



## Distribución y biomasa de anchoveta (*Engraulis ringens*) y múnida (*Pleuroncodes monodon*) en el ecosistema marino de la Reserva Nacional de Paracas, región sur del Perú

### Distribution and biomass of anchovy (*Engraulis ringens*) and pelagic red squat lobster (*Pleuroncodes monodon*) in marine ecosystem of Paracas National Reserve, southern Peru

Rodolfo Cornejo<sup>1\*</sup>, Luis La Cruz y Ramiro Castillo

 0000-0001-9325-6512  0000-0002-2208-4538  0000-0003-0580-2742

1. Instituto del Mar del Perú (Imarpe). Esq. Gamarra y General Valle s/n. Chucuito. Callao, Perú. [rcornejo@imarpe.gob.pe](mailto:rcornejo@imarpe.gob.pe)\*; [recpesq@gmail.com](mailto:recpesq@gmail.com); [llacruz@imarpe.gob.pe](mailto:llacruz@imarpe.gob.pe); [prcastillo@imarpe.gob.pe](mailto:prcastillo@imarpe.gob.pe)

\* Autor de correspondencia.

#### RESUMEN

El presente estudio determinó la distribución y biomasa de la anchoveta y múnida relacionadas a las características oceanográficas en el Área Marina Protegida de la Reserva Nacional de Paracas en el Sistema Norte de la Corriente de Humboldt. Se recolectó información acústica, biológica y oceanográfica del hábitat pelágico en cruceros de investigación efectuados por el Instituto del Mar del Perú durante el verano y primavera de 2018, 2019 y 2020. Los resultados obtenidos indicaron que la ocupación espacial del hábitat pelágico de la anchoveta y múnida estuvieron influenciados por la dinámica de afloramientos, masas de aguas y una somera e intensa Zona Mínima de Oxígeno. Se registró una sobreposición espacial de altas biomásas de anchoveta y múnida en la capa superficial durante la noche. Aunque con presencia de enjambres densos de múnida en aguas intermedias anóxicas de la Zona Mínima de Oxígeno durante el día. El Área Marina Protegida de la Reserva Nacional de Paracas funciona como zona de protección de la estructura y funcionamiento del ecosistema pelágico nerítico y fortalece la producción pesquera del stock de anchoveta en el Sistema Norte de la Corriente de Humboldt.

**PALABRAS CLAVE:** ecología espacial, acústica pesquera, recursos hidrobiológicos, servicios ecosistémicos.

#### ABSTRACT

The present study determined the distribution and biomass of the Peruvian anchovy and pelagic red squat lobster related to the oceanographic characteristics in the marine protected area of the Paracas National Reserve in the Northern Humboldt Current System. Acoustic, biological, and oceanographic information was collected on the pelagic habitat in surveys carried out by the Peruvian Marine Research Institute during the summer and spring of 2018, 2019, and 2020. The results obtained indicated that the spatial occupation of the pelagic habitat of Peruvian anchovy and pelagic red squat lobster were influenced by the dynamics of upwelling, water masses, and a shallow and intense Oxygen Minimum Zone. Spatial overlap of high biomass of Peruvian anchovy and pelagic red squat lobster were recorded in the surface layer during the night. Although, with the presence of dense swarms of múnida in anoxic intermediate waters of the Oxygen Minimum Zone during the day. The Marine Protected Area off the Paracas National Reserve functions as a protection zone for the structure and functioning of the pelagic-neritic ecosystem and strengthens the fishery production of Peruvian anchovy stock in the Northern Humboldt Current System.

**KEYWORDS:** spatial ecology, fisheries acoustic, hydrobiological resources, ecosystem services.

## INTRODUCCIÓN

La anchoveta (*Engraulis ringens*) es una especie endémica y dominante del Sistema Norte de la Corriente de Humboldt (SNCH), con biomasa anual estimada entre 1,7 y 12,7 millones de t en los últimos 20 años, la cual sustenta la pesquería sostenible más grande del mundo (Vildoso *et al.*, 1999; Castillo *et al.*, 2020a). Por otro lado, la múnida (*Pleuroncodes monodon*) es un crustáceo decápodo que habita el ecosistema pelágico nerítico y es considerado un recurso pesquero potencial por sus niveles de abundancia que varían entre 1,5 y 3,5 millones de t durante el verano y primavera (Chirichigno, 1970; Gutiérrez *et al.*, 2008; Castillo *et al.*, 2020a, 2020b).

La Reserva Nacional de Paracas (RNP), ubicada al sur del Perú en las provincias de Pisco e Ica, fue creada el 25 de septiembre de 1975, con una extensión de 335 000 ha, de las cuales 35 % corresponden a tierra firme e islas y el 65 % a aguas marinas (Decreto Supremo N° 1281-75-AG; Jacinto, 2014; Guezal y Wickel, 2015). El ecosistema marino de la RNP es de alta productividad debido a la ocurrencia de procesos de afloramiento y una intensa Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) propios del SNCH (Strub *et al.*, 1998; Messié y Chavez, 2015), lo cual sustenta la gran biodiversidad y biomasa marina de la provincia Peruano-Chilena (templada-fría) conformada por aves residentes y migratorias, así como cetáceos, delfines, lobos marinos, tortugas marinas, peces, crustáceos e invertebrados, destacando por su mayor frecuencia de ocurrencia la anchoveta (*Engraulis ringens*), pintadilla (*Cheilodactylus variegatus*), concha de abanico (*Argopecten purpuratus*), choro (*Aulacomya atra*), caracol chino (*Crossata ventricosa*), caracol (*Thaisella chocolata*), palabrita (*Transennella pannosa*), jaiba (*Cancer porteri*), cangrejo peludo (*Romaleon setosus*), aracanto palo (*Lessonia trabeculata*), lapa negra (*Fissurella latimarginata*) y erizo rojo (*Loxechinus albus*) (Vélez, 1975; Vildoso *et al.*, 1999; Chirichigno y Cornejo, 2001; Paz *et al.*, 2002; Reyes *et al.*, 2007; Guezal y Wickel, 2015; Flores *et al.*, 2019; Goya *et al.*, 2020). Sin embargo, existen escasos estudios sobre la densidad poblacional de especies marinas en áreas marinas protegidas (AMP), siendo importante como herramienta de gestión para la conservación, recuperación de los ecosistemas marinos y sus servicios ecosistémicos, así como mecanismos de mitigación de los efectos del cambio climático (FAO, 2012; Spalding *et al.*, 2013; Cutipa-Luque *et al.*, 2020).

El presente estudio tiene por objetivo determinar la distribución y biomasa de anchoveta y múnida y su relación con las características oceanográficas en la zona marino costera de la RNP.

## INTRODUCTION

Anchovy (*Engraulis ringens*) is an endemic and dominant species of the Northern Humboldt Current System (SNCH), with an estimated biomass between 1.7 and 12.7 million t in the last 20 years, which sustains the largest sustainable fishery in the world (Vildoso *et al.*, 1999; Castillo *et al.*, 2020a). On the other hand, the red squat lobster (*Pleuroncodes monodon*) is a decapod crustacean that inhabits the neritic pelagic ecosystem and is considered to be a potential fishing resource due to its abundance levels, which vary between 1.5 and 3.5 million t during the summer and spring (Chirichigno, 1970; Gutiérrez *et al.*, 2008; Castillo *et al.*, 2020a, 2020b).

The Paracas National Reserve (RNP), located in the southern Peruvian provinces of Pisco and Ica, was created on September 25, 1975, with an extension of 335 000 ha, out of which 35 % corresponds to the mainland and 65 % to marine waters (Decreto Supremo N° 1281-75-AG; Jacinto, 2014; Guezal and Wickel, 2015). The RNP marine ecosystem has a high productivity, given the occurrence of upwelling processes and an intense oxygen minimum zone (OMZ), which is typical of the SNCH (Strub *et al.*, 1998; Messié and Chavez, 2015). This sustains the great marine biodiversity and biomass of the Peruvian-Chilean province (temperate-cold) consisting of resident and migrant birds, as well as cetaceans, dolphins, sea lions, sea turtles, fish, crustaceans, and invertebrates, where the following are highlighted due to their higher occurrence frequency: the anchovy (*Engraulis ringens*), the Peruvian morwong (*Cheilodactylus variegatus*), the purple scallop (*Argopecten purpuratus*), the ribbed mussel (*Aulacomya atra*), the swollen frog shell (*Crossata ventricosa*), the *Thaisella chocolata* sea snail, the fine clam (*Transennella pannosa*), the jaiba (*Cancer porteri*), the jaiba peluda (*Romaleon setosus*), the *Lessonia trabeculate* kelp, the lapa negra (*Fissurella latimarginata*), and the red sea urchin (*Loxechinus albus*) (Vélez, 1975; Vildoso *et al.*, 1999; Chirichigno and Cornejo, 2001; Paz *et al.*, 2002; Reyes *et al.*, 2007; Guezal and Wickel, 2015; Flores *et al.*, 2019; Goya *et al.*, 2020). However, there are few studies on the population density of marine species in marine protected areas (MPA). Said studies are important management tools for the preservation and recovery of marine ecosystems and their services, as well as for mitigation mechanisms regarding the effects of climate change (FAO, 2012; Spalding *et al.*, 2013; Cutipa-Luque *et al.*, 2020).

The objective of this study is to determine the distribution and biomass of anchovy and red squat lobster, as well as their relationship with the oceanographic characteristics of the coastal-marine area of the RNP.

