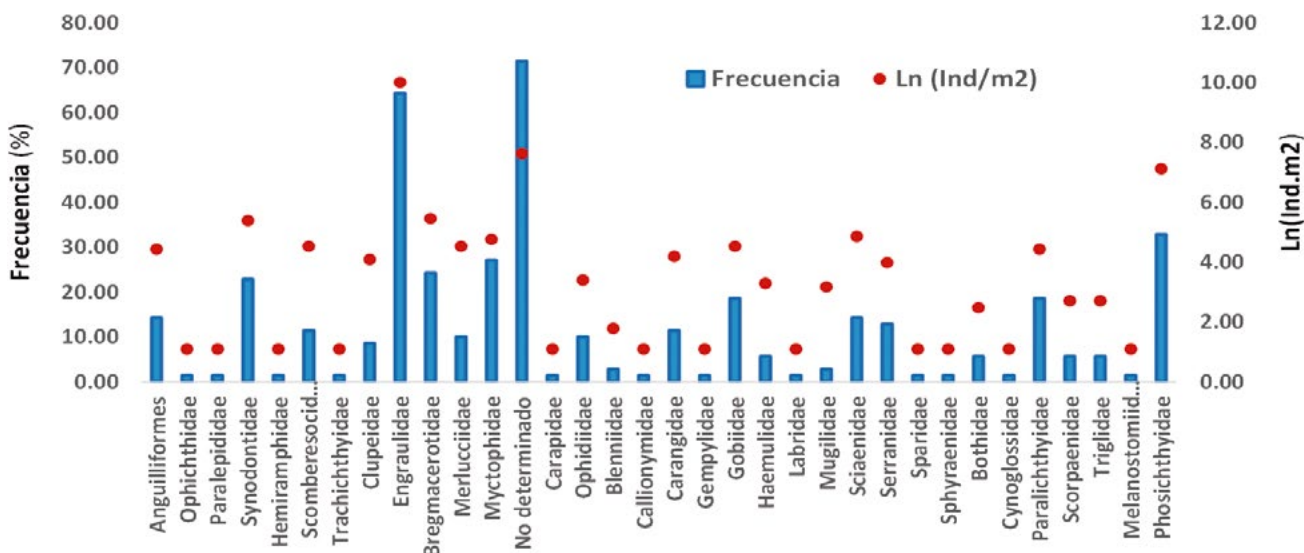


Figura 6.- Abundancia y frecuencia porcentual de las familias del Ictioplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1505-06

Figure 6. Abundance and frequency (%) of Ichthyoplankton families. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

ICTIOPLANKTON

Composición de especies.- Se determinaron 44 especies pertenecientes a 32 familias. Las más frecuentes fueron Engraulidae (64%), Phosichthyidae (33%), Myctophidae (27%), Bregmacerotidae (24%) y Synodontidae (23%) (Fig. 6). Los Engraulidae y Phosichthyidae representaron el 83% y 5% de la abundancia total del ictioplancton, los Myctophidae presentaron el mayor número de especies (Tabla 3 Anexo).

ICHTHYOPLANKTON

Species composition.- A total of 44 species belonging to 32 families were identified. The most frequent were Engraulidae (64%), Phosichthyidae (33%), Myctophidae (27%), Bregmacerotidae (24%), and Synodontidae (23%) (Fig. 6). Engraulidae and Phosichthyidae represented 83% and 5% of the total abundance of ichthyoplankton, Myctophidae presented the highest number of species (Table 3 Annex).

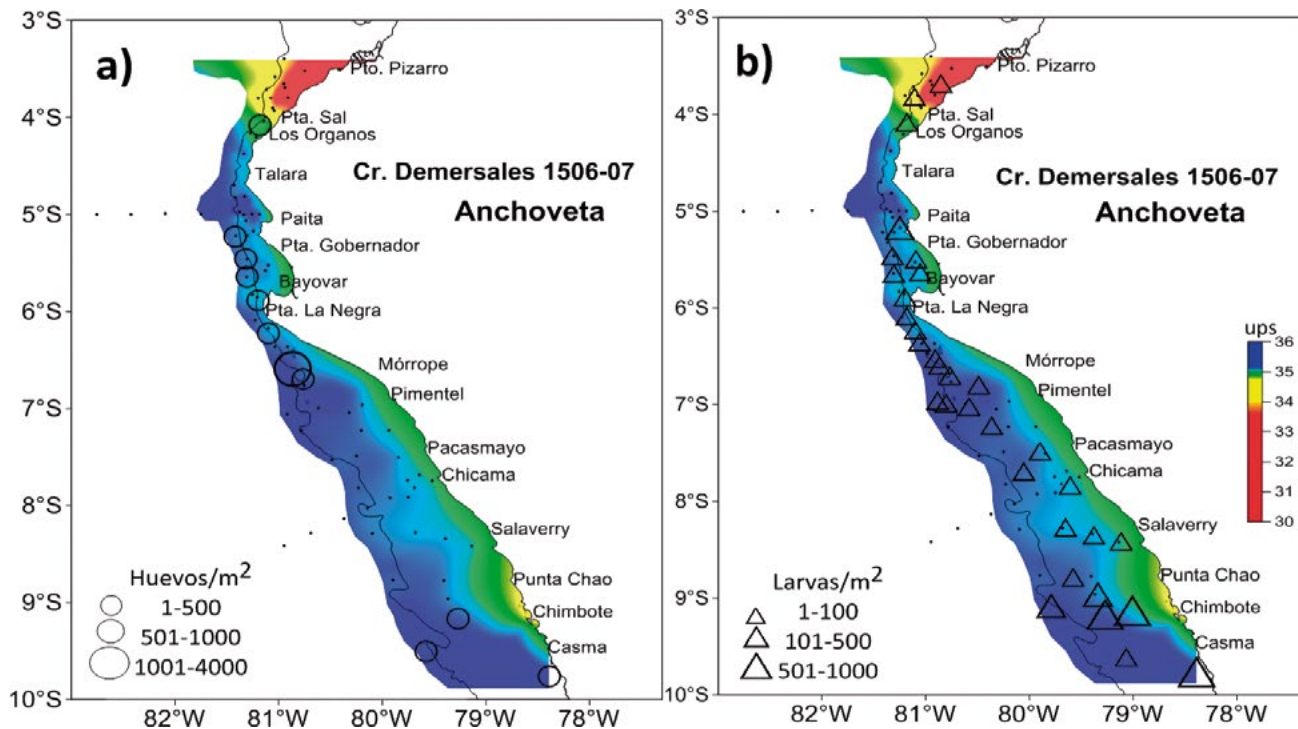


Figura 7.- Distribución y abundancia de *E. ringens* y Salinidad Superficial (ups): a) huevos, b) larvas. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1505-06

Figure 7. Distribution and abundance of *E. ringens* and Surface Salinity (ups): a) eggs, b) larvae. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

Abundancia y distribución del ictioplancton

***Engraulis ringens* Jenyns, anchoveta.-** Fue la especie más frecuente y abundante del ictioplancton, registrándose huevos (17%) y larvas (47%) en el total de estaciones muestreadas, representando juntos el 83% de la abundancia total del ictioplancton (Tabla 3 Anexo). Las densidades de huevos oscilaron entre 3 y 14.304 huevos/m² (67,29%), mientras que las larvas variaron entre 3 y 975 larvas/m² (14,31%). Tanto huevos como larvas se distribuyeron principalmente dentro de la plataforma, los huevos presentaron un núcleo importante entre Punta Gobernador y Mórrope, también se localizaron frente a Chimbote y Casma (Fig. 7a); las larvas registraron mayor cobertura en el área de distribución, con mayores densidades al sur de Salaverry (Fig. 7b).

***Vinciguerria lucetia* (Garman), pez luminoso.-** Representó 5% de la abundancia total del ictioplancton. La abundancia fluctuó entre 3 y 246 huevos/m² y entre 3 y 93 larvas/m², significando 3 y 1,21% de la densidad total del ictioplancton. La frecuencia de huevos fue 20% y de larvas 27%. La distribución de huevos y larvas fue similar y dispersa frente a Puerto Pizarro, Paita, Punta La Negra, Pimentel y Chimbote (Tabla 3 Anexo, Fig. 8).

Ichthyoplankton abundance and distribution

***Engraulis ringens* Jenyns, anchoveta.-** It was the most frequent and abundant ichthyoplankton species, with eggs (17%) and larvae (47%) recorded in all the sampled stations, representing together 83% of the total ichthyoplankton abundance (Table 3 Annex). Egg densities ranged from 3 to 14,304 eggs/m² (67.29%), while larvae ranged from 3 to 975 larvae/m² (14.31%). Both eggs and larvae were distributed mainly within the shelf break, the eggs presented an important nucleus between Punta Gobernador and Mórrope, they were also located off Chimbote and Casma (Fig. 7a); the larvae recorded greater coverage in the distribution area, with higher densities south of Salaverry (Fig. 7b).

***Vinciguerria lucetia* (Garman), Panama lightfish.-** It represented 5% of the total abundance of ichthyoplankton. The abundance fluctuated between 3 and 246 eggs/m² and between 3 and 93 larvae/m², representing 3 and 1.21% of the total ichthyoplankton density. The frequency of eggs was 20% and of larvae 27%. The distribution of eggs and larvae was similar and dispersed off Puerto Pizarro, Paita, Punta La Negra, Pimentel, and Chimbote (Table 3 Annex, Fig. 8).

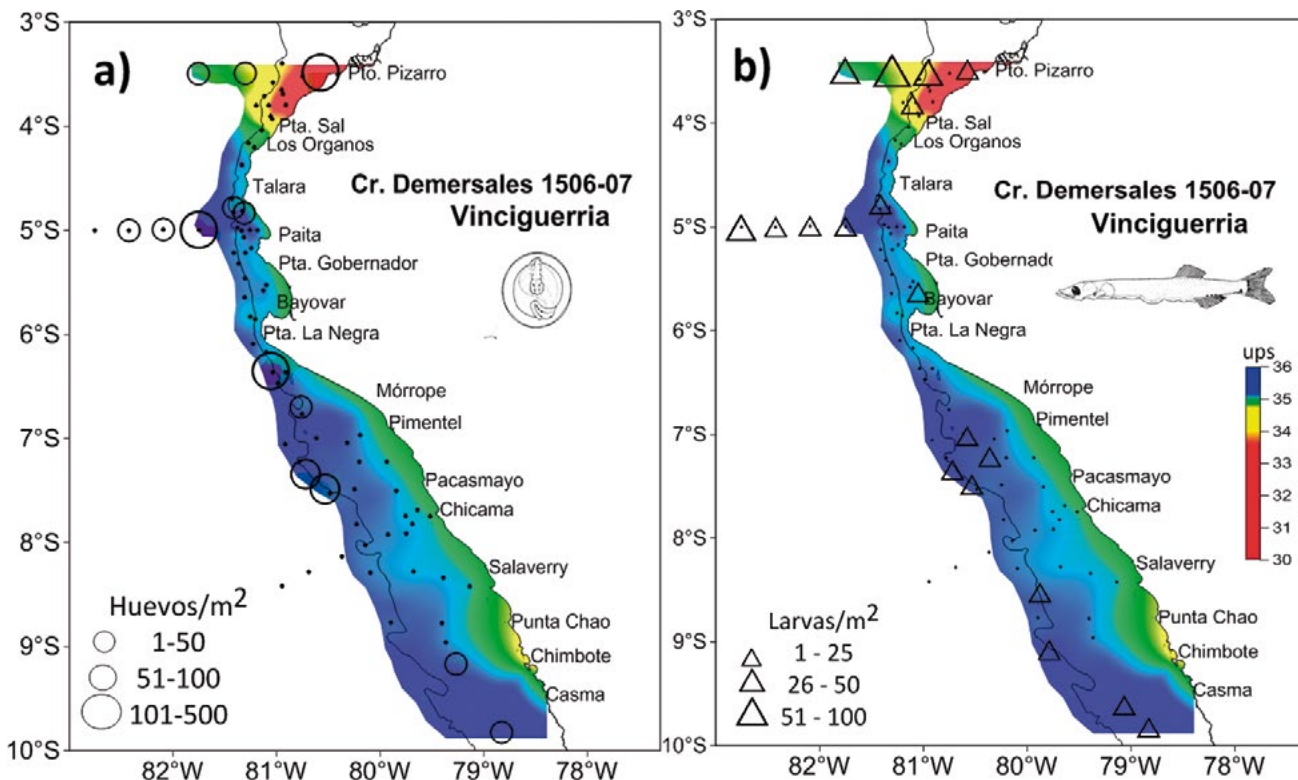


Figura 8.- Distribución y abundancia de *V. lucetia* y Salinidad Superficial: a) huevos, b) larvas. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1506-07

Figure 8. Distribution and abundance of *V. lucetia* and Surface Salinity: a) eggs, b) larvae. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

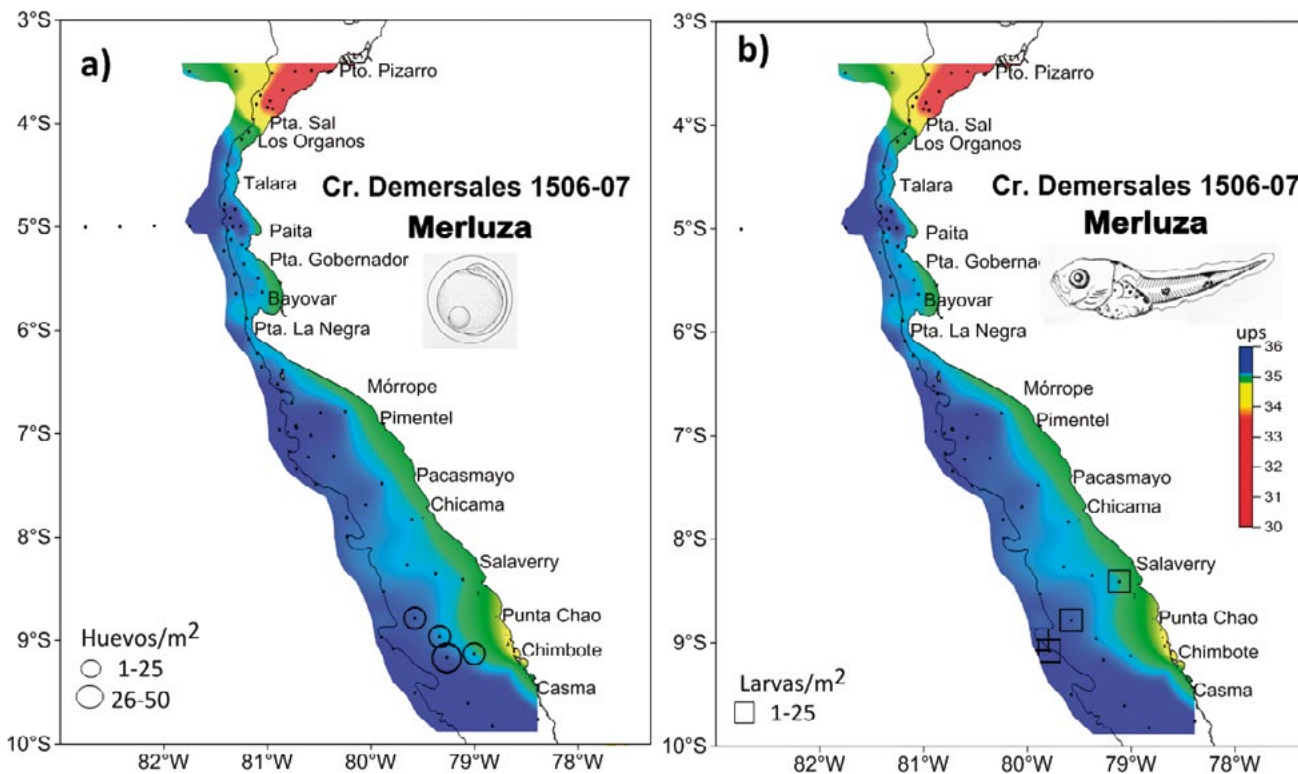


Figura 9.- Distribución y abundancia de *M. gayi peruanus* y con Salinidad Superficial (ups): a) huevos, b) larvas. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1506-07

Figure 9. Distribution and abundance of *M. gayi peruanus* and Surface Salinity (ups): a) eggs, b) larvae. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

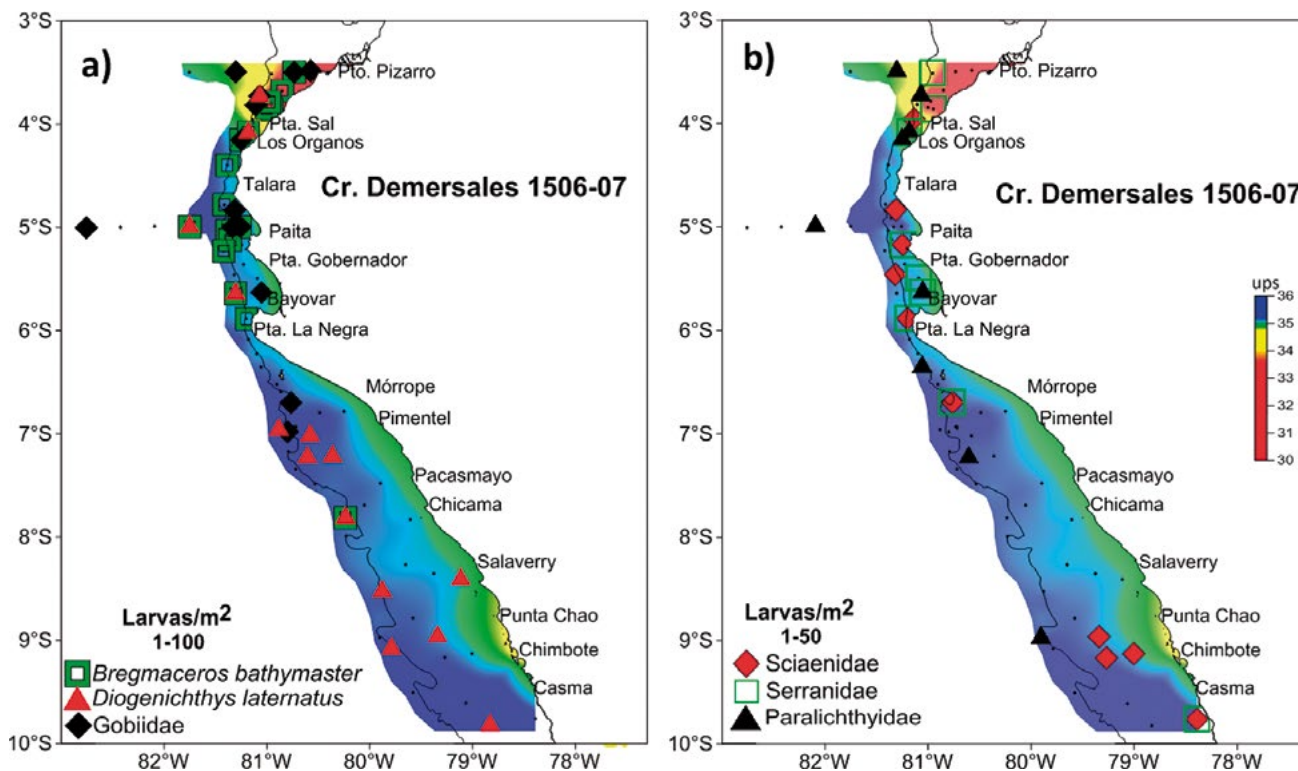


Figura 10.- Distribución y abundancia de larvas de a) *B. bathymaster*, *D. laternatus* y Gobiidae, b) Sciaenidae, Serranidae y Paralichthyidae, Salinidad Superficial (ups). Crucero de Evaluación de Recursos Demersales 1506-07

Figure 10. Distribution and abundance of larvae of a) *B. bathymaster*, *D. laternatus*, and Gobiidae, b) Sciaenidae, Serranidae, and Paralichthyidae, Surface Salinity (ups). Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-07

***Merluccius gayi peruanus* (Garman), merluza.-** Presentó frecuencia de 6% para huevos y larvas, con densidades que fluctuaron entre 3 y 42 huevos/m² y entre 6 y 15 larvas/m². La distribución de huevos estuvo restringida a la zona centro entre Punta Chao y Chimbote dentro de la plataforma, mientras que las larvas se localizaron en el Perfil de Salaverry de 10 a 80 mn de la costa (Fig. 9).

Otras especies.- Por frecuencia en las muestras se registraron a *Bregmaceros bathymaster* (Jordan & Bollman) (24%), *Diogenichthys laternatus* (Garman) pez linterna de Diógenes (20%), una especie de la familia Gobiidae (19%), Sciaenidae (14%), Serranidae (13%) y Paralichthyidae (13%). La distribución de larvas de *B. bathymaster* y Gobiidae se localizaron principalmente en la zona norte, la primera entre Puerto Pizarro y Punta La Negra dentro de las 50 mn y la segunda con mayor dispersión entre Pto. Pizarro y Pimentel dentro de las 50 mn excepto frente a Paita que se extendió hasta las 100 mn; *D. laternatus* se localizó de manera dispersa a lo largo de la zona muestreada. Las larvas de Sciaenidae y Serranidae registraron similar distribución en la zona norte entre Pto Pizarro y Mórrope, mientras que las larvas de Serranidae se localizaron al sur de Casma y las de Sciaenidae entre Punta Chao y Casma (Fig. 10).

***Merluccius gayi peruanus* (Garman), Peruvian hake.-** It had a frequency of 6% for eggs and larvae, with densities fluctuating between 3 and 42 eggs/m² and between 6 and 15 larvae/m². Egg distribution was restricted to the central zone between Punta Chao and Chimbote within the shelf break, while larvae were located in the Salaverry Profile from 10 to 80 nm offshore (Fig. 9).

Other species.- *Bregmaceros bathymaster* (Jordan & Bollman) (24%), *Diogenichthys laternatus* (Garman) Diogenes lanternfish (20%), a species belonging to the family Gobiidae (19%), Sciaenidae (14%), Serranidae (13%), and Paralichthyidae (13%) were recorded by frequency in the samples. The distribution of larvae of *B. bathymaster* and Gobiidae was located mainly in the northern zone, the first between Puerto Pizarro and Punta La Negra within 50 nm and the second with greater dispersion between Pto. Pizarro and Pimentel within 50 nm except off Paita which extended to 100 nm; *D. laternatus* was located scattered throughout the sampled zone. The larvae of Sciaenidae and Serranidae recorded a similar distribution in the north zone between Pto. Pizarro and Mórrope, while the larvae of Serranidae were located to the south of Casma and those of Sciaenidae between Punta Chao and Casma (Fig. 10).

Análisis comunitario

La riqueza específica (d) varió entre 0,154 y 2,387, la mayor riqueza de especies (11 especies) se presentó a 10 millas de Punta Sal. El Índice de diversidad de Shannon (H'log2), presentó valores entre 0,075 y 3,374 bits.Ind⁻¹, con mayor diversidad a 10 mn de Puerto Pizarro. La equidad de Pielou (J') varió entre 0,075 y 1,000. Los mínimos valores de riqueza, diversidad y equidad se registraron frente a Punta Gobernador (Tabla 4).

Community analysis

The specific richness (d) ranged from 0.154 to 2.387, the greatest species richness (11 species) was 10 nm off Punta Sal. The Shannon Diversity Index (H'log2) presented values between 0.075 and 3.374 bits.Ind⁻¹, with greater diversity at 10 nm off Puerto Pizarro. The Pielou's equity (J') ranged between 0.075 and 1.000. The minimum values of richness, diversity, and equity were recorded off Punta Gobernador (Table 4).

Tabla 4.- Índices comunitarios del Ictioplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1505-06

Table 4. Community Indices of Ichthyoplankton. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

Estación	Nro Especies	Abundancias N	Riqueza d	Equidad J'	Diversidad H'(log2)	Estación	Nro Especies	Abundancias N	Riqueza d	Equidad J'	Diversidad H'(log2)
						C39A	2	21	0,328	0,863	0,863
1	7	312	1,045	0,442	1,242	C41	3	12	0,805	0,946	1,500
2	12	147	2,204	0,941	3,374	C42	6	264	0,897	0,372	0,961
3	11	198	1,891	0,785	2,716	C44	5	42	1,070	0,701	1,627
4	10	156	1,782	0,640	2,125	C46	5	48	1,033	0,834	1,936
5	9	81	1,820	0,756	2,395	C48	6	57	1,237	0,623	1,611
6	6	54	1,253	0,579	1,497	C49	8	14481	0,731	0,036	0,108
7	3	18	0,692	0,921	1,459	C52	10	474	1,461	0,512	1,701
8	8	165	1,371	0,551	1,654	C55	2	12	0,402	0,811	0,811
9	7	276	1,068	0,331	0,928	C56	4	84	0,677	0,650	1,299
10	2	12	0,402	0,811	0,811	C58	4	234	0,550	0,280	0,559
11	3	18	0,692	1,000	1,585	C60	3	21	0,657	0,870	1,379
C04	11	168	1,952	0,864	2,990	C61	3	3258	0,247	0,024	0,038
C100	5	45	1,051	0,800	1,857	C62	10	486	1,455	0,366	1,216
C102	7	480	0,972	0,275	0,773	C65	5	42	1,070	0,827	1,921
C105	2	6	0,558	1,000	1,000	C67	4	21	0,985	0,975	1,950
C107	9	756	1,207	0,334	1,059	C68	3	48	0,517	0,756	1,198
C108	5	750	0,604	0,123	0,287	C69	2	6	0,558	1,000	1,000
C111	3	18	0,692	0,921	1,459	C71	4	39	0,819	0,864	1,727
C113	3	12	0,805	0,946	1,500	C72	4	159	0,592	0,593	1,186
C114	5	1080	0,573	0,253	0,588	C74	6	42	1,338	0,876	2,264
C14	8	54	1,755	0,890	2,669	C75	4	81	0,683	0,544	1,088
C17	3	15	0,739	0,865	1,371	C76	5	75	0,926	0,411	0,954
C20	8	48	1,808	0,869	2,608	C78	2	18	0,346	1,000	1,000
C21	5	60	0,977	0,781	1,813	C80	4	33	0,858	0,838	1,677
C22	5	33	1,144	0,961	2,231	C89	3	36	0,558	0,657	1,041
C24	7	42	1,605	0,962	2,700	C90	3	9	0,910	1,000	1,585
C26	11	66	2,387	0,880	3,043	C94	2	96	0,219	0,449	0,449
C30	11	213	1,865	0,694	2,402	C95	3	93	0,441	0,345	0,548
C31	6	48	1,292	0,894	2,311	C96	6	372	0,845	0,254	0,658
C32	5	18	1,384	0,970	2,252	C98	6	114	1,056	0,785	2,030
C34	8	33	2,002	0,911	2,732	C01	3	15	0,739	0,865	1,371
C35	2	654	0,154	0,075	0,075	Mínimo	2	6	0,154	0,075	0,075
C37	4	18	1,038	0,959	1,918	Máximo	12	1080	2,387	1,000	3,374

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las condiciones ambientales en el otoño 2015 fueron cálidas con incremento de temperatura inusual para esa época del año, debido principalmente al arribo de una onda Kelvin a la costa peruana. En el área de estudio destacaron grandes procesos de mezcla asociados a la inusual presencia de aguas oceánicas (ASS) en zonas cercanas a la costa principalmente al norte de Talara, Paita, Punta La Negra, Pimentel y Chimbote. A pesar que el otoño 2014 también se caracterizó por cálido, fue débil a diferencia del otoño 2015 cuando las condiciones fueron cálidas fuertes (IMARPE, 2014, 2015).

Durante el otoño del 2015, predominaron volúmenes menores a 5 mL (54%), a diferencia del otoño 2014 (CORREA & ARONÉS 2017) cuando los volúmenes entre 5,1 y 10,1 mL (40%) fueron los más frecuentes, esta diferencia estaría asociada a mayores aportes en volúmenes de adultos de eufáusidos durante el 2014, respecto al otoño del 2015, cuando fueron los estadios larvales calytopis y furcilia los que dominaron con el 96% de la densidad total de eufáusidos, representando mayor porcentaje, respecto al hallado durante el 2014 (86%). La presencia de los estadios larvales en la capa superficial de 50 m coincide con lo que OLIVARES (2000) encontró para *E. mucronata* y de acuerdo con lo descrito por HARRINGTON & THOMAS (1987), quienes propusieron un modelo para especies costeras que poseen huevos con un gran espacio perivitelínico y bajas velocidades de hundimiento, lo que haría suponer que luego de la eclosión, el desarrollo larvario también ocurre en la superficie, evidenciando que solo después del estadio furcilia inician su profundización.

Los adultos representaron un porcentaje mínimo (<1%), menor al hallado en el 2014 (4%). *E. mucronata* ha sido registrada como una especie endémica y el eufáusido más abundante de la corriente de Humboldt, que se distribuye principalmente dentro de la capa de 0 a 300 metros (BRINTON, 1962). Esto último concuerda con los resultados obtenidos, al haber efectuado recolecciones sobre 50 m de profundidad con una red Hensen, en los que se registraron, principalmente, en las estaciones muestreadas durante la noche debido a la migración nictimeral.

Durante el otoño del 2015 hemos registrado huevos y larvas de merluza en aguas de mezcla de ACF y ASS al sur de Salaverry, con temperaturas que variaron entre 21 °C y 21,6 °C y salinidades de 35,05 a 35,13 ups. SALDARRIAGA *et al.* (2018) concluyeron, para otoño del 2014 y 2015, que la temperatura fue

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The arrival of a Kelvin wave in autumn 2015 originated an unusual temperature increase on the Peruvian coast. Large mixing processes associated with the unusual presence of oceanic waters (SSW) in near-shore areas, mainly north of Talara, Paita, Punta La Negra, Pimentel, and Chimbote. While 2014 was also characterized by a warm autumn, it was mild as opposed to 2015 when conditions were particularly hot (IMARPE, 2014, 2015).

In autumn 2015, volumes less than 5 mL (54%) predominated, unlike autumn 2014 (CORREA & ARONÉS 2017) when volumes between 5.1 and 10.1 mL (40%) were the most frequent, this difference would be associated with greater contributions in adult volumes of euphausiids in 2014, unlike autumn 2015, when calytopis and furcilia dominated with 96% of the total euphausiid density, representing a higher percentage than that found in 2014 (86%). The presence of larval stages in the 50 m surface layer coincides with what OLIVARES (2000) found for *E. mucronata* and as described by HARRINGTON & THOMAS (1987), who proposed a model for coastal species that have eggs with a large perivitelline space and low sink rates, which would suggest that after hatching, larval development also occurs on the surface, evidencing that only after the furcilia stage begin to deepen.

Adults represented a minimum percentage (<1%), lower than the one found in 2014 (4%). *E. mucronata* has been recorded as an endemic species and the most abundant euphausiid of the Humboldt Current, which is distributed mainly within the 0 to 300-meter layer (BRINTON, 1962). The latter is consistent with the results obtained, over a depth of 50 m with a Hensen net, which recorded mainly at night due to nictimeral migration.

In autumn 2015, eggs and larvae of Peruvian hake were recorded in mixing waters (CCW + SSW) south of Salaverry, with temperatures ranging from 21 °C to 21.6 °C and salinity from 35.05 to 35.13 ups. SALDARRIAGA *et al.* (2018) concluded, for autumn 2014 and 2015, that temperature was a limiting parameter, finding inverse association between the age of the Peruvian hake resource and temperatures, thus higher concentrations of individuals under 2 years were associated with

un parámetro limitante, encontrando asociación inversa entre la edad del recurso merluza y las temperaturas, así las más altas concentraciones de individuos menores a 2 años estuvieron asociadas a temperaturas mayores a 15 °C, los individuos de 2 a 3 años prefirieron temperaturas de 13-15 °C y los individuos mayores a 3 años presentaron mayores abundancias en temperaturas menores a 13 °C.

El desove de anchoveta durante el otoño del 2015, fue mayor que el registrado durante el otoño del 2014, representando el 67% de la abundancia total del ictioplancton a diferencia del año anterior cuando representaron el 4% de la abundancia del ictioplancton. Las frecuencias de huevos y larvas de anchoveta durante 2015 incrementaron (17% y 47%) respecto al 2014 (4% y 10%). La distribución de huevos y larvas de anchoveta se localizaron principalmente dentro de la plataforma continental, en el 2014 los huevos se localizaron entre Malabrigo y norte de Chimbote mientras que el 2015 además de las estaciones dispersas al sur de Chicama, se registró un núcleo importante entre Punta Gobernador y Mórrope, con sus mayores densidades frente a Bayóvar. Asimismo, las larvas incrementaron su distribución en el 2014, cuando se registraron frente a Punta La Negra y entre Malabrigo y el sur de Salaverry. En el 2015 se observaron en casi toda el área muestreada dentro de la plataforma (IMARPE, 2014, 2015).

Las estaciones con valores de equidad altos sugieren que no hay una especie dominante; sin embargo, a diferencia del otoño 2014 casi el 50% de las estaciones estuvieron dominadas por huevos y/o larvas de anchoveta evidenciándose en aquellas estaciones que registraron los bajos valores de equidad.

Los mayores valores de riqueza de especies se localizaron en la zona norte entre Puerto Pizarro y Los Órganos caracterizada por la presencia de Aguas Tropicales Superficiales (ATS) y Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), determinándose especies de aguas cálidas como, larvas de *Bentosema panamense* (Tåning), *Chloroscombrus orqueta* (Jordan & Gilbert), *Hoplostethus pacificus* (Garman), *Lepophidium negropinna* (Hildebrand & Barton), *Lestidiops pacificum* (Parr), *Sardinops sagax sagax* (Jenyns), *Citharichthys* sp., *Cyclopsetta* sp., *Ohichthys* sp., *Sphyraena* sp., *Synodus* sp., Callionymidae, Labridae, Melanostomiidae, huevos y larvas de Anguilliformes. Así a 10 mn de Punta Gobernador (C48) se determinaron las larvas de *Calamus brachysomus* (Lockington), esta especie es endémica del Pacífico Oriental y se encuentra desde Baja California y el Golfo de California hasta Perú,

temperatures greater than 15 °C, individuals from 2 to 3 years preferred temperatures of 13-15 °C, and individuals over 3 years had greater abundances in temperatures below 13 °C.

In autumn 2015, the spawning of anchoveta was greater than that recorded in the previous year, representing 67% of the total ichthyoplankton abundance as opposed to 2014, when they represented 4% of the ichthyoplankton abundance. In 2015, the frequencies of anchoveta eggs and larvae increased (17% and 47%) as compared to 2014 (4% and 10%). The distribution of anchoveta eggs and larvae was located mainly within the shelf break; in 2014, the eggs were located between Malabrigo and north of Chimbote while in 2015, in addition to the dispersed stations south of Chicama, an important nucleus was recorded between Punta Gobernador and Mórrope, with its highest densities off Bayóvar. Likewise, larvae increased their distribution in 2014, when they were recorded off Punta La Negra and between Malabrigo and the south of Salaverry. In 2015, they were observed in almost all the sampled area within the shelf break (IMARPE, 2014, 2015).

Stations with high equity values suggest that there are no dominant species; however, unlike autumn 2014, almost 50% of the stations were dominated by anchoveta eggs and/or larvae, as evidenced by those stations with low equity values.

The highest values of species richness were located in the northern zone between Puerto Pizarro and Los Órganos characterized by the presence of Tropical Surface Waters (TSW) and Surface Equatorial Waters (SEW), determining warm water species such as, larvae of *Bentosema panamense* (Tåning), *Chloroscombrus orqueta* (Jordan & Gilbert), *Hoplostethus pacificus* (Garman), *Lepophidium negropinna* (Hildebrand & Barton), *Lestidiops pacificum* (Parr), *Sardinops sagax sagax* (Jenyns), *Citharichthys* sp., *Cyclopsetta* sp., *Ohichthys* sp., *Sphyraena* sp., *Synodus* sp., Callionymidae, Labridae, Melanostomiidae, Anguilliformes eggs and larvae. Thus, at 10 nm of Punta Gobernador (C48), larvae of *Calamus brachysomus* (Lockington) were determined, this species is endemic to the Eastern Pacific and is found from Baja California and the Gulf of California to Peru, including the Galapagos

incluidas las islas Galápagos y Malpelo (CARPENTER *et al.* 2014). Esta especie es bastante rara al sur de 6°S, pero se ha registrado en Chorrillos e Ilo, Perú (P. Béarez, comunicación personal, 2014).

Islands and Malpelo (CARPENTER *et al.* 2014). This species is quite rare south of 6°S, but has been recorded in Chorrillos and Ilo, Peru (P. Béarez, personal communication, 2014).

REFERENCIAS / REFERENCES

- AYÓN P, PURCA S, GUEVARA-CARRASCO R. 2004. Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. ICES J. Mar. Sci. Symp. 61: 478 - 484.
- BODEN B, JOHNSON M, BRINTON E. 1955. The Euphausiacea (Crustacea) of the North Pacific. 395 pp.
- BRINTON E. 1962. The distribution of Pacific euphausiids. Bulletin of Scripps Institution of Oceanography. 8: 51 - 270.
- CARPENTER K E, RUSSELL B, BUXTON C D. 2014. *Calamus brachysomus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T47137465A56986790. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T47137465A56986790>
- CORREA J, ARONÉS K. 2017. Biovolúmenes de zooplancton e ictioplancton en otoño 2014. Inf. Inst. Mar Perú. 44(3): 332 - 343.
- EINARSSON H, ROJAS DE MENDIOLA B. 1963. Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* J.). Bol. Inst. Invest. Recurs. Mar. Callao, Vol. I (1): 1 - 23.
- FROLANDER H. 1954. Plankton volume displacement indicator. Technical Report N° 25. University of Washington Department of Oceanography: Seattle 5. 14 pp.
- HARRINGTON S A, THOMAS. 1987. Observations on spawning by *Euphausia crystallorophias* from waters adjacent to Enderby Land (East Antarctica) and speculations on the early ontogenetic ecology of neritic euphausiids. Polar Biology 7: 93 - 95. P.G. <https://doi.org/10.1007/BF00570446>
- IMARPE. 2015. Crucero de evaluación de la población de Merluza y otros demersales en el otoño de 2015. Cr. 1506-07 BIC Humboldt. Informe Ejecutivo.
- IMARPE, 2014. Crucero de evaluación de la población de Merluza y otros demersales en el otoño de 2014. Cr. 1405-06 BIC Humboldt. Informe Ejecutivo.
- KRAMER D, KALIN M J, STEVENS E G, THRAILKILL J R, ZWEIFEL J R. 1972. Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current region. NOAA Technical Report NMFS, Circ-370. U. S. Department of Commerce. NOAA. National Marine Fisheries Service: Seattle, WA. 38 pp.
- MOSER H. 1996. The early stages of fishes in the California Current Region. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Atlas N° 33: 1505 pp.
- OLIVARES G. 2000. Mecanismos de interacción físico-biológica en una zona de surgencia Costera: Retención de larvas y cierre de ciclo de vida de *Euphausia mucronata*. Tesis entregada a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar el grado de magister en Ciencias Biológicas mención Ecología. Universidad de Chile.
- POSTEL L, FOCK H, HAGEN W. 2000. Biomass and abundance. In ICES zooplankton methodology manual. Academic Press. pp. 83 - 192.
- SALDARRIAGA M, PEREZ A, PALACIOS LEÓN J, GUEVARA-CARRASCO R. 2018. Importancia de las características oceanográficas sobre la estructura poblacional del recurso merluza (*Merluccius gayi peruanus*) durante otoño del 2014 y 2015.
- SANTANDER H, SANDOVAL DE CASTILLO O. 1973. Estudio sobre la primera etapa de vida de la anchoveta. Inf Inst Mar Perú. 4: 1 - 30.

ANEXO / ANNEX

Tabla 3.- Composición, abundancia (Ind/m²) y frecuencia (%) del ictioplancton por especie y estadio. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06Table 3. Composition, abundance (Ind/m²), and frequency (%) of ichthyoplankton by species and stage. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

Orden	Familia	Especie	Estadio	Frec. absoluta	Frec. relativa	Abund. mínima	Abund. máxima	Abund. total	Abund. relativa	
Anguilliformes	Ophichthidae	<i>Ophichthus</i> sp.	larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
	No determinado	No determinado	huevo	7	10,00	3	9	48	0,18	
Aulopiformes	Paralepididae	<i>Lestidiops pacificum</i>	larva	8	11,43	3	9	36	0,13	
			huevo	13	18,57	3	69	159	0,59	
	Synodontidae	No determinado	larva	2	2,86	3	12	15	0,06	
Beloniformes	Hemiramphidae	<i>Synodus</i> sp.	larva	7	10,00	3	12	45	0,17	
			huevo	1	1,43	3	3	3	0,01	
			huevo	8	11,43	3	36	93	0,34	
Beryciformes	Trachichthyidae	<i>Scomberesox saurus</i>	huevo	8	11,43	3	36	93	0,34	
Clupeiformes	Clupeidae	<i>Hoplostethus pacificus</i>	larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	2	2,86	3	33	36	0,13	
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Sardinops sagax sagax</i>	huevo	5	7,14	3	9	24	0,09	
			huevo	12	17,14	3	14304	18159	67,29	
			larva	33	47,14	3	975	3861	14,31	
	Gadiformes	No determinado	No determinado	huevo	3	4,29	6	18	36	0,13
				larva	13	18,57	3	24	150	0,56
				larva	17	24,29	3	96	234	0,87
Gadiformes	Bregmacerotidae	<i>Bregmaceros bathymaster</i>	larva	17	24,29	3	96	234	0,87	
	Merlucciidae	<i>Merluccius gayi peruanus</i>	huevo	4	5,71	3	42	57	0,21	
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Benthoosema panamensis</i>	larva	4	5,71	6	15	36	0,13	
			larva	1	1,43	6	6	6	0,02	
			larva	14	20,00	3	21	90	0,33	
			larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	3	4,29	3	3	9	0,03	
Ophidiiformes	No determinado	No determinado	larva	2	2,86	3	3	6	0,02	
			larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	2	2,86	3	9	12	0,04	
Perciformes	Carapidae	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
	Ophidiidae	<i>Cherublemma emmelas</i>	larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			larva	2	2,86	3	9	12	0,04	
	Perciformes	No determinado	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	3	4,29	3	6	12	0,04
				larva	2	2,86	3	3	6	0,02
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	2	2,86	3	6	0,02	
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	13	18,57	3	33	93	0,34
				larva	2	2,86	3	12	15	0,06
larva				2	2,86	3	9	12	0,04	
larva				1	1,43	3	3	3	0,01	
Perciformes	Blenniidae	<i>Ophioblennius</i> sp.	larva	2	2,86	3	3	6	0,02	
			larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
	Callionymidae	No determinado	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	5	7,14	3	36	57	0,21
	Carangidae	<i>Chloroscombrus orqueta</i>	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	2	2,86	3	3	6	0,02
	Gempylidae	No determinado	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
	Gobiidae	No determinado	No determinado	larva	13	18,57	3	33	93	0,34
				larva	2	2,86	3	12	15	0,06
	Haemulidae	<i>Anisotremus</i> sp.	No determinado	larva	2	2,86	3	9	12	0,04
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
	Perciformes	Labridae	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	2	2,86	3	21	24	0,09
Mugilidae		No determinado	No determinado	larva	10	14,29	3	45	129	0,48
				larva	9	12,86	3	18	54	0,20
Serranidae		No determinado	No determinado	larva	9	12,86	3	18	54	0,20
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
Sparidae		<i>Calamus brachysomus</i>	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
Pleuronectiformes		Sphyraenidae	<i>Sphyraena</i> sp.	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	4	5,71	3	3	12	0,04
	Bothidae	No determinado	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
	Cynoglossidae	<i>Symphurus</i> sp.	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01
				larva	1	1,43	3	3	3	0,01
	Paralichthyidae	<i>Citharichthys</i> sp.	No determinado	larva	2	2,86	3	9	12	0,04
				larva	3	4,29	3	9	15	0,06
larva				9	12,86	3	18	54	0,20	
larva				3	4,29	3	3	9	0,03	
Stomiiformes	Melanostomiidae	No determinado	larva	1	1,43	3	3	3	0,01	
			huevo	14	20,00	3	246	909	3,37	
			larva	19	27,14	3	93	327	1,21	
Stomiiformes	Phosichthyidae	<i>Vinciguerrria lucetia</i>	huevo	14	20,00	3	246	909	3,37	
			larva	19	27,14	3	93	327	1,21	
No determinado	No determinado	No determinado	huevo	43	61,43	3	648	1872	6,94	
			larva	25	35,71	3	24	183	0,68	

BIOVOLÚMENES DEL ZOOPLANCTON. DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE EUFÁUSIDOS E ICTIOPLANCTON FRENTE A LA COSTA PERUANA. OTOÑO 2016

ZOOPLANKTON BIOVOLUMES. DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF EUPHAUSIIDS AND ICHTHYOPLANKTON OFF THE PERUVIAN COAST, AUTUMN 2016

Katia Aronés Flores¹

Jonathan Correa Acosta¹

RESUMEN

ARONÉS K, CORREA J. 2019. Biovolúmenes del zooplancton. Distribución y abundancia de eufáusidos e ictioplancton, frente a la costa peruana. Otoño 2016. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 489-502.- Durante el Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06, efectuado entre el 24 de mayo y 17 de junio 2016, se recolectó 71 muestras de zooplancton con red Hensen de 300 µm de abertura de malla, en arrastres verticales hasta 50 m de profundidad. Los biovolúmenes de zooplancton variaron entre 0,2 y 55,0 mL/muestra, más frecuentes fueron los de menor valor entre 0,1 – 5,0 mL/muestra (39%), los menos frecuentes fueron mayores a 20,0 mL/muestra, ubicados principalmente entre Mórrope y Chicama. Se han determinado 13 especies de eufáusidos con mayores densidades en estadios tempranos como caliptopis (77%) y furciliias (16%) de la abundancia total de este grupo. En el ictioplancton se determinaron 53 familias, siendo las más frecuentes Engraulidae (51%) y Phosichthyidae (35%). La anchoveta fue la especie más abundante representada por huevos (3 y 5.208 huevos/m²) y larvas (3 y 309 larvas/m²), los que se registraron entre Puerto Pizarro y Punta Falsa (huevos), así como entre Talara y Chicama (larvas).

