33 AÑOS DE APLICACIÓN HIDROACÚSTICA EN EL PERÚ EN LA DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y BIOMASA DE LA ANCHOVETA

THIRTY-THREE YEARS OF HYDROACOUSTIC APPLICATIONS IN PERU TO ESTIMATE THE DISTRIBUTION AND BIOMASS OF *Engraulis ringens*

Pedro Ramiro Castillo[1,*] *Salvador Peraltilla*[2] *Mariano Gutiérrez*[3]
Aníbal Aliaga[4] *Adolfo Gonzales*[1] *Jairo Calderón*[1] *Luis La Cruz*[5]

[1] Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones Hidroacústicas, Callao, Perú
[2] Sociedad Nacional de Pesquería, Lima, Perú
[3] Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Ali3mentarias y Acuicultura
[4] Investigador pesquero. Lima. Perú
[5] Instituto Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile
* Correspondencia: prcastillo@imarpe.gob.pe, ramirocasti@gmail.com

RESUMEN

La importancia de la anchoveta (*Engraulis ringens*) es fundamental en el ecosistema de afloramiento del mar peruano, principalmente por su importancia en la cadena trófica del ecosistema y por el aporte económico al país mediante su explotación. La regulación de su captura tiene soporte en los Cruceros de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos que realiza el Instituto del Mar del Perú en forma continua desde 1983. El presente estudio corresponde a los resultados acústicos obtenidos en 70 Cruceros realizados entre los años 1985 y 2017, periodo en el cual se han incorporado diversos avances tecnológicos, tanto en equipos como en el procesamiento y análisis de los datos. La anchoveta, durante este periodo, fue la especie con mayor predominancia en el sistema pelágico costero; sin embargo, tuvo fluctuaciones en su distribución y biomasa, como consecuencia de la variabilidad oceanográfica y por efectos de la pesquería. En *condiciones frías* del mar (meses de invierno) la anchoveta tiende a ampliar su distribución con una mayor dispersión hacia el oeste, siendo un caso excepcional lo observado en el crucero noviembre-diciembre de 1996 que fue registrada hasta 110 mn de la costa, con un área de distribución de 38120 mn^2. En *condiciones cálidas (*meses de verano) tienden a replegarse hacia la costa formando una mayor concentración de cardúmenes, y que en ocasiones está influenciado por los eventos El Niño, realizando migraciones verticales cerca al fondo y migraciones latitudinales hacia el sur, por ejemplo: el crucero febrero-abril del 2008, principalmente en la zona norte fue registrada dentro de las 10 mn de la costa en altas concentraciones ocupando un área de 15043 mn^2; similarmente ocurrió en los cruceros de verano del 2016 y 2017. La abundancia de la anchoveta después de El Niño 1997-98 se ha mantenido principalmente en la zona norte-centro, con altas biomasas que se reflejaron en los desembarques de la flota pesquera; la tendencia temporal de este comportamiento, en el periodo de estudio, evidencia el cambio significativo después de este evento. El promedio del intervalo de confianza de la biomasa estimada en el periodo analizado fue del 16%.

Palabras clave: anchoveta, variabilidad, distribución, biomasa, acústica

ABSTRACT

Engraulis ringens plays a pivotal role in the upwelling ecosystem of the Peruvian Sea within the northern Peru Current system, both as a key component of the pelagic trophic web and as a major contributor to the national economy through fisheries. The management of this resource is underpinned by Pelagic Resource Hydroacoustic Assessment Cruises conducted continuously by the *Instituto del Mar del Perú* (Imarpe) since 1983. This study compiles and analyzes acoustic data from 70 cruises conducted between 1985 and 2017, a period characterized by substantial technological progress in acoustic equipment as well as in data processing and analytical methodologies. Throughout this interval, *E. ringens* remained the dominant species in the coastal pelagic ecosystem; however, its spatial distribution and biomass exhibited pronounced variability in response to both oceanographic forcing and fishing activity. During cold oceanographic conditions, typically associated with winter months, *E. ringens* expands its distribution and becomes more dispersed offshore. A notable exception was documented during the November–December 1996 cruise, when the species was detected as far as 110 nm offshore, occupying an estimated area of 38,120 nm^2. Conversely, under warm conditions prevailing in summer, *E. ringens* contracts its distribution toward the coastal zone, forming highly aggregated schools. These dynamics are frequently influenced by El Niño events, which induce vertical displacements toward near-bottom layers and latitudinal migrations toward southern regions. For instance, during the February–April 2008 cruise, high-density aggregations were recorded mainly in the northern area within 10 nautical miles of the coast, covering approximately 15,043 nm^2. Comparable distributional patterns were observed during the summer cruises of 2016 and 2017. In the aftermath of the