## MATERIALES Y MÉTODOS

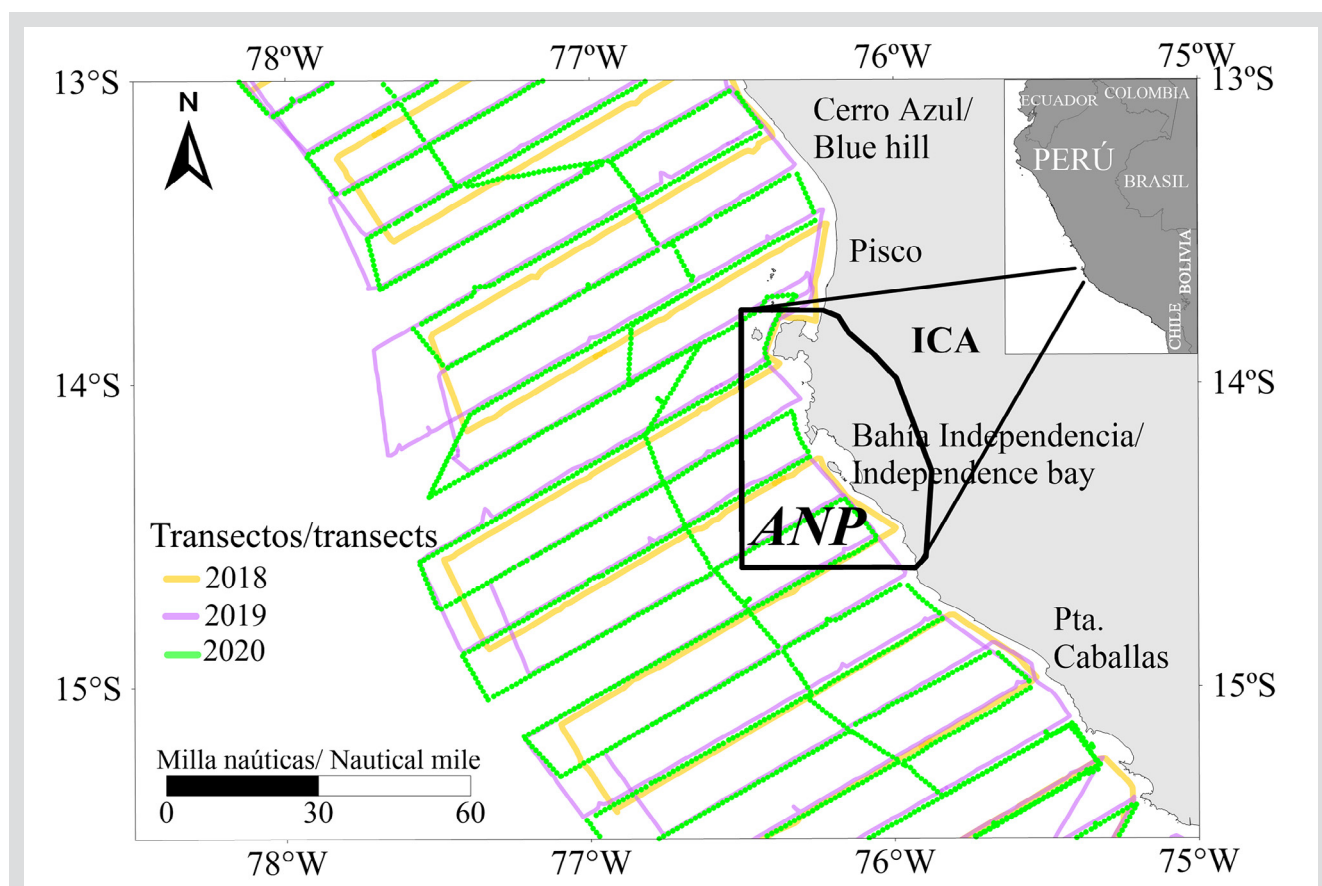
### Área de estudio

El ámbito geográfico del estudio comprendió el ecosistema marino correspondiente al área de influencia directa e indirecta del AMP de la RNP, en la zona sur del Pacífico suroriental del Perú de la Corriente de Humboldt entre Cerro Azul (13°01'S, 76°20'W) y San Juan (15°20'S, 75°19'W) (Figura 1). Se consideró como área de influencia directa la propia RNP y como área de influencia indirecta las áreas colindantes entre Cerro Azul y Punta Caballas, y un alcance horizontal desde 0,56 km [0,3 millas náuticas (mn)] hasta 185,20 km (100 mn) de distancia a la costa.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The geographic scope of the study encompassed the marine ecosystem corresponding to the direct and indirect influence areas of the RNP's MPA, in the southern region of the Peruvian Southwestern Pacific Humboldt Current, between Cerro Azul (13°01'S, 76°20'W) and San Juan (15°20'S, 75°19'W) (Figure 1). The RNP itself was considered as a direct influence area and the adjacent areas between Cerro Azul and Punta Caballas as indirect influence areas. This implies a horizontal scope from 0,56 km [0.3 nautical miles (nmi)] up to 185.20 km (100 nmi) from the coast.



**Figura 1.** Transectos de los cruceros de evaluación hidroacústica 2018–2020 en el Área Natural Protegida (ANP) “Reserva Nacional de Paracas”, Pisco-ICA, Perú (polígono de línea continua de color negro).

**Figure 1.** 2018–2020 Transects of the hydroacoustic assessment cruises in natural protected areas (NPA), Paracas National Reserve, Pisco-ICA, Peru (continuous black line polygon).

### Recolecta y análisis de datos acústicos, biológicos y oceanográficos

Los datos acústicos, biológicos y oceanográficos fueron recolectados durante el desarrollo de los Cruceros de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos por el

### Acoustic, biological, and oceanographic data collection and analysis

Acoustic, biological, and oceanographic data were collected during the Cruises for Hydroacoustic Assessment of Pelagic Resources carried out by Sea Institute of Peru

Instituto del Mar del Perú (Imarpe) con la participación de los Buques de Investigación Científica (BICs): José Olaya Balandra, Luis Flores Portugal y Humboldt, durante los meses de verano (febrero-marzo) y primavera (septiembre-octubre) de 2018, 2019 y 2020. Estos cruceros tuvieron como finalidad determinar la distribución y biomasa de los recursos pelágicos frente a toda la costa peruana (Tumbes 03°30' -Tacna 18°20' S). Para el presente trabajo se utilizó como área de estudio donde se sitúa la RNP entre 13°00' (Cerro Azul) y 15°30'S (al sur de Punta Caballas).

#### Datos acústicos

Los datos acústicos (Coeficiente Náutico del Área de Dispersión Acústica–NASC-  $m^2 mn^2$  [MacLennan *et al.*, 2002]) para la anchoveta y la múnida fueron recolectados durante los cruceros 1802-04, 1809-11, 1902-03, 1909-11 y 2002-03 (los dos primeros dígitos de la codificación corresponden a los dos últimos dígitos del año, seguido de los dígitos que corresponden a los meses en que fue realizado el crucero).

El diseño de muestreo acústico se realizó por el método sistemático (Simmonds y MacLennan, 2005), que consistió en transectos o perfiles perpendiculares a la línea de costa y paralelos entre sí, con una separación de 18,52 km (10 mn). La longitud o distancia de los transectos fue desde 0,56 hasta 185,2 km (0,3-100 mn) de distancia de la costa. La velocidad de navegación del crucero fue 18,5 km/h (10 nudos) y la unidad básica de muestreo acústico fueron 1,85 km (1 mn). Las millas náuticas totales evaluadas fueron 4453 (8246,96 km) en 2018, 4411 (8169,17 km) en 2019 y 2320 (4296,64 km) en 2020. Las mediciones acústicas de las especies objetivo se efectuaron con ecosondas científicas multifrecuencia de la marca Simrad Kongsberg EK80 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz) y EK 60 (38 y 120 kHz). Las calibraciones de las ecosondas se realizaron antes de iniciar los cruceros, según la metodología estándar (Simmonds y MacLennan, 2005; Demer *et al.*, 2015), utilizando esferas de calibración de cobre (Cu) y de carburo de tungsteno (WC). Los resultados de las calibraciones fueron aceptables (error cuadrático medio menor a 0,4 dB), según los indicadores y las recomendaciones del fabricante y el grupo de expertos en materia de acústica pesquera del International Council for the Exploration of the Sea (ICES).

#### Datos biológicos

Se recolectaron datos sobre la estructura de tallas (cm) y se estimaron los parámetros de *a* y *b* de la relación longitud (cm)-peso (g) de la anchoveta y múnida. Como muestreador se utilizaron las redes de arrastre pelágico de media agua de tipo Granton con aberturas verticales de 12 m para el BIC José

(Imarpe), with the participation of the José Olaya Balandra, Luis Flores Portugal, and Humboldt Scientific Research Vessels (SRV), during the months of summer (February-March) and spring (September-October) of 2018, 2019, and 2020. These cruises had the purpose of determining the distribution and biomass of the pelagic resources along the entirety of the Peruvian coast (Tumbes 03°30' -Tacna 18°20' S). For this work, the RNP, between 13°00' (Cerro Azul) and 15°30'S (south of Punta Caballas), was used as a study area.

#### Acoustic data

The acoustic data (Nautical Area Scattering Coefficient, NASC [ $m^2 mn^2$ ]) (MacLennan *et al.*, 2002) for anchovy and red squat lobster were collected during the 1802-04, 1809-11, 1902-03, 1909-11, and 2002-03 cruises (the first two digits of each code correspond to the two last digits of the year, followed by the digits corresponding to the months in which the cruise was carried out).

The acoustic sampling design was performed using the systematic method (Simmonds and MacLennan, 2005), which consisted of transects or profiles perpendicular to the coastline and parallel to each other, with a separation of 18.25 km (10 nmi). The length or distance of the transects was from 0,56 to 185.25 km (0.3-100 nmi) from the coast. The cruise navigation speed was 18.5 km/h (10 knots), and the basic acoustic sampling unit was 1.85 (1 nmi). The total nautical miles evaluated were 4453 (8246.96 km) in 2018, 4411 (8169.17 km) in 2019, and 2320 (4296.64 km) in 2020. Acoustic measurements of the target species were conducted with Simrad Kongsberg EK80 (18, 38, 70, 120, and 200 kHz) and EK60 (38 and 120 kHz) scientific multifrequency echo sounders. Calibrations of the echo sounders were performed before the cruises started according to the standard methodology (Simmonds and MacLennan, 2005; Demer *et al.*, 2015), using copper (Cu) and tungsten carbide (WC) calibration spheres. The calibration results were acceptable (a mean squared error lower than 0.4 dB), according to the manufacturer's indicators and recommendations from the manufacturer and the International Council for the Exploration of the Seas' (ICES) expert group regarding fisheries acoustics.

#### Biological data

Data were collected on the size structure (cm), and the *a* and *b* parameters of the length-to-weight ratio [cm-g] of anchovy and red squat lobster were estimated. As a sampler, Granton-type pelagic midwater trawl nets were used, with vertical openings of 12 m for SRV José Olaya Balandra (with

Olaya Balandra (con sensores inalámbricos de pesca NOTUS), 8 m para el *BIC* Luis Flores Portugal y 14 m para el *BIC* Humboldt.

### Datos oceanográficos

Para establecer los parámetros ambientales de preferencia de la anchoveta y la múnida fueron usados datos superficiales y verticales del CTD-O Seabird (Current-Temperature-Depth-Dissolved Oxygen). En los transectos se efectuaron estaciones oceanográficas por hora de navegación, lo que permitió recolectar parámetros físicos de la superficie del mar (temperatura, salinidad y oxígeno). Los registros de temperatura (°C) en la columna de agua se realizaron en las seis estaciones (5, 10, 20, 50, 70 y 100 mn de la costa) del perfil oceanográfico frente a Pisco (13° 42'S) con un CTD-O y un termómetro de superficie. Las muestras de la salinidad superficial del mar se analizaron a bordo con el Portasal Guildline modelo 8410A por el método de inducción. El oxígeno disuelto en superficie se calculó empleando la metodología de Winkler modificada por Carrit y Carpenter (1966). El muestreo vertical de los parámetros físicos (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) se realizó con el despliegue de la CTD-O en el perfil oceanográfico de Pisco, desde la superficie del mar hasta 500 m de profundidad.

### Procesamiento de datos acústicos y estimación de la biomasa

La discriminación acústica fue realizada en el programa *EchoView* versión 9 (Myriax, Hobart; www.echoview.com), la identificación de los ecotrazos de las especies detectadas (anchoveta y múnida) fue de acuerdo a la composición de la captura del lance de pesca, tipo de ecotrazo característico de cada especie y por el análisis multifrecuencia (gráficos de respuesta acústica en frecuencia de los cardúmenes de anchoveta y agregaciones de múnida) (Castillo *et al.*, 2009; La Cruz *et al.*, 2017).

El post-procesamiento de información y tratamiento de datos acústicos se efectuó de acuerdo al protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano (Castillo *et al.*, 2009).

La determinación de las áreas de distribución de la densidad y concentraciones de la anchoveta y la múnida fueron realizadas por interpolación de los datos NASC, que es una medida de la energía acústica retrodispersada de un blanco (especies evaluadas) en la columna de agua (eointegración), obtenidos de la exportación de los cardúmenes y agregaciones detectados en el programa *EchoView*.

NOTUS wireless fishing sensors), 8 m for *SRV* Luis Flores Portugal, and 14 m for *SRV* Humboldt.