PALABRAS CLAVE: biovolúmenes, o eufáusidos, ictioplancton, anchoveta, merluza

ABSTRACT

ARONÉS K, CORREA J. 2019. Zooplankton biovolumes. Distribution and abundance of euphausiids and ichthyoplankton off the Peruvian coast, autumn 2016. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 489-502.- During the Hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06, carried out between May 24 and June 17, 2016, a total of 71 zooplankton samples were collected with a 300 µm Hensen net, in vertical trawls up to a depth of 50 meters. Zooplankton biovolumes varied between 0.2 and 55.0 mL/sample, the most frequent were those of lower value between 0.1 - 5.0 mL/sample (39%), the least frequent were greater than 20.0 mL/sample, located mainly between Mórrope and Chicama. A total of 13 species of euphausiids with higher densities in early stages have been determined, such as calyptopis (77%) and furciliias (16%) of the total abundance of this group. In ichthyoplankton, 53 families were determined, the most frequent being Engraulidae (51%) and Phosichthyidae (35%). The anchoveta was the most abundant species represented by eggs (3 and 5,208 eggs/m²) and larvae (3 and 309 larvae/m²), which were recorded between Puerto Pizarro and Punta Falsa (eggs), as well as between Talara and Chicama (larvae).

KEYWORDS: biovolumes, euphausiids, ichthyoplankton, anchoveta, Peruvian hake

1. INTRODUCCIÓN

A nivel superficial las condiciones ambientales del subsistema bentodemersal durante el 2016, en la zona norte del mar peruano indicaban un proceso de normalización frente a la costa peruana, a nivel subsuperficial este proceso es más lento y la manifestación de un evento El Niño aún persiste, en este contexto aún se han evidenciado altos niveles de oxígeno sobre la plataforma (IMARPE, 2016).

El zooplancton es el principal alimento de muchas especies de importancia pesquera a nivel energético (ESPINOZA & BERTRAND, 2008) por lo que la estimación de su biomasa es importante. Desde los

1. INTRODUCTION

In 2016, the environmental conditions, on the surface, of the bentodemersal subsystem in the northern zone of the Peruvian sea indicated a normalization process offshore. This process is slower at subsurface and the manifestation of El Niño still persists and high levels of oxygen on the shelf break remain evident (IMARPE, 2016).

Zooplankton is the main food of many important fisheries species at the energy level (ESPINOZA & BERTRAND, 2008) so the estimation of its biomass is important. Since the 1960s, (CARRASCO & LOZANO, 1989) zooplankton biovolumes are determined in

¹ IMARPE, DGIOCC. Esquina Gamarra y Gral. Valle, s/n, Callao, Perú. karones@imarpe.gob.pe

años 60s (CARRASCO & LOZANO, 1989) se determinan biovolúmenes de zooplancton en el sistema de la corriente peruana como un proxy de la biomasa. Los eufáusidos contribuyen con los mayores biovolúmenes del zooplancton, por lo que es necesario el estudio y monitoreo de su composición y distribución en la costa peruana. En este informe se dan a conocer los resultados de biovolúmenes de zooplancton, distribución y composición de eufáusidos e ictioplancton obtenidos de investigaciones efectuadas entre mayo y junio del 2016 en el marco del Crucero de Evaluación de la Merluza y otras especies Demersales 1605-06.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El material biológico de zooplancton e ictioplancton provienen del Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales que se realizó entre el 24 de mayo y 17 de junio del 2016, a bordo del BIC Humboldt entre las latitudes 03°30' y 10°S y, hasta 100 mn de la costa.

Se recolectaron 71 muestras de zooplancton con red Hensen de 300 micras de abertura de malla, operada en jales verticales desde 50 metros de profundidad hasta la superficie en las estaciones que se muestran en la figura 1. La fijación y preservación de las muestras se hizo con formaldehído al 2%.

El análisis de las muestras se efectuó en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria (LZPS) de IMARPE. La determinación de los biovolúmenes de zooplancton se realizó empleando el método por desplazamiento (FROLANDER, 1954; KRAMER *et al.*, 1972). Antes de determinar el biovolumen (POSTEL *et al.*, 2000; AYÓN *et al.*, 2004), se extrajo el ictioplancton y los organismos gelatinosos (medusas, salpas) de tamaños mayores a 2 cm y la "múnida" *Pleuroncodes monodon*, que podrían sesgar la conversión de biovolumen a biomasa. Para la determinación de las especies del ictioplancton se emplearon los trabajos de EINARSSON y ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER y SANDOVAL DE CASTILLO (1973) y MOSER (1996), para determinar las especies de eufáusidos el de BODEN *et al.* (1955).

La abundancia de las especies se expresa en ind/m² y los biovolúmenes en mL/muestra. El procesamiento de la información se hizo en el programa Excel y para los mapas se empleó el programa Surfer v 15. Empleando PRIMER 6.0 se estimaron parámetros comunitarios de Equidad, Riqueza de Especies, Similaridad de Bray Curtis y Cluster, para los que no se consideraron las estaciones en las que se registró solo una especie o no se registraron especies de ictioplancton.

the Peruvian current system as a biomass proxy. Euphausiids produce the largest zooplankton biovolumes, so the study and monitoring of their composition and distribution on the Peruvian coast are required. The results of zooplankton biovolumes, distribution and composition of euphausiids and ichthyoplankton obtained in the Peruvian hake and other Demersal Assessment Cruise 1605-06, conducted between May and June 2016, are presented in this report.

2. MATERIAL AND METHODS

Between May 24 and June 17, 2016, the Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise, onboard the R/V Humboldt between 03°30' and 10°S and up to 100 nm offshore, was carried out to collect biological material of zooplankton and ichthyoplankton.

A total of 71 zooplankton samples were collected with a 300 µm Hensen net, operated in vertical trawls from a depth of 50 meters to the surface at the stations shown in Figure 1. The samples were fixed and preserved with 2% formaldehyde.

Samples were analyzed at IMARPE's Zooplankton and Secondary Production Laboratory (ZSPL). The displacement method (FROLANDER, 1954; KRAMER *et al.*,

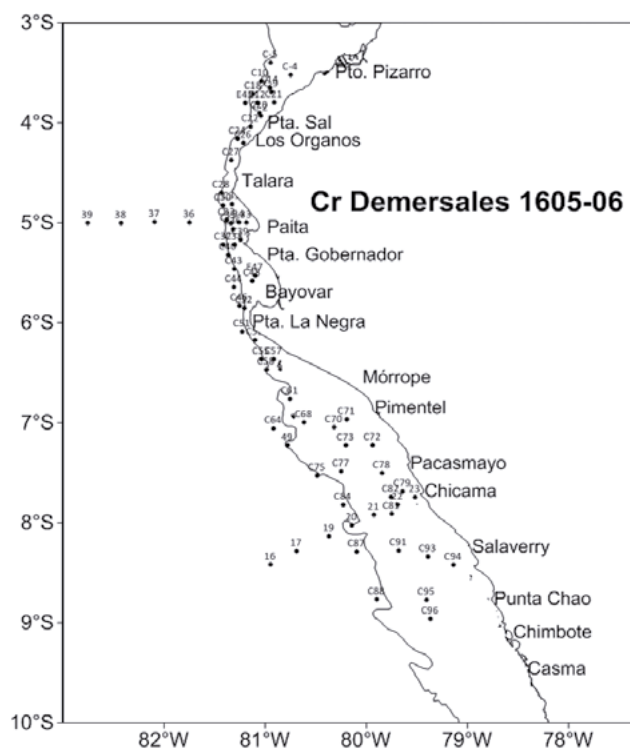


Figura 1.- Posiciones de muestreo de zooplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06
 Figure 1. Sampling positions of zooplankton. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

3. RESULTADOS

Biovolúmenes de zooplancton

Los biovolúmenes variaron entre 0,2 y 55,0 mL/muestra, promedio de 9,73 mL/muestra. Los biovolúmenes entre 0,1 y 5,0 mL/muestra fueron más frecuentes (39%), los menos frecuentes (8%) fueron los mayores a 20,1 mL/muestra (Tabla 1).

La distribución de biovolúmenes menores a 10 mL/muestra, se localizaron en la zona costera, entre Puerto Pizarro y Punta La Negra, al sur estuvo por fuera de las 15 mn entre Pimentel y Chicama y al sur de Salaverry. Los biovolúmenes superiores a 10,1 mL/muestra se distribuyeron principalmente entre Mórrope y Salaverry (Fig. 2) y por fuera de 60 mn frente a Paita.

EUFÁUSIDOS

Composición y Abundancia

Se han determinado 13 especies de eufáusidos: *Euphausia distinguenda* (Hansen, 1908), *E. eximia*

Tabla 1.- Número de estaciones y frecuencia de biovolúmenes del zooplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Table 1. Number of stations and frequency of zooplankton biovolumes. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

Rango / Range mL/muestra	Número de estaciones Number of stations	Frecuencia/Frequency (%)
0,1 - 5,0	27	39
5,1 - 10,0	20	28
10,1 - 20,1	18	25
>20,1	6	8
Total	71	100

1972) was used for the determination of zooplankton biovolumes. Before determining the biovolume (POSTEL *et al.*, 2000; AYÓN *et al.*, 2004), ichthyoplankton and gelatinous organisms (jellyfish, gilt-heads) of sizes greater than 2 cm and the "squat lobster" *Pleuroncodes monodon* were extracted since they could bias the conversion from biovolume to biomass. The works of EINARSSON & ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER & SANDOVAL DE CASTILLO (1973), and MOSER (1996) were used for the determination of ichthyoplankton species, to determine the euphausiid species, while the work of BODEN *et al.* (1955) was consulted for euphausiid species.

Species abundance is expressed in ind/m² and biovolumes in mL/sample. The processing of the information was done in Excel and the Surfer v 15 software was used for the maps. The Primer 6.0 software was used to estimate community parameters such as Equity, Species richness, Bray-Curtis Similarity, and Cluster, except for the stations in which only one species or no ichthyoplankton species were recorded.

3. RESULTS

Zooplankton biovolumes

Biovolumes ranged from 0.2 to 55.0 mL/sample, with a mean of 9.73 mL/sample. Biovolumes between 0.1 and 5.0 mL/sample were more frequent (39%), the least frequent ones (8%) were greater than 20.1 mL/sample (Table 1).

The distribution of biovolumes less than 10 mL/sample was located in the coastal zone, between Puerto Pizarro and Punta La Negra, to the south, it was outside 15 nm between Pimentel and Chicama and south of Salaverry. Biovolumes greater than 10.1 mL/sample were distributed mainly between Mórrope and Salaverry (Fig. 2) and outside 60 nm off Paita.

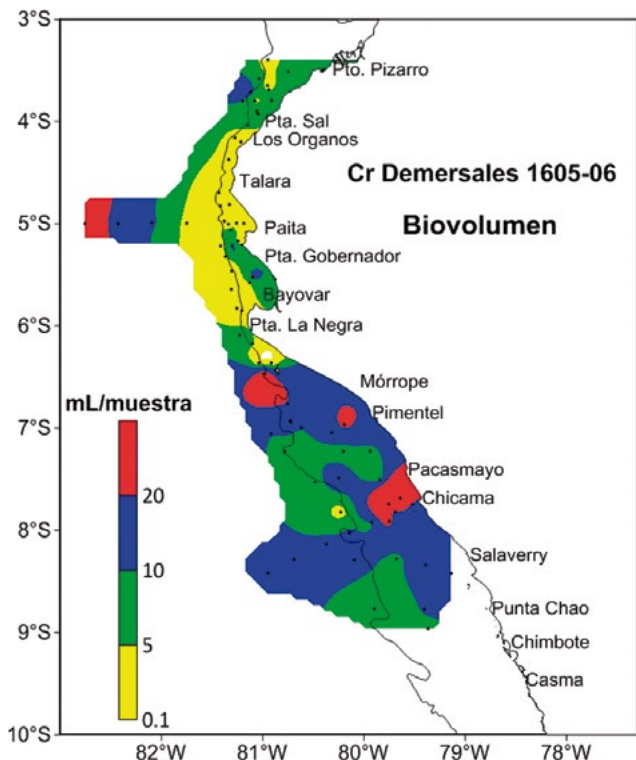


Figura 2.- Distribución de los biovolúmenes del zooplancton. Crucero de Evaluación de Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Figure 2. Distribution of zooplankton biovolumes. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

(Hansen, 1911), *E. lamelligera* (Hansen, 1911), *E. mucronata* (Sars, 1883), *E. tenera* (Hansen, 1905), *Euphausia* sp. *Nematobrachion* sp., *Nematoscelis tenella* (Sars, 1883), *Nyctiphanes simplex* (Hansen, 1911), *Stylocheiron affine* (Hansen, 1910), *S. elongatum* (Sars, 1883), *S. longicorne* (Sars 1883) y *S. suhmii* (Sars, 1883). Se observó altas frecuencias de estadios tempranos como caliptopis (93%), furciliias (96%) indeterminadas, así como, furciliias de *Stylocheiron* sp. (59%) y *N. simplex* (42%) (Tabla 2, Anexo).

Las mayores densidades se observaron en los primeros estadios: caliptopis y furciliias con abundancias totales de 313.779 Ind./m² (77%) y 65.580 Ind./m² (16%). La distribución de caliptopis se observó a lo largo del área muestreada con sus mayores densidades entre Paita y Punta La Negra. Las furciliias registraron distribución similar a los caliptopis, pero cubriendo mayor área de distribución y con abundancias más altas por fuera de las 10 millas náuticas. Los nauplios y metanauplios no fueron muy abundantes ni frecuentes; los nauplios se registraron a 42 mn frente a Paita, a 15 mn al sur de Pimentel y a 100 mn de Chicama y los metanauplios frente a Punta Sal (90 y 100 mn), frente a Paita, Punta Gobernador, al sur de Punta La Negra y a 90 mn de Chicama (Fig. 3).

Se observó una clara diferencia en la distribución de las especies de eufáusidos. *E. mucronata* fue poco frecuente sobre los 50 m, los juveniles fueron

EUPHAUSIIDS

Composition and Abundance

A total of 13 euphausiid species have been identified: *Euphausia distinguenda* (Hansen, 1908), *E. eximia* (Hansen, 1911), *E. lamelligera* (Hansen, 1911), *E. mucronata* (Sars, 1883), *E. tenera* (Hansen, 1905), *Euphausia* sp. *Nematobrachion* sp., *Nematoscelis tenella* (Sars, 1883), *Nyctiphanes simplex* (Hansen, 1911), *Stylocheiron affine* (Hansen, 1910), *S. elongatum* (Sars, 1883), *S. longicorne* (Sars 1883), and *S. suhmii* (Sars, 1883). High frequencies of early stages were observed, such as calyptopis (93%), indeterminate furciliias (96%), as well as, furciliias of *Stylocheiron* sp. (59%) and *N. simplex* (42%) (Table 2, Annex).

The highest densities were observed in the early stages: calyptopis and furciliias with total abundances of 313,779 Ind./m² (77%) and 65,580 Ind./m² (16%). The distribution of calyptopis was observed throughout the sampled area with its highest densities between Paita and Punta La Negra. Furciliias recorded similar distribution as calyptopis, but covering a larger area of distribution and with higher abundances outside 10 nm offshore. Nauplii and metanauplii were neither very abundant nor frequent; nauplii were recorded at 42 nm off Paita, 15 nm south of Pimentel, and 100 nm from Chicama and metanauplii off Punta Sal (90 and 100 nm), off Paita, Punta Gobernador, south of Punta La Negra and 90 nm from Chicama (Fig. 3).

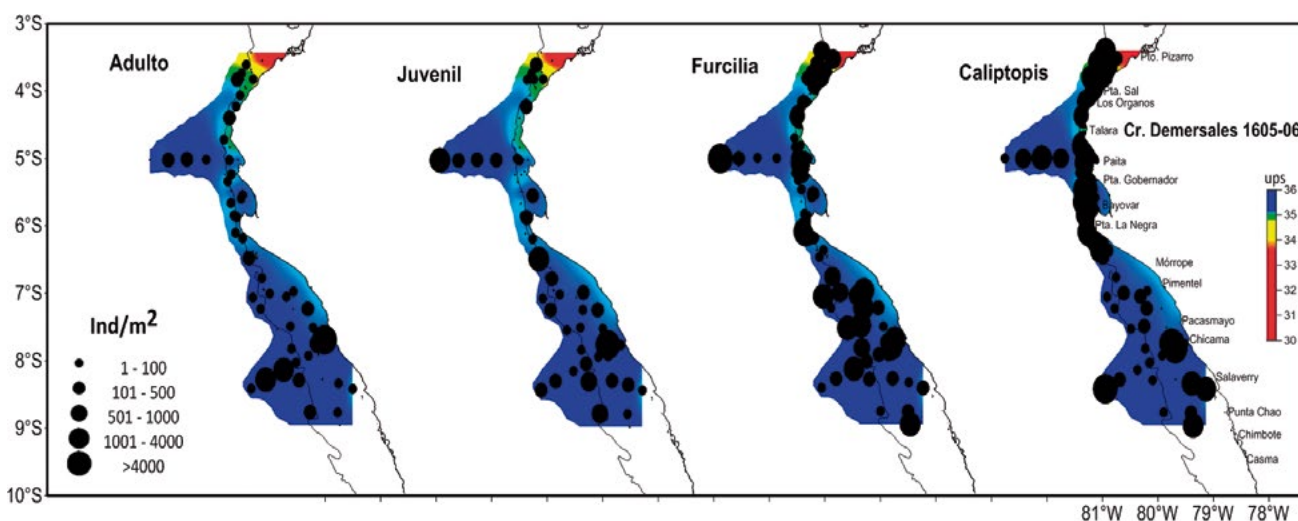


Figura 3.- Distribución y abundancia de estadios de Eufáusidos. Crucero de Evaluación de la Población de merluza y otros demersales 1605-06

Figure 3. Distribution and abundance of Euphausiid stages. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

registrados sobre la plataforma mientras que los adultos se registraron por fuera de la plataforma, ambos al sur de Punta La Negra. Los juveniles y adultos de *E. lamelligera* se localizaron en dos grupos, el primero entre Puerto Pizarro y Paita, el segundo entre Mórrope y Salaverry dentro y fuera de la plataforma. Los juveniles de *E. distinguenda* se registraron a 100 mn de Paita, a 20 mn de Pimentel y en el quiebre de la plataforma entre Chicama y Punta Chao, mientras que los adultos de esta especie se localizaron al norte de Punta Sal; a 100 mn de Paita, juveniles y adultos de *N. simplex* y *S. affine* se localizaron en estaciones por fuera y sobre la plataforma. Sin embargo, *N. simplex* es la especie dominante en la zona al norte de Talara (Fig. 4).

A clear difference in the distribution of euphausiid species was observed. *E. mucronata* was rare over 50 m, juveniles were recorded on the shelf break while adults were recorded outside the shelf break, both south of Punta La Negra. The juveniles and adults of *E. lamelligera* were located in two groups, the first between Puerto Pizarro and Paita, the second between Mórrope and Salaverry inside and outside the shelf break. The juveniles of *E. distinguenda* were recorded at 100 nm from Paita, 20 nm from Pimentel, and in the break of the platform between Chicama and Punta Chao, while the adults of this species were located north of Punta Sal; at 100 nm from Paita, juveniles and adults of *N. simplex* and *S. affine* were located in stations outside and on the shelf break. Nonetheless, *N. simplex* is the dominant species in the area north of Talara (Fig. 4).

ICTIOPLANCTON

Composición de especies

Dentro del ictioplancton se determinaron 53 especies pertenecientes a 32 familias. Las familias más frecuentes fueron Myctophidae (55%), Engraulidae (54%), Bathylagidae (44%) y Phosichthyidae (28%). Las familias Engraulidae y Phosichthyidae representaron el 51% y 35% de la abundancia total del ictioplancton. Myctophidae presentó el mayor número de especies (6) (Tabla 2 Anexo, Fig. 5). *Diogenichthys laternatus* "pez linterna" fue la especie más frecuente del ictioplancton detectándose en el 49% del total de estaciones muestreadas y *Engraulis ringens* "anchoveta" la segunda especie más frecuente registrándose huevos (17%) y larvas (44%) del total de estaciones muestreadas.

ICHTHYOPLANKTON

Species composition

A total of 53 species belonging to 32 families were identified. The most frequent families were Myctophidae (55%), Engraulidae (54%), Bathylagidae (44%), and Phosichthyidae (28%). The families Engraulidae and Phosichthyidae represented 51% and 35% of the total ichthyoplankton abundance. Myctophidae had the highest number of species (6) (Table 2 Annex, Fig. 5). *Diogenichthys laternatus* "Diogenes lanternfish" was the most frequent species in 49% of the total number of sampled stations and *Engraulis ringens* "anchoveta" eggs (17%) and larvae (44%) was the second most frequent in the total number of sampled stations.

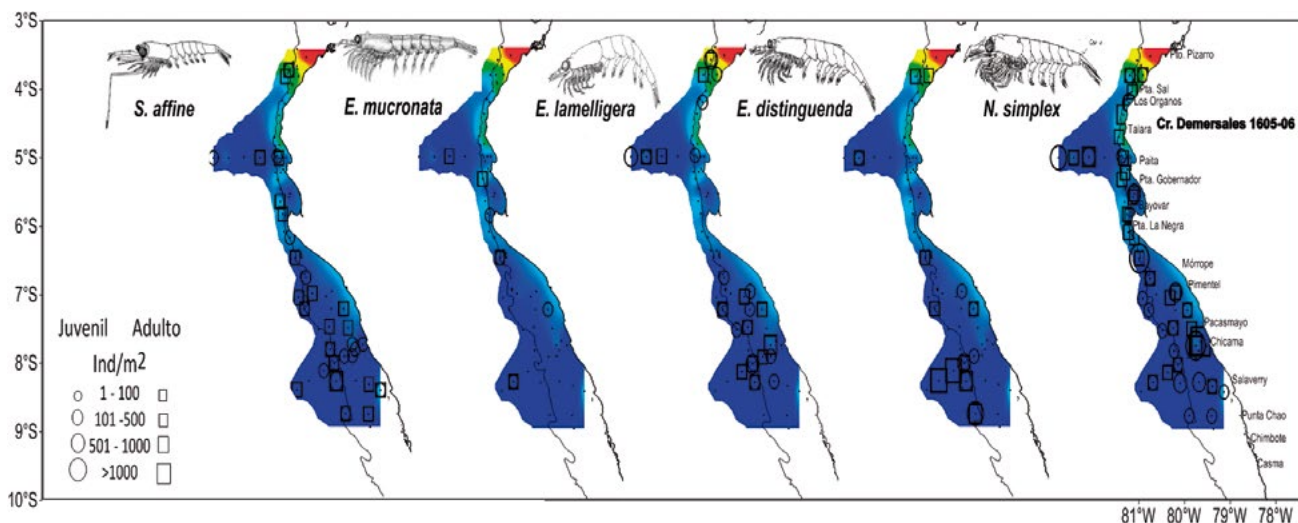


Figura 4.- Distribución y abundancia de juveniles y adultos de Eufáusidos. Cruce de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Figure 4. Distribution and abundance of juveniles and adults Euphausiids. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

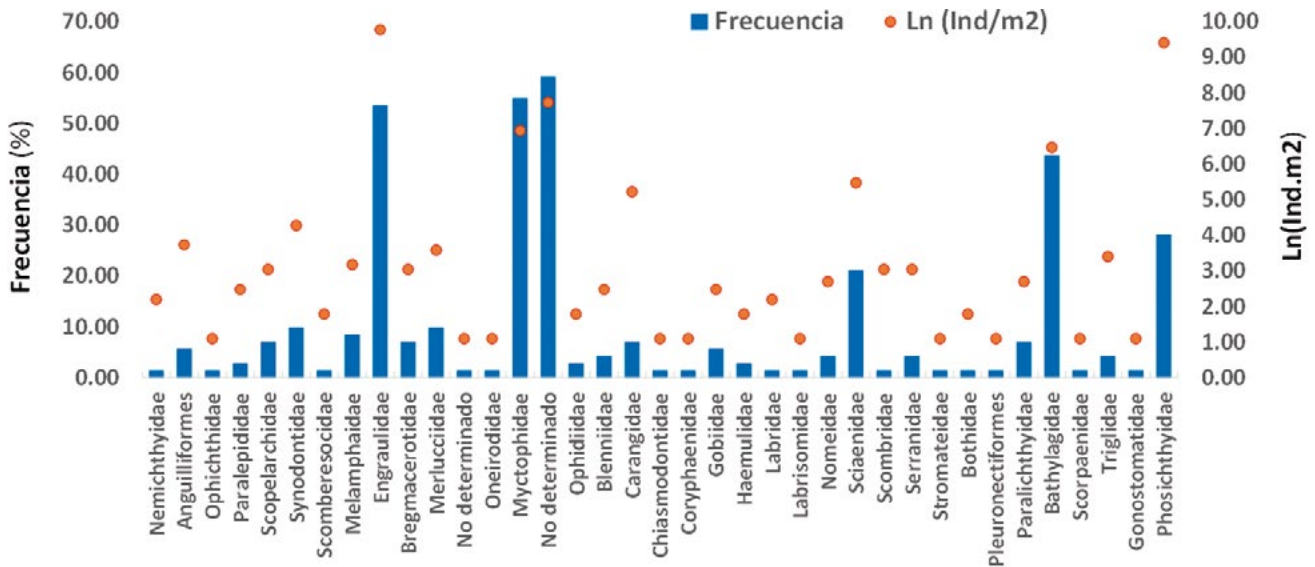


Figura 5.- Abundancia (LN) y frecuencia porcentual de las familias del Ictioplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Figure 5. Abundance (LN) and frequency (%) of Ichthyoplankton families. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

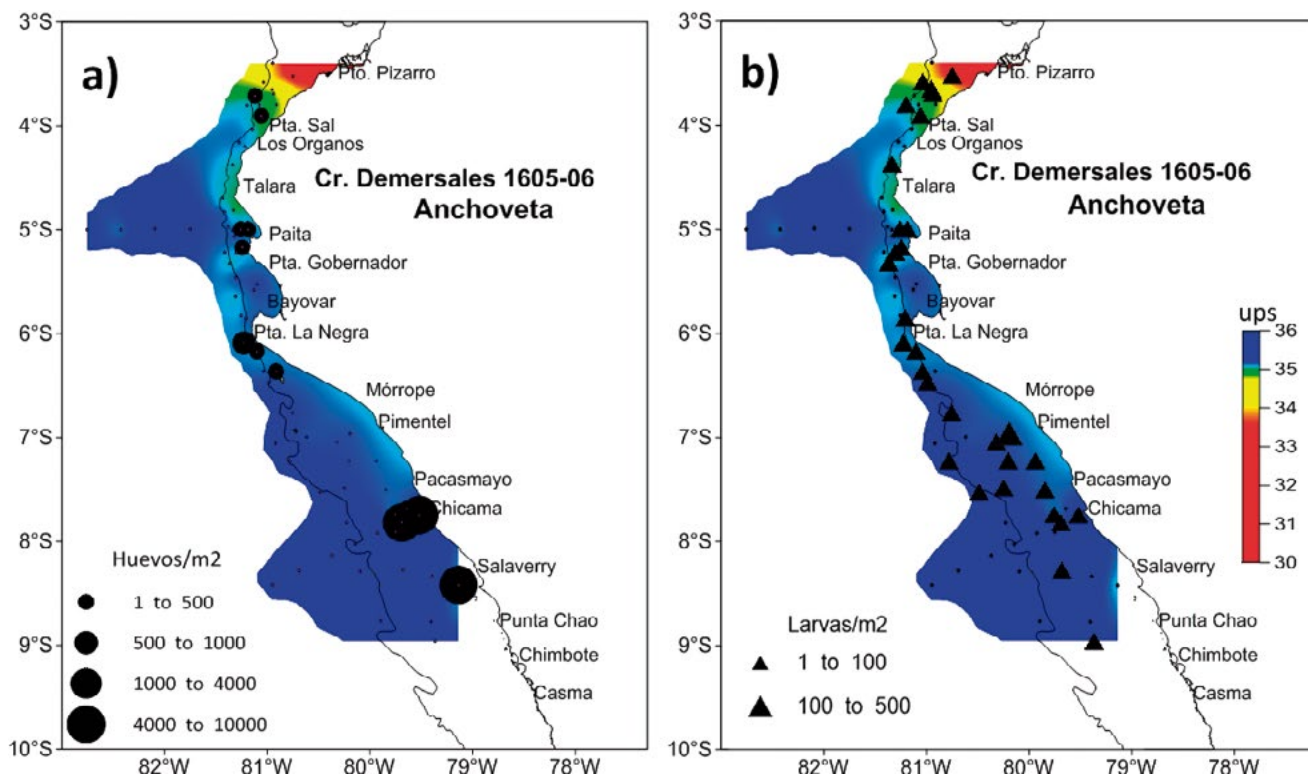


Figura 6.- Distribución y abundancia de a) huevos, b) larvas de *Engraulis ringens*. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Figure 6. Distribution and abundance of a) eggs, b) larvae of *Engraulis ringens*. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

Abundancia y distribución del ictioplancton

Engraulis ringens Jenyns, “anchoveta”

Fue una especie abundante del ictioplancton, con valores de densidades a nivel de huevos entre 3 y 5.208 huevos/m² (42,87%), las larvas variaron entre 3 y 309 larvas/m² (2,6%). Los huevos se distribuyeron

Ichthyoplankton abundance and distribution

Engraulis ringens Jenyns, “anchoveta”

It was an abundant species, with egg density values between 3 and 5,208 eggs/m² (42.87%), larvae varied between 3 and 309 larvae/m² (2.6%). The eggs were distributed dispersed off Paita, Punta

de manera dispersa frente a Paita, Punta La Negra y un pequeño núcleo al sur de Chicama. Las larvas presentaron mayor área de distribución, localizándose entre Puerto Pizarro y Punta Chao con bajos valores de abundancia (menores a 500 larvas/m²) (Fig. 6).

***Vinciguerria lucetia* (Garman) “pez luminoso”**

La abundancia fluctuó entre 3 y 10.896 huevos/m² y entre 3 y 141 larvas/m², representando el 34,21% y 1,0% de la densidad total del ictioplancton. Sus frecuencias fueron de 20% y 18% para huevos y larvas, respectivamente, los que se distribuyeron en forma similar, en dos zonas una frente a Paita y otra frente a Chicama (Fig. 7).

***Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, “merluza”**

La frecuencia de huevos fue de 4% y 6% para larvas, con densidades que fluctuaron entre 9 y 18 huevos/m² y 6 y 18 larvas/m². La distribución de huevos estuvo restringida a la zona norte frente a Puerto Pizarro y a Paita, mientras que las larvas se localizaron al norte de Talara, al sur de Punta La Negra, entre Pimentel y Pacasmayo y frente a Chicama (Fig. 8a, b).

La Negra and, a small nucleus south of Chicama. The larvae presented a larger distribution area, located between Puerto Pizarro and Punta Chao with low abundance values (less than 500 larvae/m²) (Fig. 6).

***Vinciguerria lucetia* (Garman) “Panama lightfish”**

The abundance fluctuated between 3 and 10,896 eggs/m² and between 3 and 141 larvae/m², representing 34.21% and 1.0% of the total ichthyoplankton density. Their frequencies were 20% and 18% for eggs and larvae, respectively, which were distributed in a similar way, in two zones, one off Paita and the other off Chicama (Fig. 7).

***Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, “Peruvian hake”**

The egg frequency was 4% and 6% for larvae, with densities ranging from 9 to 18 eggs/m² and 6 to 18 larvae/m². Egg distribution was restricted to the northern zone off Puerto Pizarro and Paita, while larvae were located north of Talara, south of Punta La Negra, between Pimentel and Pacasmayo, and off Chicama (Fig. 8a, b).

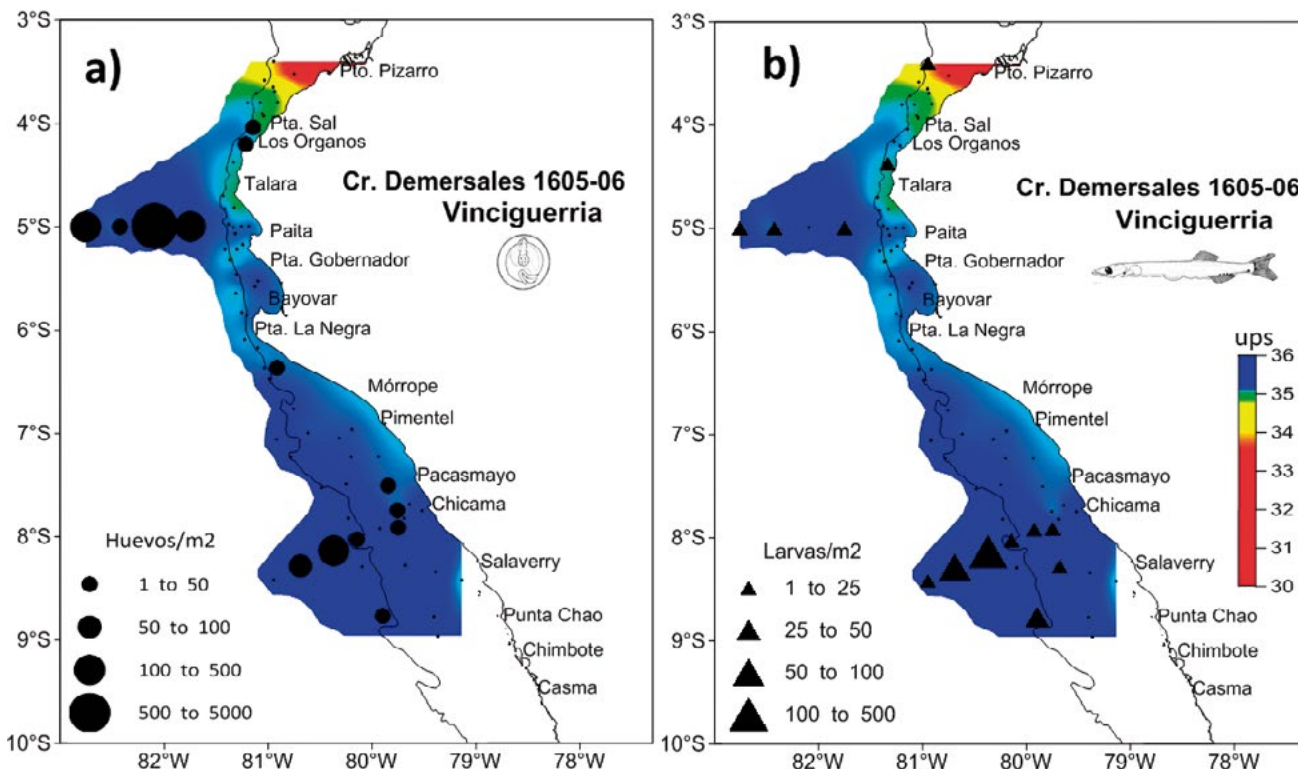


Figura 7.- Distribución y abundancia de a) huevos, b) larvas de *Vinciguerria lucetia*. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Figure 7. Distribution and abundance of a) eggs, b) larvae of *Vinciguerria lucetia*. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

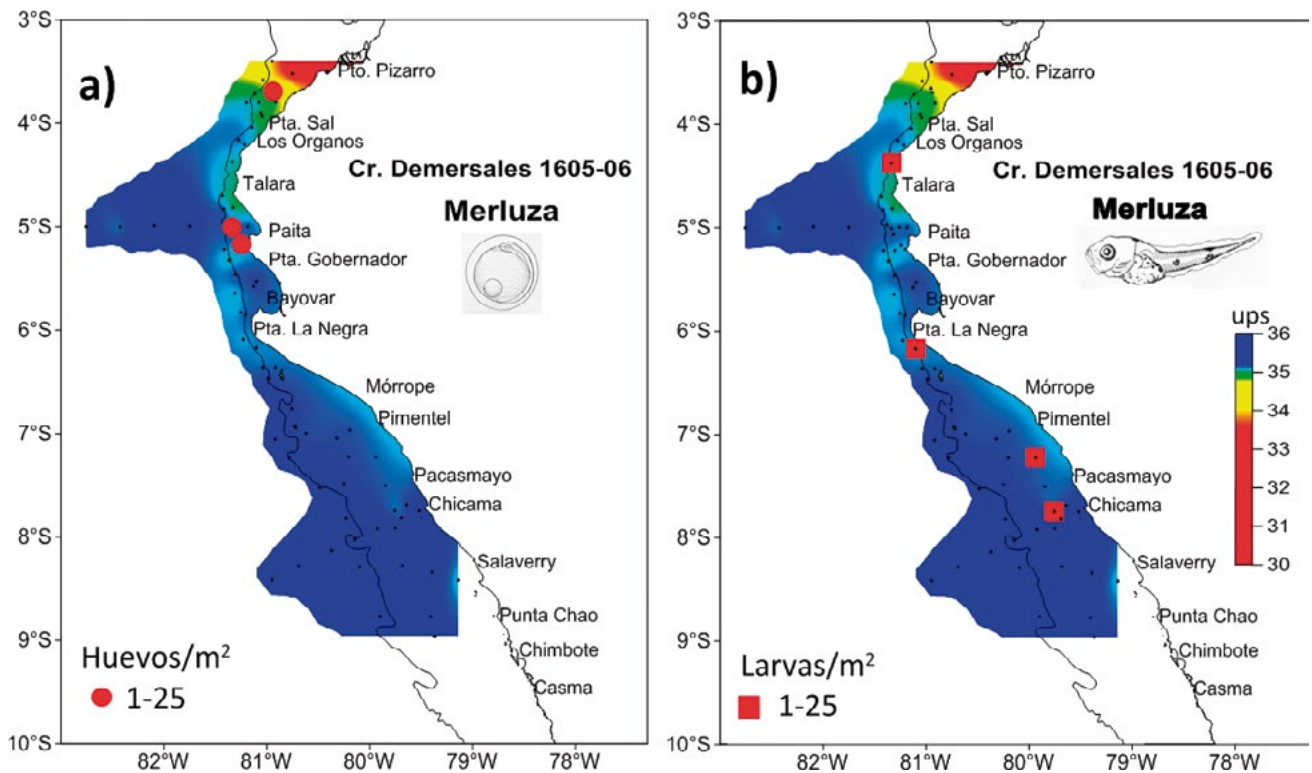


Figura 8.- Distribución y abundancia de a) huevos y b) larvas de *Merluccius gayi peruanus*.
Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Figure 8. Distribution and abundance of a) eggs, b) larvae of *Merluccius gayi peruanus*. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

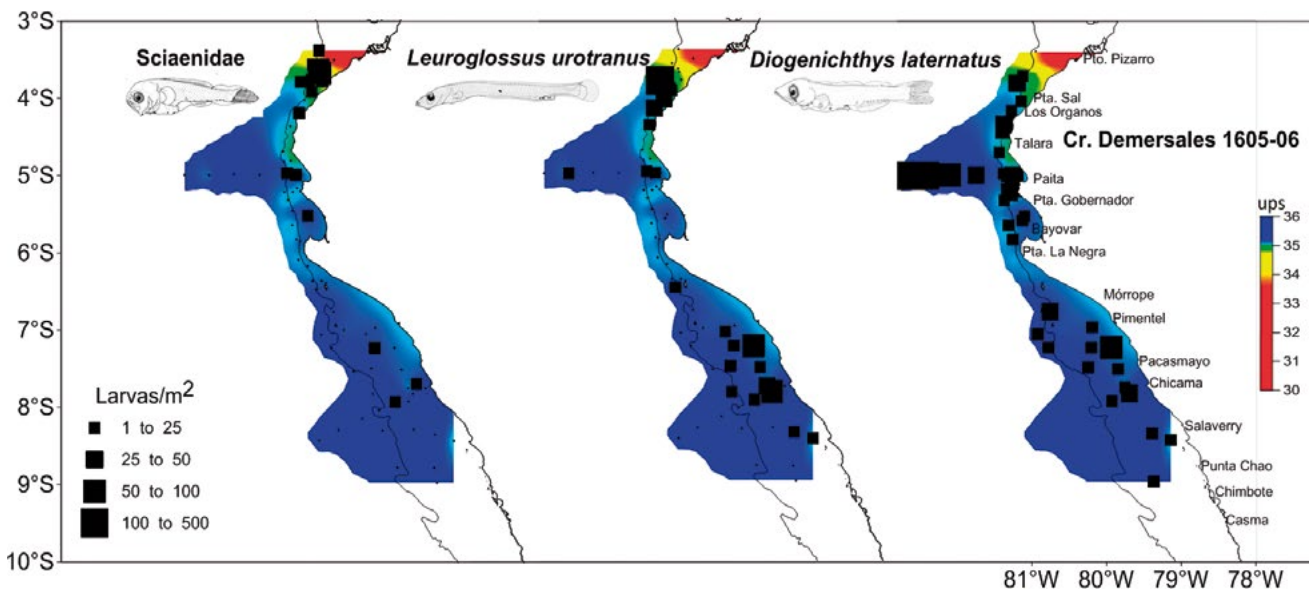


Figura 9.- Distribución y abundancia de larvas de la familia a) Sciaenidae, especies b) *Leuroglossus urotronus*,
c) *Diogenichthys laternatus*. Crucero de Evaluación de Recursos Demersales 1605-06

Figure 9. Distribution and abundance of larvae in the family a) Sciaenidae, species b) *Leuroglossus urotronus*, c) *Diogenichthys laternatus*. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1605-06

Otras especies de ictioplancton

Diogenichthys laternatus (Garman) "pez linterna"

Sus densidades fluctuaron entre 3 y 225 larvas/m² (40%). La distribución de larvas de *D. laternatus* ocurrió a lo largo de la zona muestreada. Otras especies importantes fueron larvas de *Leuroglossus urotronus* Bussing (31%) y de la familia Sciaenidae (21%) (Fig. 9).

Análisis comunitario

Entre los parámetros comunitarios calculados para todas las estaciones positivas de ictioplancton, se tiene que la riqueza específica (d) varió entre 0,108 y 1,724, la mayor riqueza de especies (11 especies) se registró a 90 millas de Paita. El Índice de diversidad de Shannon (H' \log_2) presentó valores entre 0,045 y 2,578 bits.Ind⁻¹. La equidad de Pielou (J') varió entre 0,045 y 1,000 (Tabla 3 Anexo).

4. DISCUSIÓN

Respecto al crucero del 2015 (1506-07), los biovolúmenes menores (0,1 - 0,5 mL) presentaron menor cobertura, disminuyendo de 54% a 39%, mientras que los biovolúmenes entre 10,1 y 20,0 mL fueron más frecuentes (10% - 25%), los cuales se evidenciaron entre Mórrope y Punta Chao. Los mayores biovolúmenes durante este crucero se localizaron en la zona norte frente a Paita por fuera de las 100 mn de la costa, distribución similar a la observada en el Cr. 1506-07; sin embargo, en la zona centro se observó ampliación en su distribución, ya que en el 2015 los volúmenes mayores a 10 mL se hallaron entre Chicama y Salaverry mientras que en el 2016 el área fue más amplia, entre Mórrope y Punta Chao (ARONÉS & NAKAZAKI, 2019).

Durante el otoño del 2016 se observó que sobre los 50 metros predominaron eufáusidos en sus primeros estadios de desarrollo (caliptopis y furcilia), lo que podría deberse a una migración ontogénica como la propuesta por HARRINGTON & THOMAS (1987) quienes afirman que los primeros estadios continúan sobre los 50 m debido a las bajas velocidades de hundimiento de sus huevos, lo cual ha sido registrado en especies como *E. mucronata* (OLIVARES, 2000); corroborando esa afirmación, durante este muestreo se determinaron nauplios y metanauplios que no fueron registrados en el 2015. Otra propuesta contraria es la de MAUCLINE & FISHER (1969), quienes plantean un desarrollo ascendente en el que los huevos liberados se profundizan a mayor velocidad

Other ichthyoplankton species

Diogenichthys laternatus (Garman) "Diogenes lanternfish"

Their densities ranged from 3 to 225 larvae/m² (40%). The distribution of *D. laternatus* larvae occurred along the sampled area. Other important species were *Leuroglossus urotronus* Bussing larvae (31%) and larvae of the family Sciaenidae (21%) (Fig. 9).

Community analysis

Among the community parameters calculated for all positive ichthyoplankton stations, the specific richness (d) ranged from 0.108 to 1.724, the highest species richness (11 species) was recorded 90 nm off Paita. The Shannon Diversity Index (H' \log_2) presented values between 0.045 and 2.578 bits.Ind⁻¹. Pielou's equity (J') ranged from 0.045 to 1.000 (Table 3 Annex).

4. DISCUSSION

In the cruise of 2015 (1506-07), the smaller biovolumes (0.1 - 0.5 mL) presented less coverage, decreasing from 54% to 39%, while the more frequent biovolumes (10% - 25%) were between 10.1 and 20.0 mL, this was evident between Mórrope and Punta Chao. In this cruise, the largest biovolumes were located in the northern zone off Paita outside the 100 nm offshore, a distribution similar to that observed in Cr. 1506-07; nevertheless, there was an increase in its distribution in the central zone, since in 2015 volumes greater than 10 mL were found between Chicama and Salaverry while in 2016 the area was wider, between Mórrope and Punta Chao (ARONÉS & NAKAZAKI, 2019).

It was observed that above 50 meters, in autumn 2016, euphausiids predominated in their early stages of development (calyptopis and furcilia), this could be due to an ontogenetic migration as proposed by HARRINGTON & THOMAS (1987) who claim that the early stages continue over 50 m due to the low sink rates of their eggs, which has been recorded in species such as *E. mucronata* (OLIVARES, 2000); this statement is supported by the determination of nauplii and metanauplii that were not recorded in 2015. An alternative proposal is that of MAUCLINE & FISHER (1969), who propose an ascending development in which the released eggs are deepened at greater

y eclosionan en profundidad, generalmente más de 150 m y luego los estadios nauplio y metanauplio van ascendiendo, de manera que los primeros caliptopis capaces de alimentarse se encuentran aún en profundidades mayores a 50 m, diferente a lo observado durante este crucero en el que, sobre los 50 m, predominaron caliptopis y furciliias.