Como referenciar este artículo (APA 7ed): Castillo, P. R., Peraltilla, S., Gutiérrez, M., Aliaga, A., Gonzales, A. Calderón, J. & La Cruz, L. (2026). 33 años de aplicación hidroacústica en el Perú en la determinación de la distribución y biomasa de la anchoveta. En J. Csirke & R. Guevara-Carrasco (Eds.), *La Anchoveta peruana* (Engraulis ringens). *Stock Norte-Centro (1950-2009): Construyendo las Bases Científicas para un Enfoque Ecosistémico* (Tomo I, pp. 267-288). Instituto del Mar del Perú.

1997/98 EN event, the biomass of *E. ringens* remained predominantly concentrated in the north–central region, reaching elevated levels that were mirrored by fishery landings. The temporal evolution of this pattern over the study period reveals a marked shift in the abundance and spatial structure of the stock following this event. Across all surveys, the mean confidence interval associated with biomass estimates was approximately 16%.
Keywords: *Engraulis ringens*, variability, distribution, biomass, hydroacoustic

1. INTRODUCCIÓN

La anchoveta (*Engraulis ringens*) es una especie abundante en la parte norte del Sistema de la Corriente de Perú (también conocida como Corriente de Humboldt), y es de gran importancia ecológica para la conservación y diversidad de otras especies marinas (Muck, 1989; Jahncke *et al.*, 2004); además soporta la mayor pesquería del mundo en volumen (Chavez *et al.*, 2008) y genera un relevante aporte económico al Perú. Su abundancia se debe a las condiciones dinámicas del ambiente oceanográfico (Morón, 2000; Swartzman *et al.*, 2008), alta producción de alimento generados por los afloramientos costeros (Bakun & Weeks, 2008) y plasticidad de hábitos alimentarios (Espinoza & Bertrand, 2008), rápido crecimiento (generalmente 1 cm/mes) y tiene una alta capacidad de reproducción (Buitrón & Perea, 2000; Perea *et al*., 2011).

Se ha determinado también que ante condiciones ambientales anómalas (como El Niño, Ondas Kelvin cálidas, etc.) la anchoveta tiene una alta capacidad adaptativa (Castillo Valderrama, 2017), lo que la convierte en una especie capaz de hallar zonas de refugio como mecanismo de supervivencia (Bertrand *et al.*, 2004, 2008a, 2008b). Asimismo, frente a la alta variabilidad oceanográfica que caracteriza el mar peruano, la anchoveta tiene habilidades o reacciones comportamentales como migraciones verticales a más de 150 m de profundidad (Gutiérrez, 2001) y migraciones horizontales que pueden abarcar varios grados de latitud y longitud (Gutiérrez *et al.*, 2007).

Después del evento El Niño 1982-83, el Instituto del Mar del Perú (Imarpe) inició los Cruceros de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos, los que se realizan en forma continua con fines de apoyar al manejo sostenible de las recursos pelágicos, principalmente de la anchoveta.