### Oceanographic data

To establish the environmental parameters of preference for anchovy and red squat lobster, superficial and vertical CTD-O Seabird data were used (Current-Temperature-Depth-Dissolved Oxygen). Oceanographic stations were set up on the transects per navigation hour, which allowed collecting physical parameters from the surface of the sea (temperature, salinity, and oxygen). The measurements of the temperature (°C) in the water column were taken at the six stations (5, 10, 20, 50, 70, and 100 nmi from the coast) regarding the oceanographic profile in front of Pisco (13° 42'S) with a CTD-O and a surface thermometer. The surface salinity samples from the sea were analyzed on board with a Portasal Guideline Model 8410A by means of the induction method. Vertical sampling of physical parameters (temperature, salinity, and dissolved oxygen) was performed by deploying the CTD-O in the oceanographic profile of Pisco, from the sea surface down to a depth of 500 m.

### Acoustic data processing and biomass estimation

Acoustic discrimination was performed with the *EchoView* software, version 9 (Myriax, Hobart; www.echoview.com). Identification of the echo-traces from the detected species (anchovy and red squat lobster) was carried out according to the following aspects: the composition of what was captured by the fishing set, the type of echo-trace typical of each species, and multifrequency analysis (acoustic response graphs with the frequency of anchovy shoals and the red squat lobster aggregations) (Castillo *et al.*, 2009; La Cruz *et al.*, 2017).

The postprocessing of information and the handling of acoustic data were performed in accordance with the technical protocol for the acoustic evaluation of distribution and pelagic resource abundance areas in the Peruvian sea (Castillo *et al.*, 2009).

The determination of the density distribution areas and the concentrations of anchovy and red squat lobster was carried out by interpolation of the NASC data, which is a measurement of the backscattered acoustic energy from a target (evaluated species) in the water column (echo integration). These are obtained by exporting the shoals and aggregations detected on the *EchoView* software.

Moreover, for the vertical distribution of the species, the acoustic backscattering intensity was used ( $S_v$ , dB re  $1 \text{ m}^{-1}$ ),

Asimismo, para la distribución vertical de las especies, se utilizó la fuerza del volumen de retrodispersión acústica ( $S_v$ , dB re  $1 \text{ m}^{-1}$ ), que indica la densidad de una agregación o cardumen, y que es directamente proporcional a la biomasa expresada en decibeles (Simmonds y MacLennan, 2005). Los estimados de abundancia o biomasa fueron obtenidos por el método de estratificación en Áreas Iso Paralitorales (AIP) de  $18,52 \times 55,56 \text{ km}$  ( $10 \times 30 \text{ mn}$ ), cuya formulación matemática está descrita en Castillo *et al.* (2009):

$$B(i) = \frac{NASC \times A \times aL^b}{4\pi 10^{TS/10}}$$

Donde B(i) se refiere a la biomasa en el AIP(n), A es igual al área expresada en  $\text{mn}^2$  de cada AIP. Los parámetros a y b son constantes de la relación longitud (cm)-peso (g) y L se refiere la talla media. TS (TS, Target Strength) se refiere a la ecuación de la fuerza de blanco para cada especie y rango de tallas específicas (Castillo *et al.*, 2009).

#### Análisis de la relación recurso-ambiente

La relación de la presencia de anchoveta y múnida con las variables oceanográficas, fue realizado mediante los Modelos Aditivos Generalizados (GAM), de la familia gaussiana y función link: identidad. Previamente, fue realizado un análisis exploratorio con el fin de identificar las autocorrelaciones espaciales y la identificación de colinealidad de las variables explicativas, utilizando el método de Spearman (parcelas) (Zuur, 2012). Los GAM se aplican a un conjunto de datos acústicos y físico-oceanográficos para examinar los efectos de las variables ambientales sobre las distribuciones y/o densidades de la anchoveta y múnida.

La variable dependiente correspondió a las muestras acústicas de 1 mn con los valores NASC de anchoveta y múnida, y las variables independientes fueron la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la superficie del mar. Los análisis se llevaron a cabo para cada crucero de investigación. Los valores NASC de las muestras acústicas se transformaron logarítmicamente debido a la amplia gama de valores.

Los análisis GAM, se realizaron con el paquete *mgcv* (versión 1,8-34) del programa R (R Development Core Team, 2020). La desviación explicada (análoga a la varianza en una regresión lineal), se ajustó de acuerdo a las puntuaciones  $r^2$  y *generalised cross-validation* (GCV). Se trazaron las formas funcionales para las covariables seleccionadas. Cuando las pendientes de las formas funcionales son positivas, las covariables están relacionadas positivamente con las variables dependientes o viceversa (Wood, 2006, 2017).

which indicates the density of an aggregation or shoal and is directly proportional to the biomass as well as expressed in decibels (Simmonds and MacLennan, 2005). The abundance or biomass estimates were obtained using the stratification method in Iso-para-littoral areas (AIP) of  $18.52 \times 55.56 \text{ km}$  ( $10 \times 30 \text{ nmi}$ ), whose formulation is described in Castillo *et al.* (2009):

$$B(i) = \frac{NASC \times A \times aL^b}{4\pi 10^{TS/10}}$$

Where B(i) refers to the biomass in AIP(n), A is the area of each AIP expressed in  $\text{nmi}^2$ , parameters a and b are constants of the length-to-weight ratio [cm-g], and L refers to the mean size. TS refers to the target strength equation for each species and specific size range (Castillo *et al.*, 2009).

#### Analysis of the resource-environment relationship

The relationship of the presence of anchovy and red squat lobster with the oceanographic variables was determined by means of the Generalized Additive Models (GAM) of the Gaussian family and an identity link function. An exploratory analysis was previously conducted with the purpose of identifying the spatial autocorrelations and the co-linearity of the explicated variables using the Spearman method (parcelas) (Zuur, 2012). The GAMs are applied to a set of acoustic and physical-oceanographic data to examine the effects of the environmental variables on the distributions and/or densities of anchovy and red squat lobster.

The dependent variable corresponded to the acoustic samples of 1 nmi with the NASC values of anchovy and red squat lobster, and the independent variables were temperature, salinity, and dissolved oxygen on the sea surface. The analyses were conducted for each research cruise. The NASC values of the acoustic samples were logarithmically transformed given the wide range of values.

The GAM analyses were performed with the *mgcv* (version 1,8-34) package of the R software (R Development Core Team, 2020). The explained deviation (analogous to the variance in a linear regression) was adjusted according to  $r^2$  scores and *generalized cross-validation* (GCV). The functional forms for the selected co-variables were outlined. When the slopes of the functional forms are positive, the co-variables are positively related to the dependent variables or vice versa (Wood, 2006, 2017).

## RESULTADOS

### Condiciones oceanográficas

#### Condiciones oceanográficas superficiales

Las condiciones oceanográficas superficiales en el perfil frente a Pisco, en el verano de 2018, mostraron un predominio de condiciones de aguas frías con temperaturas alrededor de 19 °C, encontrándose los valores mayores a 21 °C por fuera de 92,6 km (50 mn). La salinidad en superficie se encontró entre 34,8 y 35,1 UPS, y los valores de oxígeno disuelto en superficie fueron mayores a 2 ml/l. En el verano de 2019, las condiciones fueron más cálidas con temperaturas entre 21 y 23 °C, con salinidades entre 34,8 y 35,3 UPS y valores de oxígeno mayores a 0,5 ml/l. En 2020 la temperatura fluctuó entre 19 y 24 °C, con salinidades de 34,8 UPS muy cerca a la costa y hasta 35,4 UPS alejadas de la costa, y con valores de oxígeno entre 5 y 7 ml/l.

#### Condiciones oceanográficas en la columna de agua

Las condiciones oceanográficas en el perfil frente a Pisco correspondieron a una zona de afloramiento costero de Aguas Costeras Frías (ACF) en primavera; y de agua de mezcla formada por ACF y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) en el verano. El perfil oceanográfico de Pisco se caracterizó por el ascenso de la isoterma de 15 °C, principalmente dentro de 50 m de profundidad durante 2018 y 2019, y por debajo de 80 m de profundidad en los veranos de 2019 y 2020.

La distribución de la salinidad registró la presencia de aguas de mezcla de ACF y ASS con la isohalina de 34,9 UPS ubicada entre 100 y 250 m de profundidad. Se registró el borde superior de la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) (valores de 0,5 ml/l) muy somera sobre la plataforma continental, principalmente en el verano y primavera de 2018 y profunda entre 50 y 120 m durante 2019 y 2020 (Figura 2).

#### Distribución horizontal de la anchoveta y múnida

La distribución de anchoveta fue principalmente costera, con dos características: (i) distribución discontinua y muy restringida a la costa dentro de los 37,04 km (20 mn) para 2019 y; (ii) distribución continua para los veranos y primaveras de 2018 y 2020 (Figura 3a). Cabe resaltar que en 2018 la distribución de la anchoveta llegó hasta 133,34 km (72 mn). A lo largo de la costa fueron observados importantes núcleos de alta concentración, principalmente localizados al norte de la RNP. Sin embargo, el área de la RNP concentró importantes densidades de anchoveta asociadas a una profundización de la ZMO en 2020.

## RESULTS

### Oceanographic conditions

#### Surface oceanographic conditions

The surface oceanographic conditions of the profile in front of Pisco in the summer of 2018 showed a predominance of cold-water conditions, with temperatures around 19 °C, with values higher than 21 °C found outside the 92.6 km (50 mni) area. The surface salinity was found to be between 34.8 and 35.1 PSU, and the surface dissolved oxygen values were higher than 2 ml/l. In the summer of 2019, the conditions were warmer, with temperatures between 21 and 23 °C, salinities 34.8 and 35.3 PSU, and oxygen values higher than 0.5 ml/l. In 2020, the temperature fluctuated between 19 and 24 °C, with salinities of 34.8 PSU very close to the coast and up to 35.4 PSU away from it, as well as with oxygen values between 5 and 7 ml/l.