Las mayores densidades de caliptopis se registraron entre Puerto Pizarro y Punta La Negra y frente a Chicama y en 2015 entre Talara y Paita, Bayovar y entre Punta La Negra y Pacasmayo. Las mayores densidades de furciliias en el 2015, básicamente, se localizaron en la zona sur del área de muestreo, frente a Pimentel y entre Salaverry y Chimbote mientras que durante este muestreo fueron altas en toda el área evaluada (ARONES y NAKAZAKI, 2019). Los adultos representaron el 3% de la densidad total de los eufáusidos, *E. mucronata* fue una de las especies más frecuentes durante el otoño del 2015 cuando se evidenciaron mezcla de ACF y ASS; sin embargo, para este año su frecuencia fue menor debido al predominio de las ASS en la zona de estudio (IMARPE, 2016).

El número de especies de ictioplancton (53) fue mayor al registrado en el 2015, esto podría estar asociado al mayor desplazamiento hacia la costa de la ASS. Así mismo, estas condiciones en el ambiente redujeron el área de distribución de huevos y larvas de anchoveta.

En otoño del 2016 las larvas de *V. lucetia* disminuyeron sus frecuencias (18%) respecto al otoño del 2015 (27%), mientras que los huevos presentaron frecuencia similar. Sus densidades representaron el 35% de la abundancia total del ictioplancton a diferencia del 2015 cuando representó solo el 4%. Sus mayores densidades se determinaron frente a Paita y Chicama; así mismo, la distribución de huevos y larvas respecto al otoño del 2015 fue más cercana a la costa esto debido al desplazamiento de las ASS (IMARPE, 2016). La presencia de las ASS es ligeramente mayor a la observada durante los Cruceros 1603-04 y 1506-07 (IMARPE, 2015, 2016).

La distribución de los huevos de merluza se limitó a la zona norte entre Puerto Pizarro y Paita; las larvas presentaron distribución más dispersa entre Los Órganos y Chicama; sin embargo, durante el otoño 2015 tanto huevos como larvas se localizaron en la zona sur del área muestreada, entre Salaverry y Chimbote, principalmente dentro de la plataforma (ARONÉS y NAKAZAKI, 2019). Respecto a los adultos, la abundancia de la merluza tuvo dos núcleos de concentración; el primero entre el

speed and hatch in depth, generally more than 150 m and then the nauplii and metanauplii stages are ascending, so that the first calyptopis capable of feeding are still at depths greater than 50 m, different from what was observed during this cruise in which calyptopis and furciliias predominated above 50 m.

The highest densities of calyptopis were recorded between Puerto Pizarro and Punta La Negra and in 2015 between Talara and Paita, Bayóvar and between Punta La Negra and Pacasmayo. In 2015, highest densities of furciliias were located in the southern zone of the sampling area, off Pimentel and between Salaverry and Chimbote while during this sampling, they were high in the entire area (ARONES & NAKAZAKI, 2019). Adults represented 3% of the total euphausiid density, *E. mucronata* was one of the most frequent species in autumn 2015 when mixing waters (CCW + SSW) were observed; however, in 2016, its frequency was lower due to the predominance of SSW in the study area (IMARPE, 2016).

The number of ichthyoplankton species (53) was higher than in 2015, this could be associated with the greater approximation of SSW to the coast. Also, these environmental conditions reduced the distribution area of anchoveta eggs and larvae.

In autumn 2016, the *V. lucetia* larvae decreased their frequencies (18%) as compared to autumn 2015 (27%), while the eggs showed a similar frequency. Their densities represented 35% of the total ichthyoplankton abundance, unlike 2015 when it represented only 4%. Its higher densities were determined off Paita and Chicama; likewise, the distribution of eggs and larvae, in comparison to autumn 2015, was closer to the coast due to the displacement of the SSW (IMARPE, 2016). The presence of SSW is slightly higher than that observed during Cruises 1603-04 and 1506-07 (IMARPE, 2015, 2016).

The distribution of Peruvian hake eggs was limited to the northern zone between Puerto Pizarro and Paita and larvae had a more dispersed distribution between Los Órganos and Chicama. Nonetheless, in autumn 2015, both eggs and larvae were located in the southern zone of the sampled area, between Salaverry and Chimbote, mainly within the shelf break (ARONÉS & NAKAZAKI, 2019). Regarding adults, the abundance of Peruvian hake had two concentration nuclei; the

extremo norte del dominio marítimo peruano y los 4°S (estrato III) y el segundo ubicado al sur del grado 7°S (subárea E) también en el estrato III de profundidad (IMARPE, 2016), a pesar de haberse registrado desoves solo al norte de Paita.

first between the northern end of the Peruvian sea and 4°S (stratum III) and the second located south of 7°S (sub-area E) also in stratum III of depth (IMARPE, 2016), despite having recorded spawning only north of Paita.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ARONES K, NAKAZAKI C. 2019. Biovolúmenes del Zooplancton, Eufáusidos e Ictioplancton, frente a la costa peruana durante el otoño 2015. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 503 - 518.
- AYÓN P, PURCA S, GUEVARA-CARRASCO R. 2004. Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. *ICES J. Mar. Sci. Symp.* 61: 478 - 484.
- AYÓN P, CRIALES-HERNANDEZ M, SCHWAMBORN R, JÜRGEN-HIRCHE H. 2008. Zooplankton Research off Peru: a Review. *Progress in Oceanography*. 79: 238 - 255.
- BODEN B, JOHNSON M, BRINTON E. 1955. The Euphausiacea (Crustacea) of the North Pacific. 395 pp.
- CARRASCO S, LOZANO O. 1989. Seasonal and long-term variations of zooplankton volumes in the Peruvian Sea 1964–1987. In Pauly D, Muck P, Mendo J, Tsukayama I. (Eds.). *The Peruvian Upwelling Ecosystem: Dynamics and Interactions* pp. 82–85 ICLARM Conference Proceedings, Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM). 438 pp.
- EINARSSON H, ROJAS DE MENDIOLA B. 1963. Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* J.). *Bol. Inst. Invest. Recurs. Mar. Callao*. I (1): 1 - 23.
- ESPINOZA P, BERTRAND A. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Progress in Oceanography*. 79: 215 - 227.
- FROLANDER H. 1954. Plankton volume Displacement Indicator. Technical Report N° 25. University of Washington Department of Oceanography. Seattle. 5: 14.
- HARRINGTON S A, THOMAS P G. 1987. Observations on spawning *Euphausia crystallorophias* from waters adjacent to ender by land (east Antarctica) and speculations on the early ontogenetic ecology of neritic euphausiids. *Polar biology*. 7(2): 93 - 95.
- IMARPE. 2016. Crucero de evaluación de la población de Merluza y otros demersales en el otoño de 2016. Cr. 1605-06 BIC Humboldt. Informe Ejecutivo.
- IMARPE. 2015. Crucero de evaluación de la población de Merluza y otros demersales en el otoño de 2015. Cr. 1506-07 BIC Humboldt. Informe Ejecutivo.
- KRAMER D, KALIN M J, STEVENS E G, THRAILKILL J R, ZWEIFEL J R. 1972. Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current region. NOAA Technical Report NMFS, Circ-370. U. S. Department of Commerce. NOAA. National Marine Fisheries Service: Seattle, WA. 38 pp.
- MAUCLINE J, FISHER L. 1969. The biology of euphausiids. *Advances in Marine Biology*. 7: 1 - 454.
- MOSER H. 1996. The Early Stages of Fishes in the California Current Region. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Atlas. 33: 1505.
- OLIVARES G. 2000. Mecanismos de interacción físico biológica en una zona de surgencia costera: retención de larvas y cierre de ciclo de vida de *Euphausia mucronata*. Tesis entregada a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar el grado de Magister en Ciencias Biológicas mención Ecología. Universidad de Chile.
- POSTEL L, FOCK H, HAGEN W. 2000. Biomass and abundance. In ICES zooplankton methodology manual. Academic Press. Pp. 83 - 192.
- SANTANDER H, SANDOVAL DE CASTILLO O. 1973. Estudio sobre la primera etapa de vida de la anchoveta. Informe Inst. Mar Perú-Callao 4: 1-30.

ANEXOS / ANNEXES

Tabla 2.- Composición, abundancia (Ind/m²) y frecuencia (%) del ictioplancton por especie y estadio. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06Table 2. Composition, abundance (Ind/m²), and frequency (%) of ichthyoplankton by species and stage. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

Especie	Estadio	Frec. absoluta	Frec. relativa	Abund. mínima	Abund. máxima	Abund. total	Abund. relativa
No determinado	nauplio	3	4,225	9	153	192	0,05
	metanauplio	9	12,68	3	66	156	0,04
	calyptopis	66	92,96	3	58992	313779	77,15
	furcilia	68	95,77	3	27648	65580	16,13
<i>Euphausia distinguenda</i>	juvenil	7	9,86	3	540	918	0,23
	adulto	11	15,49	3	966	2394	0,59
<i>Euphausia eximia</i>	juvenil	3	4,23	3	27	36	0,01
	adulto	4	5,63	3	42	90	0,02
<i>Euphausia lamelligera</i>	juvenil	16	22,54	3	180	555	0,14
	adulto	13	18,31	3	312	525	0,13
<i>Euphausia mucronata</i>	juvenil	4	5,63	3	69	87	0,02
	adulto	4	5,63	3	54	96	0,02
<i>Euphausia tenera</i>	juvenil	2	2,82	3	24	27	0,01
	adulto	5	7,04	3	99	246	0,06
<i>Euphausia sp.</i>	furcilia	2	2,82	6	18	24	0,01
	juvenil	18	25,35	3	486	1380	0,34
<i>Nematobranchion sp.</i>	adulto	1	1,41	3	3	3	0,00
<i>Nematoscelis tenella</i>	adulto	1	1,41	3	3	3	0,00
<i>Nematoscelis sp.</i>	juvenil	8	11,27	3	36	66	0,02
	adulto	2	2,82	3	6	9	0,00
<i>Nyctiphanes simplex</i>	furcilia	1	1,41	24	24	24	0,01
	juvenil	25	35,21	3	4392	8565	2,11
	adulto	30	42,25	3	7104	8466	2,08
<i>Stylocheiron affine</i>	juvenil	16	22,54	3	123	384	0,09
	adulto	21	29,58	3	111	411	0,10
<i>Stylocheiron elongatum</i>	adulto	1	1,41	6	6	6	0,00
<i>Stylocheiron longicorne</i>	adulto	1	1,41	24	24	24	0,01
<i>Stylocheiron suhmii</i>	juvenil	1	1,41	9	9	9	0,00
	adulto	2	2,82	15	24	39	0,01
<i>Stylocheiron sp.</i>	furcilia	42	59,15	3	1134	2094	0,51
	juvenil	14	19,72	3	171	489	0,12
	adulto	2	2,82	3	12	15	0,00

Tabla 3.- Composición, abundancia (Ind/m²) y frecuencia (%) del ictioplancton por especie y estadio.
Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Table 3. Composition, abundance (Ind/m²), and frequency (%) of ichthyoplankton by species and stage. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

Orden	Familia	Especie	Estadio	Frec. absoluta	Frec. relativa	Abund. mínima	Abund. máxima	Abund. total	Abund. relativa
Anguilliformes	Nemichthyidae	No determinado	larva	1	0,00	9	9	9	0,03
	Ophichthidae	Ophichthus sp.	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	No determinado	No determinado	huevo	2	2,82	6	9	15	0,04
			larva	2	2,82	9	18	27	0,08
Aulopiformes	Paralepididae	<i>Lestidiops pacificum</i>	larva	2	2,82	6	6	12	0,03
	Scopelarchidae	<i>Scopelarchoides nicholsi</i>	larva	5	7,04	3	6	21	0,06
	Synodontidae	No determinado	huevo	7	9,86	3	24	72	0,21
Beloniformes	Scomberesocidae	<i>Scomberesox saurus</i>	larva	1	1,41	6	6	6	0,02
Beryciformes	Melamphidae	<i>Melanphaes sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Scopelogadus sp.</i>	larva	6	8,45	3	3	18	0,05
		No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Anchoa nasus</i>	huevo	1	1,41	153	153	153	0,44
		<i>Engraulis ringens</i>	huevo	12	16,90	3	5208	14871	42,87
			larva	31	43,66	3	339	903	2,60
		No determinado	huevo	2	2,82	18	1656	1674	4,83
			larva	4	5,63	3	18	33	0,10
Gadiformes	Bregmacerotidae	<i>Bregmaceros bathymaster</i>	larva	4	5,63	3	6	18	0,05
		<i>Bregmaceros sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Merlucciidae	<i>Merluccius gayi peruanus</i>	huevo	3	4,23	3	9	18	0,05
			larva	4	5,63	3	6	18	0,05
Lophiiformes	No determinado	No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Oneirodidae	No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Diogenichthys laternatus</i>	larva	35	49,30	3	225	996	2,87
		<i>Gonichthys sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Lampanyctus parvicauda</i>	larva	5	7,04	3	12	24	0,07
		<i>Myctophum nitidulum</i>	larva	2	2,82	3	3	6	0,02
		<i>Tarletonbeania crenularis</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Triphoturus oculus</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		No determinado	larva	1	1,41	3	3	0,01	
Ophidiiformes	Ophidiidae	<i>Chilara sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Lepophidum sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
Perciformes	Blenniidae	<i>Hypsoblennius sp.</i>	larva	2	2,82	3	6	9	0,03
		<i>Ophioblennius sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Carangidae	<i>Chloroscombrus orqueta</i>	larva	4	5,63	6	132	183	0,53
		<i>Seriola sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Chiasmodontidae	<i>Chiasmodon niger</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Coryphaenidae	<i>Coryphaena hippurus</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Gobiidae	No determinado	larva	4	5,63	3	3	12	0,03
	Haemulidae	No determinado	larva	2	2,82	3	3	6	0,02
	Labridae	No determinado	larva	1	1,41	9	9	9	0,03
	Labrisomidae	No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Nomeidae	<i>Cubiceps pauciradiatus</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Psenes sio</i>	larva	2	2,82	6	6	12	0,03
	Sciaenidae	No determinado	larva	15	21,13	3	96	240	0,69
	Scombridae	No determinado	larva	1	1,41	21	21	21	0,06
		<i>Paralabrax sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
Serranidae	No determinado	larva	2	2,82	6	12	18	0,05	
Stromateidae	No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01	
Pleuronectiformes	Bothidae	No determinado	larva	1	1,41	6	6	6	0,02
		No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
	Paralichthyidae	<i>Citharichthys sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Hippoglossina sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Syacium ovale</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		No determinado	larva	2	2,82	3	3	6	0,02
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Bathylagus nigrigenys</i>	larva	4	5,63	3	6	15	0,04
		<i>Bathylagus sp.</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Bathylagus wesethi</i>	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Leuroglossus urotramus</i>	larva	22	30,99	3	105	510	1,47
		No determinado	huevo	10	14,08	3	42	120	0,35
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		<i>Prionotus stephanophrys</i>	larva	3	4,23	9	12	30	0,09
Stomiiformes	Gonostomatidae	No determinado	larva	1	1,41	3	3	3	0,01
		Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	huevo	14	19,72	3	10896	11868	34,21
	larva		13	18,31	3	141	354	1,02	
	juvenil		1	1,41	3	3	3	0,01	
No determinado	No determinado	No determinado	huevo	38	53,52	3	384	2214	6,38
			larva	7	9,86	3	30	78	0,22

Tabla 4.- Índices comunitarios del Ictioplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1605-06

Table 4. Community Indices of Ichthyoplankton. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1605-06

Estación	Nro Especies	Abundancias N	Riqueza d	Equidad J'	Diversidad H'(log2)
16	3	24	0,629	0,819	1,299
17	2	117	0,210	1,000	1,000
19	4	399	0,501	0,549	1,099
20	6	81	1,138	0,749	1,936
21	9	306	1,398	0,293	0,928
22	7	4494	0,713	0,128	0,361
23	3	4434	0,238	0,150	0,238
33	6	438	0,822	0,785	2,029
34	7	183	1,152	0,723	2,031
35	2	24	0,315	0,811	0,811
36	3	477	0,324	0,418	0,663
37	2	10950	0,108	0,045	0,045
38	6	246	0,908	0,233	0,602
39	11	330	1,724	0,572	1,978
49	4	27	0,910	0,876	1,753
C10	9	252	1,447	0,653	2,071
C12	7	48	1,550	0,918	2,578
C14	9	303	1,400	0,772	2,447
C18	5	39	1,092	0,856	1,988
C2	9	264	1,435	0,340	1,079
C20	7	90	1,333	0,769	2,158
C21	9	429	1,320	0,239	0,758
C22	7	129	1,235	0,778	2,183
C24	6	126	1,034	0,801	2,070
C26	4	93	0,662	0,579	1,159
C27	9	135	1,631	0,633	2,008
C28	3	39	0,546	0,782	1,239
C31	2	1776	0,134	0,357	0,357
C33	5	39	1,092	0,815	1,892
C36	2	12	0,402	0,811	0,811
C38	3	105	0,430	0,862	1,366
C39	5	198	0,756	0,693	1,609
C4	7	435	0,988	0,594	1,668
C40	3	18	0,692	0,921	1,459
C46	3	21	0,657	0,725	1,149
C48	3	24	0,629	0,670	1,061
C5	6	36	1,395	0,822	2,126
C51	3	705	0,305	0,341	0,541
C53	4	27	0,910	0,876	1,753
C57	3	18	0,692	0,790	1,252
C58	2	15	0,369	0,971	0,971
C61	2	45	0,263	0,837	0,837
C70	3	24	0,629	0,670	1,061
C71	3	348	0,342	0,124	0,197
C72	7	195	1,138	0,705	1,980
C73	5	39	1,092	0,947	2,200
C75	2	6	0,558	1,000	1,000
C77	5	51	1,017	0,829	1,925
C78	5	39	1,092	0,815	1,892
C79	2	48	0,258	0,896	0,896
C81	3	27	0,607	0,906	1,436
C82	8	75	1,621	0,721	2,162
C87	5	123	0,831	0,573	1,330
C88	3	60	0,488	0,859	1,361
C9	10	219	1,670	0,683	2,270
C91	4	18	1,038	0,896	1,792
C93	5	18	1,384	0,970	2,252
C94	4	5220	0,350	0,013	0,027
C96	2	12	0,402	0,811	0,811
E45	5	153	0,795	0,547	1,270
E47	5	33	1,144	0,804	1,868
Mínimo	2	12	0,108	0,045	0,045
Máximo	11	10950	1,724	1,000	2,578

ICTIOPLANCTON Y EUFÁUSIDOS FRENTE A LA COSTA PERUANA DURANTE EL OTOÑO 2017

ICHTHYOPLANKTON AND EUPHAUSIIDS OFF THE PERUVIAN COAST, AUTUMN 2017

Katia Aronés Flores¹Elda Pinedo¹Carmela Nakazaki¹

RESUMEN

ARONÉS K, PINEDO E, NAKAZAKI C. 2019. Ictioplancton y eufáusidos frente a la costa peruana, durante el otoño 2017. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 503-518.- Entre el 27 de mayo y 14 de junio 2017 se efectuó el Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06, BIC Humboldt. Se recolectó 44 muestras de zooplancton utilizando red Hensen de 300 µm de abertura de malla, en arrastres verticales con el buque parado hasta 50 m de profundidad máxima. Los volúmenes de zooplancton fluctuaron entre 0,5 y 45,0 mL/muestra, los menores a 10 mL/muestra, se localizaron entre Puerto Pizarro y Mórrope, mientras que los mayores a 10 mL/muestra se distribuyeron principalmente en la zona oceánica, con núcleos costeros frente a Salaverry. Se determinaron 11 especies de eufáusidos, con mayores densidades en los estadios caliptopis y furciliias representando 51% y 34%, respectivamente de la abundancia total. En el ictioplancton se determinaron 40 especies, siendo las más frecuentes *Diogenichthys laternatus* (64%), *Vinciguerria lucetia* (43%) y *Engraulis ringens* (41%) en las muestras totales. La anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns) fue la más abundante (3 a 4.896 huevos/m² y 3 a 3.876 larvas/m²) observándose núcleos importantes de huevos entre Chicama y Salaverry y de larvas frente a Pimentel. El pez luminoso (*Vinciguerria lucetia* (Garman)) presentó abundancias entre 9 a 1.728 huevos/m² y de 3 a 63 larvas/m², con mayores densidades frente Chicama y Punta Chao y, frente a Pimentel, respectivamente. Los huevos de sardina (*Sardinops sagax* (Jenyns)) presentaron abundancia total de 1.782 huevos/m² en una estación frente a Puerto Pizarro, mientras que las larvas de merluza (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg), presentaron abundancias de 3 a 18 larvas/m² y se distribuyeron frente a Los Órganos a 15 mn de Mórrope y Chicama.

PALABRAS CLAVE: eufáusidos, merluza, anchoveta, pez luminoso, volúmenes

ABSTRACT

ARONÉS K, PINEDO E, NAKAZAKI C. 2019. Ichthyoplankton and euphausiids off the Peruvian coast, autumn 2017. *Bol Inst Mar Peru*. 34(2): 503-518.- Between May 27 and June 14, 2017, the Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1705-06, R/V Humboldt, took place. A total of 44 zooplankton samples were collected using a 300 µm Hensen net, in vertical trawls with the vessel stationary up to a maximum depth of 50 m. The zooplankton volumes fluctuated between 0.5 and 45.0 mL/sample, those less than 10 mL/sample were located between Puerto Pizarro and Mórrope, while those greater than 10 mL/sample were distributed mainly in the oceanic zone, with coastal nuclei off Salaverry. A total of 11 euphausiid species were determined, with higher densities in the calyptopis and furciliias stages representing 51% and 34%, respectively, of the total abundance. In ichthyoplankton, 40 species were determined, the most frequent being *Diogenichthys laternatus* (64%), *Vinciguerria lucetia* (43%), and *Engraulis ringens* Jenyns (41%) in the total samples. The anchoveta (*E. ringens*) was the most abundant (3 to 4,896 eggs/m² and 3 to 3,876 larvae/m²) with important nuclei of eggs between Chicama and Salaverry and larvae off Pimentel. The Panama lightfish (*Vinciguerria lucetia* (Garman)) presented abundances between 9 to 1,728 eggs/m² and from 3 to 63 larvae/m², with higher densities off Chicama and Punta Chao and off Pimentel, respectively. Sardine eggs (*Sardinops sagax* (Jenyns)) had a total abundance of 1,782 eggs/m² in a station off Puerto Pizarro, while Peruvian hake larvae (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg) had an abundance of 3 to 18 larva/m² and were distributed off Los Órganos, at 15 nm from Mórrope and Chicama.

KEYWORDS: euphausiids, Peruvian hake, anchoveta, Panama lightfish, volumes

1. INTRODUCCIÓN

El crucero se realizó durante la etapa final de El Niño costero, caracterizado con aguas cálidas de 26 a 29 °C que se desplazaron hacia la costa de Chimote a Tumbes desencadenando intensas lluvias que provocaron desbordes de los ríos. Entre mayo y junio las condiciones oceanográficas superficiales y subsuperficiales del mar peruano se encontraron con tendencia a la normalización (IMARPE, 2017).

1. INTRODUCTION

The cruise was carried out in the final stage of the El Niño Costero, characterized by warm waters (26-29 °C) moving towards the coast from Chimote to Tumbes, triggering intense rains that caused rivers to overflow. The oceanographic surface and subsurface conditions of the Peruvian sea were normalized between May and June (IMARPE, 2017).

¹ IMARPE, DGIIOC. Esquina Gamarra y Gral. Valle, s/n, Callao, Perú. karones@imarpe.gob.pe

El Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria (LZPS) realiza estudios sobre distribución y abundancia de primeros estadios de peces de importancia comercial, entre ellas merluza, especie objetivo de este crucero, por lo que se hace énfasis en la determinación de sus primeros estadios (huevos y larvas), así como los volúmenes del zooplancton y la composición de eufáusidos importantes porque constituyen fuente de alimento de muchas especies pesqueras.

El seguimiento de las especies de peces comerciales en sus primeros estadios permite determinar las épocas e intensidad del desove, así como su distribución, información que sirve para entender el proceso de reclutamiento y realizar un mejor manejo del recurso. En el presente informe se presentan resultados correspondientes a los volúmenes de zooplancton, eufáusidos, y los primeros estadios de vida de peces (ictioplancton) de importancia comercial entre mayo y junio del 2017 en el marco del crucero de Evaluación de la merluza y otras especies demersales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El Crucero de “Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06” se realizó entre Puerto Pizarro y Casma del 27 de mayo al 14 de junio del 2017 sobre la plataforma y borde superior del talud continental entre la Frontera Norte del Dominio Marítimo del Perú y Casma, se efectuó a bordo del BIC Humboldt. Se obtuvieron 44 muestras de zooplancton (Fig. 1) recolectadas con red Hensen de 300 μm de abertura de malla y operada con el barco parado mediante jales verticales desde 50 m de profundidad hacia la superficie de acuerdo a la metodología descrita por Ayón (2001).

La fijación y preservación de las muestras se hizo con formaldehído al 2%. La determinación de los volúmenes de zooplancton se realizó empleando el método por desplazamiento (FROLANDER, 1954; KRAMER *et al.*, 1972). Antes de determinar el volumen (POSTEL *et al.*, 2000; Ayón *et al.*, 2004), se extrajo los organismos gelatinosos (medusas, salpas), el ictioplancton de tamaños mayores a 2 cm y la “múnida” *Pleuroncodes monodon*, que podrían sesgar la conversión de volumen a biomasa.

Las muestras de zooplancton se analizaron en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria (LZPS) del Instituto del Mar del Perú – IMARPE. Para la determinación de las especies del ictioplancton se emplearon los trabajos de EINARSSON y ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER y SANDOVAL

Studies on the distribution and abundance of early stages of commercially important fish, including g Peruvian hake, are conducted by the Zooplankton and Secondary Production Laboratory (ZSPL), so emphasis is placed on determining their early stages (eggs and larvae), as well as the zooplankton volumes and the composition of important euphausiids given their role as food sources for many fishing species.

The monitoring of commercial fish in their early stages helps to determine the times and intensity of spawning, as well as their distribution. Such information is useful to understand the recruitment process and better management of the resource. The results of zooplankton biovolumes, distribution and composition of euphausiids and the first life stages of commercially important fish (ichthyoplankton) obtained in the Peruvian hake and other demersal species assessment cruise, conducted between May and June 2017, are presented in this report.

2. MATERIAL AND METHODS

From 27 May and 14 June 2017, the “Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1705-06” was conducted between Puerto Pizarro and Casma on the shelf break and upper edge of the shelf slope, onboard the R/V Humboldt. A total of 44 zooplankton samples (Fig. 1) were obtained, collected with a 300 μm Hensen net and operated with the ship stationary by means of vertical trawls from a depth of 50 m towards the surface according to the methodology described by Ayón (2001).

The samples were fixed and preserved with 2% formaldehyde. The displacement method (FROLANDER, 1954; KRAMER *et al.*, 1972) was used for the determination of zooplankton volumes. Before determining the volume (POSTEL *et al.*, 2000; Ayón *et al.*, 2004), gelatinous organisms (jellyfish, gilt-heads), ichthyoplankton of sizes greater than 2 cm, and *Pleuroncodes monodon* were extracted since they could bias the conversion from volume to biomass.

The IMARPE’s Zooplankton and Secondary Production Laboratory (ZSPL) analyzed the samples. The works of EINARSSON & ROJAS DE MENDIOLA (1963), SANTANDER & SANDOVAL DE CASTILLO (1973), and MOSER (1996) were used to

DE CASTILLO (1973) y MOSER (1996), mientras que para determinar las especies de eufáusidos se empleó el de BODEN *et al.* (1955).

El conteo de las especies se hizo en el total de la muestra, excepto cuando las muestras tuvieron altos volúmenes, en esos casos se empleó el método del Fraccionamiento Huntsman Marine Laboratory (HML) conocido como el método del Beaker (VAN GUELPEN *et al.*, 1982).

La abundancia de las especies se expresa en Ind./m² y los volúmenes en mL/muestra. Se estimaron los parámetros comunitarios de Equidad, Riqueza de especies, diversidad a través del índice de Shannon-Weaner (bits/individuos) y Similitud de Bray Curtis (PIELOU, 1984), para estos análisis no se consideraron las estaciones en las que se registró sólo una especie o no se registraron especies de ictioplancton. Así mismo, se realizó el análisis LINKTREE para determinar las especies responsables de agrupación de los puntos de muestreo. El procesamiento de la información se hizo en el programa Excel y para los mapas se empleó el programa Surfer v15.

determine the ichthyoplankton species, while the work of BODEN *et al.* (1955) was used to determine the euphausiid species.

The counting of the species was done in the total of the sample, except when the samples had high volumes, in those cases, the Huntsman Marine Laboratory (HML) beaker technique was used (VAN GUELPEN *et al.*, 1982).

Species abundance is expressed in Ind./m² and volumes in mL/sample. The community parameters of equity, species richness, diversity through the Shannon-Weaner index (bits/individuals), and Bray-Curtis Similarity (PIELOU, 1984) were estimated. The stations with only one species or no ichthyoplankton species were not considered for these analyses. The LINKTREE analysis was also performed to determine the species responsible for grouping the sampling points. The processing of the information was done in Excel and the Surfer v15 software was used for the maps.

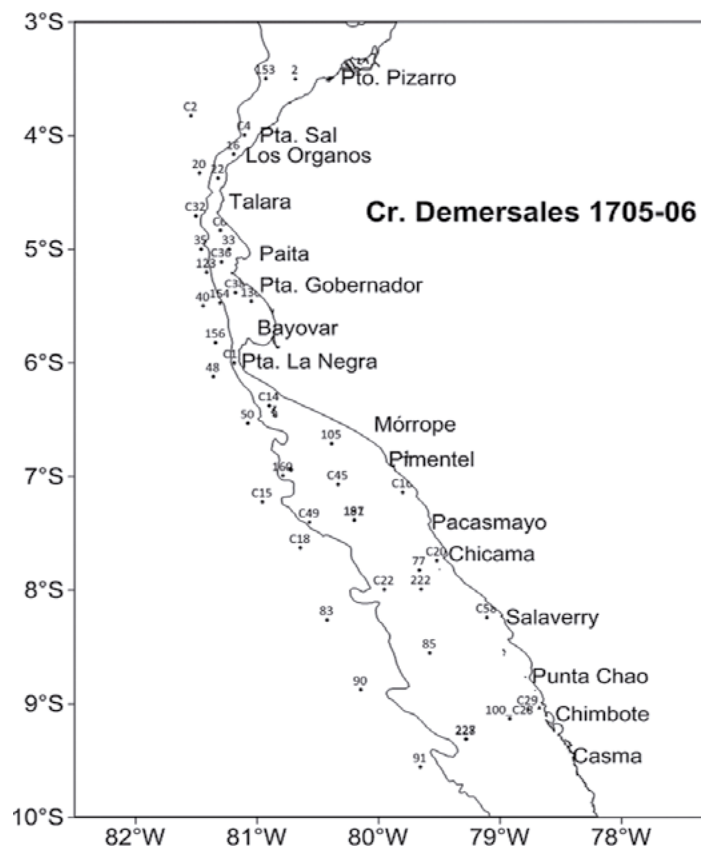


Figura 1.- Posiciones de muestreo de zooplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 1. Sampling positions of zooplankton. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

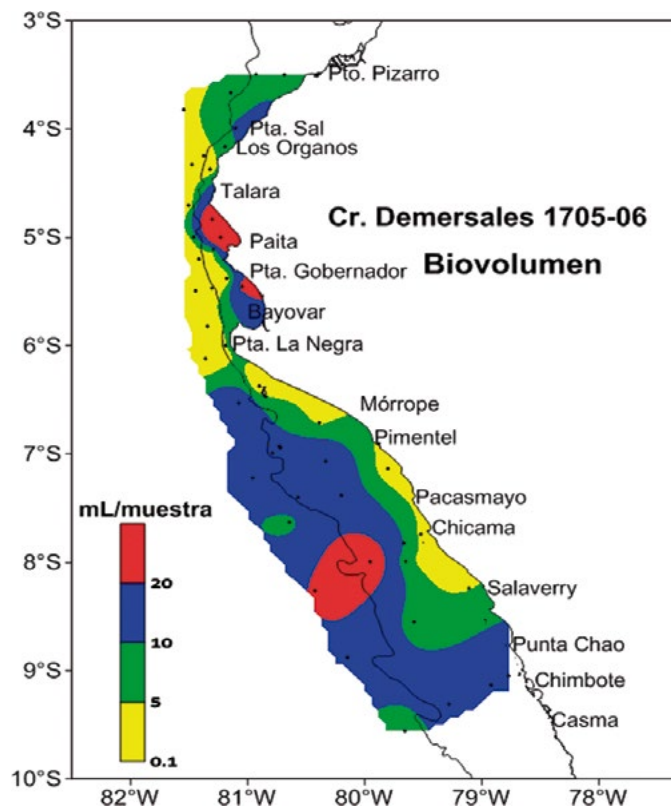


Figura 2.- Distribución de los volúmenes del zooplancton. Crucero de Evaluación de la población de merluza y otros demersales 1705-06

Figure 2. Distribution of zooplankton volumes. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1705-06

3. RESULTADOS

ZOOPLANKTON

Los volúmenes de zooplancton estuvieron comprendidos entre 0,5 y 45,0 mL/muestra, promedio 10,19 mL/muestra. Los volúmenes entre 0,1 y 5,0 mL/muestra fueron más frecuentes (38,64%), mientras que los mayores a 20,1 mL/muestra fueron menos frecuentes (11,36%) (Tabla 1). La distribución de los menores a 10,0 mL/muestra, se localizaron en la zona costera entre Puerto Pizarro y Chicama, excepto entre Talara y Bayovar donde se hallaron dos núcleos con volúmenes altos. Al sur de Chicama se amplió su distribución a la zona oceánica. Los volúmenes superiores a 10,0 mL/muestra se distribuyeron especialmente en la zona oceánica (Fig. 2).

EUFÁSIDOS

Composición y Abundancia

Se han determinado 11 especies de eufásidos, *Euphausia diomedae* (Ortmann), *E. distinguenda* (Hansen), *E. eximia* (Hansen), *E. lamelligera*

3. RESULTS

ZOOPLANKTON

Zooplankton volumes ranged from 0.5 to 45.0 mL/sample, the mean was 10.19 mL/sample. Volumes between 0.1 and 5.0 mL/sample were more frequent (38.64%), while those greater than 20.1 mL/sample were less frequent (11.36%) (Table 1). The distribution of less than 10.0 mL/sample was located in the coastal zone between Puerto Pizarro and Chicama, except between Talara and Bayovar where two nuclei with high volumes were found. Its distribution was extended to the oceanic zone (south of Chicama). Volumes greater than 10.0 mL/sample were distributed particularly in the oceanic zone (Fig. 2).

EUPHAUSIIDS

Composition and Abundance

A total of 11 euphausiid species have been identified: *Euphausia diomedae* (Ortmann), *E. distinguenda* (Hansen), *E. eximia* (Hansen), *E. lamelligera* (Hansen), *E. mucronata* (Sars), *Nyctiphanes simplex* (Hansen), *Stylocheiron affine* (Hansen), *S. elongatum* (Sars), particularly euphausiid in calyptopis (89%), furciliis (93%), followed by juveniles of *S. affine* (45%) and *E. lamelligera* (41%) which stood out for their high frequencies (Table 3 Annex).

(Hansen), *E. mucronata* (Sars), *Nyctiphanes simplex* (Hansen), *Stylocheiron affine* (Hansen), *S. elongatum* (Sars), destacando por su altas frecuencias eufáusidos en estadios caliptopis (89%), furciliias (93%), seguidos de juveniles de *S. affine* (45%) y *E. lamelligera* (41%) (Tabla 3 Anexo).

Las mayores densidades de eufáusidos se observaron en los primeros estadios: caliptopis y furciliias, con abundancias totales de 43.269 Ind./m² y 28.524 Ind./m², que representaron el 51% y 34% respectivamente de la abundancia total de este grupo. La distribución de caliptopis se observó a lo largo del área muestreada con 3 núcleos de altas densidades, entre Puerto Pizarro y Talara, entre Punta La Negra y Pimentel y entre Chicama y Salaverry, las furciliias registraron una similar cobertura coincidiendo con los estadios de caliptopis en los dos últimos núcleos de altas abundancias a partir de las 15 millas náuticas.

Los juveniles de *E. lamelligera* Hansen, 1911 se localizaron, principalmente, entre Paita y Casma dentro y por fuera de la plataforma y los adultos entre Puerto Pizarro y Talara. Los adultos de *N. simplex* entre Los Órganos y Paita, mientras que los juveniles entre Talara y Chimbote ambos asociados a la plataforma. Los adultos de *E. mucronata*, *E. eximia* y *E. distinguenda* se registraron por fuera de la plataforma asociadas a ASS mientras que los juveniles de *E. distinguenda* entre Puerto Pizarro y Talara, principalmente sobre la plataforma asociada a aguas cálidas (Figs. 3, 4).

Calyptosis and furciliias showed the highest densities of euphausiids with total abundances of 43,269 Ind./m² and 28,524 Ind./m², which represented 51% and 34%, respectively, of the total abundance of this group. The distribution of calyptosis was observed on the entire area with 3 nuclei of high densities, between Puerto Pizarro and Talara, between Punta La Negra and Pimentel, and between Chicama and Salaverry, the furciliias had a similar coverage coinciding with the stages of calyptosis in the last two nuclei of high abundances, starting at 15 nm.

The juveniles of *E. lamelligera* Hansen, 1911 were mainly located between Paita and Casma inside and outside the shelf break and the adults between Puerto Pizarro and Talara. The adults of *N. simplex* were between Los Órganos and Paita, while the juveniles were found between Talara and Chimbote both associated with the shelf break. The adults of *E. mucronata*, *E. eximia*, and *E. distinguenda* were recorded outside the shelf break associated with SSW while the juveniles of *E. distinguenda* were observed between Puerto Pizarro and Talara, mainly on the shelf break associated with warm waters (Figs. 3, 4).

Tabla 1. Número de estaciones y frecuencia de volúmenes del zooplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros demersales 1705-06

Table 1. Number of stations and frequency of zooplankton volumes. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

Rango de mL/muestra	Número de estaciones	Frecuencia (%)
0,1 – 5,0	17	38,64
>5,0 – 10,0	11	25,00
>10,0 – 20,0	11	25,00
>20,0	5	11,36
Total	44	100

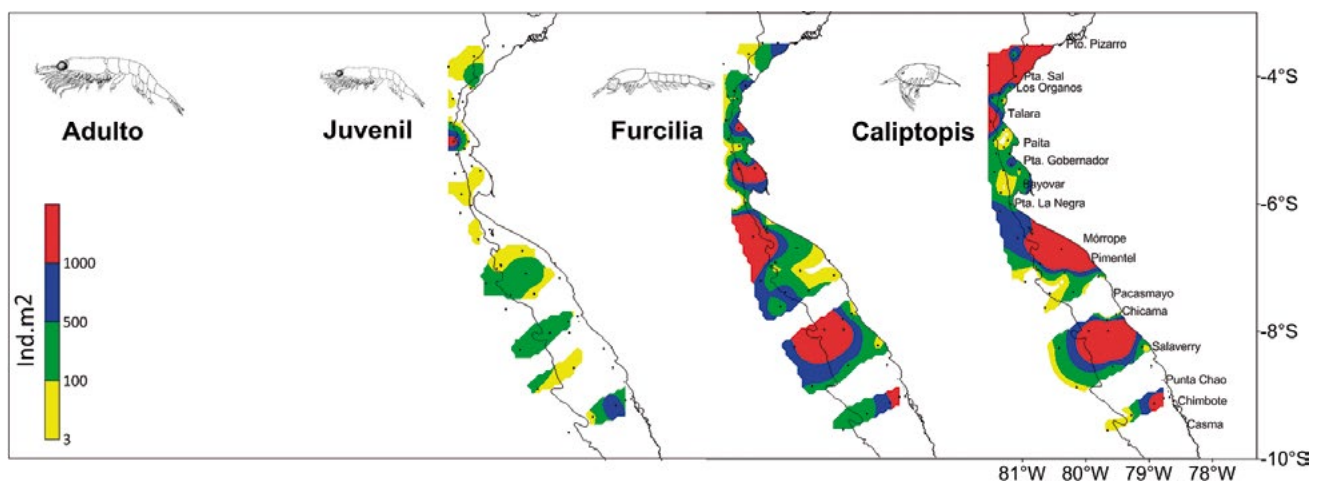


Figura 3.- Distribución y abundancia de estadios de eufáusidos. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 3. Distribution and abundance of euphausiid stages. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1705-06

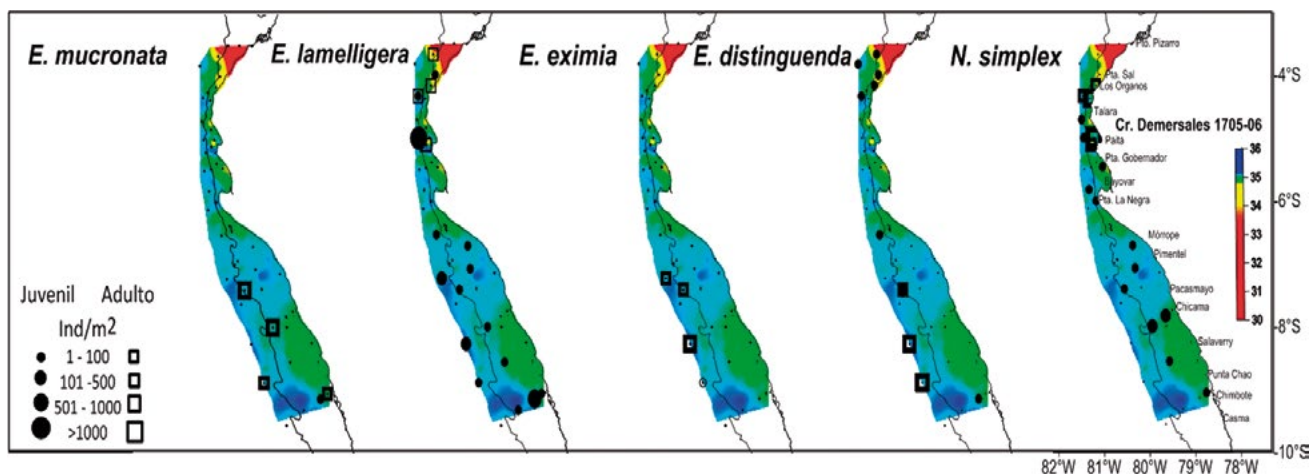


Figura 4.- Distribución y abundancia de juveniles de eufáusidos con Salinidad Superficial del Mar (SSM). Cruceiro de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 4. Distribution and abundance of juvenile euphausiids with Sea Surface Salinity (SSM). Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

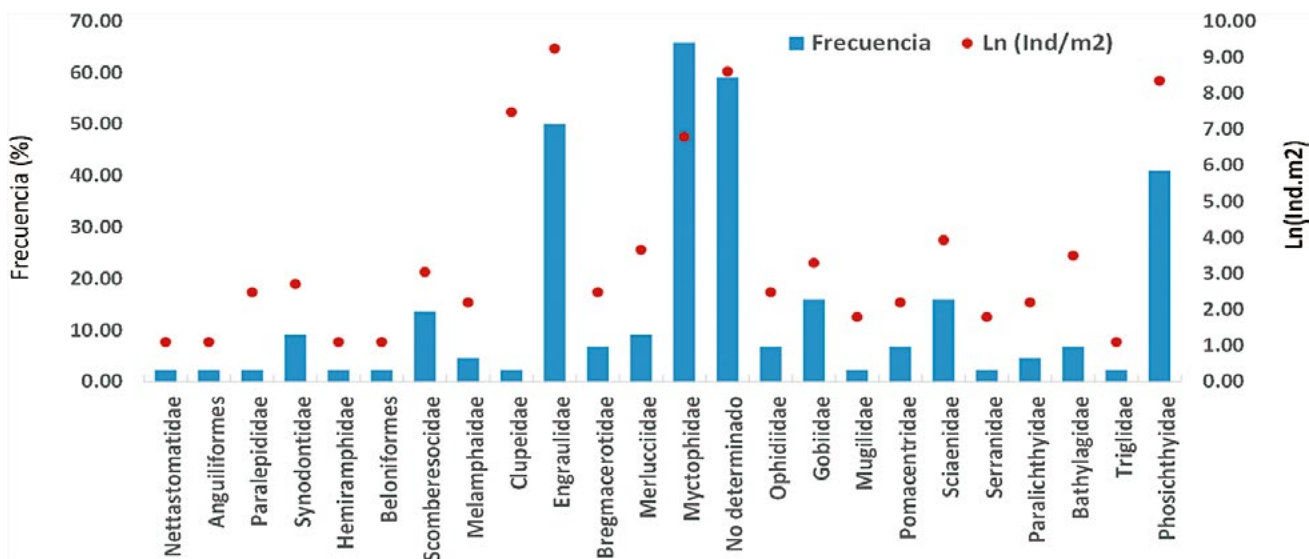


Figura 5.- Abundancia y Frecuencia porcentual de las familias del Ictioplancton. Cruceiro de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 5. Abundance and Frequency (%) of Ichthyoplankton Families. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

Ictioplancton

Composición de especies

Dentro del ictioplancton se determinaron 40 especies pertenecientes a 21 familias. Las familias más frecuentes fueron Myctophidae (66%), Engraulidae (50%) y Phosichthyidae (41%). Los Engraulidae y Phosichthyidae representaron el 45% y 18% de la abundancia total del ictioplancton, respectivamente. Larvas de la familia Myctophidae presentaron el mayor número de especies (7) (Tabla 3 Anexo, Fig. 5).

Ichthyoplankton

Species composition

A total of 40 species belonging to 21 families were determined. The most frequent families were Myctophidae (66%), Engraulidae (50%), and Phosichthyidae (41%). Engraulidae and Phosichthyidae represented 45% and 18% of the total ichthyoplankton abundance, respectively. Larvae belonging to the family Myctophidae presented the highest number of species (7) (Table 3 Annex, Fig. 5).