El método hidroacústico es un método directo de evaluación que permite estimar una población de peces; su aplicación en el Perú fue iniciada en

1. INTRODUCTION

Engraulis ringens is a dominant component of the north Peru Current System and plays a pivotal ecological role in sustaining marine biodiversity and ecosystem functioning (Muck, 1989; Jahncke *et al.*, 2004). It also supports the largest fishery worldwide in terms of landed biomass (Chavez *et al.*, 2008), constituting a cornerstone of the Peruvian economy. The exceptional abundance of *E. ringens* is linked to the highly dynamic oceanographic conditions of the region (Morón, 2000; Swartzman *et al.*, 2008), elevated primary and secondary production associated with coastal upwelling (Bakun & Weeks, 2008), dietary flexibility (Espinoza & Bertrand, 2008), rapid somatic growth (approximately 1 cm/month), and high reproductive output (Buitrón & Perea, 2000; Perea *et al*., 2011).

The species exhibits remarkable adaptive capacity under anomalous environmental conditions, including El Niño (EN) events and the passage of warm Kelvin waves (Castillo Valderrama, 2017). Such plasticity enables *E. ringens* to exploit refuge habitats as a survival strategy (Bertrand *et al.*, 2004, 2008a, 2008b). In response to the pronounced oceanographic variability of the Peruvian Sea, *E. ringens* displays complex behavioral adjustments, notably vertical migrations exceeding 150 m in depth (Gutiérrez, 2001) and extensive horizontal displacements spanning multiple degrees of latitude and longitude (Gutiérrez *et al.*, 2007).

In the aftermath of the 1982/83 El Niño, the *Instituto del Mar del Perú* (Imarpe) established a continuous program of Hydroacoustic Surveys of Pelagic Resources to support the sustainable management of pelagic fisheries, with particular emphasis on *E. ringens*.

1983 con el apoyo de investigadores de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Sin embargo, las primeras investigaciones acústicas de los recursos pesqueros se iniciaron en el Perú en 1961 a bordo del barco *Explorer*, que fue contratado por la FAO, dentro del programa de apoyo al Desarrollo Pesquero del Perú, obteniéndose gráficos de distribución de recursos pequeros en forma cualitativa. En este contexto, se realizaron prospecciones experimentales (1964-1966) con embarcaciones de la flota pesquera; debido a su éxito condujo a la fundación del *Programa Eureka* en 1966, caracterizada por el uso de embarcaciones pesqueras para la investigación científica (Villanueva, 1971; Fernandes *et al*., 2002).

En 1973, investigadores del Imarpe con especialistas de la FAO a bordo del BIC SNP-1 estimaron la biomasa de anchoveta por ecointegración entre los grados 10°-16°S (Imarpe, 1973). En 1975, el Proyecto PNUD/FAO promovió la suscripción del Convenio de Cooperación GCP/RLA/025/NOR por un período de 5 años (1975-1980), con la creación del Centro Regional de Investigaciones Electroacústicas para América Latina (CREA). Este fue conducido por expertos nacionales y de la FAO, para el desarrollo de métodos de evaluación acústica de los peces a través de la ecointegración, con la finalidad de determinar la distribución y biomasa de las principales especies pelágicas como: anchoveta, sardina (*Sardinops sagax*), jurel (*Trachurus murphyi*) y caballa (*Scomber japonicus*), además de la especie demersal merluza (*Merluccius gayi peruanus*).

A partir de 1983, el Imarpe realizó evaluaciones acústicas por ecointegración de estas principales especies pelágicas en el Perú, y posterior a El Niño 1997-98 fueron incrementadas otras especies en la evaluación. En el caso de la anchoveta, sus estimaciones se iniciaron a partir de 1985, después de El Niño 1982-83. Estas investigaciones acústicas fueron complementadas con una serie de tiempo cualitativa que proviene del Programa Eureka desde 1966 (Gutiérrez *et al.,* 2012), que permitieron en su momento conocer en forma rápida la abundancia relativa de la distribución de las especies pelágicas en general y de la anchoveta en particular.

Los instrumentos de detección acústica y los sistemas de procesamiento de datos para determi-

Hydroacoustic techniques constitute a direct and robust method for estimating fish abundance and spatial distribution. Their systematic application in Peru began in 1983 with technical support from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). However, the origins of acoustic research on fishery resources in Peru date back to 1961, when exploratory surveys aboard the R/V *Explorer*, chartered by the FAO, provided the first qualitative descriptions of pelagic resource distribution. Building on these early efforts, experimental acoustic surveys were conducted between 1964 and 1966 using commercial fishing vessels. The success of these initiatives led to the establishment of the Eureka Program in 1966, which institutionalized the use of fishing vessels for scientific research (Villanueva, 1971; Fernandes *et al*., 2002).