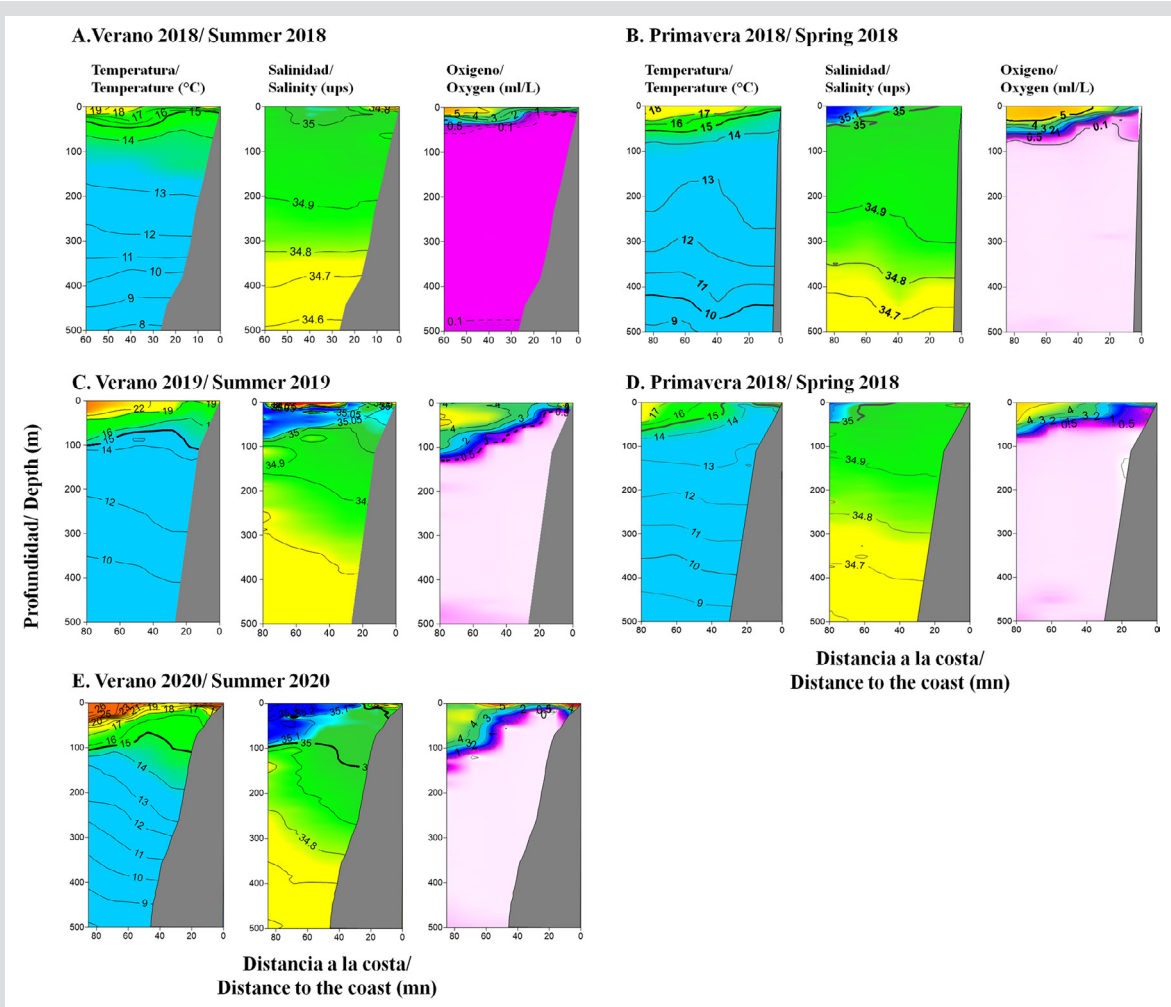
#### Oceanographic conditions in the water column

The oceanographic conditions of the profile in front of Pisco corresponded to a coastal upwelling zone of Cold Coastal Waters (CCW) in spring; and of mixture water formed by CCW and Subtropical Surface Waters (SSW) in summer. The oceanographic profile of Pisco was characterized by a 15 °C increase in the isotherm mainly at a depth of 50 m during 2018 and 2019, as well as below 80 m in the summers of 2019 and 2020.

The salinity distribution reported the presence of CCW and SSW mixture waters with an isohaline of 34.9 PSU located between 100 and 250 m deep. The upper edge of the OMZ (values of 0.5 ml/l) was recorded, which was very superficial over the continental platform, mainly during the summer and spring of 2018, and deep, between 50 and 120 m, during 2019 and 2020 (Figure 2).

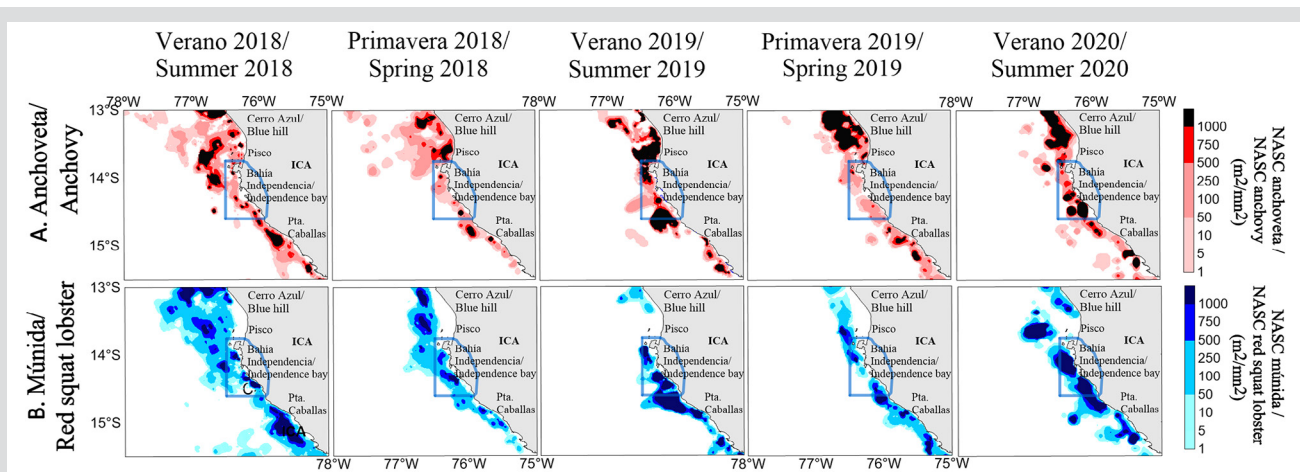
#### Horizontal distribution of anchovy and red squat lobster

The distribution of anchovy was mainly coastal, with two characteristics: (i) a discontinuous distribution that was also very restricted to the coast within 37.04 km (20 mni) for 2019; and (ii) continuous distribution for the summers and springs of 2018 and 2020 (Figure 3a). It is worth noting that, in 2018, the distribution of anchovy reached the 133.34 km mark (72 mni). Along the coast, significant high-concentration nuclei were observed, which were mainly located north of the RNP. However, the RNP area concentrated significant densities of anchovy, associated with a deepening of the OMZ in 2020.



**Figura 2.** Perfil Oceanográfico frente a Pisco durante el 2018-2020: De izquierda a derecha, a) Temperatura (°C), b) Salinidad (UPS) y c) Oxígeno (ml/l). En el eje horizontal la distancia a la costa (mn) y en el eje vertical la profundidad en metros.

**Figure 2.** Oceanographic profile in front of Pisco during 2018-2020: From left to right, a) Temperature (°C), b) Salinity (PSU) and, c) Oxygen (ml/l). On the horizontal axis, the distance to the coast (nmi), and, on the vertical axis, the depth in meters.



**Figura 3.** Distribución y concentración espacial de A) anchoveta y B) múnida durante 2018 – 2020 frente al Área Marina Protegida de la Reserva Nacional de Paracas (RNP), Pisco (Perú) (RNP, polígono de línea continua de color azul).

**Figure 3.** Distribution and spatial concentration of A) anchovy and B) red squat lobster during 2018 – 2020 in front of the Marine Protected Area of the Paracas National Reserve (RNP), Pisco (Peru) (RNP, continuous blue line polygon).



La múnida fue registrada a lo largo de la costa; generalmente tuvo una distribución continua durante 2018 y discontinua durante 2019 y 2020. Los núcleos de mayor abundancia se localizaron en la zona centro y sur de la RNP. Cabe indicar que durante el verano de 2018 la múnida presentó su mayor amplitud, registrándose hasta 138,9 km (75 mn) de distancia a la costa (Figura 3b), debido a una somera ZMO.

En algunas zonas al norte y sur de la RNP como Cañete, Punta Azua y San Nicolás se observaron registros acústicos de cardúmenes de anchoveta de altas abundancias formando cardúmenes tipo plumas y manchas con un rango de tallas entre 7 y 16 cm de longitud total (LT), compartiendo el hábitat con las agregaciones o enjambres de múnida (Figura 4). La estructura por tallas de la anchoveta capturada en el área evaluada, según grado de latitud, mostró la presencia dominante de individuos juveniles (tallas de LT menores a 12 cm). Los mayores porcentajes de juveniles fueron registrados en 15°S, seguida de 14°S y 13°S (Figura 5).

#### **Distribución vertical de anchoveta y múnida**

Verticalmente, los cardúmenes de anchoveta se encontraron a una profundidad media de 9,84 m y un rango de profundidad desde la superficie hasta 86,30 m. Los cardúmenes más someros se registraron frente a Cerro Azul y los más profundos al sur de Bahía Independencia, evidenciándose frente a la RNP un área de transición entre los cardúmenes más someros y profundos. La profundización de los cardúmenes de anchoveta en la zona sur se debió a la oxigenación de las capas más profundas de la columna de agua (> 30 m). Las mayores abundancias de anchoveta (> -45 dB) se encontraron principalmente en los primeros 20 m de la columna de agua (Figura 6a). Y en relación a las horas del día, los cardúmenes más densos fueron detectados durante las horas diurnas.

Verticalmente la múnida se registró entre 1,20 y 100,89 m de profundidad, con un valor medio de 18,23 m. Los registros más profundos se localizaron principalmente frente a Bahía Independencia; mientras que, las agregaciones más superficiales se registraron frente a Cerro Azul. Las mayores abundancias (> -55 dB) se encontraron principalmente en los primeros 25 m de la columna de agua y durante las horas de la noche (Figura 6b).

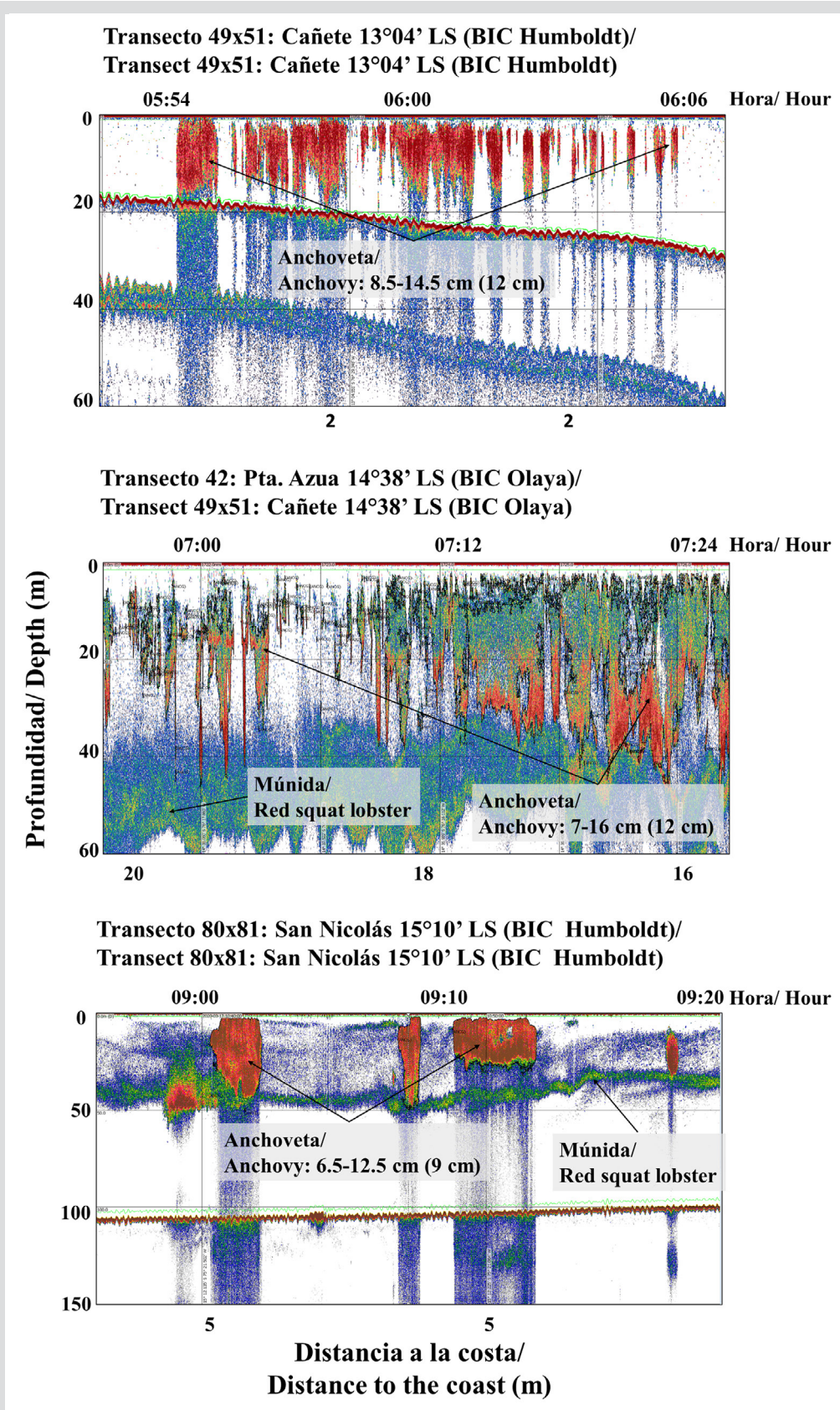
The red squat lobster was recorded along the coast; it generally had a continuous distribution during 2018 and a discontinuous one during 2019 and 2020. The nuclei with greater abundance were located in the central and southern areas of the RNP. It is worth indicating that, during the summer of 2018, the red squat lobster showed its highest amplitude, being recorded as far as 138.9 km (75 nmi) from the coast (Figure 3b), due to a superficial OMZ.