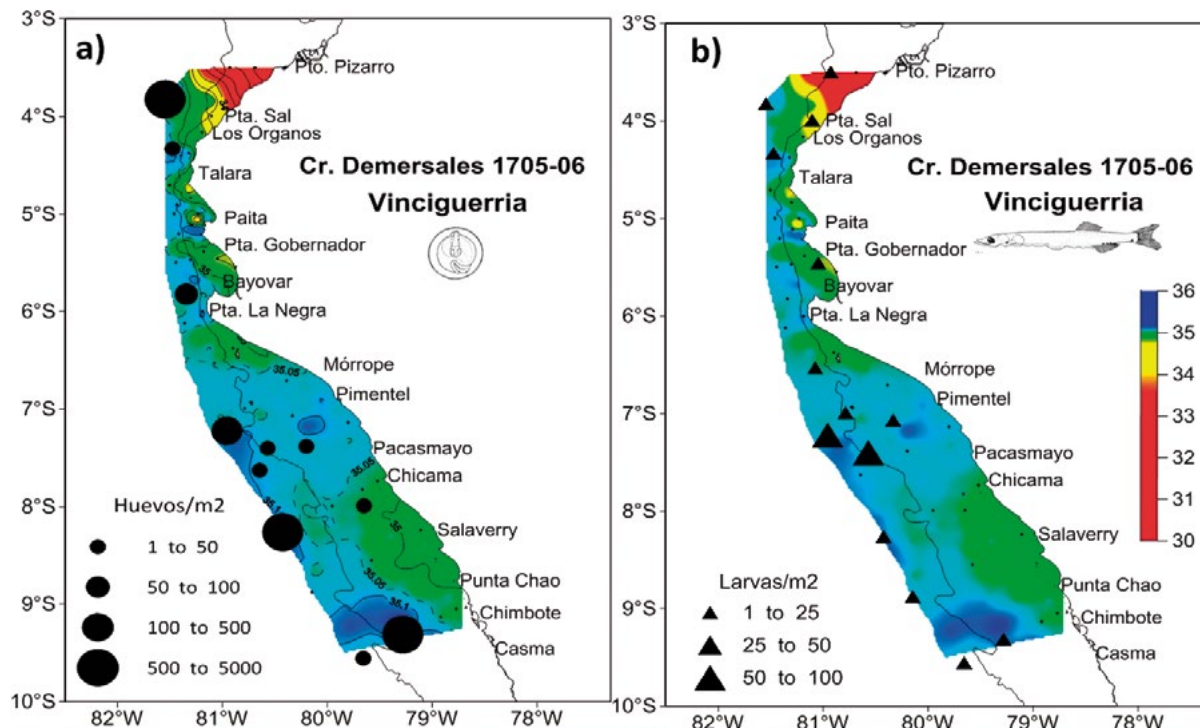


Figura 6.- Distribución y abundancia de a) huevos y b) larvas de *Vinciguerria lucetia* con Salinidad Superficial del Mar (SSM). Cruceo de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 6. Distribution and abundance of a) eggs and b) larvae of *Vinciguerria lucetia* with Sea Surface Salinity (SSS). Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

Abundancia y distribución del ictioplancton

***Vinciguerria lucetia* (Garman), pez luminoso.-** Fue la especie más frecuente con huevos y larvas presentes en el 25% y 32% del total de estaciones muestreadas, respectivamente. Sus abundancias fluctuaron entre 9 y 1.728 huevos/m² y entre 3 y 63 larvas/m², representando el 18% y 1% de la densidad total del ictioplancton. Tanto los huevos como las larvas se distribuyeron en la zona norte y sur del área de estudio, pero con núcleos de mayor distribución en el área oceánica entre Pimentel y Chimbote (Fig. 6a, b).

***Engraulis ringens* Jenyns, anchoveta.-** Fue la segunda especie más frecuente con huevos (18%) y larvas (36%), fue la más importante del ictioplancton por sus valores de densidades las que oscilaron entre 3 y 4.896 huevos/m² (22,30%), mientras que las larvas variaron entre 3 y 3.876 larvas/m² (22,35%). Los huevos se distribuyeron de manera dispersa entre Punta La Negra y Chicama, con un núcleo entre Chicama y Salaverry donde registraron sus mayores densidades (Fig. 7a). Las larvas se encontraron dispersos en la zona norte costera entre Punta Sal y Punta La Negra, registrando su mayor abundancia frente a Pimentel (Fig. 7b).

Ichthyoplankton abundance and distribution

***Vinciguerria lucetia* (Garman), Panama lightfish.-** It was the most frequent species with eggs and larvae present in 25% and 32% of the sampled stations, respectively. Its abundances fluctuated between 9 and 1,728 eggs/m² and between 3 and 63 larvae/m², representing 18% and 1% of the total ichthyoplankton density. Both eggs and larvae were distributed in the north and south of the study area, but with nuclei of greater distribution in the oceanic area between Pimentel and Chimbote (Fig. 6a, b).

***Engraulis ringens* Jenyns, anchoveta.-** It was the second most frequent species in terms of eggs (18%) and larvae (36%) and the the most important ichthyoplankton species due to its density values, which ranged between 3 and 4,896 eggs/m² (22.30%), while larvae varied between 3 and 3,876 larvae/m² (22.35%). The eggs were scattered between Punta La Negra and Chicama, with a nucleus between Chicama and Salaverry where they recorded their highest densities (Fig. 7a). Larvae were scattered in the northern coastal zone between Punta Sal and Punta La Negra and their greatest abundance was found off Pimentel (Fig. 7b).

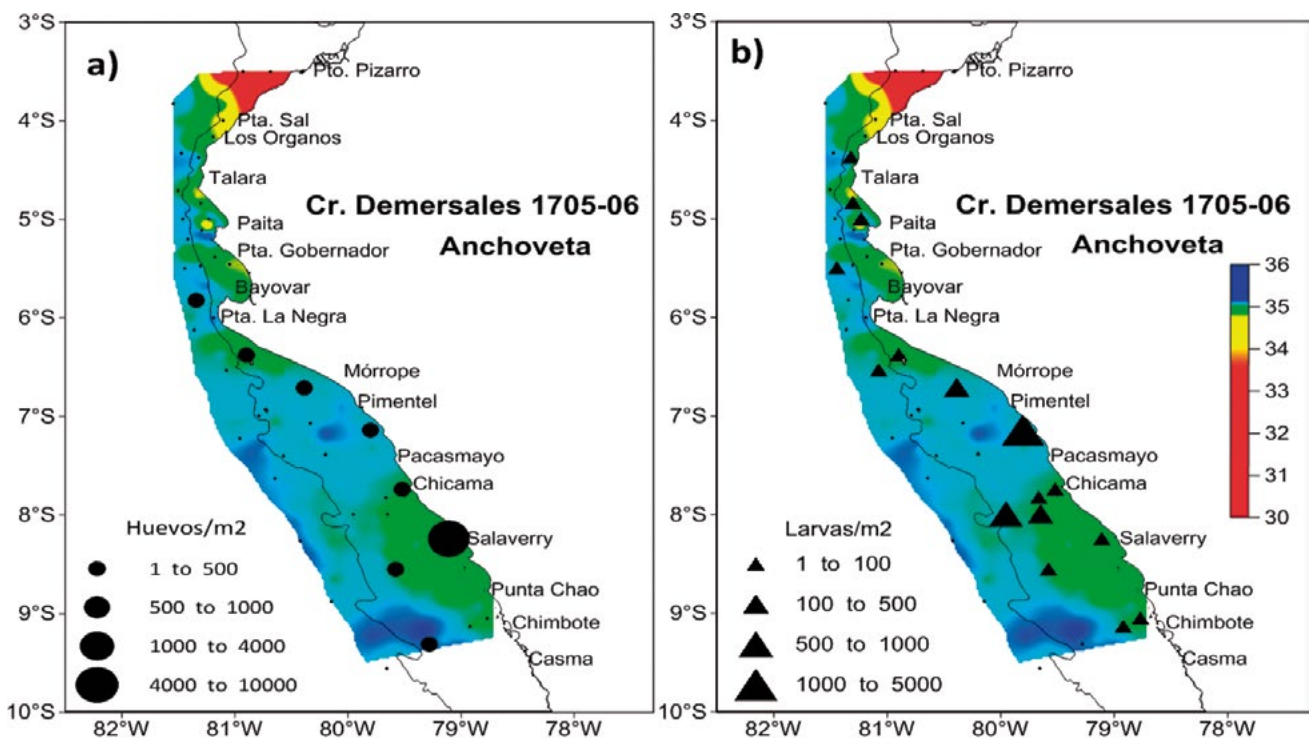


Figura 7.- Distribución y abundancia de a) huevos y b) larvas de *Engraulis ringens* con Salinidad Superficial del Mar (SSM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 7. Distribution and abundance of a) eggs and b) larvae of *Engraulis ringens* with Sea Surface Salinity (SSS). Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

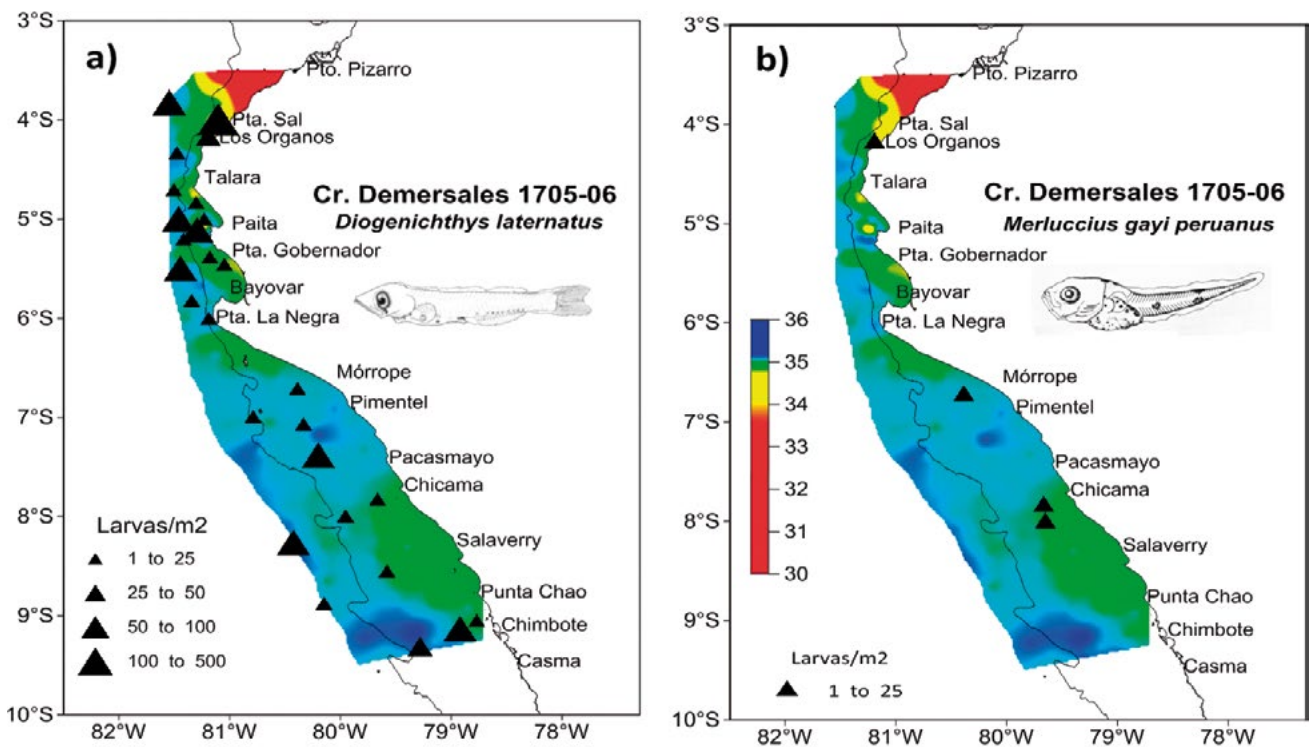


Figura 8.- Distribución y abundancia de larvas de a) *Diogenichthys laternatus*, b) *Merluccius gayi peruanus* con Salinidad Superficial del Mar (SSM). Crucero de Evaluación de Recursos Demersales 1705-06

Figure 8. Distribution and abundance of larvae of a) *Diogenichthys laternatus*, b) *Merluccius gayi peruanus* with Sea Surface Salinity (SSS). Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

***Diogenichthys laternatus* (Garman), pez linterna de Diógenes.**- Se registró en el 64% del total de estaciones muestreadas, sus densidades fluctuaron entre 3 y 126 larvas/m² (40%). La distribución de larvas fue principalmente costera entre Punta Sal y Punta La Negra y frente a Chimbote, mientras que al sur de Mórrope se localizó por fuera de las 30 mn (Fig. 8a).

***Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, merluza.**- Esta especie presentó frecuencia de 9%, sus densidades fluctuaron entre 3 y 18 larvas/m². La distribución de larvas de merluza estuvo frente a Los Órganos, a 15 mn de Mórrope y Chicama (Fig. 8b).

***Sardinops sagax sagax* (Jenyns), sardina.**- Se determinaron 1.782 huevos/m² en una estación frente a Puerto Pizarro. A pesar de tener baja frecuencia (2%), presentó una de las densidades más altas del ictioplancton.

Otras especies de ictioplancton

Se determinaron huevos de *Scomberesox saurus* (Walbaum) agujilla con abundancias entre 3 y 6 huevos/m², registrándose entre Punta Sal y Talara, al sur de Punta La Negra, frente a Pimentel y Chimbote (Fig. 9a). Así mismo, se determinaron larvas de *Scopelogadus bispinosus* (Gilbert) pez abisal de escamas grandes, frente a Punta Sal y, de las familias Gobiidae entre Puerto Pizarro y Paita, frente a Chicama y Chimbote, Sciaenidae frente a Puerto Pizarro y entre Pimentel y Chimbote y Melamphaidae entre Punta Gobernador y Bayóvar (Fig. 9b).

Análisis comunitario

La Riqueza específica (d) varió entre 0,315 y 2,289, la mayor Riqueza (13 especies) estuvo entre Los Órganos y Talara y la menor (2 especies) al sur de Pimentel. El Índice de diversidad de Shannon (H'_{log₂}) presentó valores entre 0,089 y 2,252 bits. Ind⁻¹, con la mayor diversidad a 60 millas náuticas de Pimentel. La equidad de Pielou (J') varió entre 0,044 y 1,000 (Tabla 4, Anexo).

En el dendrograma de similitud de las estaciones correspondientes al crucero efectuado en otoño, se observó que las estaciones se agrupan con bajos valores de asociación (25%) (Fig. 10).

Grupo I: Agrupa 3 estaciones (2, C2 y C4) las que se caracterizaron por registrar huevos y larvas de anchoveta, presentando larvas de especies con las más bajas frecuencias como Netastomatidae, Anguilliformes y *Stegastes rectifrenum* (Gill) "castañuela".

***Diogenichthys laternatus* (Garman), Diogenes lanternfish.**- It was recorded in 64% of the sampled stations, with densities ranging from 3 to 126 larvae/m² (40%). Larval distribution was mainly coastal between Punta Sal and Punta La Negra and off Chimbote, while south of Mórrope was located outside 30 nm (Fig. 8a).

***Merluccius gayi peruanus* Ginsburg, Peruvian hake.**- It had a frequency of 9%, its densities fluctuated between 3 and 18 larvae/m². The distribution of Peruvian hake larvae was off Los Órganos, at 15 nm from Mórrope and Chicama (Fig. 8b).

***Sardinops sagax sagax* (Jenyns), sardine.**- A total of 1,782 eggs/m² were determined at a station off Puerto Pizarro. Despite having a low frequency (2%), it presented one of the highest ichthyoplankton densities.

Other ichthyoplankton species

Eggs of *Scomberesox saurus* (Walbaum) Atlantic saury were determined with abundances between 3 and 6 eggs/m², being recorded between Punta Sal and Talara, south of Punta La Negra, off Pimentel and Chimbote (Fig. 9a). Larvae of *Scopelogadus bispinosus* (Gilbert) a large scale abyssal fish, were also determined off Punta Sal. Also, larvae belonging to the families Gobiidae were found between Puerto Pizarro and Paita, off Chicama and Chimbote; Sciaenidae off Puerto Pizarro and between Pimentel and Chimbote; and Melamphaidae between Punta Gobernador and Bayóvar (Fig. 9b).

Community analysis

Species richness (d) ranged from 0.315 to 2.289, the highest richness (13 species) was between Los Órganos and Talara and the lowest (2 species) south of Pimentel. The Shannon Diversity Index (H'_{log₂}) presented values between 0.089 and 2.252 bits. Ind⁻¹, with the highest diversity within 60 nm off Pimentel. Pielou's equity (J') ranged between 0.044 and 1.000 (Table 4 Annex).

In the similarity dendrogram of the stations corresponding to the cruise carried out in autumn, it was observed that the stations are clustered with low association values (25%) (Fig. 10).

Group I: It groups 3 stations (2, C2, and C4) characterized by recording anchoveta eggs and larvae, presenting larvae of species with the lowest frequencies such as Netastomatidae, Anguilliformes, and *Stegastes rectifrenum* (Gill) "Cortez damselfish".

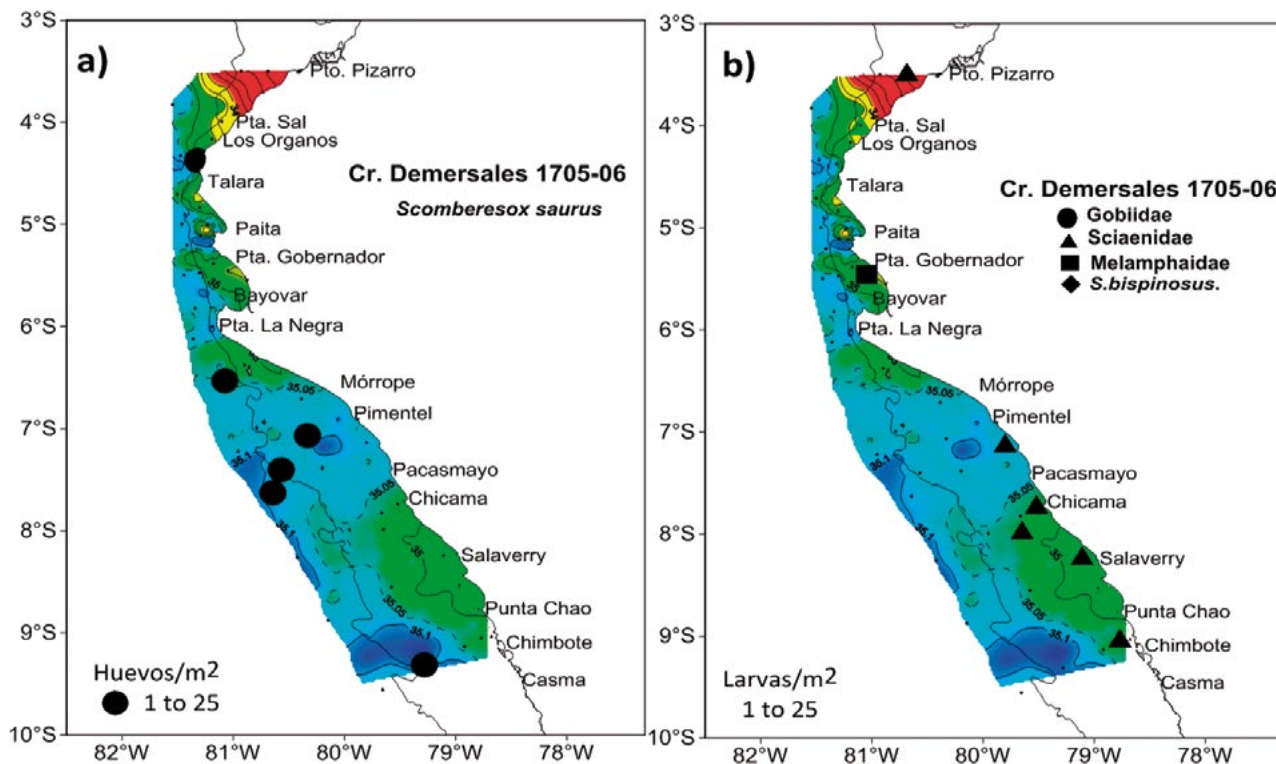


Figura 9.- Distribución y abundancia de a) huevos de *Scomberesox saurus* y b) larvas de Gobiidae, Sciaenidae, Melamphaidae y *Scopelogadus bispinosus* con Salinidad Superficial del Mar (SSM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros demersales 1705-06

Figure 9. Distribution and abundance of a) eggs of *Scomberesox saurus* and b) larvae of Gobiidae, Sciaenidae, Melamphaidae, and *Scopelogadus bispinosus* with Sea Surface Salinity (SSS). Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

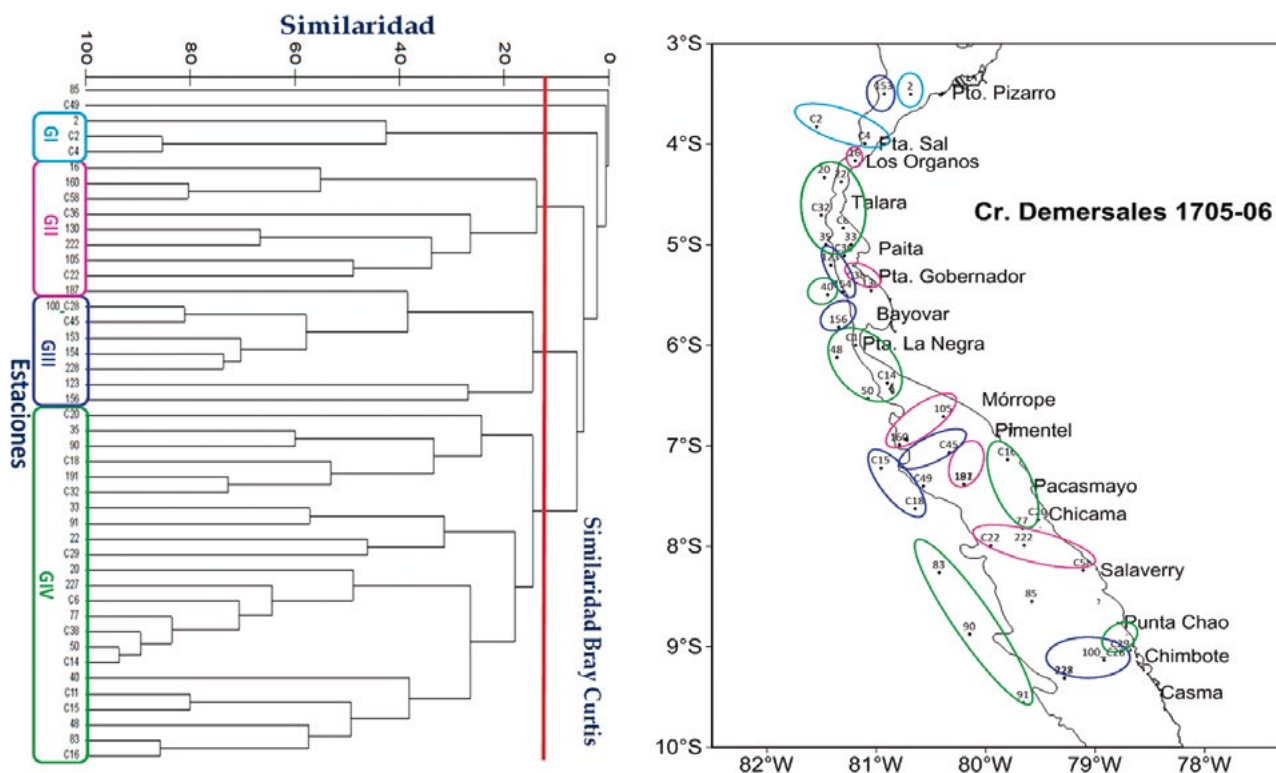


Figura 10.- Dendrograma de estaciones de muestreo (izquierda). Estaciones de muestreo (derecha). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 10. Dendrogram of sampling stations (left). Sampling stations (right). Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

Grupo II: Agrupa las estaciones con las mayores densidades de huevos y larvas de anchoveta.

Group II: It groups the stations with the highest densities of anchoveta eggs and larvae.

Grupo III agrupa una mezcla de estaciones con altas densidades de *V. lucetia* Garman, 1899; *E. ringens* Jenyns, 1842 y Myctophidae.

Group III: It groups a mixture of stations with high densities of *V. lucetia* Garman, 1899; *E. ringens* Jenyns, 1842, and Myctophidae.

Grupo IV: Agrupa estaciones caracterizadas por registrar las mayores densidades de larvas de la familia Myctophidae.

Group IV: It groups stations characterized by recording the highest larval densities of the family Myctophidae.

El análisis de LINKTREE (Fig. 11) permite apreciar al 76% que los huevos de *Engraulis ringens* y larvas de Paralicthyidae generan el primer punto de quiebre, separando una estación a 50 mn de Pimentel (Cala 49) del resto de estaciones y el 73% son los huevos no determinados que son los responsables del segundo punto de quiebre.

The LINKTREE analysis (Fig. 11) shows that 76% of *Engraulis ringens* and Paralicthyidae larvae generate the first breaking point, separating a station at 50 nm off Pimentel (Cala 49) from the remaining stations and 73% are the undetermined eggs responsible for the second breaking point.

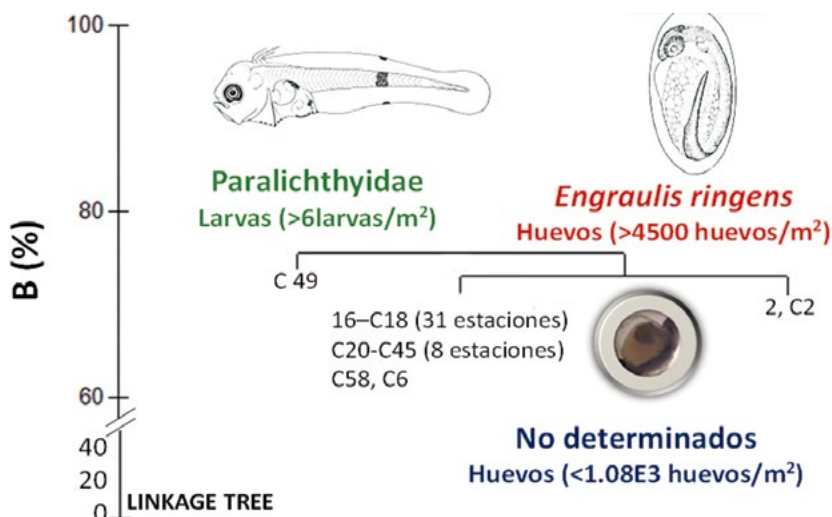


Figura 11.- LINKTREE estaciones de muestreo. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Figure 11. LINKTREE of sampling stations. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Durante la ejecución del Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06, se recolectaron muestras de zooplancton e ictioplancton, en un ambiente caracterizado por la predominancia de masas de agua como las Aguas Costeras Frías (ACF) entre Pacasmayo y Chimbote hasta 30 mn de la costa, aguas de mezcla entre Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y ACF dominantes al sur de Paita, aguas de mezcla entre Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y ACF de Los Órganos a Paita y las ASS al borde de las 50 mn de Pimentel a Salaverry (IMARPE, 2017).

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Zooplankton and ichthyoplankton samples were collected within the framework of the Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1705-06, in an environment characterized by the predominance of water masses such as the Cold Coastal Waters (CCW) between Pacasmayo and Chimbote up to 30 nm offshore, mixing waters between Subtropical Surface Waters (SSW) and dominant CCW south of Paita, mixing waters between Surface Equatorial Waters (SEW) and CCW from Los Órganos to Paita, and the SSW at the edge of the 50 nm from Pimentel to Salaverry (IMARPE, 2017).

Los volúmenes mayores a 20 mL/muestra fueron más frecuentes que el año anterior (Cr. 1605-06), localizados en la zona costera entre Talara y Bayóvar y por fuera de las 50 mn entre Mórrope y Salaverry, opuesto a lo que se observó en el 2016 cuando los volúmenes más altos se hallaron en la zona norte por fuera de las 100 mn y entre Mórrope y Salaverry cercanas a la costa lo cual estuvo directamente asociada a la aproximación de las ASS hacia la costa.

Con respecto a los eufáusidos, las densidades más altas de furciliias estuvieron asociadas a ASS, mientras que las mayores abundancias de caliptopis estuvieron relacionados a ASS y AES. Los juveniles de *E. distinguenda*, adultos de *N. simplex* y juveniles y adultos de *E. lamelligera* estuvieron asociados a AES, mientras que los adultos de *E. mucronata*, *E. eximia* y *E. distinguenda*, estuvieron asociadas a ASS entre Mórrope y Casma. Los juveniles *N. simplex* localizados entre Talara y Chimbote dentro de la plataforma estuvieron asociados a aguas de mezcla de ACF y ASS.

Dentro del ictioplancton las familias más frecuentes reportadas para este crucero fueron los mictófidis, fosictiidos y engráulidos; en general las densidades del ictioplancton son bajas, propio de la estación del año (otoño), las mayores abundancias estuvieron dadas por la presencia de anchoveta y vinciguerría. Los primeros estadios de anchoveta fueron encontrados cerca de la costa, con núcleos importantes entre Salaverry y Pimentel.

Las mayores concentraciones de huevos y larvas estarían asociadas a la presencia de Aguas Costeras Frías (ACF) entre Chicama y Pimentel, y a las aguas de mezcla de ACF y Aguas Superficiales Subtropicales (ASS) entre Chicama y Salaverry, respectivamente. Esta zona de distribución fue mayor con respecto al crucero de otoño del 2016, en el cual las mayores concentraciones fueron solo registradas frente a Chicama y a Pimentel. De acuerdo al área cubierta por este crucero, los huevos y larvas de vinciguerría, casi en su totalidad, fueron registrados por fuera de la plataforma, cercanos a la costa en la zona norte y alejados de la misma al sur de Punta La Negra, esta distribución estuvo asociada a la presencia de ASS. Las concentraciones de los huevos de esta especie fueron menores al del otoño 2016 en el cual la abundancia total fue de 11.868 huevos/m² (ARONES y CORREA, 2019).

Las larvas del pez linterna de Diógenes se distribuyeron a lo largo de toda la zona muestreada,

Volumes greater than 20 mL/sample were more frequent than in 2016 (Cr. 1605-06). These were located in the coastal zone between Talara and Bayóvar and outside the 50 nm between Mórrope and Salaverry, as opposed to 2016 when the highest volumes were found in the northern zone outside the 100 nm and between Mórrope and Salaverry near the coast which was directly associated with the approximation of the SSW to the coast.

Regarding euphausiids, higher densities of furciliias were associated with SSW, while higher abundances of calyptopis were related to SSW and SEW. Juveniles of *E. distinguenda*, adults of *N. simplex*, and juveniles and adults of *E. lamelligera* were associated with SEW, while adults of *E. mucronata*, *E. eximia*, and *E. distinguenda*, were associated with SSW between Mórrope and Casma. Juveniles of *N. simplex* located between Talara and Chimbote within the shelf break were associated with mixing waters (CCW + SSW).

In ichthyoplankton, the most frequent families reported for this cruise were myctophids, fossictiids, and engraulids; overall, ichthyoplankton densities are low, typical for the season (autumn), the greatest abundances were caused by the presence of anchoveta and Panama lightfish. The first stages of anchoveta were found near the coast, with important nuclei between Salaverry and Pimentel.

The highest concentrations of eggs and larvae would be associated with the presence of Cold Coastal Waters (CCW) between Chicama and Pimentel, and with the mixing waters of CCW and Subtropical Surface Waters (SSW) between Chicama and Salaverry. This distribution zone was larger than one of the cruise of the previous year, in which the highest concentrations were only recorded off Chicama and Pimentel. According to the area covered by this cruise, the Panama lightfish eggs and larvae, almost all of them, were recorded off the shelf break, near the coast in the northern zone and far from the shelf south of Punta La Negra, this distribution was associated with the presence of SSW. The concentrations of eggs of this species were lower than in autumn 2016 in which the total abundance was 11,868 eggs/m² (ARONES & CORREA, 2019).

Diogenes lanternfish larvae were distributed in the entire sampled area, similar to autumn 2016.

similar al otoño 2016. Una concentración importante de huevos de sardina fue reportada en una sola estación frente a Puerto Pizarro, que no fue observado en el crucero del 2016. Un mayor número de especies fue reportado entre Los Órganos y Talara, que podría estar favorecido por la presencia de agua de mezcla de ACF y Aguas Ecuatoriales Superficiales (ARONES y CORREA, 2019).

A significant concentration of sardine eggs was reported in a single station off Puerto Pizarro, which was not observed on the previous year cruise. A greater number of species was reported between Los Órganos and Talara, which could be favored by the presence of mixing waters of CCW and Surface Equatorial Waters (SEW) (ARONES & CORREA, 2019).

REFERENCIAS / REFERENCES

- ARONES K, CORREA J. 2019. Ictioplancton y Eufáusidos frente a la costa peruana durante el Otoño 2015. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 473 - 488.
- AYÓN P, PURCA S, GUEVARA-CARRASCO R. 2004. Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. *ICES J. Mar. Sci. Symp.* 61: 478 - 484.
- BODEN B, JOHNSON M, BRINTON E. 1955. The Euphausiacea (Crustacea) of the North Pacific. 395 pp.
- EINARSSON H, ROJAS DE MENDIOLA B. 1963. Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* J.). *Bol. Inst. Invest. Recurs. Mar. Callao*. Vol. I (1): 1 - 23.
- FROLANDER H. 1954. Plankton volume Displacement Indicator. Technical Report N° 25. University of Washington Department of Oceanography, Seattle. 5: 14 pp.
- IMARPE. 2017. Informe de la Componente Oceanográfica. Crucero de evaluación de la población de Merluza y otros demersales en el otoño de 2017.
- KRAMER D, KALIN M J, STEVENS E G, THRAILKILL J R, ZWEIFEL J R. 1972. Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current region. NOAA Technical Report NMFS, Circ-370. U. S. Department of Commerce. NOAA. National Marine Fisheries Service: Seattle, WA. 38 pp.
- MOSER H. 1996. The Early Stages of Fishes in the California Current Region. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Atlas N°33: 1505 pp.
- PIELOU E C. 1984. The interpretation of ecological data. A Primer on classification and ordination. *Wie Intersci. Publ.* John Wiley & sons, New York. 263 pp.
- POSTEL L, FOCK H, HAGEN W. 2000. Biomass and abundance. In *ICES zooplankton methodology manual* Academic Press. pp. 83 - 192.
- SANTANDER H, SANDOVAL DE CASTILLO O. 1973. Estudio sobre la primera etapa de vida de la anchoveta. *Inf Inst Mar Perú*. 4: 1 - 30.
- VAN GUELPEN L, MARKLE D F, DUGGAN D J. 1982. An evaluation of accuracy, precision and speed of several zooplankton-subsampling techniques. *Journal du Conseil International pour L'exploration de la Mer*. 40: 226 - 236.

ANEXOS / ANNEXES

Tabla 2.- Composición, abundancia (Ind/m²) y frecuencia (%) del ictioplancton por especie y estadio. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Table 2. Composition, abundance (Ind/m²), and frequency (%) of ichthyoplankton by species and stage. Peruvian hake and other Demersal Stock Assessment Cruise 1705-06

Especie	Estadio	Frec. absoluta	Frec. relativa	Abund. mínima	Abund. máxima	Abund. total	Abund. relativa
No determinado	calyptopis	39	88,64	3	8496	43269	51,40
No determinado	furcilia	41	93,18	6	6522	28524	33,88
Euphausia diomedae	juvenil	1	2,27	9	9	9	0,01
Euphausia distinguenda	juvenil	8	18,18	3	141	345	0,41
Euphausia distinguenda	adulto	3	6,82	63	252	423	0,50
Euphausia eximia	juvenil	1	2,27	3	3	3	0,00
Euphausia eximia	adulto	3	6,82	9	174	210	0,25
Euphausia lamelligera	adulto	18	40,91	3	1020	2754	3,27
Euphausia mucronata	juvenil	1	2,27	51	51	51	0,06
Euphausia mucronata	adulto	4	9,09	30	177	351	0,42
Euphausia sp.	juvenil	13	29,55	3	462	1053	1,25
Euphausia tenera	juvenil	3	6,82	6	18	30	0,04
Nematobranchion sp.	juvenil	2	4,55	3	3	6	0,01
Nematoscelis sp.	furcilia	4	9,09	3	258	297	0,35
Nematoscelis sp.	juvenil	3	6,82	6	21	39	0,05
Nyctiphanes simplex	furcilia	8	18,18	3	738	852	1,01
Nyctiphanes simplex	juvenil	12	27,27	3	282	654	0,78
Nyctiphanes simplex	adulto	5	11,36	3	2010	2871	3,41
Stylocheiron affine	juvenil	20	45,45	3	45	351	0,42
Stylocheiron affine	adulto	1	2,27	3	3	3	0,00
Stylocheiron elongatum	juvenil	1	2,27	3	3	3	0,00
Stylocheiron sp.	furcilia	39	88,64	3	357	2085	2,48

Tabla 3.- Composición, abundancia (Ind./m²) y frecuencia (%) del ictioplancton por especie y estadio. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06Table 3. Composition, abundance (Ind/m²), and frequency (%) of ichthyoplankton by species and stage. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

Orden	Familia	Especie	Estadio	Frec.	Frec.	Abund.	Abund.	Abund.	Abund.
				absoluta	relativa	mínima	máxima	total	relativa
Anguilliformes	Nettastomatidae	No determinado	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Anguilliformes	No determinado	No determinado	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Aulopiformes	Paralepididae	<i>Lestidiops pacificum</i>	huevo	1	2,27	9	9	9	0,04
Aulopiformes	Paralepididae	<i>Lestidiops pacificum</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Aulopiformes	Synodontidae	No determinado	huevo	4	9,09	3	6	15	0,07
Beloniformes	Hemiramphidae	No determinado	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Beloniformes	Scomberesocidae	<i>Scomberesox saurus</i>	huevo	6	13,64	3	6	21	0,09
Beloniformes	No determinado	No determinado	huevo	1	2,27	3	3	3	0,01
Beryciformes	Melamphidae	<i>Scopelogadus bispinosus</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Beryciformes	Melamphidae	No determinado	larva	1	2,27	6	6	6	0,03
Clupeiformes	Clupeidae	<i>Sardinops sagax sagax</i>	huevo	1	2,27	1782	1782	1782	7,73
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Engraulis ringens</i>	huevo	8	18,18	3	4896	5139	22,30
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Engraulis ringens</i>	larva	16	36,36	3	3876	5151	22,35
Clupeiformes	Engraulidae	No determinado	huevo	2	4,55	6	6	12	0,05
Clupeiformes	Engraulidae	No determinado	larva	4	9,09	3	27	36	0,16
Gadiformes	Bregmacerotidae	<i>Bregmaceros bathymaster</i>	larva	3	6,82	3	6	12	0,05
Gadiformes	Merlucciidae	<i>Merluccius gayi peruanus</i>	larva	4	9,09	3	18	39	0,17
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Benthosema panamensis</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Diogenichthys laternatus</i>	larva	28	63,64	3	126	846	3,67
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Lampanyctus parvicauda</i>	larva	3	6,82	3	9	15	0,07
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Myctophum nitidulum</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Symbolophurus</i> sp.	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Triphoturus oculus</i>	larva	3	6,82	3	15	21	0,09
Myctophiformes	Myctophidae	No determinado	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Ophidiiformes	Ophidiidae	<i>Cherublemma emmelas</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Ophidiiformes	Ophidiidae	<i>Lepophidium negropinna</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Ophidiiformes	Ophidiidae	<i>Lepophidium</i> sp.	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Ophidiiformes	Ophidiidae	No determinado	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Perciformes	Gobiidae	No determinado	larva	7	15,91	3	9	27	0,12
Perciformes	Mugilidae	No determinado	larva	1	2,27	6	6	6	0,03
Perciformes	Pomacentridae	<i>Stegastes</i> sp.	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Perciformes	Pomacentridae	No determinado	larva	2	4,55	3	3	6	0,03
Perciformes	Sciaenidae	<i>Larimus</i> sp.	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Perciformes	Sciaenidae	<i>Menticirrhus</i> sp.	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Perciformes	Sciaenidae	No determinado	larva	6	13,64	3	18	45	0,20
Perciformes	Serranidae	No determinado	larva	1	2,27	6	6	6	0,03
Pleuronectiformes	Paralichthyidae	<i>Citharichthys</i> sp.	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Pleuronectiformes	Paralichthyidae	No determinado	larva	1	2,27	6	6	6	0,03
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Bathylagus nigrigenys</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Salmoniformes	Bathylagidae	<i>Leuroglossus urotronus</i>	larva	2	4,55	9	18	27	0,12
Scorpaeniformes	Triglidae	<i>Prionotus stephanophrys</i>	larva	1	2,27	3	3	3	0,01
Stomiiformes	Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	huevo	11	25,00	9	1728	4053	17,59
Stomiiformes	Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	larva	14	31,82	3	63	201	0,87
Stomiiformes	Phosichthyidae	<i>Vinciguerria lucetia</i>	juvenil	1	2,27	3	3	3	0,01
No determinado	No determinado	No determinado	huevo	26	59,09	3	2562	5490	23,82

Tabla 4.- Índices comunitarios del Ictioplancton. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y otros Demersales 1705-06

Table 4. Community Indices of Ichthyoplankton. Peruvian hake and other demersal stock Assessment Cruise 1705-06

Estación	Nro Especies	Abundancias N	Riqueza d	Equidad J'	Diversidad H'(log2)
2	10	4401	1,073	0,330	1,095
16	5	657	0,617	0,271	0,629
20	13	189	2,289	0,536	1,985
22	5	261	0,719	0,336	0,780
33	5	48	1,033	0,841	1,953
35	4	12	1,207	1,000	2,000
40	3	45	0,525	0,812	1,287
48	3	21	0,657	0,870	1,379
50	1	66	-	-	-
77	3	87	0,448	0,436	0,691
83	2	18	0,346	0,918	0,918
85	1	3	-	-	-
90	4	18	1,038	0,896	1,792
91	3	36	0,558	0,750	1,189
105	2	285	0,177	0,762	0,762
123	4	3921	0,363	0,049	0,098
130	5	48	1,033	0,645	1,497
153	4	81	0,683	0,631	1,262
154	4	78	0,689	0,534	1,068
156	3	615	0,311	0,056	0,089
160	7	1476	0,822	0,285	0,800
187	4	303	0,525	0,553	1,105
191	3	12	0,805	0,946	1,500
222	3	60	0,488	0,720	1,141
227	3	105	0,430	0,725	1,149
228	4	93	0,662	0,306	0,612
100_C28	5	156	0,792	0,434	1,008
C11	2	9	0,455	0,918	0,918
C14	3	75	0,463	0,304	0,482
C15	1	6	-	-	-
C16	2	24	0,315	0,811	0,811
C18	5	18	1,384	0,970	2,252
C2	9	1365	1,108	0,068	0,217
C20	2	9	0,455	0,918	0,918
C22	4	120	0,627	0,435	0,870
C29	4	90	0,667	0,675	1,350
C32	4	21	0,985	0,832	1,664
C36	4	69	0,709	0,604	1,209
C38	1	57	-	-	-
C4	7	1158	0,851	0,174	0,488
C45	5	177	0,773	0,493	1,144
C49	5	4947	0,470	0,044	0,102
C58	5	1749	0,536	0,050	0,116
C6	3	57	0,495	0,576	0,913
Mínimo	1	6	0,315	0,044	0,089
Máximo	13	4947	2,289	1,000	2,252

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y BIOLÓGICAS DEL AFLORAMIENTO COSTERO FRENTE A CALLAO EN PERIODOS CONTRASTANTES DURANTE EL 2018

ANALYSIS OF OCEANOGRAPHIC AND BIOLOGICAL CONDITIONS OF THE COASTAL UPWELLING OFF CALLAO IN CONTRASTING PERIODS DURING 2018

Michelle Graco¹ Tony Anculle¹ Victor Aramayo² Avy Bernales²
 Wilson Carhuapoma¹ David Correa³ Juan Carlos Ernesto Fernández¹
 Walter García⁴ Jesús Ledesma¹ Robert Marquina² Luis Quipúzcoa²
 Dennis Romero² Miguel Sarmiento¹ Juana Solís¹

RESUMEN

GRACO M, ANCULLE T, ARAMAYO V, BERNALES A, CARHUAPOMA W, CORREA D, FERNÁNDEZ J, GARCÍA W, LEDESMA J, MARQUINA R, QUIPÚZCOA L, ROMERO D, SARMIENTO M, SOLÍS J. 2019. *Análisis de las condiciones oceanográficas y biológicas del afloramiento costero frente a Callao en periodos contrastantes durante el 2018*. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 519-543.- El ecosistema de afloramiento costero frente a Perú se caracteriza por una intensa variabilidad oceanográfica que impacta en la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO), en la disponibilidad de nutrientes y en la ecología del plancton y bentos. Este trabajo presenta los resultados de dos Cruceros Intensivos Oceanográficos (CRIO) asociados a la zona de afloramiento del Callao (12°S) realizados en abril (otoño) que se caracterizó por mayor productividad y, en agosto (invierno) cuando predominó el efecto físico del afloramiento costero. Las condiciones de abril y agosto 2018, permiten contrastar dos periodos bajo la influencia del afloramiento costero con diferentes intensidades y las respuestas químicas y biológicas asociadas. Ambos periodos se caracterizaron por una intensa y somera ZMO. En el otoño, en que se presentó mayor productividad, se observó mayor déficit de nitratos, mientras que en invierno se presentó mayor disponibilidad de silicatos y nitratos en toda el área de estudio. La comunidad fitoplanctónica reflejó las diferentes condiciones, predominando diatomeas en la costa principalmente en abril, mientras en agosto y en la parte oceánica dominó el nanoplancton. Cambios en las masas de agua en invierno dio posibilidad al acercamiento de aguas oceánicas y con ello incremento del pH y presencia de organismos calcificantes coccolitofóridos, organismos que se han identificado como característicos de El Niño. En el sedimento, la respuesta indica condiciones que aún reflejarían aspectos asociados con El Niño costero 2017 y su impacto en la oxigenación y la materia orgánica, lo cual se refleja en el predominio de poliquetos como *Magelona phyllisae* y la disminución de tapices bacterianos (*Candidatus Marithioploca*). Un sedimento menos reducido con valores relativamente bajos de H₂S estuvieron presentes. En el ensamble de foraminíferos se observa mezcla de especies, algunas que aparecieron desde El Niño 2017 y otras que reflejan cierta normalización hacia la deficiencia en oxígeno y la disponibilidad de materia orgánica.