In 1973, IMARPE scientists, in collaboration with FAO specialists aboard the R/V SNP-1, produced the first biomass estimates of *E. ringens* using echo-integration methods between 10°S and 16°S (Imarpe, 1973). Subsequently, the UNDP/FAO Cooperation Agreement GCP/RLA/025/NOR (1975–1980) facilitated the creation of the Regional Center for Electroacoustic Research for Latin America (CREA in Spanish). This program advanced the development of standardized echo-integration methodologies to assess the distribution and biomass of key pelagic species, including *Engraulis ringens*, *Sardinops sagax*, *Trachurus murphyi*, and *Scomber japonicus*, as well as the demersal species *Merluccius gayi peruanus*.

Since 1983, Imarpe has conducted routine acoustic assessments of Peru's principal pelagic species, expanding the scope of evaluations after the 1997/98 EN to include additional taxa. Quantitative biomass estimation of *E. ringens* began in 1985, following the 1982/83 EN. These acoustic datasets have been complemented by a long-term qualitative time series derived from the Eureka Program (since 1966), enabling rapid assessments of relative abundance and spatial patterns for pelagic species, and particularly for *E. ringens* (Gutiérrez *et al.,* 2012).

nar la distribución y biomasa de los principales recursos pesqueros evolucionaron paulatinamente, y fueron adquiridos e implementados en los buques de investigación del Imarpe para tener una mayor precisión en las estimaciones. Actualmente, los protocolos utilizados en las evaluaciones acústicas corresponden a estándares internacionales y son sometidos periódicamente a procesos de consulta con investigadores expertos reconocidos, lo que ha permitido validar tanto la información recopilada como los análisis realizados sobre los niveles de abundancia de más de 10 especies entre pelágicas y demersales (Castillo *et al.*, 2011). Por su importancia para la economía nacional, la anchoveta ha recibido una parte significativa del esfuerzo de investigación, lo que ha permitido realizar prospecciones constantes que han contribuido a su sostenibilidad, además de permitir, desde el punto de vista científico, participaciones en diversos talleres internacionales.

En el presente artículo se muestran los principales resultados de las investigaciones acústicas (distribución espacial y estimaciones de la biomasa) que corresponden al recurso anchoveta entre los años 1985 y 2017, y una serie temporal (en diagramas Hovmoller) sobre las variaciones de su abundancia en relación con la evolución de su pesquería.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Periodo, diseño de muestreo y cobertura de investigación

La serie de tiempo se obtuvo de las bitácoras acústicas de 70 Cruceros de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos realizados en el mar peruano y que fueron conducidos por el Imarpe en el periodo comprendido entre 1985 y 2017 (33 años de investigación hidroacústica para la anchoveta). El área de cobertura, por lo general, comprendió todo el litoral desde Tumbes (03°28´S) a Tacna (18°18´S), con un diseño de trayectos tipo sistemático, constituidos por transectos paralelos equidistantes entre sí (Simmonds *et al*., 1992; Simmonds & MacLennan, 2005; Simmonds *et al.,* 2009) (Fig. 1). La extensión del área evaluada dependió de las condiciones oceanográficas superficiales, principalmente generadas por las imágenes satelitales previas a la realización del crucero, vinculadas a la presencia de anchoveta.

Over time, acoustic instrumentation and data-processing systems have undergone continuous technological improvement and have been progressively integrated into Imarpe research vessels, enhancing the precision and reliability of biomass estimates. Current survey protocols adhere to international standards and are regularly reviewed through consultations with internationally recognized experts, ensuring the validation of both data acquisition and analytical procedures for more than ten pelagic and demersal species (Castillo *et al.,* 2011). Owing to its economic and ecological significance, *E. ringens* has received sustained research attention, enabling frequent surveys that have contributed to its long-term sustainability and to Peru's active participation in international scientific forums.