In some areas north and south of the RNP such as Cañete, Punta Azua, and San Nicolás, acoustic recordings of high-abundance anchovy shoals were observed, forming plume- and spot-type shoals with a size range between 7 and 16 cm of total length (LT), sharing the habitat with aggregations or swarms of red squat lobster (Figure 4). The structure by size of anchovy captured in the evaluated area per latitude degree showed the dominant presence of juvenile individuals (LT ratios lower than 12 cm). The highest juvenile percentages were recorded at 15°S, followed by 14°S and 13°S (Figure 5).

#### **Vertical distribution of anchovy and red squat lobster**

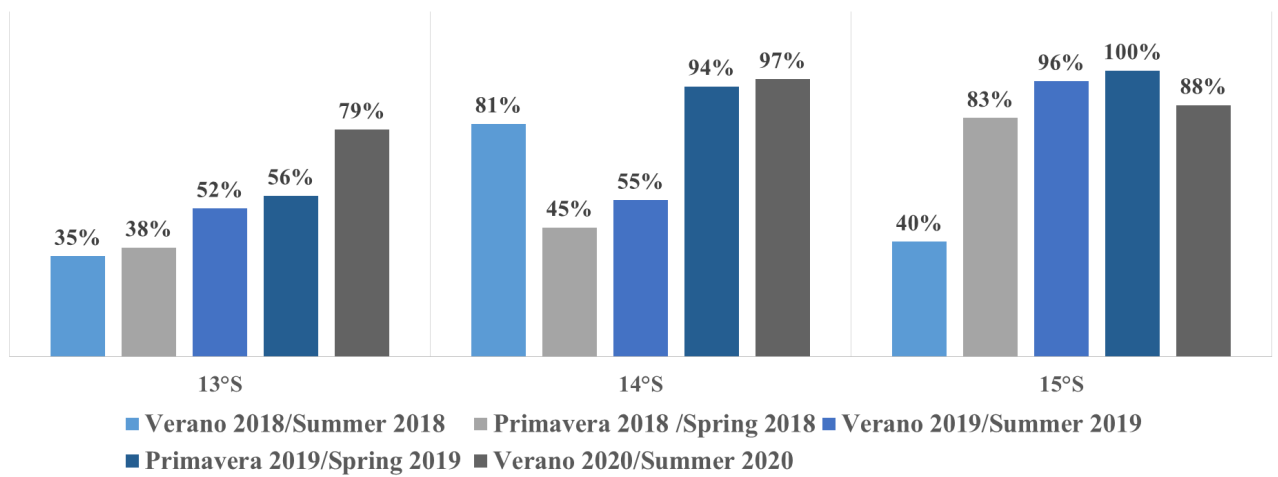
Vertically, anchovy shoals were found at a mean depth of 9.84 m and a depth range from the surface of up to 86.30 m. The most superficial shoals were recorded in front of Cerro Azul, and the deepest ones south of Bahía Independencia, thus evidencing, in front of the RNP, a transition area between the most superficial and the deepest shoals. The deepening of anchovy shoals in the southern zone was due to the oxygenation of the deepest layers of the water column (> 30 m). The greatest abundances of anchovy (> -45 dB) were found mainly in the first 20 m of the water column (Figure 6a). With regard to the time of day, the densest shoals were detected during daytime hours.

Vertically, the red squat lobster was recorded between 1.20 and 100.89 m deep, with a mean value of 18.23 m. The deepest records were located mainly in front of Bahía Independencia, whereas the most superficial aggregations were recorded in front of Cerro Azul. The greatest abundances (> -55 dB) were found mainly in the first 25 m of the water column and during nighttime hours (Figure 6b).



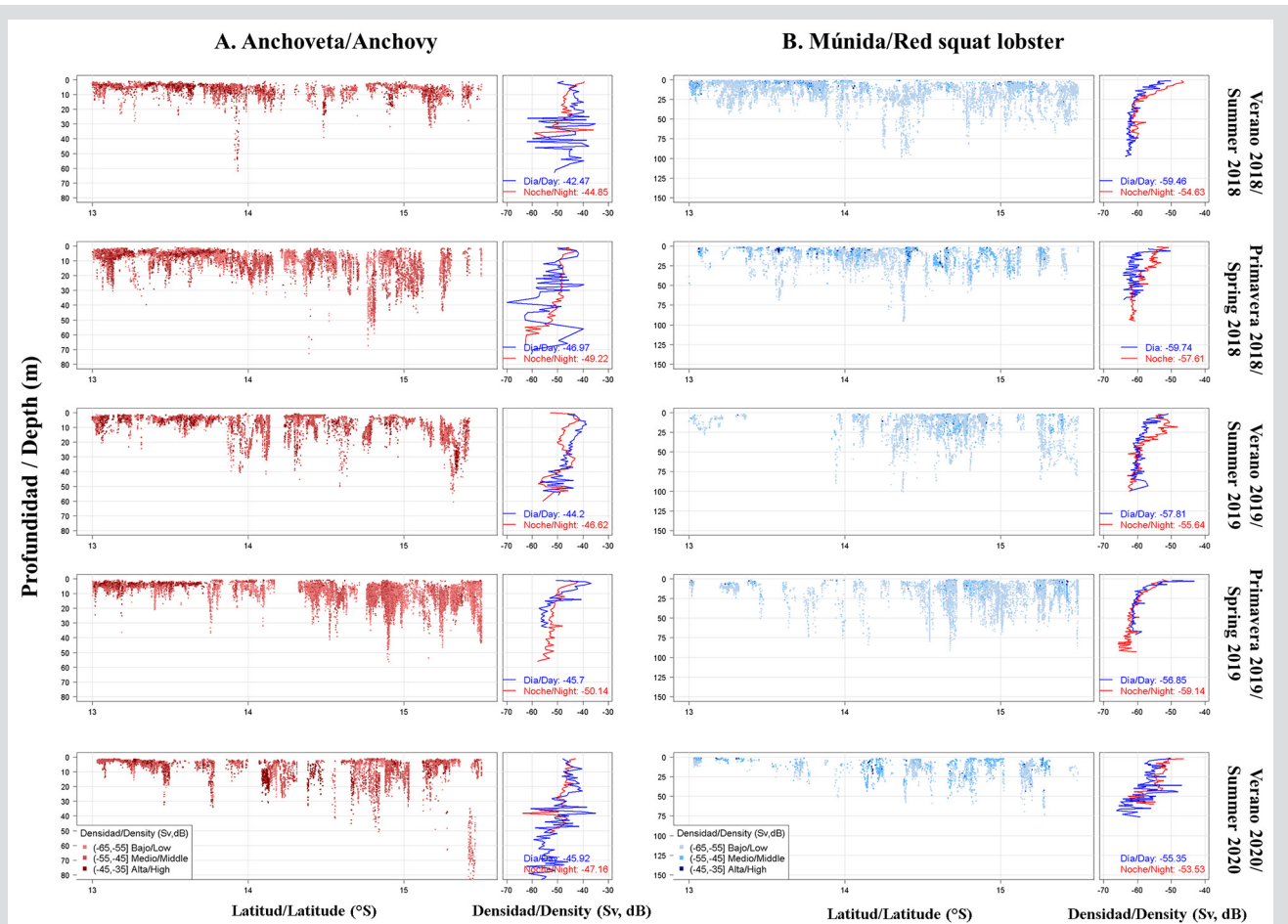
**Figura 4.** Registros típicos de anchoveta y múnida frente a la Reserva Nacional de Paracas (RNP). En cada imagen se muestra el rango de las tallas de anchoveta y en paréntesis la moda.

**Figure 4.** Typical records of anchovy and red squat lobster in front of the Paracas National Reserve (RNP). Each image shows the range of anchovy sizes and the mode in parentheses.



**Figura 5.** Porcentaje de juveniles de anchoveta frente a la Reserva Nacional de Paracas-RNP (desagregado por latitud) durante el periodo 2018 al 2020.

**Figure 5.** Percentage of anchovy juveniles in front of the Paracas National Reserve (disaggregated by latitude) from 2018 to 2020.



**Figura 6.** Distribución vertical de a) anchoveta y b) múnida frente a la Reserva Nacional de Paracas, Pisco (Perú) durante el periodo 2018–2020.

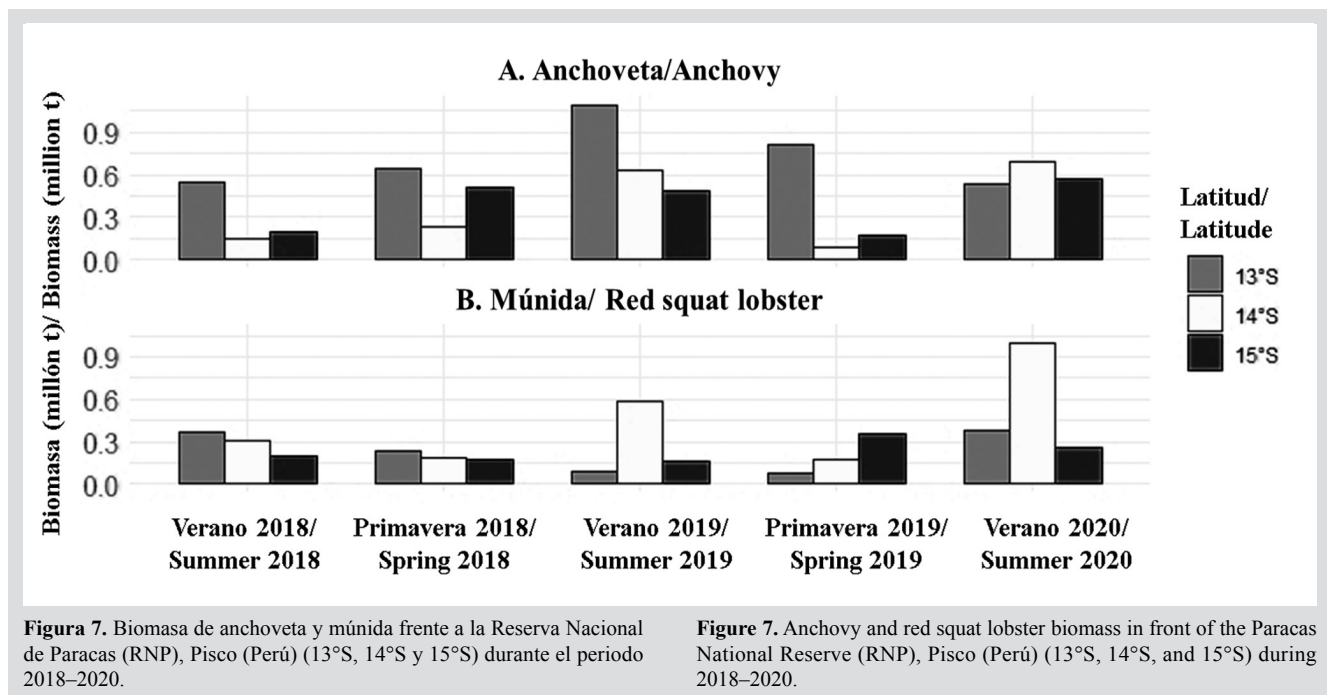
**Figure 6.** Vertical distribution of a) anchovy and b) red squat lobster in front of the Paracas National Reserve, Pisco (Perú) during 2018-2020.