PALABRAS CLAVE: ZMO, nutrientes, plancton, bentos, afloramiento, Callao, Perú

ABSTRACT

GRACO M, ANCULLE T, ARAMAYO V, BERNALES A, CARHUAPOMA W, CORREA D, FERNÁNDEZ J, GARCÍA W, LEDESMA J, MARQUINA R, QUIPÚZCOA L, ROMERO D, SARMIENTO M, SOLÍS J. 2019. *Analysis of the oceanographic and biological conditions of the coastal upwelling off Callao in contrasting periods during 2018*. *Bol. Inst Mar Peru*. 34(2): 519-543.- The coastal upwelling ecosystem off Peru is characterized by intense oceanographic variability that impacts the Oxygen Minimum Zone (OMZ), on nutrient availability and the planktonic and benthic ecology. This work presents the results of two Intensive Oceanographic Cruises (CRIO in Spanish) associated with one of the most important upwelling areas of Peru, Callao (12°S), carried out in autumn (April) under higher productivity and in winter (August) when the physical upwelling process predominated. In April and August 2018, the conditions can be defined in two contrasting periods under the influence of different intensities of the upwelling events with the associated chemical and biological responses. Both periods were characterized by an intense and shallow OMZ. In the autumn, higher productivity and deficit of nitrates were observed, while in winter silicates and nitrates were available throughout the study area. The phytoplankton community reflected the different conditions. Diatoms were dominant in April and on the coast, while winter and the ocean side were dominated by the nanoplankton. Changes in water masses gave the possibility of approaching ocean waters in winter increasing pH favorable for coccolithophorid calcifying organisms. These organisms have been identified during El Niño Costero 2017. At the benthos, the response indicates conditions that would still reflect aspects associated with El Niño and its impact on oxygenation and organic matter. The predominance of polychaetes such as *Mageloma phyllisae* and the decrease of microbial mats (*Candidatus Marithioploca*) was detected. Less reduced sediment with relatively low H₂S values was present. For the foraminifer assemblage, a mixture of species was observed, some that appeared since El Niño and others that reflect some normalization towards oxygen deficiency and the availability of organic matter.

KEYWORDS: OMZ, nutrients, plankton, benthos, upwelling, Callao, Peru

1 I IMARPE, DGIOCC, AFIOQG, Esq. Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. mgraco@imarpe.gob.pe

2 IMARPE, DGIOCC, AFIOB

3 IMARPE, Laboratorio Costero Santa Rosa, Los Pinos s/n, Santa Rosa, Chiclayo

4 IMARPE, DGIOCC, AFIOF

1. INTRODUCCIÓN

El afloramiento costero es un proceso físico que ocurre a lo largo de la costa del Perú, reconociéndose diferentes centros de afloramiento costero, entre los 4-6°S, 7-9°S, 11-13°S y 14-16°S (ZUTA y GUILLÉN, 1970; ROJAS DE MENDIOLA y GÓMEZ, 1981). El afloramiento costero es un proceso físico de advección de agua subsuperficial a la zona eufótica determinando gran disponibilidad de nutrientes y en consecuencia un ambiente favorable para el desarrollo de una importante productividad (CALIENES *et al.*, 1985; ECHEVIN *et al.*, 2008). El afloramiento costero de Perú se caracteriza por la presencia de una intensa y somera Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO), un alto reciclaje de nitrógeno y una condición de alto CO₂ y bajo pH, todos aspectos de interés en el contexto del cambio climático (CHAVEZ & MESSIÉ, 2009).

La alta productividad, variabilidad y complejidad del sistema de afloramiento costero hace necesario un estudio multidisciplinario, el cual se realiza desde el año 2013, a través de un muestreo bimestral frente a Callao que busca caracterizar los procesos físico-químicos y las comunidades planctónicas y bentónicas existentes, con énfasis en el gradiente costa-oceano y su variabilidad a diferentes escalas de tiempo.

El año 2018 presentó en los primeros meses condiciones frías, tal como indican las observaciones regionales que se mantuvieron posterior al desarrollo del evento La Niña (ENFEN, 2018) y que fueron normalizándose, aunque persistiendo, en agosto 2018, las anomalías negativas -0,2 °C (ENFEN, 2018) en la costa e igualmente en la zona Niño 1+2, modulando las características oceanográficas de este sector. En este contexto ambiental se presentan los resultados obtenidos durante dos Cruceros Intensivos Oceanográficos (CRIO) asociados a la línea Callao, realizados del 30 abril al 4 de mayo en el BIC José Olaya y del 16 al 17 de agosto en el BIC Luis Flores Portugal, con la finalidad de caracterizar y analizar dos períodos contrastantes del afloramiento costero: otoño e invierno del 2018.

Este trabajo ha sido realizado en el marco de las actividades de investigación del Proyecto: "Estudio Integrado del Afloramiento Costero frente a Perú" de la Dirección de Oceanografía y Cambio Climático y, financiado por el IMARPE.

1. INTRODUCTION

The coastal upwelling is a physical process that occurs along the Peruvian coast, where different cells of coastal upwelling are recognized, between 4-6°S, 7-9°S, 11-13°S, and 14-16°S (ZUTA & GUILLÉN, 1970; ROJAS DE MENDIOLA & GÓMEZ, 1981). This physical process of advection of subsurface water to the euphotic zone determines great nutrient availability and consequently a favorable environment for the development of important productivity (CALIENES *et al.*, 1985; ECHEVIN *et al.*, 2008). Coastal upwelling in Peru is characterized by the presence of an intense and shallow Oxygen Minimum Zone (OMZ), a high nitrogen recycling, and a condition of high CO₂ and low pH, which are all relevant in the context of climate change (CHAVEZ & MESSIÉ, 2009).

The high productivity, variability, and complexity of the coastal upwelling system require a multidisciplinary study, which has been carried out since 2013, through a bimonthly sampling off Callao that seeks to characterize the physical-chemical processes and the existing planktonic and benthic communities, focusing on the coast-to-ocean gradient and its variability at different time scales.

Early 2018 presented cold conditions, as indicated by regional observations that were maintained after the development of La Niña (ENFEN, 2018) and then were normalized. However, negative anomalies -0.2 °C (ENFEN, 2018) remained persistent in August 2018 on the coast and in the Niño 1+2 zone, thus modulating the oceanographic characteristics of this area. Under these conditions, from 30 April to 4 May and between 16 to 17 August 2018, two Intensive Oceanographic Cruises (CRIO in Spanish), associated with the Callao transect, were carried out onboard of the R/V José Olaya and R/V Luis Flores Portugal, respectively. The results obtained are presented to characterize and analyze two contrasting periods of the coastal upwelling: autumn and winter 2018.

This work has been carried out within the framework of the research activities of the Project: "Integrated Study of the Coastal Upwelling off Peru" of the Directorate-General of Oceanography and Climate Change and is funded by IMARPE.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La figura 1 muestra el área de estudio de los cruceros CRIO, que efectuó una transecta de 8 estaciones frente a Callao (12°S), desde la costa (E0) hasta las 50 mn (E7), asociada a una plataforma amplia, con un talud ubicado aproximadamente a las 30 mn.

Vientos, hidrografía y química

Se presentan datos de viento que corresponden a información satelital, registrados a través del dispersómetro avanzado (ASCAT) del satélite METOP-A, METOP-B y METOP-C (integrados y procesados por el programa francés IFREMER - CERSAT), a resolución espacial de 25 km y resolución temporal de 1 día. A partir de esta información se calculó: velocidad del viento, Índice de afloramiento costero y porcentaje de actividad del afloramiento costero (IAC) a 40 km de la costa frente a Pisco, Callao y Chicama, para el período entre enero y diciembre 2018. Para fines de comparación se utilizaron los umbrales del primer y tercer cuartil pentadal histórico del viento y la climatología de vientos pentadal satelital (CVS9914) desarrollados por D. Correa (Laboratorio Costero Santa Rosa, IMARPE).

En cada estación se realizaron perfiles hidrográficos con un perfilador de conductividad, temperatura, presión y oxígeno disuelto (CTDO) equipado con: sensor de presión de cuarzo: hasta 6.800 m; sensor de temperatura con rango de medición entre -5 °C y +35 °C; sensor de conductividad: rango de medición entre 0 y 9 S/m y sensor de oxígeno disuelto. En todas las estaciones (0 a 7) hasta las 50 millas se recolectaron muestras de agua en los niveles estándares: 0, 10,

2. MATERIAL AND METHODS

Figure 1 shows the study area of the CRIO cruises and the 8 sampling stations off Callao (12°S), from the coast (E0) to 50 nm (E7), associated with a wide shelf break and a shelf slope located at approximately 30 nm.

Winds, hydrography, and chemistry

Wind data corresponding to satellite information are presented, recorded through the advanced scatterometer (ASCAT) of the METOP-A, METOP-B, and METOP-C satellites (integrated and processed by the French IFREMER - CERSAT software), at a spatial resolution of 25 km and a time resolution of 1 day. Based on this information, the following was calculated: wind speed, coastal upwelling index, and percentage of coastal upwelling activity at 40 km off the coast of Pisco, Callao, and Chicama, for the whole year 2018. Thresholds of the first and third historical pentadal quartile of the wind and the climatology of satellite pentadal winds (CVS9914) developed by D. Correa (Coastal Laboratory of Santa Rosa, IMARPE) were used for comparison purposes.

At each station, hydrographic profiles were made with a conductivity, temperature, pressure, and dissolved oxygen (CTDO) profiler equipped with: quartz pressure sensor (up to 6,800 m); temperature sensor with a measuring range between -5 °C and +35 °C; conductivity sensor with a measuring range between 0 and 9 S/m, and dissolved oxygen sensor. Water samples were collected at the standard levels: 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, and 1000 m in all

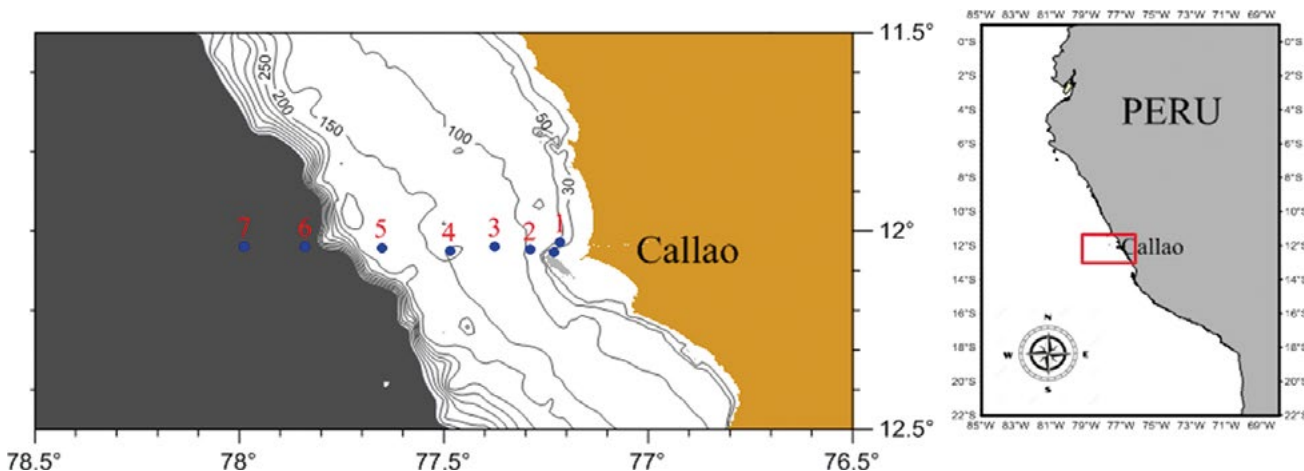


Figura 1.- Carta de ubicación de las estaciones de muestreo frente a Callao en los Cruceros intensivos Oceanográficos (CRIO) abril y agosto 2019

Figure 1. Chart of location of the sampling stations off Callao during the Intensive Oceanographic Cruises (CRIO) in April and August 2019

20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750 y 1000 m. A bordo se determinó el oxígeno disuelto mediante el método de Winkler (CARRIT & CARPENTER 1966) y de pH con un potenciómetro Mettler Toledo. En el laboratorio se analizaron los nutrientes a partir de los protocolos del Área Funcional de Investigación en Oceanografía Química y Geología (AFIOQG). Datos de clorofila-a se obtuvieron a partir de información satelital Modis-AQUA, VIIRS-SNPP y, las anomalías a partir de la climatología 1998-2016 Modis-AQUA, VIIRS-SNPP, Sea Wifs, Meris-ensvisat (fuente: ocean color/NASA).

Plancton

Muestras superficiales de fitoplancton se obtuvieron en todas las estaciones, utilizando la red estándar (75 μm) y de zooplancton con red WP2 (300 μm), en arrastres superficiales en círculos durante 5 minutos. Muestras conseguidas con botella Niskin a diferentes profundidades (0, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 m) fueron analizadas en forma cuantitativa en el gradiente costa-oceano, para obtener la distribución vertical del fitoplancton en las estaciones 2, 5, 7 de Callao, mediante el método Utermöhl utilizando un microscopio invertido de luz y obteniendo las densidades celulares en cels.L^{-1} (IOC UNESCO, 2010). Para la determinación taxonómica de las especies fitoplanctónicas se utilizaron trabajos de BALECH (1988) y HASLE & SYVERTSEN (1996).

Bentos y geología

Se recolectaron muestras de sedimento para análisis geoquímico y de bentos en las estaciones 0, 2 y 5. Las muestras de macrofauna y de *Candidatus* Marithioploca spp., se obtuvieron por triplicado con una draga van Veen de 0,05 m^2 en las tres estaciones. A bordo se tamizaron las muestras con malla de 0,5 mm y se fijaron con formalina al 10%, neutralizado con bórax, para su análisis en el laboratorio (HOLME & McINTYRE, 1971; POHLE & THOMAS, 2005). Para el muestreo geoquímico y de foraminíferos bentónicos se empleó un minimultisacatestigos (MUC) Octopus® de 4 tubos. Las muestras se extruyeron *in situ* a fin de obtener los subtestigos que se utilizaron para los diferentes análisis. Los dos primeros centímetros se cortaron cada 0,5 cm y luego cada 1 cm hasta completar los 5 cm de profundidad. Las muestras recolectadas para foraminíferos fueron tratadas según el protocolo de RATHBURN & CORLISS (1994) considerando algunos criterios descritos en SCHÖNFELD *et al.* (2012). La distribución vertical de las especies en el sedimento (0-5 cm) fue elaborada con datos de una réplica.

stations (0 to 7) up to 50 miles. Dissolved oxygen was determined onboard using the Winkler method (CARRIT & CARPENTER 1966) and pH was measured with a Mettler Toledo potentiometer. In the laboratory, the nutrients were analyzed from the protocols of the Functional Area of Research in Chemical Oceanography and Geology (AFIOQG in Spanish). Chlorophyll-a data were obtained from the Modis-AQUA and VIIRS-SNPP satellite information and anomalies were taken from the Modis-AQUA, VIIRS-SNPP, Sea Wifs, Meris-ensvisat 1998-2016 climatology (Source: ocean color/NASA).

Plankton

Surface samples of phytoplankton were obtained at all stations by using the standard net (75 μm) and WP2 plankton net (300 μm) in circled surface trawls for 5 minutes. Samples obtained with Niskin bottle at different depths (0, 10, 20, 30, 50, 75, and 100 m) were analyzed quantitatively in the coast-to-ocean gradient, to obtain the vertical distribution of phytoplankton in stations 2, 5, 7 in Callao, through the Utermöhl method using an inverted light microscope and obtaining cell densities in cells.L^{-1} (IOC UNESCO, 2010). For the taxonomic determination of the phytoplankton species, the works of BALECH (1988) and HASLE & SYVERTSEN (1996) were used.

Benthos and geology

Sediment samples were collected for geochemical and benthic analysis at stations 0, 2, and 5. Macrofauna and *Candidatus* Marithioploca spp. samples were obtained in triplicate with a van Veen dredge of 0.05 m^2 at the three stations. Onboard, the samples were sieved with 0.5 mm mesh and fixed with 10% formalin, neutralized with borax, for laboratory analysis (HOLME & McINTYRE, 1971; POHLE & THOMAS, 2005). For the geochemical and benthic forams sampling, a 4-pipe video-guided multiple corer system (MUC) Octopus® was used. The samples were extracted *in situ* to obtain the sub-cores that were used for the different analyses. The first two centimeters were cut every 0.5 cm and then every 1 cm to complete the 5 cm of depth. The forams samples were treated according to the RATHBURN & CORLISS protocol (1994) based on some criteria described in SCHÖNFELD *et al.* (2012). The vertical distribution of the species in the sediment (0-5 cm) was elaborated with data from a replica.

La caracterización de los sedimentos se realizó a través del potencial Redox, contenido de MOT (CT y NT), carbonatos y clorofila-a (Cl-a). Las muestras (dos réplicas) para los análisis de clorofila-a se congelaron a -20°C . La estimación de clorofila-a y feopigmentos se realizó en el laboratorio. De 0,2 a 0,3 g de sedimento fueron mezclados con 5 mL de acetona al 90% (MANTOURA & LLEWELLYN, 1983) en un agitador tipo vórtex, para ser sonicados por 10 minutos. La centrifugación se realizó sometiendo la batería de muestras por 5 minutos a 3000 rpm, el procedimiento fue repetido dos veces; se diluyó una alícuota del extracto para lectura en el fluorómetro luego de adicionar dos gotas de HCl al 10%.

Se obtuvieron muestras de agua intersticial preservadas con 0,5 mL de acetato de zinc al 5% (fijador de H_2S). Las concentraciones de H_2S se determinaron por el método colorimétrico con azul de metileno (CLINE, 1969).

3. RESULTADOS

Vientos y afloramiento

La velocidad de los vientos en la zona central entre Chicama y Pisco de enero a octubre 2018 se presenta en la figura 2. Los vientos permiten caracterizar el forzante local del afloramiento costero. Los datos muestran el incremento entre abril y agosto, de débiles-moderados a moderados-fuertes en el invierno (4,8 y 10,7 m/s), con ocurrencia de episodios de intensificación y debilitamiento (vientos fuertes y débiles).

Sediment characterization was performed through Redox potential, MOT content (CT and NT), carbonates, and chlorophyll-a (Cl-a). The samples (two replicas) for the chlorophyll-a analyses were frozen at -20°C . The estimation of chlorophyll-a and phaeopigments was performed in the laboratory. From 0.2 to 0.3 g of sediment were mixed with 5 mL of 90% acetone (MANTOURA & LLEWELLYN, 1983) in a vortex agitator, to be sonicated for 10 minutes. Centrifugation was performed by submitting the battery of samples for 5 minutes at 3000 rpm, the procedure was repeated twice; an aliquot of the extract was diluted for reading in the fluorometer after adding two drops of 10% HCl.

Preserved interstitial water samples were obtained with 0.5 mL of 5% zinc acetate (H_2S fixation). H_2S concentrations were determined by the methylene blue colorimetric method (CLINE, 1969).

3. RESULTS

Winds and upwelling

Figure 2 shows the wind speed in the central zone of Peru between Chicama and Pisco from January to October 2018. It was possible to characterize the local forcing of the coastal upwelling through winds. The data show the increase between April and August, from weak-moderate to moderate-strong in winter (4.8 and 10.7 m/s), with episodes of intensification and weakening (strong and weak winds) at the different periods.

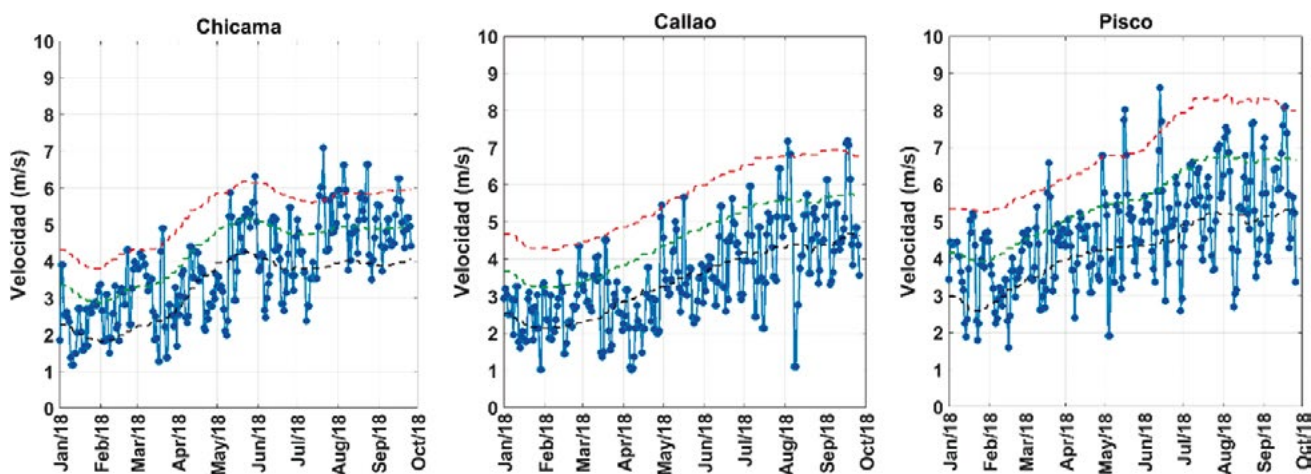


Figura 2.- Serie de velocidad del viento satelital (a 40 km frente a la costa del Perú) respecto a umbrales del primer y tercer cuartil pentadal (línea negra y roja) y climatología pentadal (1999 – 2017, línea verde). (Información satelital ASCAT)

Figure 2. Series of satellite wind speed (40 km off the coast of Peru) in relation to thresholds of the first and third quartile pentadal (black and red line) and pentadal climatology (1999 - 2017, green line). (ASCAT satellite information)

El IA presentó valores bajos en abril, $50 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$, lo que concuerda con la intensidad débil a moderada de los vientos, mientras en agosto superaron $100 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}</math>. La persistencia del IA frente a Callao (vientos de intensidad mayor a $4 \text{ m/s}</math> y por más de 5 días) comparado con otras zonas de Perú, indica bajo porcentaje de persistencia en el período de verano e inicios de otoño, incrementándose hacia el invierno, alcanzando condiciones favorables al afloramiento en 90%, (Fig. 3).$$

Condiciones de temperatura y salinidad

Las condiciones de temperatura y salinidad y sus respectivas anomalías se presentan en la figura 4. La prospección realizada en abril 2018 mostró la condición oceanográfica caracterizada por predominio de Aguas Costeras Frías (ACF) en toda la transecta, condición característica de otoño, con bajas temperaturas en superficie, predominio de anomalías negativas (hasta $-2,0 \text{ }^\circ\text{C}</math>) y salinidades menores a 35,00 ups con anomalías neutras o ligeramente negativas. La isoterma de $15,0 \text{ }^\circ\text{C}</math> se presentó muy somera a menos de 40 m por fuera de las 20 mn y sobre los 20 m en la costa indicando un activo afloramiento costero.$$

En agosto, las condiciones se mantuvieron frías con temperaturas en rango de $15,4$ a $16,9 \text{ }^\circ\text{C}</math> y presencia de una isoterma somera de $15,0 \text{ }^\circ\text{C}</math>, aunque ligeramente profundizada con respecto al otoño, cerca de 50 m en la parte costera y de 60 m en la parte oceánica. Las anomalías muestran condiciones neutras en la costa y profundidad y, ligeramente negativas hacia la zona oceánica (Fig. 4).$$

Dentro de las 30 mn se presentaron salinidades menores a 35,00 ups, características de las ACF. Por fuera de las 40 mn se observó un núcleo con 35,14 ups indicando el acercamiento de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). Las anomalías muestran, al igual que la temperatura, condiciones neutras en la costa y profundidad y, ligeramente negativas mar afuera (Fig. 4).

The UI showed low values in April, $$50 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$, which is consistent with the weak to moderate intensity of the winds, while in August they exceeded $100 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}</math>. The persistence of UI off Callao (winds of intensity greater than $4 \text{ m/s}</math> and lasting more than 5 days), as compared to other areas in Peru, indicates the low percentage of persistence in summer and early autumn, increasing towards winter, thus reaching conditions favorable to upwelling in 90% (Fig.3).$$$

Temperature and salinity conditions

Figure 4 shows the temperature and salinity conditions and their respective anomalies. In April 2018, the survey showed the oceanographic condition characterized by the predominance of Cold Coastal Waters (CCW) throughout the transect, which is a characteristic condition of autumn, with low surface temperatures, denoting a predominance of negative anomalies (up to $-2.0 \text{ }^\circ\text{C}</math>) and salinities less than 35.00 ups with neutral or slightly negative anomalies. The $15.0 \text{ }^\circ\text{C}</math> isotherm was very shallow at less than 40 m outside 20 nm and above 20 m on the coast indicating an active coastal upwelling.$$

In August, conditions remained cold with temperatures ranging from 15.4 to $16.9 \text{ }^\circ\text{C}</math> and the presence of a shallow $15.0 \text{ }^\circ\text{C}</math> isotherm, although slightly deepened in comparison to autumn, close to 50 m in the coastal part and 60 m in the oceanic part. The anomalies show neutral conditions on the coast and in the bottom and slightly negative towards the oceanic zone (Fig. 4).$$

There were salinities lower than 35.00 ups, within the 30 nm, which are typical of CCW. A nucleus of 35.14 ups was observed, outside the 40 nm, which is a sign of the approximation of Surface Subtropical Waters (SSW). The anomalies show, as well as the temperature, neutral conditions in the coast and at depth and slightly negative offshore (Fig. 4).

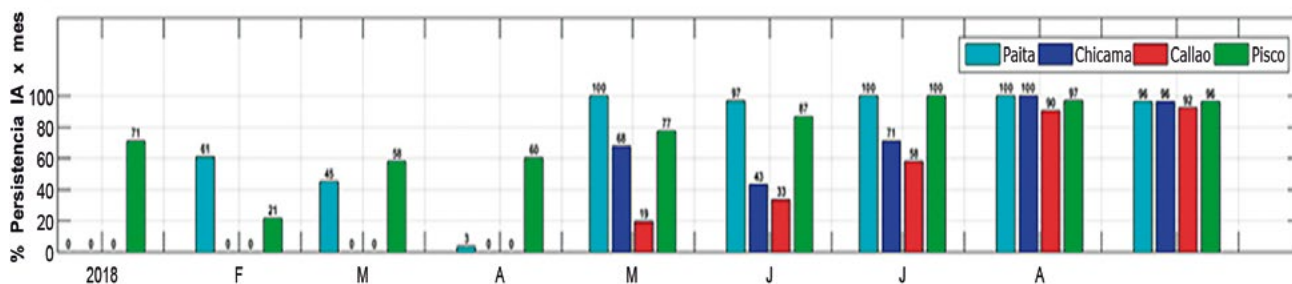


Figura 3.- Serie del porcentaje actividad del índice de Afloramiento Costero calculado con el viento satelital (a 40 km frente a la costa del Perú, Información satelital ASCAT)

Figure 3. Percentage activity series of the coastal upwelling index estimated with satellite wind (40 km off the Peruvian coast, ASCAT satellite information)

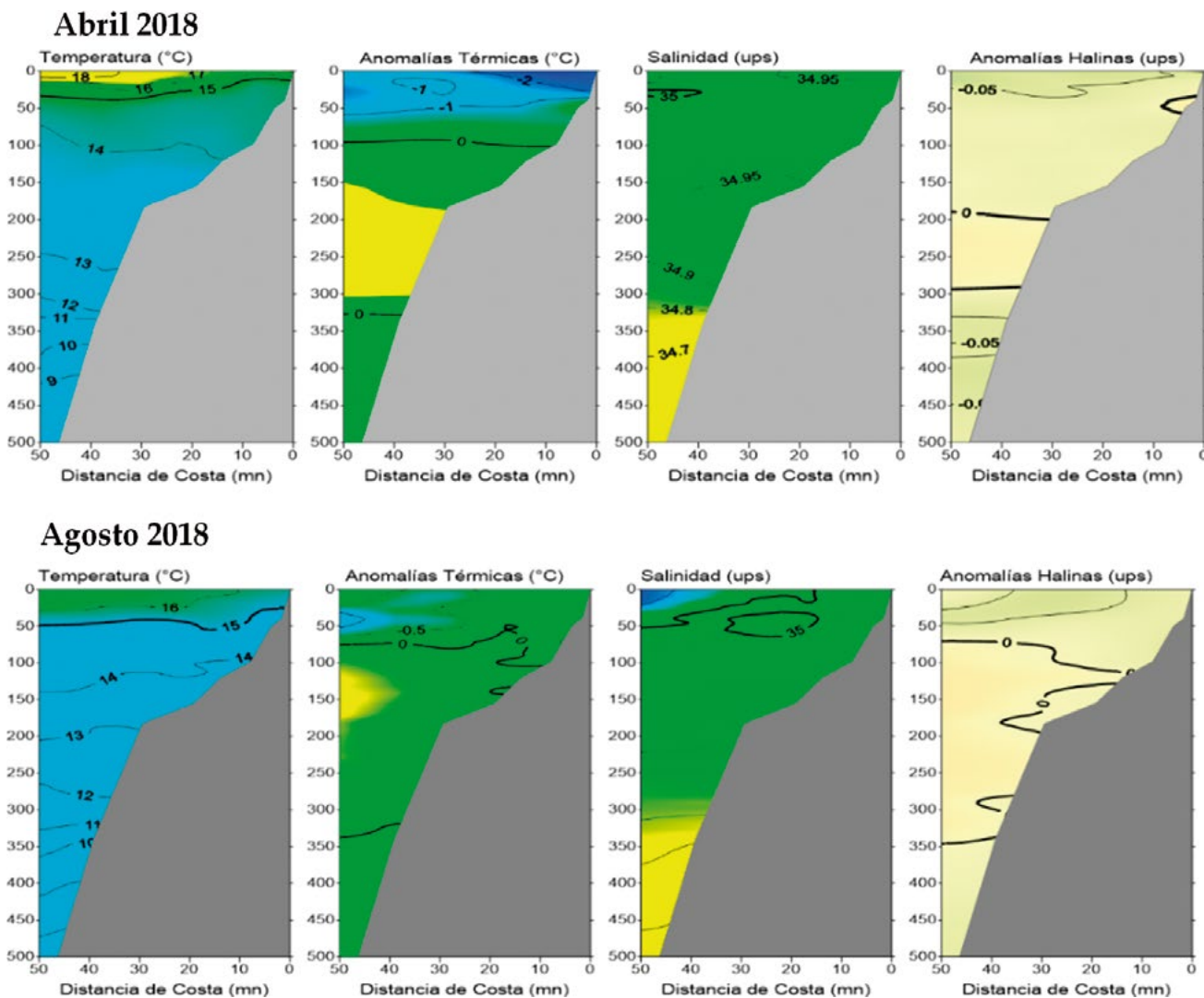


Figura 4.- Distribución vertical de la temperatura, salinidad y sus anomalías en la sección Callao. CRIO abril y agosto 2019

Figure 4. Vertical distribution of temperature, salinity, and its anomalies in the Callao section. CRIO April and August 2019

Condiciones químicas

Productividad, Clorofila-a satelital

Los datos satelitales de clorofila-a (mg/m^3) y su anomalía y el porcentaje de nubosidad, para abril y agosto 2018 se presentan en la figura 5. En abril se observó entre Chicama y Pisco, un núcleo con concentraciones de clorofila-a de aproximadamente $5,0 \text{ mg}/\text{m}^3$, mientras al norte y hacia el sur los valores fueron menores ($<3,0 \text{ mg}/\text{m}^3$). Las anomalías mostraron valores negativos en casi toda la franja costera, mientras que, por fuera se observaron núcleos positivos al norte, centro y sur, detectándose el frente de productividad por fuera del frente frío como se observó entre Chicama y Callao.

Chemical conditions

Productivity, Satellite Chlorophyll-a

Figure 5 shows the chlorophyll-a (mg/m^3) satellite data and its anomaly, and percentage of cloudiness for April and August 2018. In April, a nucleus with chlorophyll-a concentrations of approximately $5.0 \text{ mg}/\text{m}^3$ was observed between Chicama and Pisco, while to the north and south the values were lower ($<3.0 \text{ mg}/\text{m}^3$). The anomalies showed negative values in almost the entire coastal stripe while positive nuclei were observed to the north, center, and south, with the productivity front being detected outside the cold front as observed between Chicama and Callao.

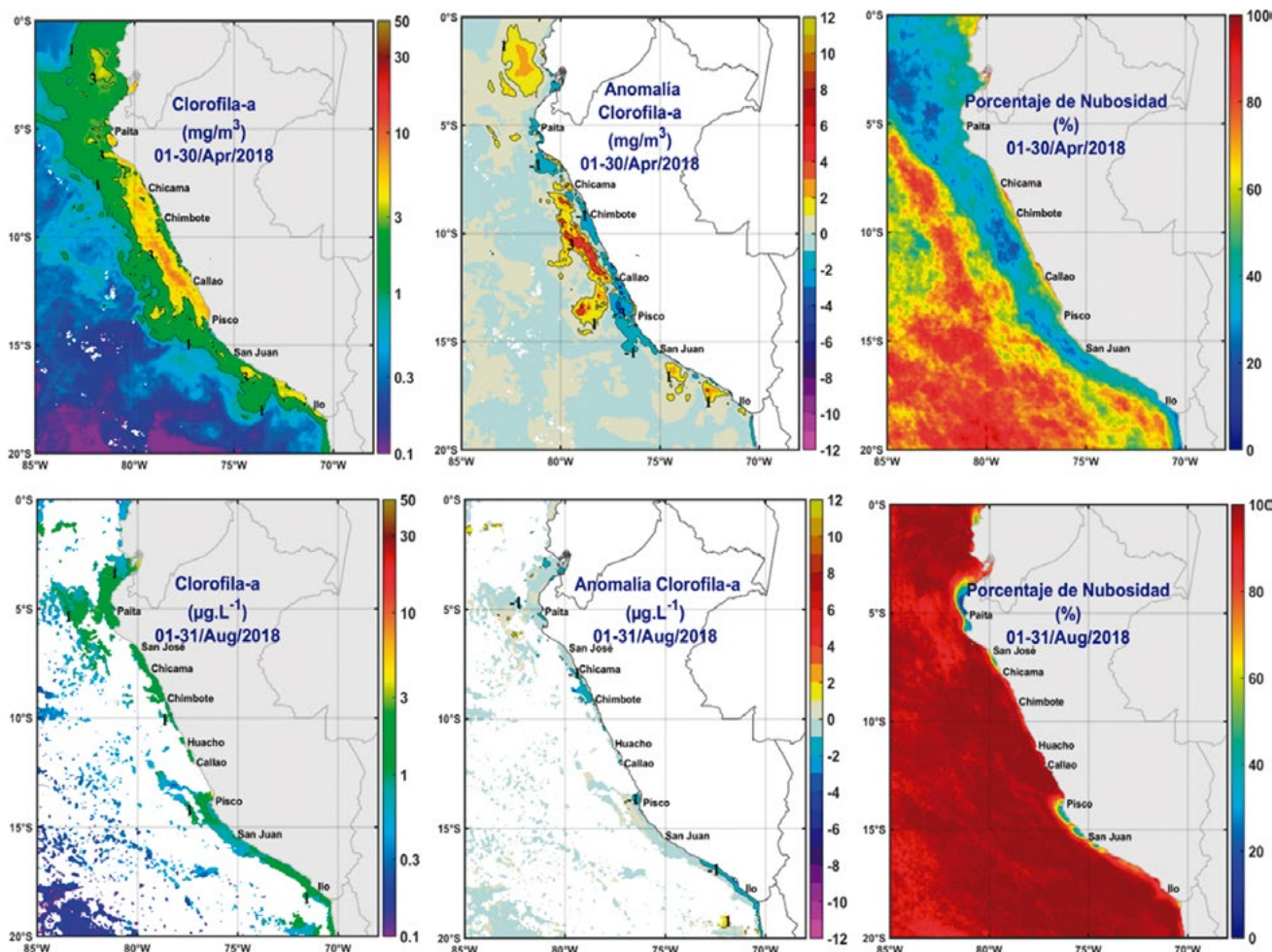


Figura 5.- Distribución superficial de Clorofila-a y anomalía (mg/m^3) para abril y agosto 2018; porcentaje de nubosidad a lo largo de la costa de Perú. Satélite MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP. Climatología entre los años 2000-2015 de MODIS-AQUA, SEA WiFS, VIIRS-SNPP, MERIS-ENVISAT fusión en base a la estandarización de las reflectancias de los diferentes sensores

Figure 5. Surface distribution of Chlorophyll-a and anomaly (mg/m^3) for April and August 2018; percentage of cloudiness along the Peruvian coast. MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP satellite. Climatology between 2000-2015 of MODIS-AQUA, SEA WiFS, VIIRS-SNPP, MERIS-ENVISAT, fusion based on the standardization of the reflectances of the different sensors

El porcentaje de nubosidad indicó un predominio de condiciones relativamente despejadas a lo largo de la costa de Perú (< 20%) en abril 2018; sin embargo, en la zona más costera entre Chicama y Callao alcanzó valores mayores al 60%.

En agosto 2018, se observó la característica disminución de la clorofila-a con valores iguales o menores a $1 \text{ mg}/\text{m}^3$, lo que se asocia a nubosidad persistente mayor al 80%. La alta nubosidad dificulta la estimación de la clorofila-a satelital. Los resultados de clorofila-a *in situ* muestran valores mayores a $3,0 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$ en abril, mientras que, en agosto se presentaron menores a $1,0 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$ en toda la transecta.

El frente de productividad (distancia a la costa del límite entre una zona de mayor o menor

In April 2018, the percentage of cloudiness indicated a predominance of relatively clear conditions along the Peruvian coast (< 20%). However, between Chicama and Callao the values at the coastal area increased, reaching values greater than 60%.

In August 2018, the characteristic decrease of chlorophyll-a was observed with values equal to or less than $1 \text{ mg}/\text{m}^3$, which is associated with persistent cloudiness greater than 80%. The high cloudiness hinders the estimation of satellite chlorophyll-a. *In situ* chlorophyll-a results show values greater than $3.0 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$ in April, while in August they were less than $1.0 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$ throughout the transect.

Between April and August, the productivity front (distance to the coast of the boundary between a zone of greater or lesser productivity determined

productividad dada por la isólinea de 1 mg/m^3) mostró cambios en su posición entre abril y agosto. En invierno se observó el repliegue hacia la costa que indica la menor extensión de las aguas productivas en relación al período de mayor productividad, que se observó en abril (Fig. 6).

Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO)

En relación a la distribución del oxígeno disuelto, en la superficie del mar y dentro de las 15 mn, en abril las concentraciones mostraron valores inferiores a $3,0 \text{ mL/L}$, que coincidió con valores de pH menores a $7,7$ e indicaron el afloramiento costero de ACF (Fig. 7). Afuera de las 15 mn se mantuvieron concentraciones bajas de oxígeno ($3,0 - 4,0 \text{ mL/L}$) y un ligero incremento en el pH indicando el efecto de mezcla de las ACF con la ASS. El límite superior de la ZMO ($< 0,5 \text{ mL/L}$) se encontró muy somero, por encima de los 20 m , en la celda activa del afloramiento y de los 30 m por fuera, observándose buen acoplamiento con la distribución de la isoterma de $15,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Condiciones bajas de pH ($< 7,8$) dominaron toda la columna de agua.

by the 1 mg/m^3 isoline) showed changes in its position. In winter, the withdrawal towards the coast was observed, which indicates the smaller extension of the productive waters as compared to the period of greater productivity, which was observed in April (Fig. 6).

Oxygen Minimum Zone (OMZ)

In April, the dissolved oxygen distribution at the sea surface and within 15 nm showed concentrations lower than 3.0 mL/L , which coincided with pH values lower than 7.7 and indicated the coastal upwelling of CCW (Fig. 7). Low oxygen concentrations ($3.0 - 4.0 \text{ mL/L}$) and a slight increase in pH indicated the effect of mixing between CCW and SSW outside 15 nm . The OMZ upper limit ($< 0.5 \text{ mL/L}$) was found very shallow, above 20 m , in the active cell of the upwelling and 30 m outside, with good coupling with the distribution of the $15.0 \text{ }^\circ\text{C}$ isotherm. Low pH conditions (< 7.8) dominated the entire water column.

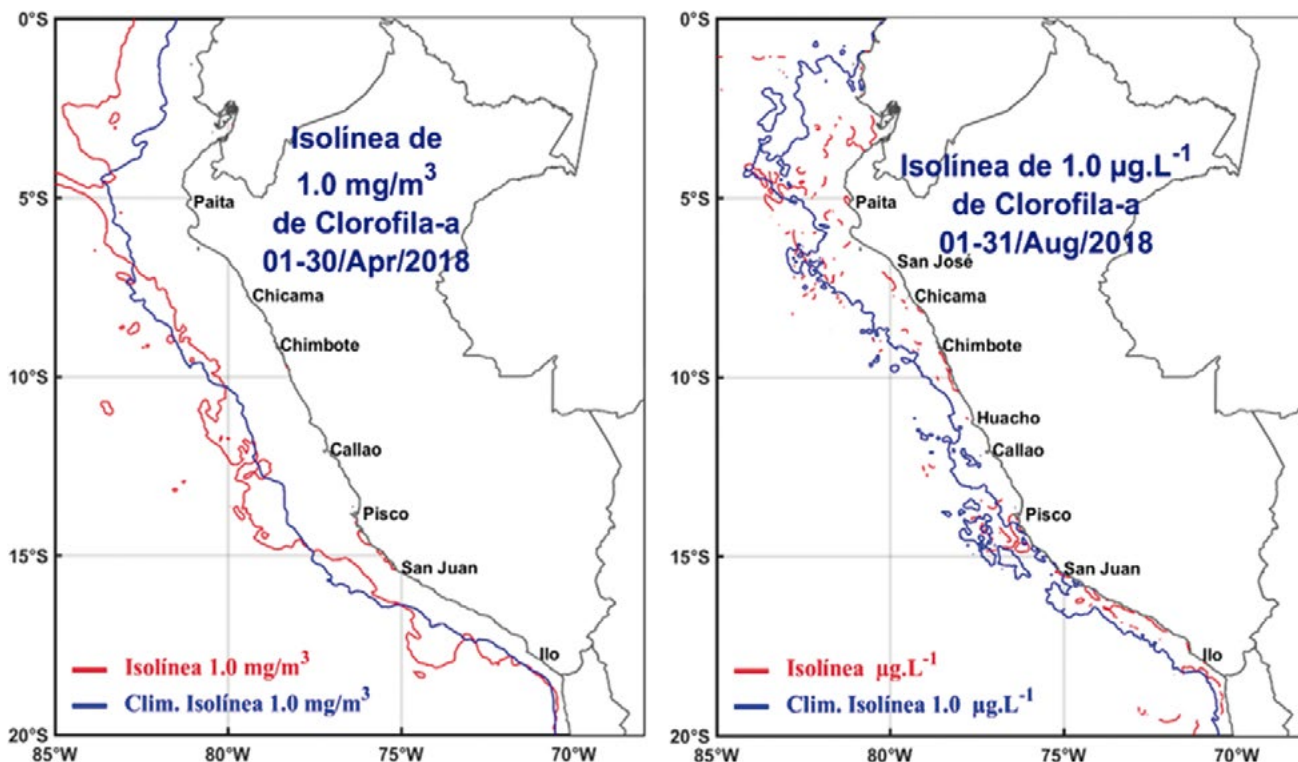


Figura 6.- Posición de la isólinea de 1 mg/m^3 de clorofila-a, a partir de información satelital (en abril y agosto 2018) MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP

Figure 6. Chlorophyll-a 1 mg/m^3 isoline position from satellite information (April and August 2018) MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP

En agosto en las primeras 20 mn se observaron bajas concentraciones de oxígeno (< 3,0 mL/L) incrementándose hacia afuera (> 5 mL/L). La ZMO, en la transecta costa-océano, se ubicó desde 15 m hasta 50 m de profundidad. En la capa de los primeros 30 m predominaron mayores valores de pH (> 7,8) y por debajo de los 30 m éstos fueron menores (<7,7) indicando el predominio de las ACF en la columna de agua aunque con valores ligeramente superiores a los registrados en abril (Fig. 7).

Las anomalías negativas de oxígeno, tanto en abril como en agosto, indicaron valores de oxígeno por debajo del promedio histórico, predominio de ACF y un activo afloramiento costero (Fig. 8). En agosto, hacia la parte oceánica se presentaron anomalías ligeramente positivas en la capa superficial que indicarían el acercamiento de las ASS y mayor oxigenación por encima de los 50 m.

Nutrientes

Las concentraciones de silicatos y nitratos en abril y agosto (Fig. 9) permitieron diferenciar dos periodos. En abril, los silicatos mostraron un claro gradiente que fue disminuyendo de la costa hacia la parte más oceánica, debido a que en la costa el efecto del afloramiento costero generó el incremento de este nutriente; su disminución (<5 µM) hacia la parte oceánica estuvo asociado a la mezcla con masas

In August, low oxygen concentrations (< 3.0 mL/L) were observed in the first 20 nm, increasing outwards (> 5 mL/L). The OMZ, in the coast-to-ocean transect, was located from a depth between 15 m to 50 m. In the first 30 m layer, higher pH values (> 7.8) predominated and below 30 m these were lower (< 7.7) indicating the predominance of CCW in the water column although with slightly higher values than those recorded in April (Fig. 7).