This study synthesizes the principal findings of hydroacoustic investigations of *Engraulis ringens* conducted between 1985 and 2017, focusing on spatial distribution patterns, biomass estimates, and temporal variability in abundance, illustrated through Hovmöller diagrams in relation to the historical development of its fishery.

2. MATERIALS AND METHODS

Study period, survey design, and spatial coverage

This study is based on acoustic data obtained from 70 Hydroacoustic Surveys of Pelagic Resources conducted by Imarpe between 1985 and 2017, representing 33 years of continuous hydroacoustic monitoring of *Engraulis ringens* in Peruvian waters. Surveys generally covered the entire Peruvian coastline, from Tumbes (03°28'S) to Tacna (18°18'S), following a systematic design consisting of equidistant, parallel transects (Simmonds *et al*., 1992; Simmonds & MacLennan, 2005; Simmonds *et al.,* 2009) (Fig. 1). The spatial extent of each survey was adapted to prevailing surface oceanographic conditions, primarily inferred from satellite imagery acquired prior to cruise execution and associated with the observed distribution of *E. ringens*.

Periodicidad de los cruceros

La periodicidad de los cruceros fue de una vez por año entre 1985-1995, y de 2 a 4 veces por año entre 1996-2017. La nomenclatura del crucero es dada por seis dígitos, los dos primeros corresponden a los dos últimos dígitos del año y luego, los meses en que se realiza el crucero (inicio y fin, separados por un guion).

Plataformas y equipos de detección

Los barcos científicos utilizados fueron: BIC SNP-1 (36 m de eslora), BIC SNP-2 (32 m de eslora), BIC Nansen (71 m de eslora), RV Shinkay Maru (100,6 m de eslora), BIC Humboldt (76 metros de eslora), BIC Olaya (41 m de eslora) y BIC Luis Alberto Flores Portugal (28,4 m de eslora). Los equipos de detección acústica utilizadas fueron las ecosondas científicas de marca SIMRAD, modelos: EQ, EKS 120, EK400, EK500, EY500, EK60 y EY60; además de, un ecointegrador QM-MK II (Tabla 1). La calibración de los equipos, fueron realizados según la metodología descrita en Demer *et al*. (2015); Simmonds y MacLennan (2005). En las últimas generaciones de ecosondas, las calibraciones fueron realizadas de acuerdo a las especificaciones técnicas descritas en el manual. Los procedimientos operacionales de las ecosondas fueron considerados dentro de las prácticas internacionales (MacLennan, 1997; Foote, 1995).

Identificación de registros y distribución espacial

La identificación de especies se realizó empleando el conocimiento existente sobre ecotrazos típicos de las especies, con ayuda de los resultados de las capturas de las pescas de comprobación efectuadas con redes de arrastre pelágico (Castillo *et al*., 2011). Esta identificación permitió obtener valores de ecointegración de cada especie investigada denominada NASC (*Nautical Area Scattering Coefficient*), para cada muestra acústica en la columna de agua de 500 m de profundidad, expresadas en $m^2.mn^{-2}$. La muestra acústica (Unidad de Distancia de Muestreo Elemental-ESDU) inicialmente fue de 2 mn (1983-1993) recomendada por los investigadores de la FAO, y posteriormente fue de 1 mn desde 1994 a la fecha (Simmonds & MacLennan,

Figura 1.- Diseño de un muestreo sistemático de trayectos. distribución de anchoveta entre 1985-1992

Figure 1. Design of a systematic transect sampling. *E. ringens* distribution (1985-1992)

Survey frequency

Survey frequency was annual during the period 1985–1995 and increased to two to four surveys per year from 1996 to 2017. Each cruise was identified by a six-digit code, with the first two digits indicating the year and the remaining four digits indicating the start and end months of the survey (separated by a hyphen).