### Biomasa acústica de anchoveta y múnida

En el área de estudio evaluada, las mayores biomásas acústicas de anchoveta fueron estimadas en 13°S con 1 092 775,53 t (verano 2019) y 810 398,57 t (primavera 2019). Frente a 14°S y 15°S, las biomásas de anchoveta mostraron valores similares, con valores máximos durante los veranos del 2019 y 2020 (Figura 7). La biomasa acústica de la múnida ha sido variable frente a la RNP, mostrando una tendencia creciente entre 2018 y 2020. Registrándose en el verano de 2020, la mayor biomasa en 14°S con 995 972 t (Figura 7).

### Acoustic biomass of anchovy and red squat lobster

In the evaluated study area, the greatest acoustic biomasses of anchovy were estimated at 13°S with 1 092 775.53 t (summer of 2019) and 810 398.57 t (spring of 2019). In front of 14°S and 15°S, the anchovy biomasses showed similar values, with the maximum values being reported during the summers of 2019 and 2020 (Figure 7). The acoustic biomass of red squat lobster has been variable in front of the RNP, showing a tendency to increase between 2018 and 2020. In the summer of 2020, the greatest biomass was recorded at 14°S with 995 972 t (Figure 7).



**Figura 7.** Biomasa de anchoveta y múnida frente a la Reserva Nacional de Paracas (RNP), Pisco (Perú) (13°S, 14°S y 15°S) durante el periodo 2018–2020.

**Figure 7.** Anchovy and red squat lobster biomass in front of the Paracas National Reserve (RNP), Pisco (Perú) (13°S, 14°S, and 15°S) during 2018–2020.

### Relación de la anchoveta y múnida con las variables oceanográficas superficiales

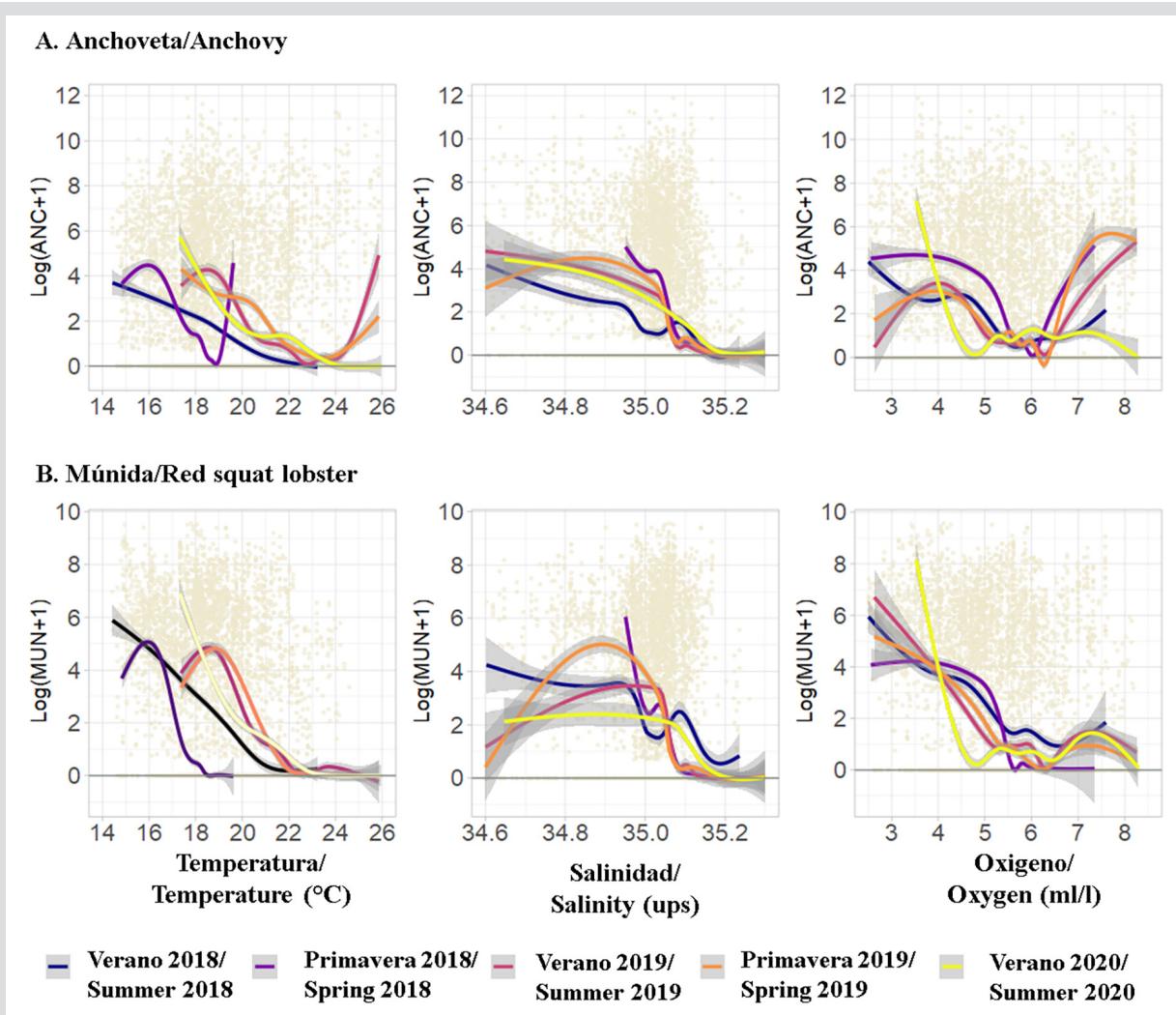
La anchoveta fue registrada principalmente cuando la Temperatura Superficial del Mar (TSM) registró valores entre 16°–18 °C durante 2018 y con valores mayores a 18 °C durante 2019 y 2020, la Salinidad Superficial del Mar (SSM) entre 34,97–35,05 ups y el Oxígeno Superficial del Mar (OSM) principalmente entre 4,0–5,4 ml/l y 6,3–7,7 ml/l (Figura 8).

Con respecto a la múnida, fue detectada principalmente cuando la TSM registró valores entre 14°–17 °C durante 2018 y con valores entre 18°–19 °C durante 2019 y 2020, la SSM entre 35,05–35,1 UPS y OSM principalmente entre 3,0–4,0 ml/l (Figura 8).

### Relationship of anchovy and red squat lobster with superficial oceanographic variables

Anchovy was recorded mainly when the sea surface temperature (SST) recorded values between 16 and 18 °C during 2018, as well as with values higher than 18 °C during 2019 and 2020; when the sea surface salinity (SSS) was between 34.9 and 35.05 PSU; and when the sea surface oxygen (SSO) was mainly 4.0–5.4 and 6.3–7.7 ml/l (Figure 8).

Regarding the red squat lobster, it was mainly detected when the SST showed values between 14 and 17 °C during 2018 and between 18 and 19 °C during 2019 in 2020, as well as an SSS between 35.05–35.1 ups and an SSO mainly between 3.0 and 4.0 ml/l (Figure 8).



**Figura 8.** Resultados de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) de a) anchoveta y b) múnida en relación a la Temperatura, Salinidad y Oxígeno Superficial del Mar frente a la Reserva Nacional de Paracas (RNP), Pisco (Perú) durante el periodo 2018–2020.

**Figure 8.** Results of the Generalized Additive Models (GAM) of a) anchovy and b) red squat lobster with respect to temperature, salinity, and surface oxygen of the sea in front of the Paracas National Reserve (RNP), Pisco (Perú), during 2018–2020

## DISCUSIÓN

Las condiciones oceanográficas en el área de la RNP fueron variables en primavera y verano debido a la influencia de los intensos procesos de afloramiento costero y la presencia de una ZMO, lo cual determinó la ocupación espacial de la anchoveta y múnida en el hábitat pelágico. En el ecosistema marino peruano, la alta variabilidad oceanográfica es la normalidad (Espino, 2013; Flores *et al.*, 2013). En el área de influencia de la RNP, frente a Pisco ( $13^{\circ} 42,5'S$ ) y San Juan ( $15^{\circ} 20,0'S$ ) se presentan las áreas de afloramiento más intensas del mar peruano, principalmente entre junio y agosto y diciembre a febrero (Zuta y Guillen, 1970; Walsh, 1975; Calienes, 2014; Palash, 2019). En estas áreas de afloramiento el agua fría llega hasta muy cerca de

## DISCUSSION

The oceanographic conditions in the RNP were variable during spring and summer due to the influence of intense coastal upwelling processes and the presence of an OMZ, which determined the spatial occupation of anchovy and red squat lobster in the pelagic habitat. In the Peruvian marine ecosystem, a high oceanographic variability is normal (Espino, 2013; Flores *et al.*, 2013). In the RNP's area of influence, in front of Pisco ( $13^{\circ} 42.5'S$ ) and San Juan ( $15^{\circ} 20.0'S$ ), the Peruvian sea's most intense upwelling zones have been reported, mainly between June and August and from December to February (Zuta and Guillen, 1970; Walsh, 1975; Calienes, 2014; Palash, 2019). In these upwelling areas, cold water comes very close to the coast and advects

la costa y se advecta fuera de ella en una pluma entre 50 y 75 m de profundidad. Palash (2019) registra entre 11° y 16°S un gradiente de oxiclina somero cerca de la costa y profundo en aguas intermedias afuera de ella, con registros de altas abundancias de zooplancton principalmente en la zona costera. Este proceso oceanográfico ocurre en todas las áreas de afloramiento y esa heterogeneidad ambiental puede ser una clave en el desarrollo de la cadena alimentaria corta en el área de Pisco y San Juan: diatomeas-copépodos-engráulidos (Walsh y Dugdale, 1972; Ayon *et al.*, 2008; Calienes, 2014), así como de la producción de biomasa pesquera (Bakun y Weeks, 2008).

Las evaluaciones hidroacústicas permitieron el mapeo de hábitats de las poblaciones de anchoveta y múnida en el área del ecosistema pelágico de la RNP. Entre 2018 y 2020, se estimaron altas biomásas para anchoveta ( $1,7 - 3,3 \times 10^6$  t) y múnida ( $1,43 - 1,60 \times 10^6$  t). Los cardúmenes de anchoveta estuvieron dominados por ejemplares juveniles distribuidos en la franja costera desde 9 a 86 m de profundidad (promedio 20 m) con altas concentraciones durante el día, mientras que los enjambres de múnida registraron una distribución más profunda, llegando hasta 100 m (promedio 18 m) y con registros de altas concentraciones durante la noche.