In April and August, negative oxygen anomalies indicated oxygen values lowers the historical value, predominance of CCW, and an active coastal upwelling (Fig. 8). In August, slightly positive anomalies of oxygen were observed offshore, this would indicate the approximation of SSW determining greater oxygenation above 50 m.

Nutrients

The concentrations of nutrients, silicates, and nitrates, obtained in April and August 2018 (Fig. 9) make it possible to differentiate between the two periods. In April, the silicates showed a clear gradient that was decreasing from the coast to the more oceanic area since the effect of the coastal upwelling generated the increase of this nutrient; its decrease (<5 µM) towards the oceanic area was associated to the mixing between oceanic water masses and to the

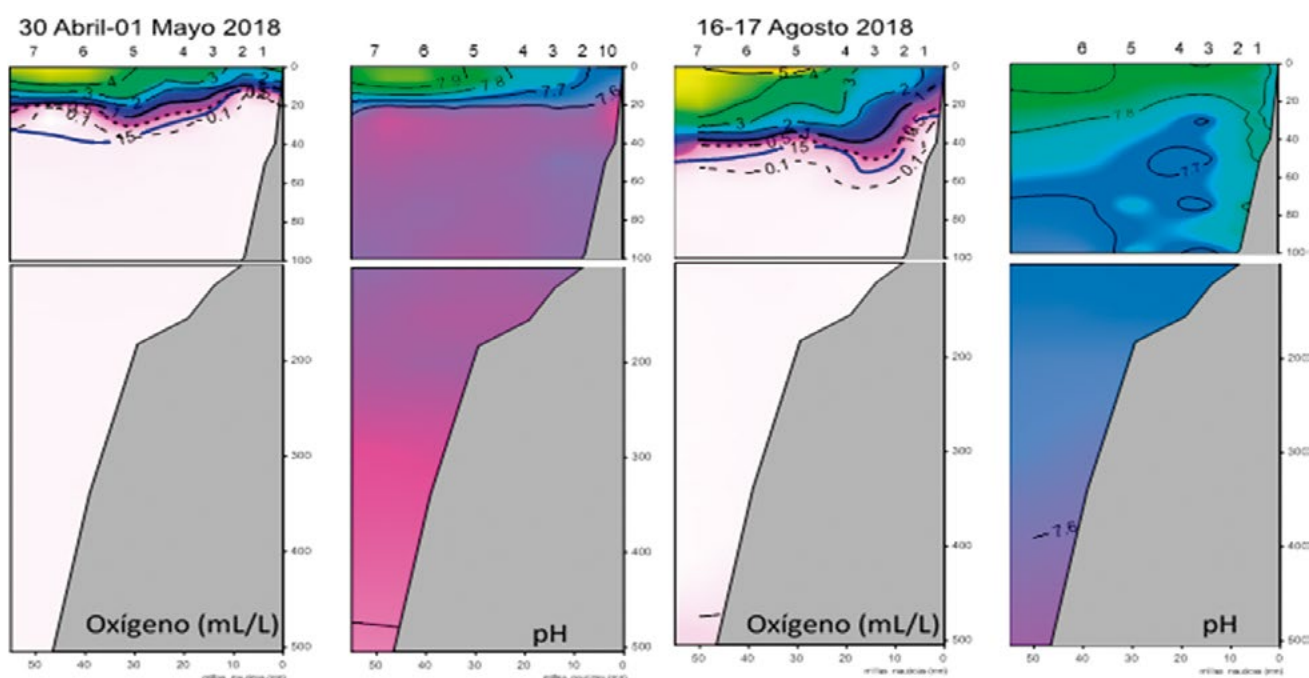


Figura 7.- Distribución vertical de oxígeno disuelto y pH en la línea Callao (estaciones 0-7) entre la costa y las 50 mn

Figure 7. Vertical distribution of dissolved oxygen and pH in the Callao line (stations 0-7) between the coast and 50 nm

de aguas oceánicas y al consumo efectuado por el fitoplancton. Sobre la plataforma este nutriente alcanzó la mayor concentración (>40 μM) que indicó alta remineralización de materia orgánica en un período de mayor productividad.

consumption made by the phytoplankton. On the shelf break, this nutrient reached the highest concentration (>40 μM) indicating high remineralization of organic matter in a period of higher productivity.

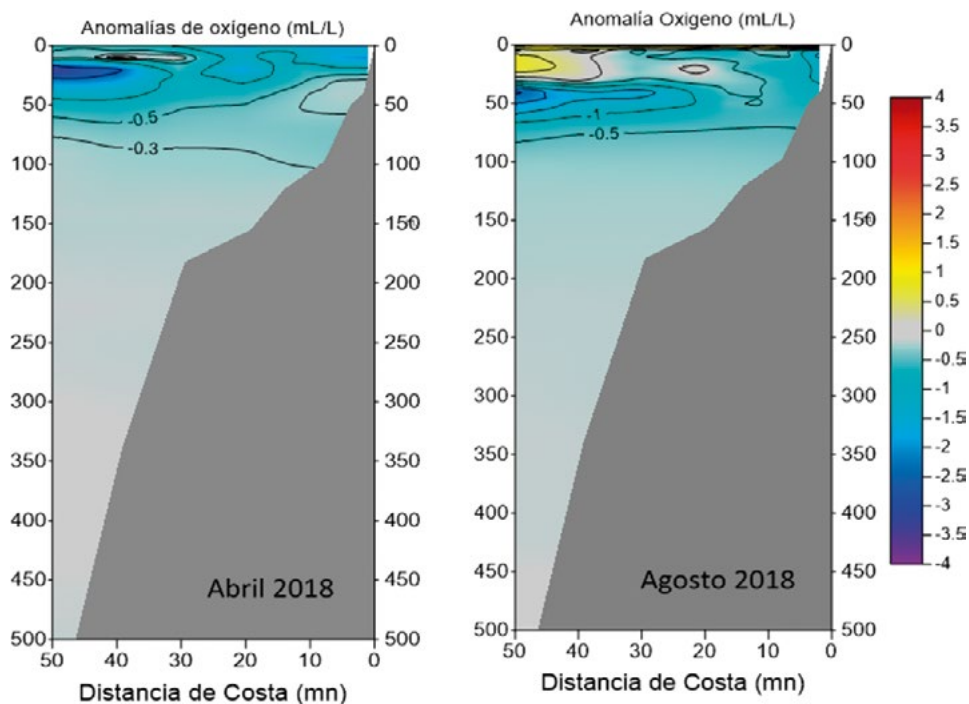


Figura 8.- Distribución vertical de la anomalía de oxígeno disuelto en la línea Callao

Figure 8. Vertical distribution of the dissolved oxygen anomaly in the Callao line

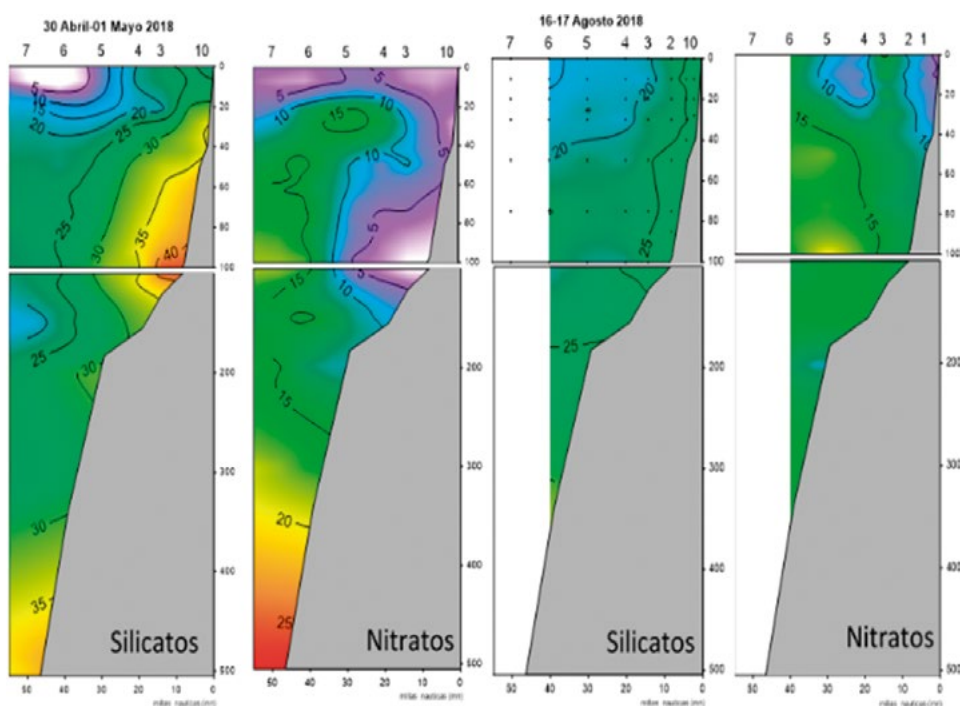


Figura 9.- Distribución vertical de silicatos y nitratos en la línea Callao

Figure 9. Vertical distribution of silicates and nitrates in the Callao line

Los nitratos presentaron otro comportamiento. En abril, tanto en la costa como en la parte oceánica, disminuyeron en la capa superficial debido a la productividad. La disminución en la costa se debió al afloramiento de aguas deficientes en oxígenos, las mismas que favorecen la pérdida de nitrógeno; lo que se corrobora con los bajos valores (<5,0 µM) de este nutriente sobre la plataforma.

En agosto el activo afloramiento costero de ACF se reflejó en altos valores de silicatos (> 30 µM) y nitratos (>10 µM) que se observó en el ascenso de las nutriclinas. Los silicatos si bien disminuyeron hacia la parte oceánica, mantuvieron sus altas concentraciones. En el caso de los nitratos hubo una ligera disminución sobre la plataforma pero más restringida a las estaciones costeras más someras, lo cual se asociaría con la pérdida de nitrógeno, pero en menor proporción que en otoño, que es una época de mayor productividad.

Comunidad biológica

Comunidad planctónica

La información obtenida con los arrastres frente a Callao en abril y agosto se complementó con información registrada en salidas bimestrales. El dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* Parke & Dodge, 1976, que es indicador de Aguas Costeras Frías (ACF), se observó en febrero hasta las 20 mn y en abril hasta las 40 mn (Tabla 1), registrándose codominancia del microfitoplancton con zooplancton en la estación más costera y a 30 mn; mientras que el zooplancton predominó en el resto de la sección Callao.

En agosto *P. obtusum* estuvo restringido a las 3 mn (Tabla 1). La dominancia del fitoplancton se registró principalmente hasta las 15 mn; mientras que el zooplancton fue dominante en el resto de las estaciones.

The nitrates presented a different behavior. In April, they decreased in the surface layer, both on the coast and in the oceanic part, due to productivity. The decrease on the coast was caused by the upwelling of oxygen-deficient waters, which favor the loss of nitrogen; this is corroborated by the low values (<5.0 µM) of this nutrient on the shelf break.

In August, the active coastal upwelling of CCW was reflected in high values of silicates (> 30 µM) and nitrates (>10 µM) which were observed in the ascent of nutriclines. Although the silicates decreased towards the oceanic area, they maintained their high concentrations. Regarding nitrates, there was a slight decrease on the shelf break but more restricted to the shallower coastal stations, which would be associated with the loss of nitrogen, but in less proportion than in autumn, which is a period of higher productivity.

Biological community

Plankton community

The information obtained with the trawls off Callao in April and August was supplemented with information recorded in bimonthly departures. The dinoflagellate *Protoperidinium obtusum* Parke & Dodge, 1976, which is a Cold Coastal Waters (CCW) indicator, was observed in February up to 20 nm and in April up to 40 nm (Table 1). A co-dominance of microphytoplankton with zooplankton was recorded in the most coastal station and at 30 nm; while zooplankton predominated in the remainder stations of the Callao.

In August, *P. obtusum* was restricted to 3 nm (Table 1). The dominance of phytoplankton was mainly recorded up to 15 nm; while zooplankton was dominant in all other stations.

Tabla 1.- Indicadores biológicos de fitoplancton, Callao

Table 1. Biological indicators of phytoplankton, Callao

Fecha	Distancia a la costa (mn)						
	3	8	15	20	30	40	50
12-13 Feb 2018							
30 Abr-01 May 2018							
26-27 Jun 2018							
16-17 Ago 2018							

Leyenda

Protoperidinium obtusum (ACF)

Área no muestreada

Con respecto a los grupos fitoplanctónicos dominantes y los volúmenes presentes en los muestreos, el análisis cuantitativo a lo largo del año indicó cambios en la región costera, en la plataforma externa (30 mn) y en la parte oceánica (Fig. 10). La mayor abundancia de diatomeas se observó en febrero-abril (verano-otoño), cuando representaron aproximadamente el 80%, mientras en invierno predominó el nanoplancton- fitoflagelados tanto en la costa como en la parte oceánica.

Hacia las 30 mn se observó presencia de coccolitofóridos; en febrero alcanzaron casi 20%, contribuyendo a la alta densidad celular registrada. En el caso de los dinoflagelados la mayor abundancia se observó en la parte oceánica en el verano-otoño (Fig. 10).

Quantitative analysis, throughout the year, indicated changes in the coastal region, in the outer shelf break (30 nm), and in the oceanic region. These changes were related to the dominant phytoplankton groups and the volumes present in the sample (Fig. 10). In February-April (summer-autumn), it was observed the greatest abundance of diatoms which represented approximately 80%, while in winter nanoplankton-phytflagellates predominated both on the coast and in the oceanic part.

Towards 30 nm, coccolithophorids were abundant, reached almost 20% in February, contributing to the high recorded phytoplankton cell density. For dinoflagellates, the greatest abundance was observed in the oceanic waters during the summer-autumn (Fig. 10).

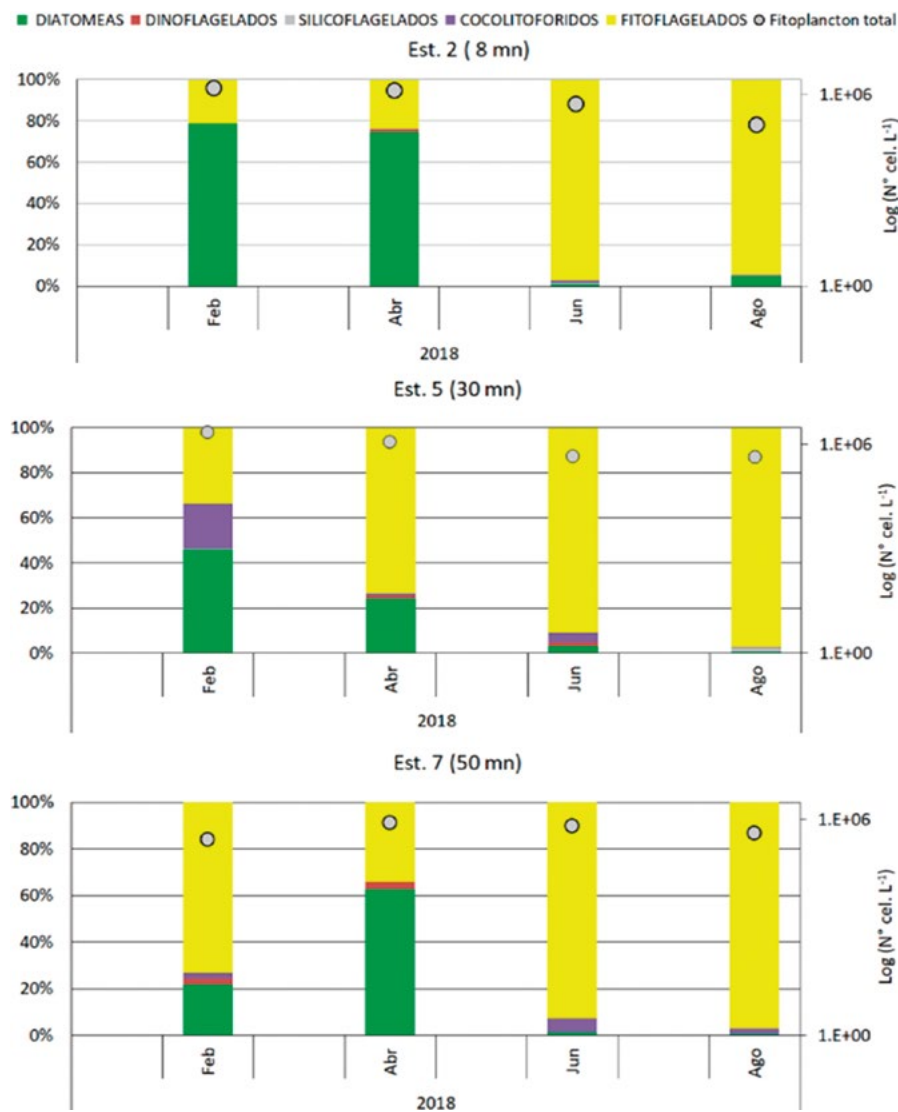


Figura 10.- Densidades celulares (escala logarítmica) y contribución porcentual de los principales grupos fitoplanctónicos a 10 m de profundidad frente a Callao a 8, 30 y 50 mn
 Figure 10. Cell densities (logarithmic scale) and percentage contribution of the main phytoplanktonic groups at a depth of 10 m off Callao at 8, 30, and 50 nm

La composición específica de la comunidad fitoplanctónica de abril (otoño) y agosto (invierno) para la estación costera y oceánica se presenta en las Tablas 2 y 3. En abril, tanto la costa como la parte oceánica, presentó predominio de diatomeas, con floraciones de especies dispuestas en cadena como *Leptocylindrus* cf. *minimus* Gran, 1915; *Leptocylindrus danicus* Schutt, 1900; *Skeletonema costatum* Cleve, 1873 y especies de fases iniciales características del afloramiento costero contribuyendo con el 75% y 63% en la estación más costera (Est. 2) y en la más oceánica (Est. 7). En el caso de la estación oceánica también se presentó, aunque en menor proporción, diatomeas de fase intermedia como *Entomoneis alata* v. *alata* Ehrenberg.

El grupo de dinoflagelados, durante el estudio no representó más del 3% siendo interesante que su mayor contribución ocurriera en la estación oceánica, con *Prorocentrum cordatum* Dodge, 1975 (Tabla 2), especie potencialmente tóxica y del dinoflagelado *Akashiwo sanguinea* Hansen & Moestrup, 2000.

Tables 2 and 3 presents the specific composition of the phytoplankton community in April (autumn) and August (winter) 2018. In April, both the coast and the oceanic areas were dominated by diatoms, with algal blooms of species arranged in a chain such as *Leptocylindrus* cf. *minimus* Gran, 1915; *Leptocylindrus danicus* Schutt, 1900; *Skeletonema costatum* Cleve, 1873 and early-stage species characteristic of coastal upwelling contributing 75% and 63% in the most coastal (Est. 2) and most oceanic (Est. 7) stations. Intermediate-stage diatoms such as *Entomoneis alata* v. *alata* Ehrenberg were also present, although to a lesser extent in the oceanic station.

During the study, dinoflagellates did not represent more than 3%. Their greater contribution occurred in the oceanic station, especially *Prorocentrum cordatum* Dodge, 1975 (Table 2), a potentially toxic species and the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea* Hansen & Moestrup, 2000.

Tabla 2.- Composición específica del fitoplancton durante abril 2018 (especies más abundantes)

Table 2. Specific composition of phytoplankton in April 2018 (most abundant species)

ESTACION	2 (8 mn)	ESTACION	7 (50 mn)
Profundidad (m)	10	Profundidad (m)	10
Abundancias celulares	cel/L	Abundancias celulares	cel/L
DIATOMEAS		DIATOMEAS	
<i>Leptocylindrus</i> cf. <i>minimus</i>	596,000	<i>Leptocylindrus danicus</i>	436,000
<i>Skeletonema costatum</i>	256,000	<i>Entomoneis alata</i> v. <i>alata</i>	23,360
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	107,960	<i>Chaetoceros debilis</i>	16,360
Pennate (N.I.)	28,000	<i>Eucampia zoodiacus</i>	10,120
<i>Amphiprora</i> sp.	24,120	<i>Amphora</i> sp.	8,160
<i>Entomoneis alata</i> v. <i>alata</i>	11,680	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	4,720
Grupo <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	10,720	Grupo <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	3,880
<i>Chaetoceros debilis</i>	5,160	<i>Pseudo-nitzschia pacifica</i>	3,400
Otras especies	15,080	Otras especies	10,440
DINOFLAGELADOS		DINOFLAGELADOS	
<i>Prorocentrum cordatum</i>	7,760	<i>Prorocentrum cordatum</i>	17,280
<i>Gymnodinium</i> sp.	6,000	<i>Prorocentrum triestinum</i>	6,440
<i>Prorocentrum triestinum</i>	1,000	<i>Akashiwo sanguinea</i>	440
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	600	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	280
FITOFLAGELADOS		FITOFLAGELADOS	
Fitoflagelados (N.I.)	336,000	<i>Eutreptiella gymnastica</i>	160
<i>Leucocryptos marina</i>	4,000	Fitoflagelados (N.I.)	280,000

Tabla 3.- Composición específica del fitoplancton durante agosto 2018 (especies más abundantes)

Table 3. Specific composition of phytoplankton in August 2018 (most abundant species)

ESTACION	2 (8 mn)	ESTACION	6 (40 mn)
Profundidad (m)	10	Profundidad (m)	10
Abundancias celulares	cel/L	Abundancias celulares	cel/L
DIATOMEAS		COCOLITOFORIDOS	
<i>Chaetoceros debilis</i>	2,080	<i>Emiliana huxleyi</i>	5,000
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	1,160	<i>Ophiaster hydroideus</i>	5,000
<i>Chaetoceros didymus</i>	880		
<i>Skeletonema costatum</i>	640	FITOFLAGELADOS	
Otras especies	1,300	Fitoflagelados (N.I.)	408,000
FITOFLAGELADOS			
Fitoflagelados (N.I.)	112,000		

En agosto (invierno) las mayores abundancias fueron de fitoflagelados (Fig. 10). Se observó mayor contribución en la costa, de diatomeas centrales de afloramiento y de fases iniciales de sucesión como *Chaetoceros debilis* Cleve, 1894, *Chaetoceros lorenzianus* Grunow, 1863, *Chaetoceros didymus* Ehrenberg, 1845 (Tabla 3).

En la estación oceánica se observó el mayor desarrollo de cocolitofóridos como *Emiliana huxleyi* Hay & Mohler, 1967 y *Ophiaster hydroideus* Lohmann, 1913. Estas especies fueron registradas anteriormente en el área, alcanzando mayor abundancia y distribución más costera durante condiciones Niño y un máximo impacto durante El Niño costero 2017. La mayor abundancia se asocia con un ambiente de mayor pH, como el de las ASS.

Comunidad bentónica

El análisis de la macrofauna y abundancia de los principales grupos en la estación costera frente a Callao (estación 2) se presenta en la figura 11. En general se puede observar que la abundancia, especialmente en abril 2018, presenta una reducción significativa comparada con el año 2017.

En relación a los poliquetos, *Magelona phyllisae* Jones, 1963 presentó amplia dominancia porcentual alcanzando cerca del 100%, tanto en abril como en agosto 2018, siendo los valores más altos observados desde el año 2016, con valores reducidos de *Hermundura fauveli* Berkeley y Berkeley, 1941. En agosto 2017 y 2016, *Paraprionospio pinnata* Ehlers, 1901 fue el de mayor dominancia (Fig. 11a).

En relación a la biomasa (g/m²) los valores se mantienen por debajo de 5 g/m², en cuanto a contribución porcentual de biomasa húmeda, *M. phyllisae* y los Nemertea tuvieron porcentajes similares en abril 2018; mientras que, en agosto 2018, *H. fauveli* (más de 60%), Nemertea (20%) y *M. phyllisae* (10%) fueron los dominantes (Fig. 11).

In August (winter), phytoflagellates showed the highest abundances (Fig. 10). A greater contribution was observed on the coast from central diatoms of upwelling and early succession stages such as *Chaetoceros debilis* Cleve, 1894, *Chaetoceros lorenzianus* Grunow, 1863, *Chaetoceros didymus* Ehrenberg, 1845 (Table 3).

The maximum development of coccolithophorids, such as *Emiliana huxleyi* Hay & Mohler, 1967 and *Ophiaster hydroideus* Lohmann, 1913, was observed in the oceanic station. These species were previously recorded in the area, reaching greater abundance and more coastal distribution during El Niño conditions and maximum impact during El Niño Costero 2017. Greater abundance is associated with a higher pH environment, such as SSW.

Benthic community

The analysis of the macrofauna and abundance of the main groups in the coastal station off Callao (station 2) is presented in Figure 11. In general, it can be observed that abundance, especially in April 2018, shows a significant reduction compared to 2017.

In April and August 2018, the polychaete *Magelona phyllisae* Jones, 1963 presented a wide percentage dominance reaching close to 100% being the highest values observed since 2016, with reduced values of *Hermundura fauveli* Berkeley & Berkeley, 1941. In August 2017 and 2016, *Paraprionospio pinnata* Ehlers, 1901 was the most dominant (Fig. 11a).

Regarding biomass (g/m²) the values remain below 5 g/m², in terms of percentage contribution of wet biomass, *M. phyllisae* and Nemertea had similar percentages in April 2018, while in August 2018, *H. fauveli* (more than 60%), Nemertea (20%), and *M. phyllisae* (10%) were dominant (Fig. 11).

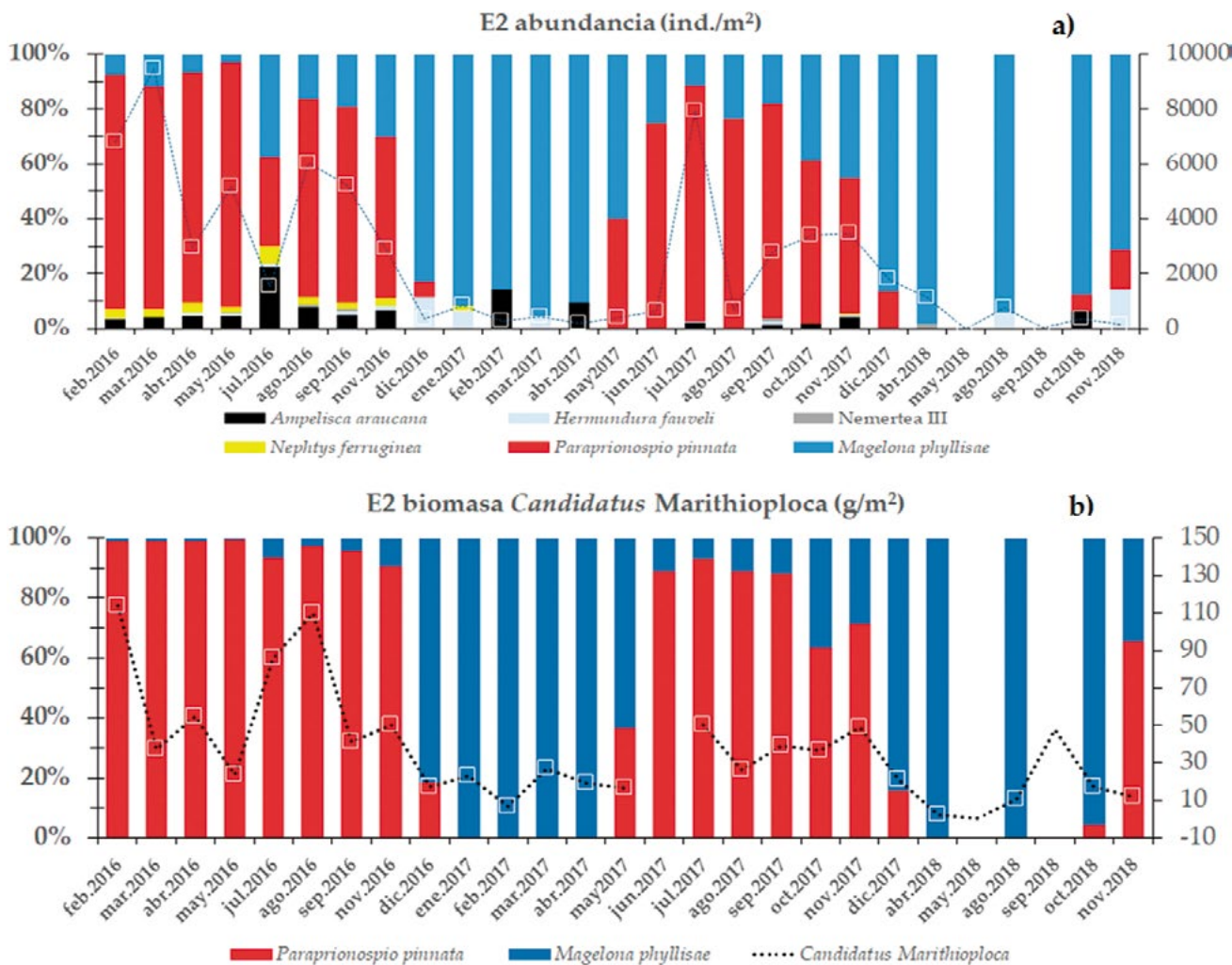


Figura 11.- Abundancia de individuos y contribución porcentual de los principales grupos de macrofauna y biomasa de *Candidatus Marithioploca* (g/m²) y porcentaje en relación a los grupos dominantes frente a Callao E2 a 8 mn AFIOB, LBM, IMARPE

Figure 11. Abundance of individuals and percentage contribution of the main macrofauna and biomass groups of *Candidatus Marithioploca* (g/m²) and percentage in relation to the dominant groups off Callao E2 at 8 nm AFIOB, LBM, IMARPE

Desde diciembre de 2017, en el bacteriobentos *Candidatus Marithioploca*, se observó un descenso importante. En abril y mayo 2018 la biomasa húmeda mostró los menores valores registrados en los dos últimos años, lo que se mantuvo en agosto 2018 (Fig. 11b). Esto indica y confirma la mayor presencia de *P. pinnata* con relación a la mayor biomasa de *Candidatus Marithioploca*, mientras que con *M. phyllisae* la relación es inversa, y se asociaría con un ambiente ligeramente más oxigenado y cambios en la disponibilidad de materia orgánica. Es interesante observar en mayo y septiembre 2018, a partir de la información obtenida en el punto fijo Callao (E2) la defaunación que, a su vez, se asocia en septiembre con el incremento de *Candidatus Marithioploca*. El ambiente bentónico y la macrofauna aparecen como indicadores muy

Since December 2017, a significant decrease was observed in the bacteriobenthos *Candidatus Marithioploca*. In April and May 2018, the wet biomass showed the lowest values recorded in the last two years, which was maintained in August 2018 (Fig. 11b). This indicates and confirms the greater presence of *P. pinnata* in relation to the greater biomass of *Candidatus Marithioploca*, while with *M. phyllisae* the ratio is inverse. These patterns would be associated with a slightly more oxygenated environment and changes in the organic matter availability. In May and September 2018, from the information obtained at Callao (E2), it is interesting to observe the defaunation that, in turn, is associated in September with the increase of *Candidatus Marithioploca*. The benthic environment and the macrofauna appear as

sensibles a los cambios y con capacidad de dar respuesta. Por otra parte, dado sus ciclos de vida pueden reflejar condiciones previas asociadas a sus períodos de reclutamiento. Estos aspectos se están investigando.

En relación al estudio de foraminíferos, el grupo de los calcáreos es el de mayor contribución tanto en la estación costera como oceánica en ambos períodos (Fig. 12). En tanto que, los aglutinados no se observaron, a diferencia de El Niño 2015-2016 en que fueron muy abundantes. A nivel específico, *Bolivina seminuda* Cushman, 1911 y *Bolivina costata* Cushman, 1926 fueron significativas en abril de 2018 en la estación más costera (E2) seguida por *Buliminella tenuata* Cushman, 1927 y *Nonionella auris* (d'Orbigny, 1839). Por su parte, *B. seminuda* se observó desde principios del evento El Niño costero, mientras que en el período de invierno dominó *B. costata*.

En abril, la comunidad en la estación más oceánica (E5), estuvo dominada por *B. seminuda* y *B. tenuata* y, en menor fracción por *Bolivina pacifica* Cushman & McCulloch, 1942 seguida de *N. auris*.

very sensitive indicators to benthic changes. On the other hand, given their life cycles, they may reflect previous conditions associated with their recruitment periods. These aspects are currently being investigated.

Regarding the study of forams, the calcareous group has the main contribution both in the coastal and oceanic stations in both periods (Fig. 12). The agglutinated ones were not observed, unlike El Niño 2015-2016 when they were very abundant. At the species level, *Bolivina seminuda* Cushman, 1911 and *Bolivina costata* Cushman, 1926 had a significant abundance in April 2018 in the most coastal station (E2) followed by *Buliminella tenuata* Cushman, 1927 and *Nonionella auris* (d'Orbigny, 1839). On the other hand, *B. seminuda* was observed from the beginning of the El Niño Costero event, while in the winter period *B. costata* dominated.

In April, *B. seminuda* and *B. tenuata* and, to a lesser extent, by *Bolivina pacifica* Cushman & McCulloch, 1942 followed by *N. auris* dominated the community at the most oceanic station (E5).

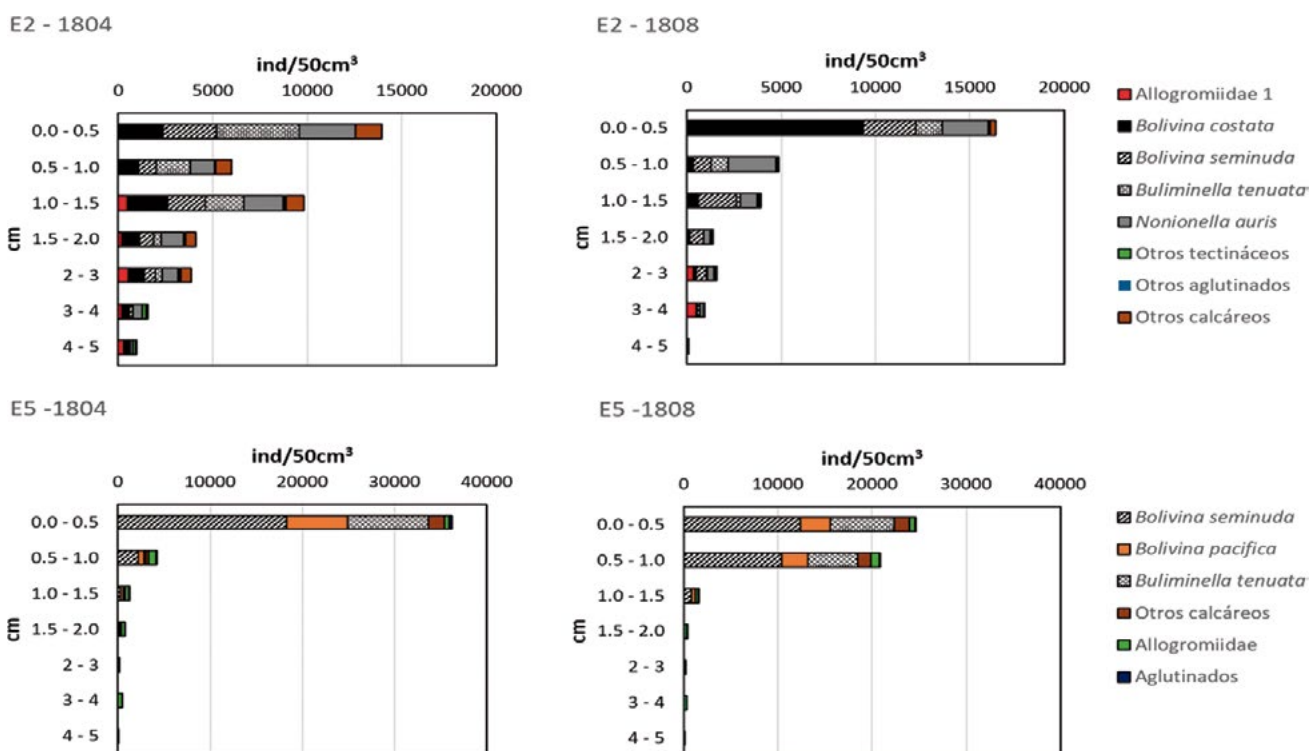


Figura 12.- Distribución vertical de foraminíferos bentónicos en la columna de sedimento (0-5 cm) de la estación 2 y 5, Callao en abril y agosto 2018

Figure 12. Vertical distribution of benthic forams in the sediment column (0-5 cm) of stations 2 and 5, Callao in April and August 2018

Contenido de Clorofila-a en sedimento marino y aspectos biogeoquímicos

En relación a las condiciones biogeoquímicas en el sedimento, el análisis de la clorofila-a en abril e inicio del invierno 2018 mostró el cambio estacional, alcanzando valores aproximados de 20 µg Chla/g en la época productiva y disminuyendo hacia el invierno, alcanzando un valor de 8,5 µg Chla/g (Fig. 13). Los valores son menores a los del año 2015 en el período productivo, mientras que en el invierno son comparables.

Los sedimentos marinos recolectados frente a Callao, en las estaciones E0, E2 y E5, se caracterizaron por su color verde grisáceo oscuro y negro grisáceo, siendo propio de suelos donde la actividad sulfato reductora es intensa y el potencial redox fluctúa entre -100 mv y -158 mv (Tabla 4). En el caso de las estaciones más costeras se observó mayor producción de sulfuros de hidrógeno en relación a la plataforma externa, existiendo también cambio estacional asociado a la productividad.

El análisis del agua intersticial mostró los cambios redox en la columna de sedimento para las estaciones costeras y en la plataforma externa en abril y agosto 2018 (Tabla 5). Se observó en el caso de los sedimentos del Callao la condición redox negativa que se intensificó en profundidad indicando sedimento con características reductoras resultado de la condición

Chlorophyll-a content in marine sediment and biogeochemical aspects

Regarding the biogeochemical conditions in the sediment, the analysis of chlorophyll-a in April and early winter 2018 showed the seasonal change, reaching values of approximately 20 µg Chla/g in the productive season and decreasing towards winter reaching a value of 8.5 µg Chla/g (Fig. 13). The values are lower than those of 2015 in the productive period, while in the winter they are similar.

The marine sediments collected off Callao, at stations E0, E2, and E5 were characterized by their dark grayish-green and grayish-black colors, being typical of soils where the reducing sulfate activity is intense and potential redox fluctuates between -100 mv and -158 mv (Table 4). It was observed that the production of hydrogen sulfides was higher in the coastal sediments as compared to the outer shelf break, and there was also a seasonal change associated with productivity.

In April and August 2018, the pore-water analysis showed redox changes in the sediment column between the coastal and on the outer shelf break stations (Table 5). Negative redox condition that intensified in depth indicating sediment with reducing characteristics resulting from

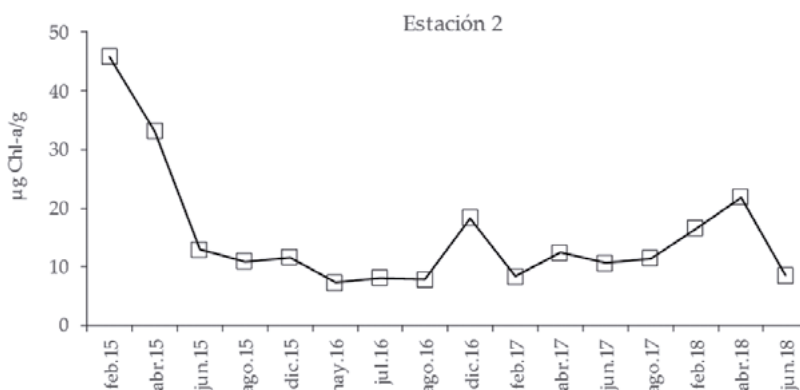


Figura 13.- Serie de tiempo de clorofila-a superficial en sedimentos de la estación 2, Callao entre febrero 2015 y junio 2018

Figure 13. Surface chlorophyll-a time series in station 2 sediments, Callao between February 2015 and June 2018

Tabla 4.- Características biogeoquímicas del sedimento frente a Callao

Estación	Fecha	Profundidad	Redox	MOT %	CT%	NT%	CaCO ₂ %	C/N	H ₂ S
0	30/04/2018	30	-89	8,94	3,94	0,53	18,14	7,44	135,09
2	01/05/2018	85	-109	13,04	4,88	0,67	15,73	7,28	12,087
5	02/05/2018	150	-140	28,04	6,32	0,89	20,45	7,10	
0	16/08/2018	30	-220	9,91	3,94	0,62	19,46	6,35	
2	17/08/2018	85	-61	14,01	5,68	0,75	27,22	7,57	0,15
5	02/07/2018	150	-140	30,47	6,25	0,98	12,55	6,37	1,68

deficiente en oxígeno que baña los sedimentos y a su vez de la disponibilidad de materia orgánica fresca que favorece la sulfato reducción.

En agosto, período de invierno, si bien se mantuvo la condición redox se observó que los valores mayores se encontraron más profundos, posiblemente resultado de la menor disponibilidad de materia orgánica fresca en las capas superficiales.

En relación al pH se observó el mismo patrón, aumentando en profundidad. Las condiciones de mayor "acidez" o pH más bajo se encontraron en superficie, en abril la estación más costera es la que presentó los menores valores comparado con agosto (Tabla 5, Fig. 14). Es la consecuencia de la mayor producción de CO₂ resultado de la remineralización de la materia orgánica; hacia la profundidad se contrarrestó con el efecto del incremento de la sulfato reducción.

the oxygen-deficient condition and the high availability of fresh organic matter that favors sulfate reduction was observed in the sediments from Callao.

In August (winter period) while the redox condition was maintained, it was observed that the higher values were found deeper, possibly resulting from the lower availability of fresh organic matter in the surface layers.

Regarding pH, the same pattern was observed, increasing in-depth. In April, the conditions of greater "acidity" or lower pH were found on the surface (Table 5, Fig. 14). Lower pH consequence of the higher CO₂ production resulting from the remineralization of the organic matter. Towards the depth, it was counteracted by the effect of the sulfate reduction that increased.

Tabla 5.- Características de la columna de sedimento (potencial Redox) y del agua intersticial (pH) CRIO Abril 2018 y agosto 2018

Table 5. Characteristics of sediment column (Redox potential) and interstitial water (pH) CRIO April 2018 and August 2018

ABRIL 2018 LÍNEA CALLAO					AGOSTO 2018 LÍNEA CALLAO				
Estación	Profundidad (m)	Redox (mV)	Profundidad (m)	pH	Estación	Profundidad (m)	Redox (mV)	Profundidad (m)	pH
E 0	0	36	0-1	6,52	E 2	0	-61	0-1	6,79
	-2	-122	1-2	6,92		-2	-135	1-2	6,68
	-3	-179	2-3	7,32		-3	-78	2-3	6,90
	-5	-396	3-4	7,54		-5	-177	3-4	6,95
	-8	-429	4-5	7,63		-8	-132	4-5	6,48
	-10	-240	5-6	7,52		-10	-321	5-6	7,09
	-13	-456	6-7	7,38		-13		6-7	6,98
			7-8	7,83				7-8	6,97
			8-9	7,63				8-9	7,05
E 2	0	40	0-1	6,37	E 5	0	33	0-1	6,26
	-2	-100	1-2	7,16		-2	26	1-2	6,35
	-3	-140	2-3	7,15		-3		2-3	6,43
	-5	-363	3-4	7,17		-5	-103	3-4	6,44
	-8	-200	4-5	7,14		-8	-148	4-5	6,46
	-10	-385	5-6	7,31		-10	-288	5-6	6,48
	-13	-258	6-7	7,42		-13		6-7	6,50
			7-8	7,43				7-8	6,53
			8-9	7,45				8-9	6,80
E 5			9-10	7,39			9-10	7,06	
	0	49	0-1	7,19					
	-2	-94	1-2	7,23					
	-3	-348	2-3	7,27					
	-5	-297	3-4	7,30					
	-8	-389	4-5	7,65					
	-10	-197	5-6	7,65					
	-13	-428	6-7	7,66					
			7-8	7,76					
		8-9	7,79						
		9-10	7,92						

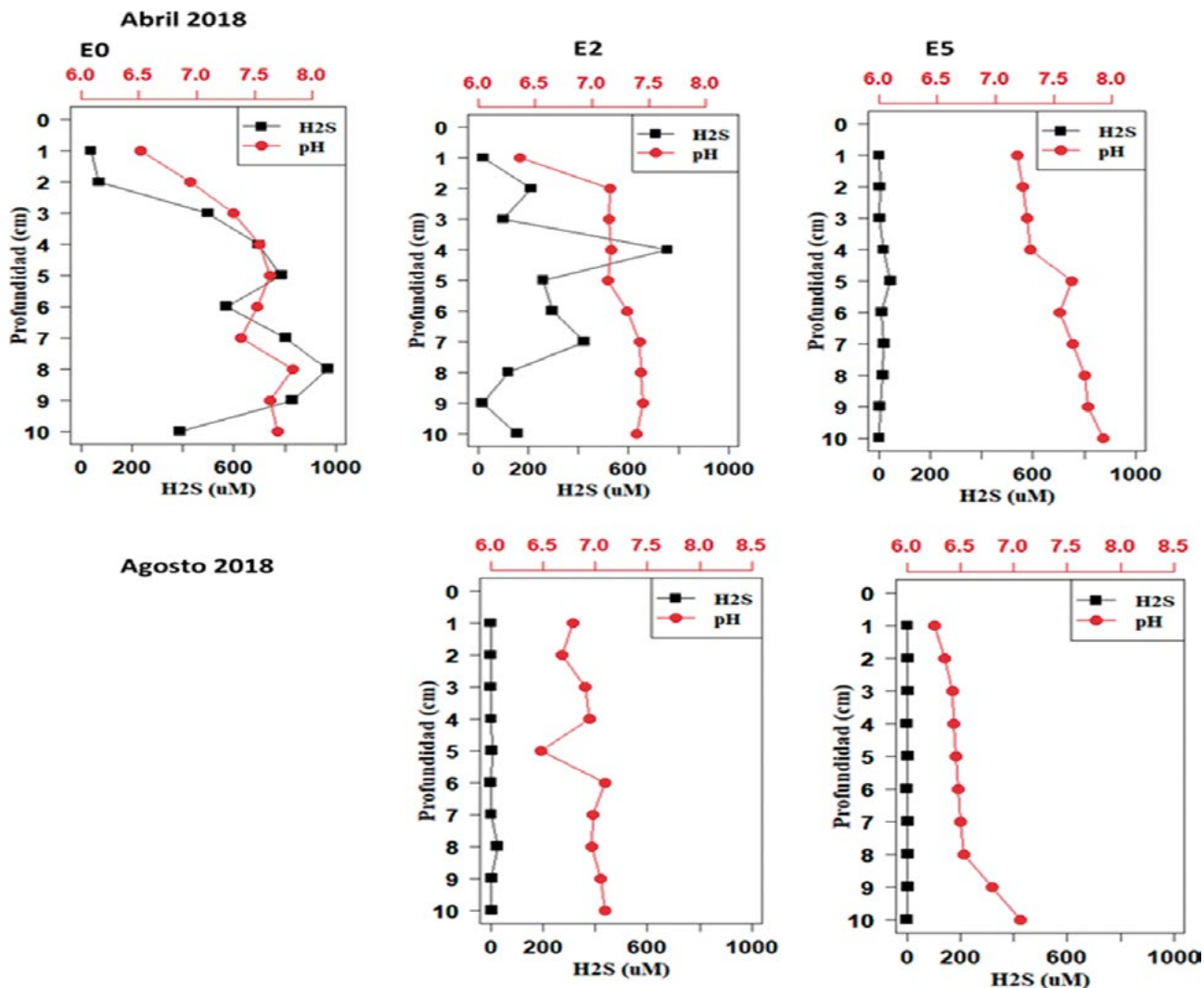


Figura 14.- Perfiles verticales de H₂S y pH en la el agua intersticial de los sedimentos frente a Callao. Abril 2018: E0, E2 y E5 y en agosto 2018: E2 y E5

Figure 14. Vertical profiles of H₂S and pH in the interstitial water of the sediments off Callao. April 2018: E0, E2, and E5 and in August 2018: E2 and E5

Finalmente, en agosto los resultados de H₂S en la zona costera mostraron bajos valores, como resultado de la menor disponibilidad de materia orgánica, lo que es propio del cambio de estación. También se observó disminución de clorofila en el sedimento (Fig. 13). En invierno se registró una significativa disminución del pH.

4. DISCUSIÓN

Los cruceros CRIO frente a Callao permitieron caracterizar en el año 2018 las condiciones del período otoño, de mayor productividad, e invierno, de mayor afloramiento, para la zona central de Perú. El 2018 presentó a inicios de año condiciones frías, resultado del evento La Niña y posteriormente la tendencia a la normalización que se observó desde el invierno (ENFEN, 2018). A diferencia de

Finally, the H₂S results in the coastal zone showed low values in August, as a consequence of the lower availability of organic matter, which is characteristic of the change of season. A decrease in chlorophyll was also observed in the sediment (Fig. 13). In winter, there was a significant decrease in pH.

4. DISCUSSION

In 2018, the Intensive Oceanographic Cruises (CRIO in Spanish) off Callao made it possible to characterize the oceanographic conditions during greater productivity, autumn period, and greater upwelling intensity, winter, for the central zone of Peru. In early 2018, cold conditions emerged as a result of the La Niña event and since winter, a tendency to normalization observed (ENFEN,

los años 2015-2016 y 2017 (GRACO *et al.*, 2016) el año 2018 no presentó un evento El Niño, aunque en algunos meses se observó el impacto de ondas Kelvin cálidas (ENFEN, 2018). Los vientos fueron variables durante el año, en abril presentaron intensidades débiles y moderadas predominando valores menores a 4 m/s sugiriendo una menor persistencia del afloramiento costero (< 20%) en la zona central. Hacia el invierno se intensificaron los vientos, alcanzando en agosto intensidades de vientos moderados a fuertes (> 5 m/s) y una alta persistencia del afloramiento costero (> 90%) que se mantuvo hasta fin de año.

En general, durante el estudio, las condiciones oceanográficas indicaron en la zona costera central la presencia de Aguas Costeras Frías (ACF, salinidad <35,1 ups). En abril, en toda la transecta predominaron temperaturas menores a 18 °C y anomalías negativas. En agosto, si bien se observó un afloramiento costero activo, también se acercaron Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) lo cual se manifestó en condiciones de anomalías positivas por fuera de las 40 mn. La isoterma de 15 °C se distribuyó muy somera, en abril por encima de los 30 m y de los 50 m en agosto, ascendiendo hacia la superficie en las primeras mn por efecto de un afloramiento muy costero.

Las condiciones químicas, indicaron un núcleo del afloramiento costero en las primeras estaciones (15 mn), con bajas concentraciones de oxígeno en la superficie. Por su parte, la distribución de la ZMO y la posición de las isoxígenas de 1,0 mL/L y 0,5 mL/L se presentaron someras, con un límite superior por encima de los 30 m en abril, mientras en invierno se profundizó alcanzando los 50 m en la parte oceánica. La posición somera de la ZMO sigue lo encontrado en estudios previos, en los inviernos puede profundizarse por la intensificación de vientos que favorecen mayor turbulencia y menor productividad de la columna de agua (GRACO *et al.*, 2017); e incluso desaparecen de la plataforma durante el Niño (LEDESMA, 2011; GRACO *et al.*, 2017). La distribución de la ZMO sigue la de la isoterma de 15 °C y la presencia de las ACF. La mayor profundización de la ZMO en invierno, las anomalías de oxígeno y los altos valores de PH hacia la parte oceánica, corroboraron el acercamiento de las ASS.

En relación a los nutrientes, altos silicatos se presentaron dentro de las 20 mn que al igual que el bajo oxígeno indicaron el afloramiento de ACF. El incremento en abril de silicatos sobre la plataforma reflejó la intensa remineralización que

2018). Unlike 2015-2016 and 2017 (GRACO *et al.*, 2016) 2018 did not present an El Niño event, although in some months the impact of warm Kelvin waves was observed (ENFEN, 2018). The winds were variable throughout the year. In April, winds presented weak and moderate intensities predominating values lower than 4 m/s suggesting a lower persistence of the coastal upwelling (< 20%) in the central zone. Towards winter, winds were more intense, reaching moderate to strong intensities in August (> 5 m/s). The high persistence of the coastal upwelling (> 90%) was maintained until the end of the year.

Overall, during the study, oceanographic conditions indicated the presence of Cold Coastal Waters (CCW, salinity <35.1 ups) on the central coast. In April, temperatures below 18° C and negative anomalies predominated throughout the transect. In August, although an active coastal upwelling was observed, Surface Subtropical Waters (SSW) were also approached, resulting in conditions of positive anomalies outside 40 nm. In April (above 30 m) and in August (above 50 m), the 15 °C isotherm was distributed very shallow ascending towards the surface in the first nm caused by the effect of near coastal upwelling.

The chemical conditions revealed a nucleus of the coastal upwelling in the first stations (15 nm), with low oxygen concentrations on the surface. On the other hand, the OMZ distribution and the isoxigen position of 1.0 mL/L and 0.5 mL/L were shallow, with an upper limit above 30 m in April, while in winter it deepened reaching 50 m in the oceanic part. The shallow position of the OMZ agrees with previous studies that show a deepening in winter resulting in the intensification of the winds favorable to increase turbulence and determining lower productivity of the water column (GRACO *et al.*, 2017). The OMZ even disappear from the shelf break during El Niño (LEDESMA, 2011; GRACO *et al.*, 2017). The distribution of the OMZ follows that of the 15 °C isotherm and the presence of the CCW. In winter, the greater depth of the OMZ, the oxygen anomalies, and the high pH values towards the oceanic part corroborated the approximation of SSW.

Regarding the nutrients, high silicates were presented within 20 nm which, like the low oxygen, indicated the CCW upwelling. In April, the silicates increase on the continental

no se observó en agosto en que hay un menor acoplamiento bentopelágico (GRACO *et al.*, 2017). Los nitratos presentaron bajas concentraciones en abril resultado del consumo en condiciones deficientes en oxígeno y mayor disponibilidad de materia orgánica, a diferencia de agosto en que ocurre un proceso de afloramiento costero más intenso y en consecuencia una mayor advección de nutrientes.

Los datos satelitales de clorofila-a mantuvieron el patrón estacional que se observó en las otras variables estudiadas. En abril se observaron anomalías negativas en la costa y positivas hacia afuera (entre 2 y 4 mg/m³). En invierno disminuyó aún más la concentración de clorofila-a, aspecto característico para esa época del año en el afloramiento frente a Perú. La distancia a la costa del límite entre una zona de mayor o menor productividad (isolínea de 1 mg/m³) mostró el repliegue hacia la costa en agosto que indica menor extensión de las aguas productivas en relación con abril y por dentro de la climatología de este frente. En efecto, en invierno si bien se espera una disminución de la Clorofila-a y la productividad (ECHEVIN *et al.*, 2008), por efecto del afloramiento intenso se ha reportado una mayor extensión de la condición de 1 mg/m³, tal como lo demostraron los estudios de CALIENES (2014).

A nivel de grupos fitoplanctónicos se pueden observar cambios espaciales, entre las diferentes estaciones de muestreo y períodos del año. En la parte costera dominaron las diatomeas en verano-otoño y los fitoflagelados en el invierno, en toda la transecta. El predominio de la fracción pequeña de fitoplancton en estaciones oceánicas y durante períodos de poca productividad se ha observado en otros estudios (BERNALES, pers. comm., ALVITES *et al.*, 2016). En verano-otoño las estaciones más oceánicas presentaron abundantes cocolitofóridos y dinoflagelados, estos últimos con una contribución muy reducida. La abundancia de cocolitofóridos también se observó hacia el invierno aunque con una contribución significativamente menor. La abundancia de este grupo calcáreo se asocia con la presencia de ASS y condiciones de mayor pH, con mayor contribución en condiciones El Niño como se observó en el 2015-2016 y en el 2017 (ALVITES, 2016). En relación a indicadores de ACF, se observó *Protoperidinium obtusum* en abril dentro de las 20 mn, mientras en agosto solo se alcanzó las 3 mn, presentándose diatomeas de aguas cálidas *Achnanthes longipes* a partir de las 8 mn y *Chaetoceros convolutus* y *Chaetoceros coarctatus* desde las 30 mn indicando mezcla y la presencia de las ASS. Esto nos muestra la alta dinámica del sistema

shelf revealed the intense remineralization that was not observed in August when there is less benthopelagic coupling (GRACO *et al.*, 2017). Also in April, nitrates showed low concentrations as a result of consumption under high oxygen-deficient conditions and greater availability of organic matter. The opposite was observed in August under a more intense upwelling process and the advection of high nutrients.

Satellite chlorophyll-a data maintained the seasonal pattern observed in the other variables studied. In April, negative anomalies were observed on the coast and positive offshore (between 2 and 4 mg/m³). In winter, the concentration of chlorophyll-a decreased and also the distance to the coast of the boundary between a greater or lesser productivity area (1 mg/m³ isoline). Indeed, in winter a decrease in Chlorophyll-a and productivity is expected (ECHEVIN *et al.*, 2008), caused by the effect of the intense upwelling, however, a greater extension of the 1 mg/m³ condition has been reported, as demonstrated by the studies of CALIENES (2014).

At the level of phytoplankton groups, spatial changes can be observed between the different sampling stations and periods of the year. In the coastal part, diatoms dominated in summer-autumn and phytoflagellates in winter, throughout the transect. The predominance of the small fraction of phytoplankton in oceanic stations and during periods of low productivity has been observed in other studies (BERNALES, pers. comm., ALVITES *et al.*, 2016). In summer-autumn, the most oceanic stations presented abundant cocolithophorids and dinoflagellates, the latter with a reduced contribution. The presence of cocolithophorids was also observed towards winter, although with a significantly lower contribution. The abundance of this calcareous group is associated with the presence of SSW and higher pH conditions, as during El Niño conditions observed in 2015-2016 and 2017 (ALVITES, 2016). Concerning CCW indicators, *Protoperidinium obtusum* was observed in April at 20 nm, while in August it only reached 3 nm, warm water diatoms such as *Achnanthes longipes* (from 8 nm) and *Chaetoceros convolutus* and *Chaetoceros coarctatus* (from 30 nm) were present, indicating mixture and the presence of SSW. This shows the high dynamics of the system and the need to consider multiple variables for a correct characterization of the coastal upwelling and its dynamics.

y la necesidad de considerar múltiples variables para una correcta caracterización del afloramiento costero y su dinámica.

En relación al bentos, igualmente refleja cambios pero integrando períodos de tiempo más largos, como la escala interanual y el efecto de El Niño. En particular los eventos como El Niño 1997-98 generan una gran oxigenación que impacta incluso en los sedimentos y modifican drásticamente la comunidad bentónica (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Estudios en la plataforma central en años normales muestran el predominio de poliquetos, principalmente *Paraprionospio pinnata* asociado a condiciones de intensa ZMO y alta carga de materia orgánica lábil (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). El año 2018, la plataforma central se caracterizó por el predominio en el bentos de poliquetos pero de la especie *Magelona phyllisae* y la ausencia del poliqueto *Paraprionospio pinnata*. Además, el bacteriobentos *Candidatus* *Marithioploca* disminuyó significativamente. *Candidatus* *Marithioploca* ha sido asociada a sedimentos altamente reducidos, con altos H_2S y una intensa deficiencia en oxígeno. Estas condiciones son modificadas durante eventos de oxigenación. Desde diciembre de 2017, se observó en el bacteriobentos un descenso importante, a partir de abril de 2018, la biomasa húmeda presentó los menores valores registrados en los dos últimos años que se mantuvieron en agosto de 2018. Por su parte, disminuyó o desapareció *Paraprionospio pinnata* y aumentó *Magelona phyllisae*. Igualmente en el grupo de foraminíferos bentónicos se observó la presencia de *Bolivina pacifica* que ocurre con más frecuencia en postoxia, lo cual indica ausencia de sulfuros y mayor materia orgánica preservada a diferencia de ambientes anóxicos en que predominan *Bolivina seminuda* y *Buliminella tenuata* Cushman, 1927. Estos cambios en la macrofauna y los foraminíferos si bien no son cambios dramáticos en la comunidad bentónica como los observados durante un Niño, reflejan cambios biogeoquímicos que responden a la distribución de masas de agua y a la productividad reflejando otros patrones espaciales y temporales. Sin embargo, aún es necesario identificar respuestas más finas del ensamble bentónico, tanto a nivel de cambios biogeoquímicos como de organismos, tomando en cuenta patrones específicos de distribución en el sedimento superficial y la escala de dicha distribución, la cual (en principio) no es la misma entre grupos de diferentes dimensiones, ciclo de vida y tasa de reproducción, estructura corporal (especialmente cuando comparamos biomasa de bacterias contra biomasa de metazoarios) o éxito de sobrevivencia.

Regarding the benthos, it also reflects changes while integrating longer periods of time, such as the inter-annual scale and the El Niño effect. More specifically, events such as El Niño 1997-98 generate a great deal of oxygenation that impacts even on sediments and drastically modifies the benthic community (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Studies in the central continental shelf sediments, in normal years, show the predominance of polychaetes, mainly *Paraprionospio pinnata* associated with conditions of intense OMZ and high load of labile organic matter (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). In 2018, the shelf break sediments were characterized by the predominance, in the benthos, of the polychaetes *Magelona phyllisae* and the absence of the polychaetes *Paraprionospio pinnata*. In addition, the bacteriobentos *Candidatus* *Marithioploca* decreased significantly. *Candidatus* *Marithioploca* has been associated with highly reduced sediments, a high H_2S , and an intense oxygen deficiency. These conditions are modified during oxygenation events (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Since December 2017, a significant decrease was observed in the bacteriobenthos; from April 2018, the wet biomass presented the lowest values recorded in the last two years that were maintained in August 2018. *Paraprionospio pinnata* decreased or disappeared and *Magelona phyllisae* increased. Also, in the group of benthic forams, the presence of *Bolivina pacifica* was observed, which occurs more frequently in post-toxia, indicating the absence of sulfides and greater organic matter preserved, unlike the anoxic environments in which *Bolivina seminuda* and *Buliminella tenuata* Cushman, 1927, predominated. These changes in the macrofauna and forams are not dramatic changes in the benthic community like those observed during El Niño, but they reflect biogeochemical changes that respond to the distribution of water masses and productivity reflecting other spatial and temporal patterns. Nonetheless, it is still necessary to identify more precise responses of the benthic assemblage, both at the level of biogeochemical changes and of organisms, by considering specific distribution patterns in the surface sediment and the scale of such distribution, which (in principle) is not the same between groups of different dimensions, life cycle, and breeding rate, body structure (especially when comparing bacterial biomasses versus metazoan biomasses) or survival success.

5. CONCLUSIÓN

Nuestros resultados muestran como el sistema frente a Callao, desde su dinámica oceanográfica y química, permite explorar las respuestas del plancton y bentos. En conclusión las condiciones de abril y agosto de 2018, permiten contrastar dos períodos de mayor y menor productividad bajo la influencia de diferentes intensidades del afloramiento costero que determinan respuestas químicas y biológicas propias. La comunidad fitoplanctónica refleja claramente el contraste, no solo temporal sino también costa-océano. En efecto, en la costa se observa un incremento en la abundancia de diatomeas principalmente en abril, mientras hacia el área oceánica domina el nanoplancton y fitoflagelados, condición que, igualmente, se observa en invierno. También se aprecia la contribución de coccolitofóridos, vinculados a condiciones más cálidas y de mayor pH los que, en consecuencia, están asociados a la mayor o menor penetración de las aguas oceánicas. En efecto, estos organismos aumentan su abundancia durante las condiciones El Niño, cuando el afloramiento de ACF se debilita y las ASS alcanzan zonas más costeras. Por su parte, los dinoflagelados se observan como organismos más oportunistas que pueden desarrollarse en diferentes escenarios, costeros u oceánicos no identificándose aun claramente los umbrales biogeoquímicos y oceanográficos que determinan sus floraciones. Es importante continuar observando esta distribución costa-océano e identificar indicadores y umbrales físico-químicos que la condicionan y finalmente determinan la productividad.

El sedimento por su parte, a diferencia del ambiente pelágico, tiene memoria y los cambios pueden integrarse en períodos mayores de tiempo. A su vez, los organismos, dados sus ciclos de vida al integrar fases pelágicas y bentónicas, tienen la capacidad de ser muy sensibles a la variabilidad del ambiente. La respuesta es diferente según el grupo observado. En el caso del estudio 2018 en la plataforma central podría integrar cambios oceanográficos actuales y asociados con El Niño costero 2017. El predominio de *Magelona phyllisae* y la disminución de *Candidatus Marithioploca* ponen en evidencia un sedimento menos reducido como, igualmente, lo muestran los valores relativamente bajos de H_2S , en particular, en los sedimentos superficiales. En el ensamble de foraminíferos se observan mezcla de especies asociadas con eventos cálidos, que aún persisten y otras que reflejan cierta normalización en la condición deficiente en oxígeno e incremento en la calidad de la materia orgánica.

5. CONCLUSION

Our results reveal how the system off Callao, from its oceanographic and chemical dynamics, enables us to explore the responses of plankton and benthos. To conclude, the conditions in April and August 2018 can be defined in two contrasting periods of higher and lower productivity under the influence of different intensities of the coastal upwelling that determine their own chemical and biological responses. The phytoplankton community clearly reflects the contrast, not only temporal but also in the coast-to-ocean gradient. In fact, on the coast, there is an increase in the abundance of diatoms, mainly in April, while offshore nanoplankton and phytoflagellates dominate, a condition that is also observed in winter. The contribution of coccolithophorids is also appreciated, related to warmer conditions and higher pH associated with the oceanic waters penetration to the coast. Indeed, these organisms increase their abundance during El Niño conditions, when the CCW upwelling weakens and SSW reach more coastal areas. On the other hand, dinoflagellates are observed as more opportunistic organisms that can develop in different coastal or oceanic scenarios, and the biogeochemical and oceanographic thresholds that determine their blooms have not yet been clearly identified. It is important to continue observing this coast-to-ocean distribution and to identify indicators and physical-chemical thresholds that finally determine the productivity.

The sediment, unlike the pelagic environment, has memory and the changes can be integrated in longer periods of time. Simultaneously, organisms, given their life cycles by integrating pelagic and benthic phases and have the capacity to be very sensitive to environmental variability. The answer is different according to the group observed. In the case of the 2018 study, the sediment of the shelf break could integrate current and El Niño Costero 2017 oceanographic changes. The predominance of *Magelona phyllisae* and the decrease of *Candidatus Marithioploca* biomass indicate the less reduced environment, as also shown by the relatively low sediment values of H_2S , particularly in surface sediments. For the forams assemblage, it is observed a mixture of species associated with warm events that still persist and others that reflect certain normalization in the oxygen-deficient condition and increase in the quality of organic matter.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ALVITES D. 2016. Variabilidad espacial y calcificación de las comunidades de cocolitofóridos en el sistema de afloramiento frente a Callao-Perú. Tesis de Maestría. Universidad Cayetano Heredia. Maestría en Ciencias del Mar. 150 pp.
- BALECH E. 1988. Los Dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Public. Esp. Inst. Español de Oceanog. España. 310 pp.
- CALIENES R. 2014. Producción Primaria. Parte II. Bol Inst Mar Perú. 29(1-2): 309.
- CALIENES R, GUILLÉN O, LOSTAUNAU N. *et al.* 1985. Variabilidad espacio temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol Inst Mar Perú. (10): 6 - 12.
- ECHÉVIN V, AUMONT O, LEDESMA J, FLORES G. 2008. The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peruvian upwelling system: a modelling study. Progress in Oceanography. 79 (2-4): 167 - 176.
- CARRIT D E, CARPENTER J H. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater—a Nasco report. J. Marine Res. 24: 286 - 319.
- CHAVEZ F, MESSIÉ M. 2009. A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. Progress in Oceanography. 83: 80 - 96.
- CLINE J D. 1969. Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters. Limnol Oceanogr. 14: 454 - 458.
- ENFEN. 2018. Comunicado oficial ENFEN. 5, 6, 9, 15.
- HASLE G R, SYVERTSEN E E. 1996. Marine diatoms. In: Identifying Marine Phytoplankton. (Tomas, C.R. Eds), San Diego: Academic Press. 5 - 385 pp.
- HOLME N, MCINTYRE V N. 1971. Methods for the study of marine benthos. International Biological Programme. 147 pp.
- INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION of UNESCO. 2010. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. Karlson B, Cusack C. and Bresnan E. (editors). Paris, UNESCO (IOC Manuals and Guides, N° 55). 110 pp.
- GRACO M, CORREA D, GARCÍA W, SARMIENTO M. 2016. Impactos del ENSO en la biogeoquímica del Sistema de Afloramiento frente a Perú central. Febrero 2013 - diciembre 2015. Boletín oceanográfico. Instituto del Mar del Perú. 2(1): 2 - 6.
- GRACO M, PURCA S, BORIS D, CASTRO C, MORÓN O, LEDESMA J, GUTIÉRREZ D. 2017. The OMZ and nutrient features as a signature of interannual and low frequency variability in the Peruvian upwelling system. Biogeosciences. 14: 4601 - 4617. doi: 10.5194/bg-14-4601-2017
- 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.
- LEDESMA J, TAM J, GRACO M, LEÓN V, FLORES G, MORÓN O. 2011. Caracterización de la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) frente a la costa peruana entre 3°N y 14°S, 1999-2009. Bol Inst Mar Perú. 26(1-2): 49 - 57.
- MANTOURA R F C, LLEWELLYN C A. 1983. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography. Analytica Chimica Acta. 151: 297 - 314.
- POHLE G, THOMAS M. 2005. Monitoring protocol for marine benthos: intertidal and subtidal Macrofauna. Marine Biodiversity Monitoring. 24 pp.
- RATHBURN A E, CORLISS B H. 1994. The ecology of living (stained) deep-sea benthic foraminifera from the Sulu Sea. Paleoceanogr. 9: 87 - 150.
- ROJAS DE MENDIOLA B, OCHOA N, GÓMEZ O. 1981. Los dinoflagelados como indicadores biológicos de masas de agua. Fenómeno El Niño 1972. Mem. Seminario sobre indicadores biológicos del plancton. Instituto del Mar del Perú. UNESCO. 54 - 73.
- SCHÖNFELD J, ALVE E, GESLIN E, JORRISEN F, KORSUN S, SPEZZAFERRI S. 2012. The FOBIMO foraminiferal Bio Monitoring Initiative towards a standardized protocol for soft bottom benthic foraminiferal monitoring studies. Marine Micropaleontology. 94-95: 1 - 13.
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Cambios en las condiciones oceanográficas frente a Perú entre el verano 1981 y el verano de 1983. Bol. ERFEN. 5: 6 - 8.

NOTA CIENTÍFICA / SCIENTIFIC NOTE

REGISTRO DE LOS BIVALVOS *Cyclinella subquadrata* (Hanley, 1844)
Y *Raeta undulata* (Gould, 1851) EN EL LITORAL DE LA REGIÓN
ÁNCASH, PERÚREGISTER OF BIVALVES *Cyclinella subquadrata* (Hanley, 1844) AND *Raeta undulata*
(Gould, 1851) ON THE COAST OF THE ANCASH REGION, PERUPedro Berru Paz¹Jhonatan Rios Peña¹

RESUMEN

BERRU P, RIOS J. 2019. Registro de los bivalvos *Cyclinella subquadrata* (Hanley, 1844) y *Raeta undulata* (Gould, 1851) en el litoral de la Región Áncash, Perú. Bol Inst Mar Perú. 34(2): 544-555.- Se registraron por primera vez las especies *Cyclinella subquadrata* y *Raeta undulata*, en la región Áncash-Perú, describiéndose los caracteres taxonómicos que los identifican. Se analizó: estructura de tallas, densidad relativa y algunas variables oceanográficas como temperatura (°C), oxígeno disuelto (mL/L) y salinidad (ups) en las áreas geográficas Canaco (9,85°S/78,24°W), El Dorado (9,18°S/78,56°W) y El Agua Fría (9,15°S/78,57°W). Se revisaron 49 individuos vivos de *C. subquadrata* y 11 ejemplares de *R. undulata* (4 vivos y 7 valvas simples), con tallas que variaron de 6 a 95 mm y 60 a 119 mm, respectivamente; destacando en la primera especie una importante fracción de juveniles (<22 mm) del orden del 51% como indicador de que la especie en estudio se estaría reproduciendo en niveles discretos. Sus densidades relativas fueron bajas, propias en especies raras, con valores de 1 a 18 ind./m² para *C. subquadrata* y 1 ind./m² para *R. undulata*. El 73% de las estaciones presentaron 1 ind./m² para *C. subquadrata*. La relación longitud-peso mostró un buen ajuste al modelo potencial con el coeficiente de determinación (r²) de 0,99 y crecimiento de tipo alométrico positivo (b >3,0). La ubicación de ambas especies en localidades intermedias del litoral peruano (9°S) confirmaría que no existe interrupción en su distribución.

PALABRAS CLAVE: *Cyclinella subquadrata*, *Raeta undulata*, primer registro, Áncash, Perú

ABSTRACT

BERRU P, RIOS J. 2019. Register of bivalves *Cyclinella subquadrata* (Hanley, 1844) and *Raeta undulata* (Gould, 1851) on the coast of the Ancash Region, Peru. Bol Inst Mar Peru. 34(2): 544-555.- The species *Cyclinella subquadrata* and *Raeta undulata* were registered for the first time in the Ancash Region-Peru and the taxonomic characteristics that identify them were described. Factors analyzed were: size structure, relative density, and some oceanographic variables such as temperature (°C), dissolved oxygen (mL/L), and salinity (ups) in the Canaco (9.85°S/78.24°W), El Dorado (9.18°S/78.56°W), and El Agua Fría (9.15°S/78.57°W) geographical areas. 49 live individuals of *C. subquadrata* and 11 specimens of *R. undulata* (4 live and 7 single valves) were analyzed, with sizes ranging from 6 to 95 mm and 60 to 119 mm, respectively; in the first species, an important fraction of juveniles (<22 mm), about 51%, stood out as an indicator that the species under study would be reproducing at discrete levels. Their relative densities were low, which is characteristic of rare species, with values of 1 to 18 ind./m² for *C. subquadrata* and 1 ind./m² for *R. undulata*. 73% of the stations presented 1 ind./m² for *C. subquadrata*. The length-to-weight ratio showed a good fit for the potential model with the determination coefficient (r²) of 0.99 and positive allometric type growth (b >3.0). The location of both species in intermediate localities of the Peruvian coast (9°S) would confirm that there is no interruption in their distribution.

KEYWORDS: *Cyclinella subquadrata*, *Raeta undulata*, first record, Ancash, Peru

1. INTRODUCCIÓN

El phylum Mollusca constituye el segundo filo más numeroso (después del filo artrópodos) del reino animal, habiendo logrado colonizar los más diversos hábitats y latitudes de nuestro planeta (PAREDES *et al.*, 1998). Se estiman aproximadamente 100.000 especies marinas, 35.000 terrestres y 5.000 dulceacuícolas (VAN BRUGGEN, 1995). Tiene una importancia ecológica en los diferentes ecosistemas, usándose en la alimentación humana desde tiempos remotos (BERRÚ *et al.*, 2014; PAREDES *et al.*, 1999).

1. INTRODUCTION

Phylum Mollusca is the second most numerous phylum (after the phylum Arthropoda) in the animal kingdom and has colonized the most diverse habitats and latitudes on our planet (PAREDES *et al.*, 1998). Approximately, 100,000 marine, 35,000 terrestrial, and 5,000 freshwater species are estimated (VAN BRUGGEN, 1995). It has ecological importance in the different ecosystems and has been used in human food since ancient times (BERRÚ *et al.*, 2014; PAREDES *et al.*, 1999).

¹ IMARPE, Laboratorio Costero de Chimbote. Prolongación Los Pinos s/n, La Caleta, Chimbote. pberru@imarpe.gob.pe

PAREDES *et al.* (2016) reportaron 401 especies de bivalvos para el mar peruano, siendo las familias Veneridae y Mactridae representadas por 52 y 14 especies respectivamente.

Cyclinella subquadrata se distribuye desde isla de Cedros en Baja California (28,1°N), en el golfo de California hasta el golfo de Santa Clara, Sonora (31,7°N) en México hasta Cerro Azul en Lima, Perú (13,1°S); *Raeta undulata* se distribuye de Long Beach en California, USA (33,7°N) en el Golfo de California hasta bahía Adair, Sonora (31,5°N) en México hasta caleta Chipana en Tarapacá, Chile (21,3°S) (COAN & VALENTICH-SCOTT, 2012).

Según VEGAS (1980) algunos moluscos, como *R. undulata*, interrumpen su distribución viniendo del norte entre los 4 y 7°S y reaparecen en los alrededores del puerto de Pisco (14°S) sin que se les haya señalado en localidades intermedias.

La presencia de ejemplares vivos de *C. subquadrata* y *R. undulata* en el litoral norte-centro del Perú, especies tropicales propias de la zona de transición de Paita y de la Provincia Panameña, ayudarían a explicar la introducción episódica de larvas procedentes de otras latitudes mediante eventos El Niño (EN).

En el presente estudio, se registró por vez primera, los bivalvos *Cyclinella subquadrata* y *Raeta undulata* en el litoral norte-centro del Perú, en zonas conocidas como Ensenada Canaco (9,85°S), El Dorado (9,18°S) en bahía Samanco y El Agua Fría (9,17°S) en bahía El Ferrol de la región Áncash; describiéndose, además, sus características taxonómicas y algunas variables oceanográficas de su entorno.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Las áreas y estaciones de muestreo de las especies en estudio correspondieron a la ensenada de Canaco (9,85°S/78,24°W), El Dorado en bahía Samanco (9,18°S/78,56°W) y El Agua Fría en bahía El Ferrol (9,15°S/78,57°W), ubicadas en la región Áncash (Fig. 1a, 1b, 1c).

Las muestras fueron recolectadas manualmente en el submareal arenoso en el marco de las investigaciones que realiza el Laboratorio Costero de Chimbote - IMARPE, durante el periodo comprendido entre los años 2012-2018.

PAREDES *et al.* (2016) reported 401 bivalve species for the Peruvian sea, with the families Veneridae and Mactridae represented by 52 and 14 species, respectively.

Cyclinella subquadrata is distributed from Isla Cedros in Baja California (28.1°N), in the Gulf of California to the Gulf of Santa Clara, Sonora (31.7°N) in Mexico to Cerro Azul in Lima, Peru (13.1°S); *Raeta undulata* is distributed from Long Beach in California, USA (33.7°N) in the Gulf of California to Adair Bay, Sonora (31.5°N) in Mexico to Chipana cove in Tarapacá, Chile (21.3°S) (COAN & VALENTICH-SCOTT, 2012).

According to VEGAS (1980), some mollusks, such as *R. undulata*, interrupt their distribution coming from the north between 4 and 7°S and reappear around the port of Pisco (14°S) without having been reported in intermediate localities.

The presence of live specimens of *C. subquadrata* and *R. undulata* in the north-central coast of Peru, tropical species typical of the transition zone of Paita and the Panamic Province, would help to explain the episodic introduction of larvae from other latitudes through El Niño (EN).

The bivalves *Cyclinella subquadrata* and *Raeta undulata* were registered for the first time, in this study, in the north-central coast of Peru, in areas known as Ensenada Canaco (9.85°S), El Dorado (9.18°S) in Samanco Bay, and El Agua Fría (9.17°S) in El Ferrol Bay located in the Ancash Region, in addition to describing their taxonomic characteristics and some oceanographic variables of their environment.

2. MATERIAL AND METHODS

Study area

The areas and sampling stations corresponded to the Canaco inlet (9,85°S/78,24°W), El Dorado in Samanco Bay (9,18°S/78,56°W), and El Agua Fría in El Ferrol bay (9,15°S/78,57°W), all of them located in the Ancash Region (Fig. 1a, 1b, 1c).

The staff of the IMARPE's Coastal Laboratory of Chimbote collected the samples manually in the sandy subtidal between 2012 to 2018.

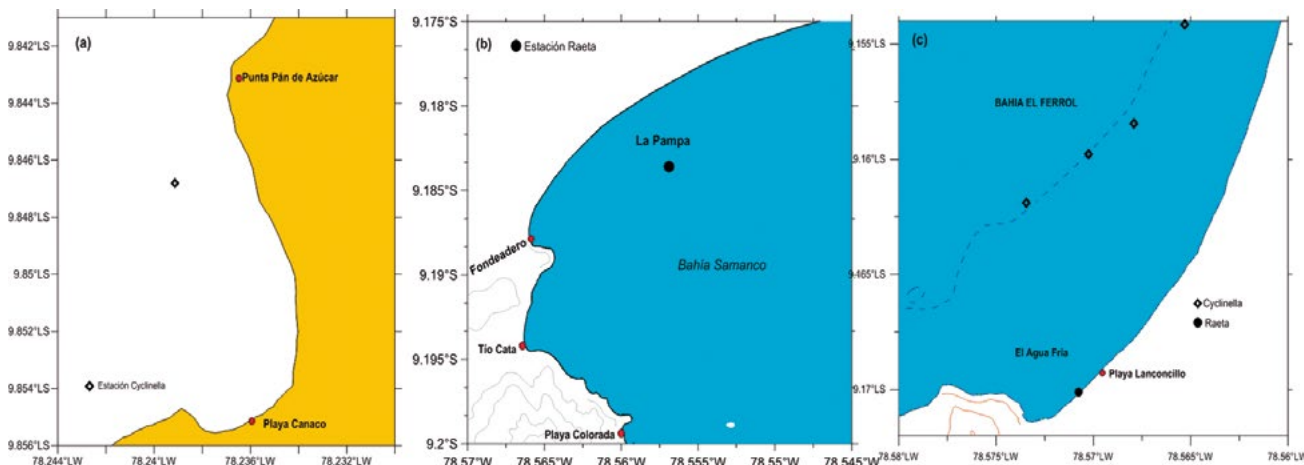


Figura 1.- Ubicación geográfica y distribución de *Cyclinella subquadrata* y *Raeta undulata* en Canaco (a), bahía Samanco (b) y bahía El Ferrol (c)

Figure 1. Geographical location and distribution of *Cyclinella subquadrata* and *Raeta undulata* in Canaco (a), Samanco Bay (b), and El Ferrol Bay (c)

Material examinado

Se obtuvieron dos tipos de muestras:

1. Ejemplares vivos de *Cyclinella subquadrata* y *Raeta undulata*, recolectados en estaciones de muestreo en mar, como fauna asociada, durante la evaluación de *Ensis macha* y *Tagelus dombeii*.
2. Valvas simples de la especie *R. undulata*, recolectadas en la playa Lanconcillo, bahía El Ferrol.

Análisis biométrico

Se analizaron 49 ejemplares vivos de *C. subquadrata*; 4 ejemplares vivos y 7 valvas simples de *R. undulata*, recolectados entre los años 2012 y 2017 para el primero y entre el 2014 y 2018 para el segundo. A cada ejemplar se le determinó longitud y peso húmedo, utilizando para ello un malacómetro y una balanza digital de 0,01 gramos de precisión.

La medida referencial (talla) fue la longitud valvar al milímetro, considerada como la máxima distancia entre los bordes anterior y posterior en ambas especies.

La composición de tallas, se determinó independientemente para cada especie y para todo el periodo estudiado, considerando intervalos de 3 mm de longitud por ser ésta la que mejor representa los grupos modales.

Se analizó la relación longitud total - peso total de todos los ejemplares, ajustándose los datos al modelo potencial descrito por la siguiente ecuación:

$$P = a \cdot L^b$$

Material examined

Two types of samples were obtained:

1. Live specimens of *Cyclinella subquadrata* and *Raeta undulata*, collected at sea sampling stations, as associated fauna, during the assessment of *Ensis macha* and *Tagelus dombeii*.
2. Single valves of the species *R. undulata*, collected at Lanconcillo beach, El Ferrol Bay.

Biometric analysis

A total of 49 live specimens of *C. subquadrata*; 4 live specimens and 7 single valves of *R. undulata*, collected between 2012 and 2017 for the former and between 2014 and 2018 for the latter were analyzed. Length and wet weight were determined for each specimen, by means of a malacometer and a digital scale with a precision of 0.01 grams.

The referential measure (size) was the valve length to the millimeter, considered as the maximum distance between the front and rear edges in both species.

The size composition was determined independently for each species and for the entire period studied, by considering intervals of 3 mm in length as this is the one that best represents the modal groups.

The total length-to-total weight ratio of all specimens was analyzed, adjusting the data to the potential model described by the following equation:

$$P = a \cdot L^b$$

Donde: P = peso en gramos, L = longitud en cm, a y b son constantes

Densidad relativa y variables oceanográficas

La densidad relativa se obtuvo en número de individuos por metro cuadrado (N° ind./m²), además se tomaron en cuenta las variables oceanográficas a nivel de fondo, en el entorno de las especies estudiadas, como temperatura con un termómetro de mercurio, oxígeno disuelto siguiendo la metodología descrita por Winkler modificada por CARRIT & CARPENTER (1966) y salinidad mediante el Método de Inducción, usando un salinómetro Portasal Guildline 8410a.

Identificación taxonómica

Para la determinación taxonómica se utilizó bibliografía especializada (COAN & VALENTICH-SCOTT 2012) y se contó con el apoyo del Doctor Eugene Coan y Paul Valentich-Scott, curadores del Museo de Historia Natural de Santa Barbara (SBMNH). El material fue conservado en líquido y en seco, debidamente rotuladas y codificadas, las mismas que se encuentran depositadas en las colecciones del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) con los códigos IMARPE 04-001803 para *Cyclinella subquadrata* con fecha del 11/04/18 e IMARPE 04-001802 para *Raeta undulata* con fecha del 08/11/18.

3. RESULTADOS

Cyclinella subquadrata

TAXONOMÍA

Phylum : Mollusca (Linnaeus, 1758)
(Cuvier, 1795)
Clase : Bivalvia (Linnaeus, 1758)
Orden : Venerida (Adams y Adams, 1856)
Superfamilia : Veneroidea (Rafinesque, 1815)
Familia : Veneridae (Rafinesque, 1815)
Género : *Cyclinella* (Dall, 1902)
Nombre científico : *Cyclinella subquadrata* (Hanley, 1844)

SINONIMIAS

Artemis subquadrata (Hanley, 1844)
Venus (Artemis) kroeyeri (R. A. Philippi, 1847)
Artemis macilenta (Reeve, 1850)
Artemis saccata (A. A. Gould, 1851)
Cyclinella galera (Pilsbry & Olsson, 1941)
Cyclinella kroeyeri ulloana (Hertlein & Strong, 1948)

Where: P = weight in grams, L = length in cm, a and b are constants

Relative density and oceanographic variables

Relative density was obtained in number of individuals per square meter (N° ind./m²), in addition oceanographic variables were considered at the bottom level, in the environment of the species studied, such as temperature with a mercury thermometer, dissolved oxygen following the methodology described by Winkler modified by CARRIT & CARPENTER (1966), and salinity by means of the Induction Method, using a Portasal Guildline 8410a salinometer.

Taxonomic identification

Specialized bibliography (COAN & VALENTICH-SCOTT 2012) was used for the taxonomic determination, with the support of Dr. Eugene Coan and Paul Valentich-Scott, curators of the Santa Barbara Museum of Natural History (SBMNH). The material was conserved in liquid and dry, properly labeled and coded and deposited in the collections of the Instituto del Mar del Perú - IMARPE with codes IMARPE 04-001803 for *Cyclinella subquadrata* dated 04/11/18 and IMARPE 04-001802 for *Raeta undulata* dated 11/04/18.

3. RESULTS

Cyclinella subquadrata

TAXONOMY

Phylum : Mollusca (Linnaeus, 1758)
(Cuvier, 1795)
Class : Bivalvia (Linnaeus, 1758)
Order : Venerida (Adams y Adams, 1856)
Superfamily : Veneroidea (Rafinesque, 1815)
Family : Veneridae (Rafinesque, 1815)
Genus : *Cyclinella* (Dall, 1902)
Scientific name : *Cyclinella subquadrata* (Hanley, 1844)

SYNONYMS

Artemis subquadrata (Hanley, 1844)
Venus (Artemis) kroeyeri (R. A. Philippi, 1847)
Artemis macilenta (Reeve, 1850)
Artemis saccata (A. A. Gould, 1851)
Cyclinella galera (Pilsbry & Olsson, 1941)
Cyclinella kroeyeri ulloana (Hertlein & Strong, 1948)

Descripción taxonómica

Externamente valva de forma variable moderadamente inflada, de subcircular a suboval, longitud igual o ligeramente superior a la altura; umbos moderadamente inflados, estrías comarginales finas y densas sobre toda la superficie, color externo crema, periostraco delgado traslúcido a bronceado, brillante a sedoso (Fig. 2).

Internamente de color blanco y liso, seno paleal de profundidad moderada, anguloso y dirigido hacia la parte dorsal entre la cicatriz del músculo abductor anterior y la charnella; cicatriz del músculo abductor posterior muy por debajo de la charnella. Lúnula demarcada por una línea delgada proyectada medianamente, estucheón ausente, ligamento profundamente hundido, extremo anterior de la línea paleal continua con pequeñas cicatrices sobre ella (Fig. 3a, b).

Taxonomic description

Externally, shell variable in shape, ovate to subquadrate, moderately inflated, length equal to or slightly greater than height; umbones only moderately inflated, fine and dense comarginal streaks over the entire surface, cream-colored exterior, thin periostracum translucent to bronze-colored, shiny to silky (Fig. 2).

Internally, white and smooth, pallial sinus of moderate depth, angular and directed towards the dorsal part between the scar of the anterior abductor muscle and the hinge; the scar of the posterior abductor muscle well below the hinge plate. Lunule demarcated by a moderately projected thin line, escutcheon absent, deeply sunken ligament, anterior end of the continuous pallial line with small scars on it (Fig. 3a, b).