Los resultados son consistentes con la distribución y abundancia del stock Norte-Centro (02°–16°S) de la anchoveta en el ámbito de la Provincia Pacífico Sur Oriental Templada, influenciada por la Corriente de Humboldt (Bouchon *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2019; Oliveros-Ramos *et al.*, 2020), con biomásas que fluctúan entre 6 y  $11 \times 10^6$  t y capturas de la flota cerquera industrial [operando fuera de 9,26 km (5 mn) de costa] entre 2 y  $4 \times 10^6$  t en años recientes (Castillo *et al.*, 2019; Oliveros-Ramos *et al.*, 2020). Sin embargo, la zona de estudio corresponde al límite sur del Stock Norte-Centro de anchoveta, caracterizado por la mayor incidencia de cardúmenes de individuos juveniles (Imarpe, 2020). Mientras que la múnida presenta una distribución geográfica continua con núcleos de mayor abundancia en la costa central y sur del Perú (Castillo *et al.*, 2020b).

La distribución espacial de recursos pelágicos neríticos como anchoveta y múnida está asociados con masas de aguas y frentes costeros de ACF y ASS, los cuales siguen la pluma de agua fría en áreas de afloramiento para forrajeo del zooplancton (Swartzman *et al.*, 2008; Calienes, 2014). La múnida es considerada un indicador biológico de presencia de condiciones ambientales frías y distribuida en los principales focos de afloramiento (Aliaga *et al.*, 2004; Gutiérrez, 2016; Santibáñez, 2017; Castillo *et al.*, 2020b).

offshore in a plume between 50 and 75 m deep. Palash (2019) recorded, between 11° and 16°S, an oxycline gradient that is shallow near the coast and deep in intermediate waters offshore, with records of high zooplankton abundance mainly in the coastal zone. This oceanographic process occurs in all upwelling areas, and this environmental heterogeneity may be key in the development of the short food chain in the area of Pisco and San Juan: diatoms-copepods-engraulidae (Walsh and Dugdale, 1972; Ayon *et al.*, 2008; Calienes, 2014) – as well as of the production of fishing biomass (Bakun and Weeks, 2008).

Hydroacoustic tests allowed mapping the habitats of anchovy and red squat lobster populations in the pelagic ecosystem of the RNP. Between 2018 and 2020, high biomasses were estimated for anchovy ( $1.7 - 3.3 \times 10^6$  t) and red squat lobster ( $1.43 - 1.60 \times 10^6$  t). The anchovy shoals were dominated by juvenile specimens distributed in the coastal strip from 9 to 86 m deep (20 m on average) with high concentrations during the day, whereas red squat lobster swarms recorded a deeper distribution, reaching 100 m (18 m on average) and with records of high concentrations during nighttime.

The results are consistent with the distribution and abundance of the North-Center stock (02°–16°S) of anchovy within the Temperate Southeastern Pacific Province, influenced by the Humboldt Current (Bouchon *et al.*, 2010; Castillo *et al.*, 2019; Oliveros-Ramos *et al.*, 2020), with biomasses fluctuating between 6 and  $11 \times 10^6$  t and captures by the industrial seine fleet [operating beyond 9.26 km (5 nmi) from the coast] between 2 and  $4 \times 10^6$  t in recent years (Castillo *et al.*, 2019; Oliveros-Ramos *et al.*, 2020). However, the study area corresponds to the southern limit of the North-Center Stock of anchovy, characterized by a higher incidence of shoals with juvenile individuals (Imarpe, 2020); whereas the red squat lobster presents a continuous geographical distribution with higher abundance nuclei in the Peruvian central and southern coasts (Castillo *et al.*, 2020b).

The spatial distribution of neritic pelagic resources such as anchovy and red squat lobster is associated with CCW and SSW masses and coastal fronts, which follow the cold water plume in upwelling areas for zooplankton foraging (Swartzman *et al.*, 2008; Calienes, 2014). Red squat lobster is considered to be a biological indicator of the presence of cold environmental conditions and distributed in the main upwelling foci (Aliaga *et al.*, 2004; Gutiérrez, 2016; Santibáñez, 2017; Castillo *et al.*, 2020b).

Registros acústicos indicaron que existe una sobreposición espacial entre la anchoveta y múnida durante el ciclo nictimeral regulada por la presencia de la ZMO. Durante el día y noche, la anchoveta se encuentra formando cardúmenes densos (plumas y capas) en los primeros metros de la columna del agua limitados a condiciones oxigenadas, mientras que la múnida, durante el día, realiza migraciones verticales formando enjambres densos en la zona anóxica de la ZMO. Y durante la noche, este crustáceo pelágico asciende a la superficie formando pequeñas sub-estructuras (Gutiérrez *et al.*, 2008; Kiko *et al.*, 2015; Gutiérrez y Gerlotto, 2016; Sanfuentes, 2017; Castillo *et al.*, 2020b).

En el ecosistema marino peruano la presencia de una somera e intensa ZMO (< 0,5 ml/l, ~50–500 m), regula la distribución vertical de las especies pelágicas neríticas y oceánicas para el desarrollo de procesos bioecológicos (Cornejo, 2011; Lachkar y Gruber, 2012; Flores *et al.*, 2013; Calienes, 2014; Espinoza-Morriberon *et al.*, 2017; Palash, 2019; Castillo *et al.*, 2020b).

De esta manera, el AMP de la RNP tiene un efecto beneficioso en la protección de la estructura, función e integridad de los ecosistemas marinos y la productividad pesquera (Kellner *et al.*, 2007; Boerder *et al.*, 2017; Elliot *et al.*, 2017; Laffoley *et al.*, 2019; Cutipa-Luque *et al.*, 2020), permitiendo mejorar la capacidad reproductiva, crianza y alimenticia de stocks locales y regionales de la anchoveta y múnida, fortaleciendo su reclutamiento mediante el efecto de desborde de adultos y juveniles hacia áreas adyacentes al AMP. Asimismo, la RNP y las AMPs de la costa peruana pueden ofrecer una alternativa para garantizar que los niveles de extracción no sobrepasen los límites de sostenibilidad o que el tamaño de la población no disminuya más allá del nivel mínimo necesario, asegurando la viabilidad y sostenibilidad del Stock de anchoveta y de otros recursos pelágicos en el SNCH a mediano y largo plazo.

Es necesario desarrollar un programa de investigación integrativo en el AMP de la RNP y sus zonas contiguas considerando el monitoreo y evaluación científica de parámetros poblacionales de recursos hidrobiológicos, censos de biodiversidad marina, entre otros, con la finalidad de promover el aprovechamiento sostenible y conservación de la diversidad biológica de los ecosistemas marino-costeros a través de la zonificación ecológica y económica. Así como, la propuesta de valor de promoción de otras AMP en el ecosistema marino peruano, dado que presenta una baja cobertura de territorio marino protegido a nivel de América Latina y el Caribe.

Acoustic records indicated that there is a spatial overlap between anchovy and red squat lobster during the nychthemeral cycle, regulated by the presence of the OMZ. During the day and night, anchovy is found forming dense shoals (plumes and capes) within the first meters of the water column, limited to oxygenated conditions; whereas the red squat lobster, during the day, performs vertical migrations, forming dense swarms in the anoxic zone of the OMZ, and, during nighttime, this pelagic crustacean ascends to the surface forming little substructures (Gutiérrez *et al.*, 2008; Kiko *et al.*, 2015; Gutiérrez and Gerlotto, 2016; Sanfuentes, 2017; Castillo *et al.*, 2020b).

In the Peruvian marine ecosystem, the presence of a superficial and intense OMZ (< 0,5 ml/l, ~50–500 m) regulates the vertical distribution of neritic and oceanic pelagic species for the development of bioecological processes (Cornejo, 2011; Lachkar and Gruber, 2012; Flores *et al.*, 2013; Calienes, 2014; Espinoza-Morriberon *et al.*, 2017; Palash, 2019; Castillo *et al.*, 2020b).

In this way, the MPA of the RNP has a beneficial effect in the protection of the structure, function, and integrity of marine ecosystems and fishing productivity (Kellner *et al.*, 2007; Boerder *et al.*, 2017; Elliot *et al.*, 2017; Laffoley *et al.*, 2019; Cutipa-Luque *et al.*, 2020), thus allowing to improve the reproductive, nurturing, and nourishment capacity of local and regional stocks of anchovy and red squat lobster, strengthening their recruitment through the effect of the overflow of adults and juveniles towards areas adjacent to the MPA. In the same way, the RNP and the MPAs of the Peruvian coast may offer an alternative to ensure that the extraction levels do not exceed the sustainability limits or that the population size does not decrease beyond the minimum necessary level, thus ensuring the viability and sustainability of the anchovy stock, as well as of other pelagic resources in the SNCH, in the medium and long term.

It is necessary to develop an integrative research program in the RNP's MPA and its neighboring areas, considering the monitoring and scientific evaluation of population parameters for hydrobiological resources, marine biodiversity census, among others, with the purpose of promoting the sustainable utilization and preservation of the biological diversity of marine-coastal ecosystems by means of ecological and economic zoning. This includes the value proposal involving the promotion of other MPAs in the Peruvian marine ecosystem, given that it has a low coverage of protected marine territory at the Latin American and Caribbean levels.

## CONCLUSIONES

La ocupación espacial del hábitat pelágico de la anchoveta y múnida en la RNP estuvo influenciada por la dinámica de afloramientos, masas de aguas y una somera e intensa ZMO. Se registró una sobreposición espacial de altas biomásas de anchoveta y múnida en la capa superficial durante la noche. Aunque, con presencia de enjambres densos de múnida en aguas intermedias anóxicas de la ZMO durante el día. El AMP de la RNP funciona como zona de protección de la estructura y funcionamiento del ecosistema pelágico nerítico y fortalece la producción pesquera del stock de anchoveta en el SNCH.

## AGRADECIMIENTOS

A la dotación de los *BIC's* Humboldt, José Olaya Balandra y Luis Flores Portugal. Al Área Funcional de Hidroacústica (AFH) de la Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca (DGIHSA) del Imarpe. Contribución del Objetivo 13: Aplicación del Método Hidroacústico en la Evaluación de Recursos Pesqueros. Dghisa, AFH, Imarpe.

## CONCLUSIONS

The spatial occupation of the pelagic habitat of anchovy and red squat lobster in the RNP was influenced by the dynamics of upwellings, water masses, and a superficial and intense OMZ. A spatial overlap of high anchovy and red squat lobster biomasses was recorded in the superficial layer during nighttime, albeit with the presence of dense red squat lobster swarms in anoxic intermediate waters of the OMZ during the day. The RNP's MPA serves as a protection zone for the structure and functioning of the neritic pelagic ecosystem, and it strengthens the fishing production of the anchovy stock in the SNCH.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To the provision of the Humboldt, José Olaya Balandra, and Luis Flores Portugal *SRVs*. To the Functional Hydroacoustics Division (AFP) of IMARPE's General Hydroacoustics, Remote Sensing, and Fishing Arts Research Directorate (DGIHSA). Contribution of Objective 13: Application of the Hydroacoustic Method in the Assessment of Fishing Resources. Dghisa, AFH, IMARPE.

## BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Aliaga, A., C. Salazar y J. Calderón. 2004. Distribución de anchoveta, múnida y calamar común en el norte del Perú, durante el verano 2001. *Inf. Inst. Mar Perú*, 32(3): 225–229.
- Ayón, P., M.I. Criales-Hernández, R. Schwaborn and H. J. Hirche. 2008. Zooplankton research off Peru: A review. *Prog. Oceanogr.*, 79(2-4): 238–255, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.020>
- Bakun, A. and S. J. Weeks. 2008. The marine ecosystem off Peru: what are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold? *Prog. Oceanogr.*, 79(2-4): 290–299.
- Boerder, K., A. Bryndum-Buchholz and B. Worm. 2017. Interactions of tuna fisheries with the Galápagos marine reserve. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 585: 1–15. <https://doi.org/10.3354/meps12399>
- Bouchon, M., P. Ayón, J. Mori, C. Peña, P. Espinoza, I. Hutchings, B. Buitrón, A. Perea, C. Goicochea y M. Messie. 2010. Biología de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns). *Bol. Inst. Mar Perú*, 25(1–2): 23–30.
- Calienes, R. 2014. Producción primaria en el ambiente marino en el Pacífico sudeste, Perú, 1960–2000. *Bol. Inst. Mar Perú*, 29(1–2): 232–288.
- Carrit, D. E. and J. H. Carpenter. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modification of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea-water. *J. Mar. Res.*, 24: 286–318.
- Castillo, P. R., S. Peraltilla, A. Aliaga, M. Flores, M. Ballón, J. Calderón y M. Gutiérrez. 2009. Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. *Bol. Inst. Mar Perú*, 36(1–2): 7–28.
- Castillo, R., L. Dalla Rosa, W. García Díaz, L. Madureira, M. Gutiérrez, L. Vásquez and R. Koppelman. 2019. Anchovy distribution off Peru in relation to abiotic parameters: a 32-year time series from 1985 to 2017. *Fish. Oceanogr.*, 28: 389–401.
- Castillo, R., L. La Cruz, D. Grados, R. Cornejo, R. Guevara-Carrasco, R. and J. Csirke. 2020a. Anchoveta (*Engraulis ringens*) biomass in the Peruvian marine ecosystem estimated by various hydroacoustic methodologies during spring of 2019. *J. Mar. Biol. Oceanogr.*, 9: 2.
- Castillo, R., R. Cornejo, L. La Cruz, D. Grados, G. Cuadros, C. Valdez y M. Pozada. 2020b. Distribución y biomasa de recursos pelágicos neríticos y oceánicos en el ecosistema marino peruano obtenidos de los cruceros hidroacústicos en el 2019. *Bol. Inst. Mar. Perú*, 35(2): 213–241.
- Chirichigno, F. 1970. Lista de crustáceos del Perú. *Inf. Inst. Mar. Perú*, 35: 1–92.





- Chirichigno, F. y R. M. Cornejo. 2001. Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Inst. Mar Perú Publ. Esp. 314 pp.
- Cornejo, R. 2011. Caracterización biofísica del micronecton en relación a condiciones oceanográficas de meso-escala en el Sistema de la Corriente de Humboldt frente al Perú. Univ. Concepción, Fac. Cienc. Nat. Oceanogr., Dpto. Oceanogr. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/6140>
- Cutipa-Luque, L.M., L. Alvaríño y J.A. Iannacone. 2020. Situación actual de las áreas marinas protegidas en el Perú y propuestas de conservación. *Paideia XXI*, 10 (2): 573–612.
- Decreto Supremo N° 1281- 75-AG. Por medio del cual se estableció la Reserva Nacional de Paracas, ubicada en la provincia de Pisco, en el departamento de Ica, Área Natural Protegida que conserva una muestra representativa de los ecosistemas marino-costeros del Perú. 25 de setiembre de 1975.
- Demer, D. A., L. Berger, M. Bernasconi, E. Bethke, K. Boswell, D. Chu, R. Domokos *et al.* 2015. Calibration of acoustic instruments. *ICES Coop. Res. Rep.*, 326, 133 p.
- Elliott, S.A.M., A.D. Sabatino, M.R. Heath, W. R. Turrell and D. M. Bailey. 2017. Landscape effects on demersal fish revealed by field observations and predictive seabed modelling. *Plos One*, 12(12); e0189011. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189011>
- Espino M. 2013. El jurel *Trachurus murphyi* y las variables ambientales de macroescala. *Rev. Per. Biol.*, 20(1): 9-20.
- Espinoza-Morriberon, D., V. Echevin, F. Colas, J. Tam, J. Ledesma, L. Vásquez and M. Graco. 2017. Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling ~ system productivity. *J. Geophys. Res. Oc.*, 122, <https://doi.org/10.1002/2016JC012439>
- FAO. 2012. Estado de las áreas marinas y costeras protegidas en América Latina. Redparques Cuba, Santiago. 620 p.
- Flores, D., A. Tejada, H. Sarmiento, R. Muñoz y J. Macalupú. 2019. Línea base del sitio piloto Punta San Juan: recursos pesqueros. *Inf. Inst. Mar Perú*, 46(1): 78–87.
- Flores R., M. Espino, G. Luque y J. Quispe. 2013. Patrones de variabilidad ambiental en el mar peruano. *Rev. Per. Biol.*, 20(1): 21 – 28.
- Goya, E., C. Cardich, M. Llapapasca, J. Márquez, M. Meza y S. Rivadeneyra. 2020. Aves marinas en las islas Ballestas y Chíncha, GEF-UNDP Perú, 2013. *Inf. Inst. Mar Perú*, 47(1): 65–79.
- Guezal, R. y J. Wickel. 2015. Riqueza ecológica marina y áreas vulnerables de la Bahía de Paracas. *Saber Hacer*, 2 (1): 50–64.
- Gutiérrez, M. y F. Gerlotto. 2016. Dinámica de la interacción espacial entre agregaciones de anchoveta (*Engraulis ringens*) y la pequeña langosta múnida (*Pleuroncodes monodon*) en el curso de un ciclo noctemeral. *Inf. Inst. Mar Perú*, 43(3): 264–274.
- Gutiérrez, M., A. Ramírez, S. Bertrand, O. Morón and A. Bertrand. 2008. Ecological niches and areas of overlap of the squat lobster ‘múnida’ (*Pleuroncodes monodon*) and anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru. *Progr. Oceanogr.*, 79: 256–263.
- Imarpe. 2020. Situación del stock Norte-Centro de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) al mes de mayo de 2020 y perspectivas de explotación para la primera temporada de pesca del año. *Inf. Inst. Mar Perú*, 57 p.
- Jacinto, M. 2014. Propuesta de un sistema de indicadores ambientales y socio económicos en la zona marino costera de Pisco – Paracas. Tesis Maestría Gestión Ambiental, 117 p.
- Kellner, J.B., I. Tetreault, S.D. Gaines and R. M. Nisbet. 2007. Fishing the line near marine reserves in single and multispecies fisheries. *Ecol. Appl.*, 17: 1039–1054. <https://doi.org/10.1890/05-1845>
- Kiko, R., H. Hauss, M. Dengler, S. Sommer and F. Melzner. 2015. The squat lobster *Pleuroncodes monodon* tolerates anoxic “dead zone” conditions off Peru. *Mar. Biol.*, 162: 1913–1921.
- Lachkar, Z. and N. Gruber. 2012. A comparative study of biological production in eastern boundary upwelling systems using an artificial neural network, *Biogeosciences*, 9: 293–308, <https://doi.org/10.5194/bg-9-293-2012>
- La Cruz, L., R. Castillo, J. Robles, C. Valdez and R. Cornejo. 2017. Pelagic species identification using multifrequency acoustic in the northern Humboldt Current System off Peru. 2017 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics). <https://doi.org/10.1109/rioacoustics.2017.8349744>
- Laffoley, D. and J. M. Baxter. 2019. Ocean deoxygenation: everyone’s problem. Summary for policy makers. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2019.14.en>
- MacLennan, D., P. Fernandes and J. Dalen 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Mar. Sci.*, 59(2): 365–369. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1158>
- Messié, M. and F. P. Chavez. 2015. Seasonal regulation of primary production in eastern boundary upwelling systems. *Progr. Oceanogr.*, 134: 1–18.
- Oliveros-Ramos, R., M. Ñiquén, J. Csirke and R. Guevara-Carrasco. 2020. Management of the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) fishery in the context of climate change. In Bahri, T., M. Vasconcellos, J. Johnson, D. Welsh, X. Ma and I. Perry (Eds). Adaptive management of fisheries in response to climate change. *FAO Fish. Aq. Techn. Pap.*, 667.
- Palash, S. A. 2019. Fine-scale vertical distribution of zooplankton in the oxygen minimum zone off Peru. M. Sc. thesis, Christian-Albrechts-Univ. Kiel, Kiel. 57 p.
- Paz, N., J. Reyes y M. Echegaray. 2002. Datos sobre captura, comercio y biología de tortugas marinas en el área de Pisco-Paracas. *Resumen I Jorn. Cient. Res. Nal. Paracas*, 125–19 p.

- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Reyes, J. C., M. Echegaray, H. Anchante, M. Ormeño y A. Altamirano. 2007. Nueva información sobre bufeos costeros y otros cetáceos menores en la Reserva Nacional de Paracas y su área de amortiguamiento. Resumen II Jorn. Cient. Res. Nal. Paracas. Pisco.
- Sanfuentes, F. 2017. Recopilación de antecedentes biológicos pesqueros del langostino enano (*Pleuroncodes* sp.) en Chile y Perú. Centro Invest. Apl. Mar, 24 p.
- Santivañez, M. 2017. Caracterización y comparación de patrones espacio temporales y nichos ecológicos de la múnida (*Pleuroncodes monodon*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el mar peruano desde 1998 hasta 2013. Tesis Biólogo, Univ. Nal. Mayor San Marcos Lima. 134 p.
- Simmonds, J. and D. MacLennan. 2005. Fisheries acoustics: theory and practice, Blackwell Science, Oxford.
- Spalding, M., M. Imèn, M. Amy, A. Fitzgerald and L. Hale. 2013. Coastal and marine spatial planning. Ocean Yearb., 27: 213–248.
- Strub, T. P., J.M. Mesías, V. Montecino, J. Rutllant and S. Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America: 273-313. In: Robinson, A.R. y K.H. Brink (Eds). The global coastal ocean. The Sea 11, Interscience, New York.
- Swartzman, G., A. Bertran, M. Gutiérrez, S. Bertrand and L. Vásquez. 2008. The relationship of anchovy and sardina to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983–2005. Progr. Oceanogr., 79: 228–237.
- Vélez, J. 1975. Contribución al conocimiento de la ictiofauna marina de Pisco. Tesis, Univ. Nal. Mayor San Marcos, Lima.
- Vildoso, A., J. Vélez, N. Chirichigno y A. Chirinos de Vildoso. 1999. Diversidad de los peces marinos del Perú. Bol. Inst. Mar Perú, 18(1–2): 49–76.
- Walsh, J.J. 1975. A spatial simulation model of the Peru upwelling ecosystem. Deep-Sea Res., 22: 202–216.
- Walsh, J.J. and R.W. Dugdale. 1972. Nutrient submodels of phytoplankton production in the sea. In: Allen, H.E. and Kramer J.R. (Eds). Nutrient in natural waters. Wiley.
- Wood, S.N. 2006. Generalized additive models: an introduction with R. Chapman and Hall, New York.
- Wood, S. N. 2017. Generalized additive models: an introduction with R. 2nd ed. CRC.
- Zuta, S. y O. Guillén. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Bol. Inst. Mar Perú, 2(5): 157–324.
- Zuur, A.F. 2012. A beginner's guide to generalized additive models with R. Highland Statistics, Newburgh, England.

**RECIBIDO/RECEIVED:** 18/09/2020

**ACEPTADO/ACCEPTED:** 27/08/2021