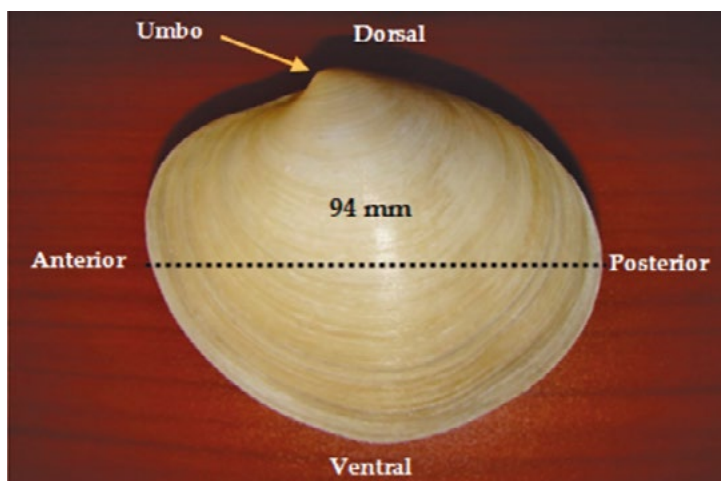


Figura 2. Vista externa, valva izquierda de *C. subquadrata*

Figure 2. External view, left valve of *C. subquadrata*

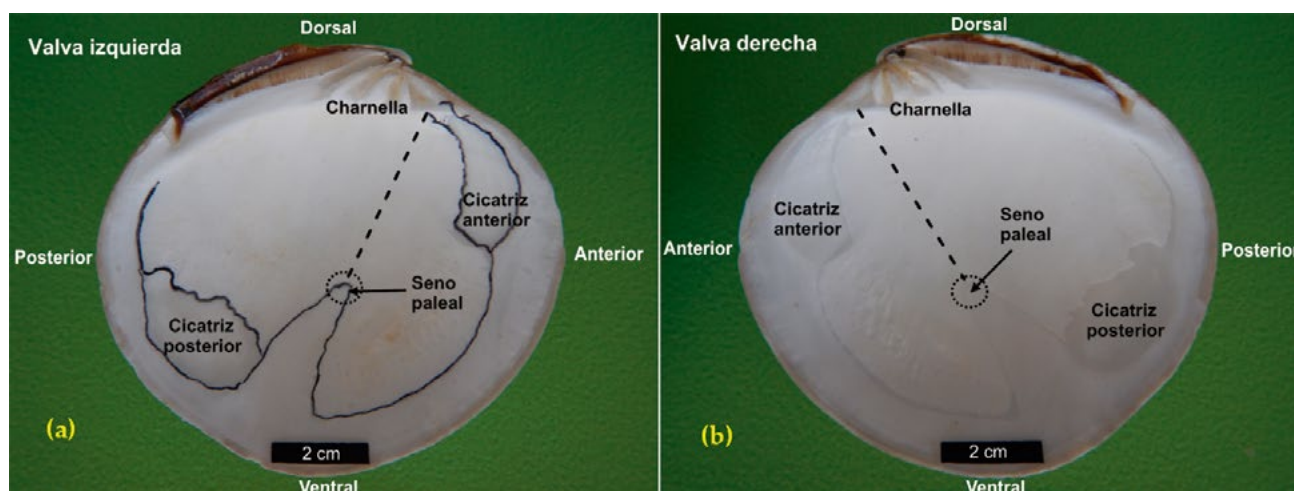


Figura 3.- Vista interna en valva izquierda (a) y derecha (b) de *C. subquadrata*

Figure 3. Internal view in left (a) and right (b) valve of *C. subquadrata*

Raeta undulata**TAXONOMÍA**

Phylum	: Mollusca (Linnaeus, 1758) (Cuvier, 1795)
Clase	: Bivalvia (Linnaeus, 1758)
Orden	: Veneroidea (Adams & Adams, 1856)
Superfamilia	: Mactroidea (Lamarck, 1809)
Familia	: Mactridae (Lamarck, 1809)
Género	: <i>Raeta</i> (Gray, 1853)
Nombre científico	: <i>Raeta undulata</i> (Gould, 1851)

SINONIMIAS

Lutraria undulata (Gould, 1851)
Raeta gibbosa (Gapp, 1869)
Labiosa (Raeta) gabbi (Pilsbry & Johnson, 1917)
L. (R.) gardnerae (Spieker, 1922)
L. (R.) hasletti (F. M. Anderson, 1929)

Descripción taxonómica

Externamente, conchas grandes, de contorno suboval trigonal, inequilaterales más largas posteriormente con el extremo anterior ampliamente redondeado. Umbos amplios, poco elevados, prosógiros; esculturas con fuertes ondulaciones concéntricas al umbo, que se debilitan ventralmente, acompañadas por diminutas estrías radiales. El borde anterodorsal un poco cóncavo y el posterodorsal estrecho, periostraco delgado, cremoso, sedoso, que se libera fácilmente (Figs. 4a, b). Las ondulaciones concéntricas terminan cerca del borde posterior a lo largo de una cresta incipiente que delimita un área posterodorsal únicamente con estrías de crecimiento y sin estrías radiales (Fig. 4c).

Raeta undulata**TAXONOMY**

Phylum	: Mollusca (Linnaeus, 1758) (Cuvier, 1795)
Class	: Bivalvia (Linnaeus, 1758)
Order	: Veneroidea (Adams & Adams, 1856)
Superfamily	: Mactroidea (Lamarck, 1809)
Family	: Mactridae (Lamarck, 1809)
Genus	: <i>Raeta</i> (Gray, 1853)
Scientific name	: <i>Raeta undulata</i> (Gould, 1851)

SYNONYMS

Lutraria undulata (Gould, 1851)
Raeta gibbosa (Gapp, 1869)
Labiosa (Raeta) gabbi (Pilsbry & Johnson, 1917)
L. (R.) gardnerae (Spieker, 1922)
L. (R.) hasletti (F. M. Anderson, 1929)

Taxonomic description

Externally, shells are large, anteriorly inflated, very thin, subtrigonal in outline. Anterior margin broadly rounded. Umbones wide, slightly elevated, prosogyrate; sculptures with strong undulations concentric to the umbones, which weaken ventrally, accompanied by tiny radial streaks. The anterior-dorsal edge is a little concave and the posterior-dorsal is narrow, periostracum is thin, creamy, silky, which is easily released (Figs. 4a, b). Concentric undulations end near the posterior edge along an incipient ridge that delimits a posterior-dorsal area with growth streaks only and without radial streaks (Fig. 4c).

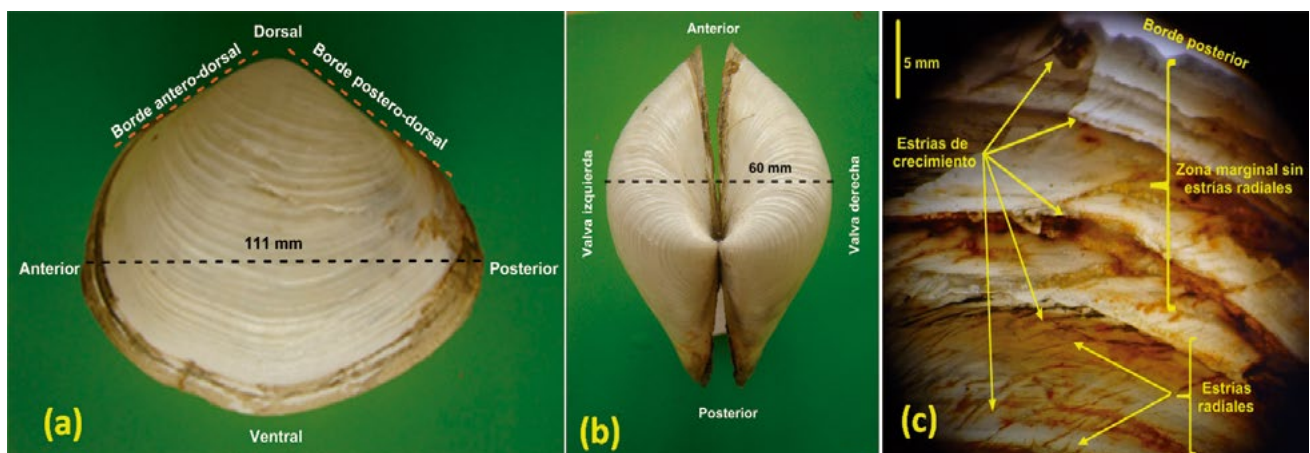


Figura 4.- Valvas externas (a y b), distribución de las estrías de crecimiento y radiales de la zona marginal posterior de la valva (c), *R. undulata*

Figure 4. External valves (a and b), distribution of growth and radial streaks of the posterior marginal zone of the valve (c), *R. undulata*

Internamente presentan coloración blanca, un seno paleal profundo con dirección al margen anterior de la valva y cuyo borde se ubica a la altura del condróforo, pasando ligeramente por el umbo (Fig. 5a). A la altura del umbo, ambas valvas presentan un diente cardinal ramificado o compuesto: en la valva izquierda una primera ramificación en forma de "v", con una columna angulosa que se acopla perfectamente a la hendidura del diente en "v" de la valva opuesta, una segunda ramificación de forma laminar que se superponen en ambas valvas al cerrarse (Fig. 5b).

Aspectos biométricos

Estadísticos descriptivos

Cyclinella subquadrata: se analizaron 49 ejemplares, obtenidos entre el 2012 y 2017, el rango de tallas varió de 6 a 95 mm de longitud total, con valor medio en 42 mm. Los ejemplares pequeños menores a 25 mm fueron ubicados en la zona de El Agua Fría (bahía El Ferrol), mientras que los más grandes se colectaron en la zona de Canaco (Culebras) (Fig. 6).

Raeta undulata: se analizaron 11 ejemplares, obtenidos entre el 2014 y 2018, sus tallas variaron de 60 a 119 mm de longitud, valor medio en 96 mm (Fig. 7).

Relación Longitud-Peso

En *C. subquadrata*, los resultados de la función que describe la relación longitud-peso total demostraron un buen ajuste al modelo potencial con valor del coeficiente de determinación (r^2) de 0,99 y con crecimiento de tipo alométrico positivo ($b > 3,0$) (Fig. 8).

Internally they are white, with a deep pallial sinus towards the front margin of the valve and whose edge is located at the height of the chondrophore, passing slightly through the umbone (Fig. 5a). At the height of the umbone, both valves have a cardinal branched or composite tooth: in the left valve a first branch in the form of a "v", with an angular column that is perfectly coupled to the cleft of the tooth in "v" of the opposite valve, a second branch in the form of laminar that overlap in both valves when they close (Fig. 5b).

Biometric aspects

Descriptive statistics

Cyclinella subquadrata: Between 2012 and 2017, 49 specimens were analyzed, ranging in size from 6 to 95 mm in total length, with a mean size of 42 mm. Small specimens under 25 mm were registered in El Agua Fría (El Ferrol Bay), while the largest ones were collected in Canaco (Culebras) (Fig. 6).

Raeta undulata: Between 2014 and 2018 11 specimens were analyzed, their sizes varied from 60 to 119 mm in length, mean size was 96 mm (Fig. 7).

Length-to-Weight Ratio

In *C. subquadrata*, the results of the total length-to-weight ratio recorded a good fit to the potential model with a determination coefficient value (r^2) of 0.99 and with positive allometric type growth ($b > 3.0$) (Fig. 8).

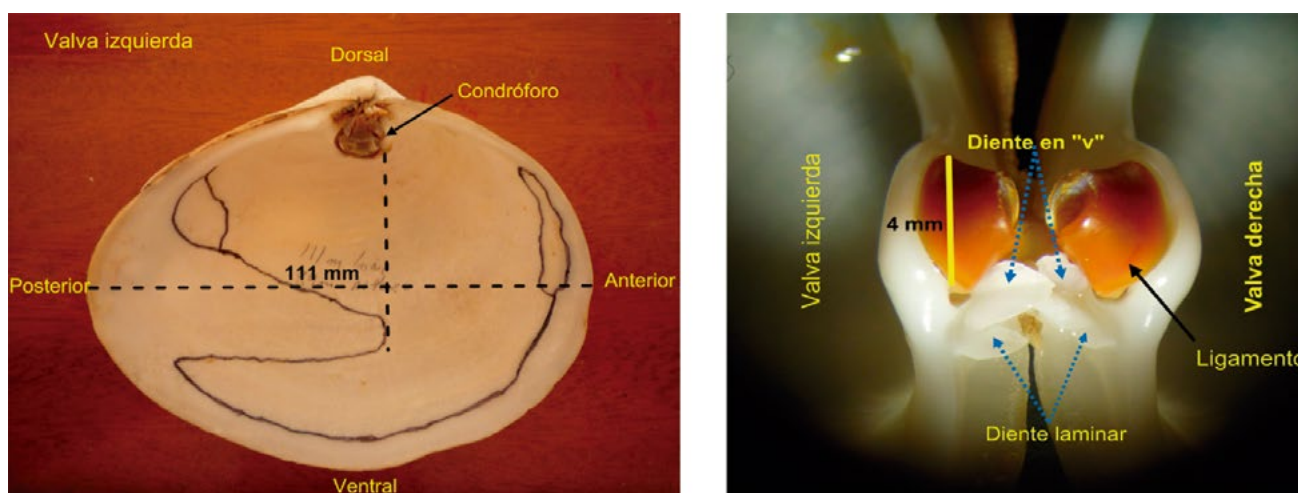


Figura 5.- Vista interna en valva izquierda (a) y disposición de los dientes en ambas valvas (b) de *R. undulata*

Figure 5. Internal view in left valve (a) and arrangement of teeth in both valves (b) of *R. undulata*

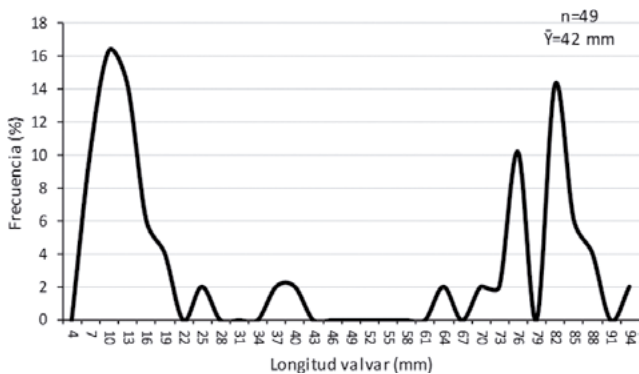


Figura 6.- Estructura de tallas de *C. subquadrata*

Figure 6. Size structure of *C. subquadrata*

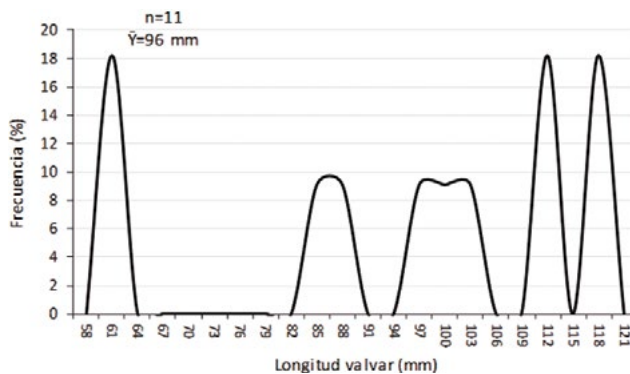


Figura 7.- Estructura de tallas de *R. undulata*

Figure 7. Size structure of *R. undulata*

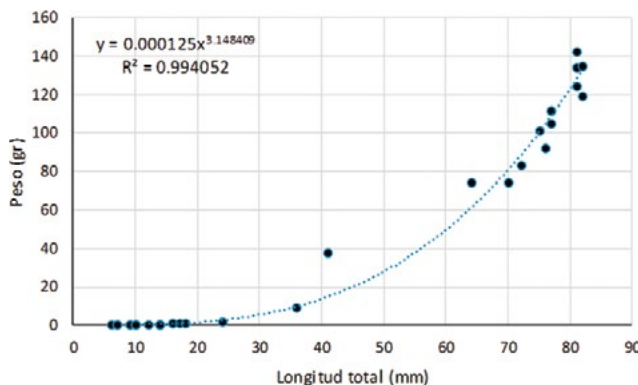


Figura 8.- Relación Longitud-peso en *C. subquadrata*

Figure 8. Length-Weight ratio of *C. subquadrata*

Densidad y variables oceanográficas

La densidad relativa registrada en *C. subquadrata* varió de 1 a 18 ind./m², mientras que en *R. undulata* fue más dispersa encontrando solo 1 ind./m². La temperatura promedio del fondo marino varió de 16,3 y 20,8 °C para cada una de las especies, respectivamente. Los valores de oxígeno disuelto fueron de 1,72 mL/L para *C. subquadrata* y de 5,22 mL/L para *R. undulata*; mientras la salinidad fue de 35,043 y 35,171 ups para cada una de las especies, respectivamente. *C. subquadrata* se ubicó a mayores profundidades (13,0 m) respecto a *R. undulata* (6,2 m) (Tabla 1).

Density and oceanographic variables

The relative density recorded for *C. subquadrata* ranged from 1 to 18 ind./m², while for *R. undulata* it was more scattered with only 1 ind./m². The seabed temperature recorded mean values of 16.3 and 20.8 °C for each species, respectively. The dissolved oxygen values were 1.72 mL/L for *C. subquadrata* and 5.22 mL/L for *R. undulata*; while the recorded salinity was 35.043 and 35.171 ups for each of the species, respectively. *C. subquadrata* was located at greater depths (13.0 m) than *R. undulata* (6.2 m) (Table 1).

Tabla 1.- Densidad y algunas variables oceanográficas registradas a nivel de fondo en entorno marino de las especies en estudio. 2014-2018

Table 1. Density and some oceanographic variables registered at the bottom of the marine environment of the species under study. 2014-2018

Especie	Variable	Densidad (Nº/m ²)	Temperatura (°C)	Oxig. Disuelto (mL/L)	Salinidad (uso)	Prof (m)
<i>C. subquadrata</i>	Min	1	14,4	0,19	34,932	5,6
	Max	18	18,7	4,02	35,077	17
	Media	2,4	16,3	1,72	35,043	13
	Desv. Est.	3,836	1,279	1,196	0,091	3,652
<i>R. undulata</i>	Min	1	20,6	4,7	35,170	6
	Max	1	21,0	5,75	35,171	6,5
	Media	1	20,8	5,22	35,171	6,2
	Desv. Est.	0	0,283	0,742	0,001	0,354

4. DISCUSIÓN

Cyclinella subquadrata y *Raeta undulata* son bivalvos propios de la infauna de la Provincia Panameña y de la zona de transición de Paita, Perú. *C. subquadrata* se distribuye desde Baja California (México) hasta Cerro Azul en Lima, Perú; mientras que *R. undulata* se distribuye desde Long Beach en California (USA) hasta caleta Chipana en Tarapacá, Chile (COAN & VALENTICH-SCOTT 2012). En el Perú, *C. subquadrata* y *R. undulata* han sido reportadas en la Reserva Nacional de Paracas (INRENA, 2002); mientras que, fósiles de *R. undulata* se han descrito en depósitos marinos del Mioceno, Plioceno y Cuaternario en las localidades de Tumbes (Punta Picos, Bocapán, Zorritos), Piura (Paita, Bayovar) e Ica (Cerro Ballena) (ROMERO *et al.*, 1995).

VEGAS-VÉLEZ (1980) manifiesta que algunos moluscos como *R. undulata* entre otros, clasificados como tropicales, interrumpen su distribución, entre 4 y 7°S, viniendo del norte, para reaparecer en los alrededores del puerto de Pisco (14°S), sin que se les haya encontrado en localidades intermedias; sin embargo, la presencia de estas especies en el litoral norte centro del Perú (9°S) para el presente estudio, confirmaría que no existe interrupción en su distribución.

La importancia de nuevos registros de bivalvos en áreas nunca antes descritas, ya sea como conchas actuales o fósiles, como es el caso de ejemplares vivo de *C. subquadrata* y *R. undulata*, pueden jugar un papel importante en la identificación de ocurrencia de eventos El Niño en el pasado (DÍAZ & ORTLIEB, 1993). El 85% de los moluscos marinos tropicales tienen una fase larval de tipo pelágico que facilita su dispersión geográfica potencial y su desarrollo y asentamiento lejos de su ambiente normal que estaría relacionado con trastornos oceanográficos que provocan la anomalía El Niño (THORSON, 1950).

El rango de tallas de *C. subquadrata* comprendida entre 6 y 95 mm, permitió resaltar la presencia de ejemplares juveniles menores de 22 mm (51%); lo que podría ser indicador de que la especie en estudio se estaría reproduciendo en niveles discretos; mientras que para *R. undulata*, con una estructura de tallas que varió de 60 a 119 mm, no se detectaron ejemplares juveniles, debido probablemente a que los muestreos realizados no coincidan totalmente con su hábitat.

4. DISCUSSION

Cyclinella subquadrata and *Raeta undulata* are bivalves typical of the infauna of the Panamic Province and the transition zone of Paita, Peru. *C. subquadrata* is distributed from Baja California (Mexico) to Cerro Azul in Lima, Peru; while *R. undulata* is distributed from Long Beach in California (USA) to Chipana cove in Tarapacá, Chile (COAN & VALENTICH-SCOTT 2012). In Peru, *C. subquadrata* and *R. undulata* have been registered in the Paracas National Reserve (INRENA, 2002); while fossil registers of *R. undulata* have been described in marine deposits of the Miocene, Pliocene, and Quaternary in the localities of Tumbes (Punta Picos, Bocapán, Zorritos), Piura (Paita, Bayovar), and Ica (Cerro Ballena) (ROMERO *et al.*, 1995).

VEGAS-VÉLEZ (1980) states that some mollusks such as *R. undulata* among others, classified as tropical, interrupt their distribution, between 4 and 7°S, coming from the north, to reappear in the surroundings of the port of Pisco (14°S), without having been found in intermediate localities; however, the presence of these species in the north-central coast of Peru (9°S) in this study would confirm that there is no interruption in their distribution.

The importance of new bivalve registers in areas never described before, whether as current shells or fossils, such as the live registers of *C. subquadrata* and *R. undulata*, may have an important role in identifying the occurrence of El Niño in the past (DÍAZ & ORTLIEB, 1993). About 85% of tropical marine mollusks have a pelagic larval stage that facilitates their potential geographic dispersion and their development and settlement far from their normal environment that would be related to oceanographic disorders that originate the El Niño anomaly (THORSON, 1950).

The size range of *C. subquadrata*, between 6 and 95 mm, allowed to stress the presence of juvenile specimens less than 22 mm (51%); this could be an indicator that it was breeding at discrete levels; while for *R. undulata*, whose size structure varied from 60 to 119 mm, no juvenile specimens were detected, possibly because the samplings conducted do not fully coincide with their habitat.

Teniendo en cuenta las densidades relativas en ambas especies, se encontraron bajas concentraciones, propias de especies raras, con valores de 1 a 18 ind./m² para *C. subquadrata* y 1 ind./m² para *R. undulata*, resaltando que para la primera especie el 73% de las estaciones presentaron 1 ind./m².

La gran dimensión (elongación) que pueden adquirir los sifones llegando a alcanzar el mismo o mayor tamaño que la longitud valvar en *R. undulata*, sugiere la forma de vida de la especie como parte de la infauna marina. Observaciones *in situ* mostraron que la especie vive enterrada en el submareal, en un sustrato de tipo arena fina con fango. Lo antedicho fue sustentado por MARSHALL (1985) quien indica que la fusión de los sifones en mayor o menor extensión es una adaptación a la excavación profunda, encontrándose en muchos heterodontos como en la familia Mactridae; similar a lo descrito para *R. undulata* (Fig. 9a). En similares condiciones de sustrato se registró a *C. subquadrata*, aunque a profundidades mayores comprendidas entre 5 y 17 m, respecto a los 6-6,5 m registrados para *R. undulata* (Fig. 9b).

Los niveles poblacionales de las especies en estudio podrían ser catalogadas como de "abundancia escasa", debido a que su distribución solo ocurre en áreas muy específicas, tal es el caso para *C. subquadrata* en Canaco y *R. undulata* en El Dorado, de 24 estaciones realizadas en cada área, solo en una se registraron las especies estudiadas, por ello, podrían ser consideradas especies "raras" en la Región.

Low concentrations, typical of rare species, with values from 1 to 18 ind./m² for *C. subquadrata* and 1 ind./m² for *R. undulata* were found when considering the relative densities in both species. For the first species, 73% of the stations presented 1 ind./m².

Siphons can reach the same or larger size than the valve length in *R. undulata*, suggesting the species' way of life as part of the marine infauna. *In situ* observations showed that the species lives buried in the subtidal, in a fine sand type substrate with mud. The above was supported by MARSHALL (1985) who indicates that the fusion of siphons in greater or lesser extension is an adaptation to deep excavation, being found in many heterodonts as in the family Mactridae; similar to what is described for *R. undulata* (Fig. 9a). *C. subquadrata* was registered in similar substrate conditions, although at greater depths between 5 and 17 m, as compared to the 6-6.5 m registered for *R. undulata* (Fig. 9a).

The population levels of the species under study could be cataloged as of "scarce abundance" since their distribution only occurs in very specific areas, such as the case for *C. subquadrata* in Canaco and *R. undulata* in El Dorado; only in one of the 24 stations sampled in each area, were registered, therefore, they could be considered as "rare" species in the Region.

In the Peruvian Province, the presence of tropical species can be attributed to the transport of

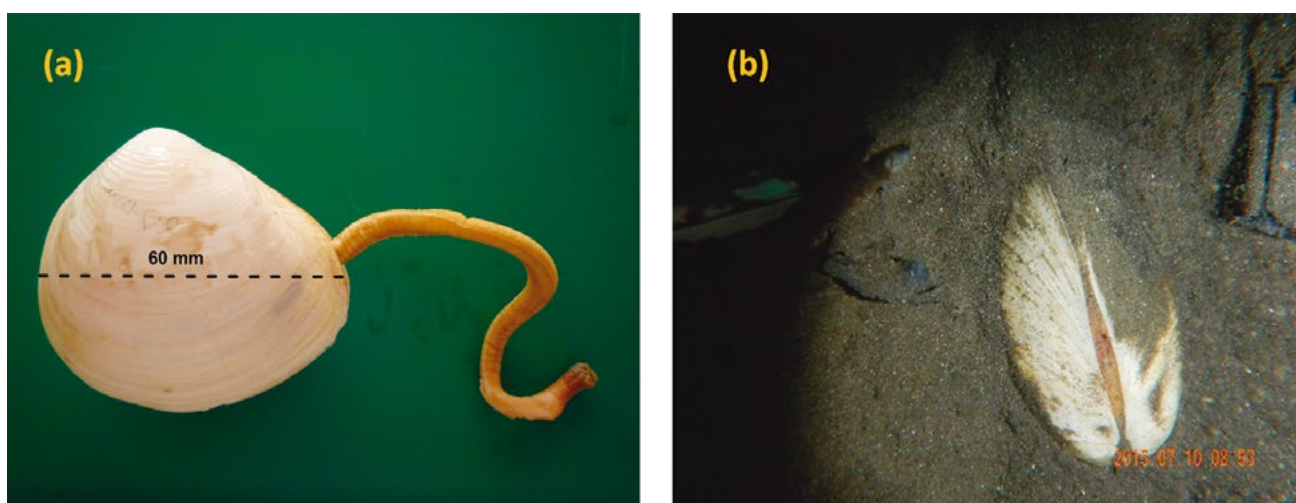


Figura 9.- Longitud del sifón en *R. undulata* (a) y nicho habitable de *C. subquadrata* (b)

Figure 9. Siphon length in *R. undulata* (a) and habitable niche of *C. subquadrata* (b)

La presencia de especies tropicales en la Provincia Peruana, se debería al transporte de sus larvas, favorecidos por las corrientes marinas que caracterizan a los eventos EN. Cabe la posibilidad que larvas de *C. subquadrata* y *R. undulata* hayan sido transportados por eventos EN producidos en las últimas décadas o más. Al respecto PAREDES *et al.* (1998) manifiestan la posibilidad que estas especies hayan encontrado "áreas de refugio" dónde desarrollarse y permanecer, presentando una distribución discontinua en la Provincia Peruana.

En bahías cerradas y semi cerradas como El Ferrol, Samanco y Canaco, debido a sus condiciones térmicas especiales como consecuencia de su configuración geográfica y dinámica de corrientes locales, los registros térmicos son mayores dentro de las bahías que en áreas expuestas anexas. Al respecto, SÁNCHEZ *et al.* (2008) registraron dentro de la bahía El Ferrol, temperaturas superiores en 2 °C. Condiciones que podrían favorecer parcialmente el éxito reproductivo de la especie si consideramos que tanto la temperatura como la disponibilidad de alimento son dos variables importantes para ello, comprobándose el desove cuando las condiciones de estas variables son adecuadas (GARCÍA, 2002).

Especies de la Provincia Panameña y de la zona intertropical como *C. subquadrata* y *R. undulata*, viven actualmente en el litoral norte centro del Perú (9°S), coexistiendo con otras especies propias de la fauna local como *Semele corrugata* y *Tagelus dombeii*.

Agradecimientos

Agradecemos a los doctores Eugene Coan y Paul Valentich-Scott curadores del Museo de Historia Natural de Santa Barbara, California, por su colaboración en la identificación de las especies en estudio.

their larvae, favored by the marine currents that characterize EN. It is likely that larvae of *C. subquadrata* and *R. undulata* have been transported by EN events produced in recent decades or more. PAREDES *et al.* (1998) express that these species may have found "refuge areas" where to develop and remain, presenting a discontinuous distribution in the Peruvian Province.

In closed and semi-closed bays such as El Ferrol, Samanco, and Canaco, given their special thermal conditions as a consequence of their geographical configuration and local current dynamics; thermal records are higher within the bays than in adjacent exposed areas. In this sense, SÁNCHEZ *et al.* (2008) recorded higher temperatures in El Ferrol Bay by 2 °C. If we consider that both temperature and the availability of food are two important variables that could partially favor the breeding success of the species and spawning is verified when the conditions of these variables are adequate (GARCÍA, 2002).

Species of the Panamic Province and the intertropical zone such as *C. subquadrata* and *R. undulata*, currently live in the north-central coast of Peru (9°S), coexisting with other species of local fauna such as *Semele corrugata* and *Tagelus dombeii*.

Acknowledgments

We would like to thank Dr. Eugene Coan and Dr. Paul Valentich-Scott, curators of the Santa Barbara Museum of Natural History, California, for their collaboration in identifying the species under study.

REFERENCIAS / REFERENCES

- BERRU P, PEREA A, GÁLVEZ M A. 2014. Primer registro de *Mactrotoma velata* (Bivalvia, Mactridae) en Ancash-Perú, aspectos biológicos y reproductivos. *The Biologist* (Lima). 12(2).
- CARRITT D E, CARPENTER J H. 1966. Comparison and Evaluation of Currently Employed Modifications of the Winkler Method for Determining Dissolved Oxygen in Seawater. NASCO Report, *Journal of Marine Research*. 24: 286 - 318.
- COAN E V, VALENTICH-SCOTT P. 2012. Bivalve seashells of tropical west America. Edit. Santa Barbara Museum of Natural History. 1258 p.
- DÍAZ A, ORTLIEB L. 1993. El Fenómeno El Niño y los Moluscos de la Costa Peruana. *Bull. Inst. Fr. Études andines*. 22(1): 159 - 177.
- GARCÍA FA. 2002. Estrategias reproductivas de bivalvos marinos en el noroeste mexicano. Tesis grado Doctor. Universidad de Colima. México. 136 p.
- INRENA. 2002. Reserva Nacional de Paracas-Plan Maestro 2003-2007. Pisco-Perú.
- MARSHALL A J, WILLIAMS W D. 1985. *Zoología Invertebrados*. 7ma ed. Editorial Reverté, S.A. México. Vol. 1: 979.
- PAREDES C, TARAZONA J, CANAHUIRE E, ROMERO L, CORNEJO O, CARDOSO F. 1998. Presencia de moluscos tropicales de la Provincia Panameña en la costa central del Perú y su relación con los eventos El Niño. *Revista peruana de biología*. 5(2): 123 - 128.
- PAREDES C, HUAMÁN P, CARDOSO F, VIVAR R, VERA V. 1999. Estado actual del conocimiento de los moluscos acuáticos en el Perú. *Revista peruana de biología*. 6(1): 5 - 47.
- PAREDES C, CARDOSO F, SANTAMARÍA J, ESPLANA J, LLAJA L. 2016. Lista anotada de los bivalvos marinos del Perú. *Revista peruana de biología*. 23(2): 127 - 150.
- ROMERO L, ALDANA M, RANGEL C, VILLAVICENCIO E, RAMÍREZ J. 1995. Fauna y flora fósil del Perú. INGEMMET. Serie D. Estudios especiales. Lima-Perú. Bol. N° 17.
- THORSON G. 1950. Reproduction and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biol. Rev.* 25: 38 - 45.
- SÁNCHEZ G, OROZCO R., ENRÍQUEZ E, NOLAZCO V. 2008. Bahías El Ferrol y Coishco, Chimbote, Perú: Evaluación Ambiental en abril y julio 2002. *Inf. IMARPE*. 35 (1).
- VAN BRUGGEN A C. 1995. Biodiversity of the Mollusca: time for a new approach. pp. 1 - 18. In A.C. van Bruggen, S.M. Wells & Th. C.M. Kemperman (eds.). *Biodiversity and conservation of the Mollusca*. Eleventh International Malacological Congress, Siena, Italy, 1992. Backhuys, Oegstgeest- Leiden, the Netherlands.
- VEGAS VÉLEZ M. 1980. Algunas consideraciones bioceanográficas sobre el Pacífico Sudoriental. *Bol. Inst. Oceanogr., S. Paulo*. 29 (2): 371 - 373.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS SERIADAS DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ (IMARPE)

Boletín IMARPE Bol Inst Mar Perú ISSN 0458-7766 (BIMP)
Informe IMARPE Inf Inst Mar Perú ISSN 0378-7702 (IIMP)

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

En principio, sus páginas están abiertas a las investigaciones realizadas por el personal técnico y científico del propio Instituto del Mar del Perú (IMARPE), y podrán aceptarse trabajos realizados en otras instituciones o laboratorios, en idioma castellano o inglés o bilingüe, autorizados por la Dirección Ejecutiva Científica, previa calificación por Revisores Especializados y aceptación del Comité Editorial. Además, publica Notas científicas, Notas técnicas, Reseñas bibliográficas y Obituarios referidos a destacados investigadores marinos, peruanos y de otras nacionalidades.

ESCRITOS ORIGINALES

La solicitud para publicación de un trabajo en el IIMP o el BIMP, deberá ser remitida a la sede del Instituto del Mar del Perú, dirigida al Director Ejecutivo Científico. Cuando el artículo provenga de una institución externa al IMARPE, deberá estar acompañado de una carta de presentación en la que el autor plantee la disposición para que sea revisado y editado de acuerdo al formato establecido por el IMARPE.

Los artículos deberán presentarse impresos en original, a una columna, (incluyendo ilustraciones y tablas) en una sola cara en papel tamaño A4, a doble espacio y con márgenes amplios. Se acompañará además de la versión digital en CD o USB. Los textos deberán seguir estrictamente la estructura que se describe a continuación, o serán devueltos a los autores.

La primera página incluirá: (1) **TÍTULO DEL TRABAJO** (explícito, descriptivo y tan corto como sea posible), debajo, irá el título traducido al inglés; (2) **EL NOMBRE COMPLETO DEL AUTOR O LOS AUTORES** (a) el autor debe decidir una forma definitiva de expresar su nombre, es decir no utilizar a veces los dos nombres de pila y los dos apellidos; otras veces sólo un nombre y un apellido; otras veces poner sólo iniciales para el segundo nombre y el segundo apellido; si esto cambia, en los registros y en las bases de datos, ya se trataría de autores diferentes; (b) se aconseja a los autores que generalmente utilizan sus dos apellidos, los unan mediante un guion; también debe incluirse la dirección institucional, el correo electrónico, en notas al pie de página.

En las páginas siguientes, deberá ir un **RESUMEN** en español, incluyendo **PALABRAS CLAVE** y un **ABSTRACT** en inglés, incluyendo **KEYWORDS** (Resúmenes en otros idiomas son opcionales). También debe incluirse el título abreviado sugerido para los encabezamientos de páginas impares. Las notas, reseñas bibliográficas, etc. no tendrán resúmenes.

Los **textos** deberán ser concisos, claros y directos, e incluirán: **INTRODUCCIÓN**, **MATERIAL Y MÉTODOS**, **RESULTADOS**, **DISCUSIÓN** (podría ser un solo capítulo, **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**) y **CONCLUSIONES**, además de **AGRADECIMIENTOS** y **REFERENCIAS DE LITERATURA**. En Agradecimientos, solo se dedicarán a las personas y/o instituciones que directamente colaboraron en la ejecución del trabajo.

Las Notas científicas y técnicas son artículos primarios, noticias de resultados cuya información es de interés para la comunidad científica. La extensión del texto no será mayor de 8 páginas. Esta sección debe tener las siguientes partes: Título, autor(es), texto de la Nota, Agradecimientos y Referencias.

Los artículos referidos a nuevas especies, nuevos registros, ampliación de distribución geográfica, estarán incursos en las Notas científicas, y el autor(es) deberá(n) indicar el depósito de los ejemplares en un centro de referencia taxonómico.

Los nombres científicos deberán ser escritos en cursivas e irán acompañados por autor y año cuando sean citados por primera vez en el texto. Los nombres científicos deben ser corroborados con cuidado.

En las citas bibliográficas en el texto, los nombres de autores irán en letras **VERSALES**, seguidos por el año de publicación, p.ej. (GUEVARA-CARRASCO 2004), ESPINOZA y ZEBALLOS (2004) o ESTRELLA *et al.* (2006).

En las **REFERENCIAS** se incluirán únicamente los artículos mencionados en el texto, y se seguirá estrictamente el formato de publicación del IMARPE. Se ordenarán alfabéticamente por autor y cronológicamente para cada autor. Los títulos de publicaciones periódicas irán abreviados. Las referencias a libros o capítulos de libros deberán ser completas, incluyendo ciudad, editorial y paginación. En todos los casos, los nombres del autor principal y los colaboradores, en la relación de

Referencias, se anotarán por el apellido y la inicial del nombre de pila, sin punto, solamente separado por coma; año de publicación; Título del artículo, Revista y número de páginas. Ejs.: DELGADO E, SÁNCHEZ S, CHANG F, VILLANUEVA P. 2001. TÍTULO ARTÍCULO...REVISTA...Vol. (Núm.): pp.

En las referencias electrónicas, la norma general incluye también el nombre del autor, fecha de publicación en internet, título del artículo o documento <URL>, fecha de acceso, Ejemplos:

- BROWNING T. 1997. Embedded visuals: student design in Web spaces. Kairons: A Journal foreachers of Writing in Webb Environments 3(1). <http://english.ttu.edu/kairons/2.1/features/browning/bridge.html>. Access 1997 Oct 21.
- KENNETH IA. 2000. A Buddhist response to the natures of human rights. Journal of Buddhist Ethics 8(4), <http://www.cac.psu.edu/jbe.twocont.html>. Obtenido el 20 de febrero de 2001.

Se recomienda el tipo "palatino", y su tamaño en el artículo variará de la siguiente manera:

Título en español, **14 NEGRA ALTA** (= mayúsculas) **centrado**.

Título en inglés, **12 NEGRA ALTA centrado**.

Autores: nombre, *12 cursiva blanca*; dirección 9 blanca, centrado

Resumen y Capítulos, 12 negra, alta. Subcapítulo, 12 negra alta y baja (mayúscula y minúscula), alineado a la izquierda.

Texto en general 11 blanca. Referencias de Literatura, en tamaño 10 blanca.

Ilustraciones y tablas

Las fotografías, dibujos, gráficos y mapas serán considerados como **FIGURAS**, numeradas consecutivamente con guarismos arábigos. Se recomienda remitir las ilustraciones y tablas como imágenes digitalizadas contenidas en archivos electrónicos (separadas del archivo conteniendo el texto). Las imágenes digitalizadas con máxima resolución, las tablas en sus programas originales o insertos en Power point cuando se utilizan programas diferentes a Office (ej. Surfer, etc.).

Cuando sea pertinente, la ilustración llevará una indicación del grado de aumento o reducción con respecto al original; se recomienda utilizar una barra en escala métrica e indicar el tamaño final con que deberá aparecer en la publicación, tomando en cuenta el formato de publicación del IMARPE. Toda ilustración deberá estar claramente identificada con nombres de autores, título del manuscrito y número de figura. Las leyendas para las ilustraciones, numeradas consecutivamente, irán en página aparte, luego del texto del artículo.

Si las figuras fuesen realizadas en programas en los que realizan procesamientos de datos, o si fueran escaneadas, deben guardarse en un archivo TIFF, tamaño natural, 600 dpi. Las gráficas de origen electrónico deben de enviarse en formato nativo editable (archivo.xls, archivo.wmf, archivo.svg, archivo.eps). Los mapas en formatos SHP. Fotos de cámaras digitales en formato JPG mayor a 3 Mpixel. Otros archivos independientes en formato TIFF, BMP, Ai, PSD.

Las **TABLAS** deberán ir numeradas consecutivamente, con guarismos arábigos, e impresas en páginas aparte. Sus leyendas, numeradas consecutivamente, irán en página aparte, luego del texto del artículo.

Notas:

Las medidas y sus abreviaturas deben corresponder al Sistema Internacional de Unidades (SI).

1. En el Sistema Internacional de Unidades (SI): Algunos de los símbolos actuales aceptados son: **m** (metro), **cm** (centímetro), **mm** (milímetro), **km** (kilómetro), **kg** (kilogramo), **g** (gramo), **ha** (hectárea), **mn** (milla náutica), **L** (litro), **mL** (mililitro), **W** (vatio), **kW** (kilovatio), **Hz** (hertzio), **kHz** (kilohertzio).
2. En la escritura de cantidades: No debe usarse el punto decimal, sino la coma decimal. Ej. Un sol con cincuenta céntimos será S/. **1,50** (está mal si se escribe 1.50). Ver también a continuación.
 - Las cantidades de miles y millones, deben separarse por puntos, cada tres dígitos: Ej. Oncemil quinientos soles con cincuenta céntimos será: S/. **11.500,50** (estará mal si se escribe 11,000.50)-
 - quince millones trescientos cincuenta mil y veinticinco céntimos se deberá escribir **15.350.000,25**
 - Cuando en un texto se tratan cifras con muchos ceros puede escribirse en letras. Ej. 1.000.000.000 (mejor escribir **mil millones**), o en vez de 100.000 escribir **cien mil**.

Consultas a: marce@imarpe.gob.pe, vvaldivieso@imarpe.gob.pe, vvaldiviesom@yahoo.es

AÑOS Y NÚMEROS DE LAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS DEL IREMAR Y DEL IMARPE

BOLETÍN IREMAR (ISSN 020-3920) Año 1963 Vol. 1 Números 1-5
 INFORME IREMAR (ISSN 0475-1672) Año 1962 (Vol. 1) Números 1-6(6)
 Año 1963 (Vol. 2) Números 7-22 (16)
 Año 1964 (Vol. 3) Números 23-28 (6)

BOLETÍN IMARPE (Bol Inst Mar Perú, ISSN 0458-7766)								
AÑO	Vol.	Números	Año	Vol.	Números	Año	Vol.	Números
1964	I	1	1984	IX	2,3,4,5,6	2002	-----	-----
1965		2, 3	1985	X	1,2,3,4,5,6,6a	2003	-----	-----
1966		4,5,6		+ 2 extraord.	1,2	2004	XXI	1-2
1967	-----	-----			1	2005	XXII	1-2
1968	A	7,8,9,10	1986	XI		2006	-----	-----
1969	II	1,2,3,4	1987	+ 3 extraord.	2,3,4,5,6,7	2007	-----	-----
1970		5,6		XII	1,2,3,4,5,6	2008	XXIII	1-2
1971	-----	-----	1988	XIII		2009	XXIV	1-2
1972		7,8,9	1989	XIV	1,2	2010	XXV	1-2
1973	-----	-----	1990	-----	1,2	2011	XXVI	1-2
1974		10	1991	-----	1,2	2012	XXVII	1-2
1974	III	1,2,3	1992	-----	-----	2013	XXVIII	1-2
1975	-----	-----	1993	-----	-----	2014	XXIX	1-2
1976		4	1994	-----	-----	2015	XXX	1-2
1977		5	1995	XV	-----	2016	XXXI	1-2
1978	IV	1,3	1996	XVI	1,2	2017	XXXII	1, 2
1979	-----	-----	1997	-----	1,2	2018	XXXIII	1, 2
1980	-----	-----	1998	XVII	1-2	2019	XXXIV	1,2
1981	V, VI+ 1 extrad.	-----	1999	XVIII	1-2			
1982	VII	-----	2000	XIX	1-2			
1983	VIII	1	2001	XX	1-2			

INFORME IMARPE (Inf Inst Mar Perú, ISSN 0378-7702)											
AÑO	(Vol.)	NÚMEROS		AÑO	(Vol.)	NÚMEROS		AÑO	(Vol.)	NÚMEROS	
1965	(01)	01-09	(9)	1985	----	-----		2005	----	-----	
1966	(02)	10-15	(6)	1986	(17)	89	(1)	2006	(33)	1	(1)
1967	(03)	16-19	(4)	1987	(18)	90-91	(3)	2007	(34)	1,2,3,4	(4)
1968	(04)	20-26	(7)	1988	(19)	92-93	(2)	2008	(35)	1,2,3,4	(4)
1969	(05)	27-30	(4)	1989	(20)	94-96	(3)	2009	(36)	1-2, 3-4	(2)
1970	(06)	31-35	(5)	1990	(21)	97-99	(3)	2010	(37)	1-2, 3-4	(2)
1971	(07)	36-37	(2)	1991	(22)	100-101	(2)	2011	(38)	1,2,3,4	(4)
1972	(08)	38-40	(3)	1992	(23)	102-104	(3)	2012	(39)	1-2, 3-4	(2)
1973	(09)	41-43	(3)	1993	----	-----		2013	(40)	1-2, 3-4	(2)
1974	(10)	44	(1)	1994	(24)	105	(1)	2014	(41)	1-4	(1)
1975	----	-----		1995	(25)	106-115	(10)	2015	(42)	1,2,3,4,	(4)
1976	----	-----		1996	(26)	116-122	(7)	2016	(43)	1,2,3,4	(4)
1977	----	-----		1997	(27)	123-129	(7)	2017	(44)	1,2,3,4	(4)
1978	(11)	45-51	(7)	1998	(28)	130-142	(7)	2018	(45)	1,2,3,4	(4)
1979	(12)	52-73	(22)	1999	(29)	143-150	(8)	2019	(46)	1,2,3,4	(4)
1980	(13)	75-78	(4)	2000	(30)	151-158	(8)				
1981	(14)	79-82	(4)	2001	(31)	159-164	(6)				
1982	----	-----		2002	----	-----					
1983	(15)	83-85	(3)	2003	----	-----					
1984	(16)	86-88	(3)	2004	(32)	1,2,3,4	(4)				

ANUARIO CIENTÍFICO TECNOLÓGICO IMARPE (ISSN 1813-2103)		
2004 Vol. 3 Enero-diciembre 2003	2010 Vol. 9 Enero-diciembre 2009	2016 Vol. 15 Enero-diciembre 2015
2005 Vol. 4 Enero- diciembre 2004	2011 Vol. 10 Enero-diciembre 2010	2017 Vol. 16 Enero-diciembre 2016
2006 Vol. 5 Enero-diciembre 2005	2012 Vol. 11 Enero-diciembre 2011	2018 Vol. 17. Enero-diciembre 2017
2007 Vol. 6 Enero-diciembre 2006	2013 Vol. 12 Enero-diciembre 2012	2019 Vol. 18. Enero-diciembre 2018
2008 Vol. 7 Enero-diciembre 2007	2014 Vol. 13 Enero-diciembre 2013	
2009 Vol. 8 Enero-diciembre 2008	2015 Vol. 14 Enero-diciembre 2014	

Para pedidos de publicaciones, solicitar el Catálogo de Publicaciones, dirigiendo su correspondencia a:
 BIBLIOTECA DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ, Apartado Postal 22, Callao, Perú.
 Correo Electrónico: imarpe-bib@imarpe.gob.pe. También consultar el Repositorio Digital en www.imarpe.gob.pe