Survey platforms and acoustic equipment

The scientific vessels employed included R/V SNP-1 (36 m LOA), R/V SNP-2 (32 m), R/V Nansen (71 m), R/V *Shinkai Maru* (100.6 m), R/V *Humboldt* (76 m), R/V *Olaya* (41 m), and R/V *Luis Alberto Flores Portugal* (28.4 m). Acoustic data were collected using SIMRAD scientific echosounders, including the EQ, EKS 120, EK400, EK500, EY500, EK60, and EY60 models, as well as a QM-MK II echo-integrator (Table 1). All acoustic systems were calibrated following the procedures described by Demer *et al*. (2015); Simmonds and MacLennan (2005). For later-generation echosounders, calibrations adhered strictly to manufacturer specifications. Operational protocols followed internationally accepted standards (MacLennan, 1997; Foote, 1995).

2005; Gutiérrez *et al*., 2012). La generación de las gráficas de distribución espacial se realizó por interpolación de los valores NASC, que es la cuantificación de la retrodispersión acústica de los peces o cardúmenes de anchoveta en un determinado volumen, y que fue realizado por el programa Surfer (*Golden software*, USA) a través de la interpolación de datos con la metodología del krigging. El procedimiento está descrito en Castillo *et al*. (2011).

Species identification and spatial distribution

Species identification was based on established knowledge of characteristic acoustic backscatter patterns, supported by results from validation fishing operations using pelagic trawl gear (Castillo *et al*., 2011). This approach allowed the estimation of the Nautical Area Scattering Coefficient (NASC) for *E. ringens* within the upper 500 m of the water column, expressed in $m^2.nm^{-2}$. The Elementary Sampling Distance Unit

Tabla 1.- Información general de los cruceros analizados entre 1985-2017

Table 1. General information on cruises analyzed between 1985 and 2017

N°	Código de crucero	Fecha de ejecución	Buques participantes	Area evaluada (mn^2)	Transectos	Longitud de transectos (mn)	UBM (mn)	Lances de pesca	Captura total (k)	Modelo de ecosonda y ecointegrador SIMRAD (con frecuencias utilizadas)	Metodologia para estimacion de biomasa
1	8503-05	24/03/85 - 12/05/85	SNP-1	68281	71	25-125	5238	118	44596.0	EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
2	8604-05	13/04/86 - 18/05/86	SNP-1	77000	30	150	4180	93	15821.0	EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
3	8610-12	26/10/86 - 21/12/86	Humboldt, SNP-1	94900	51	200	7224	129	113513.0	EK-120/EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
4	8708-09	26/08/87 - 28/09/87	Humboldt, SNP-1	101019	73	120	6964	128	103156.0	EK400/EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
5	8805-07	16/05/88 - 10/07/88	Humboldt, SNP-1	104758	73	20-123	7540	142	84149.0	EK400/EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
6	8907-09	11/07/89 - 27/08/89	Humboldt, SNP-1	116519	75	120	8348	138	42730.0	EK400/EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
7	8911-12	16/11/89 - 09/12/89	SNP-1	41758	32	120	3408	68	14512.0	EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
8	9002-04	25/02/90 - 24/04/90	Humboldt, SNP-1, Nansen	160989	146	200	12308	125	47125.0	EK400/EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
9	9011-9101	30/11/90 - 30/12/90	Humboldt, SNP-1	95782	70	100	6928	132	21417.0	EK400/EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
10	9106-08	06/06/91 - 29/07/91	SNP-1	102430	72	100	7410	154	9403.0	EKS-120 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificación por contorneo
11	9201-03	22/01/92 - 28/02/92	SNP-1	74853	69	60-140	5384	107	11814.0	EK-38 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificacion por cuadrantes
12	9301-03	30/01/93 - 28/03/93	SNP-1	97941	114	40-155	7776	80	3903.0	EK-38 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificacion por cuadrantes
13	9401-03	10/01/94 - 02/03/94	SNP-1	105472	114	40-196	7824	96	13176.0	EK-38 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificacion por cuadrantes
14	9502-04	16/02/95 - 02/04/95	SNP-1	60000	142	20-106	6350	130	13630.8	EK-38 y QM-MKII (38 y 120 kHz)	Estratificacion por cuadrantes
15	9602-04	10/02/96 - 02/04/96	SNP-1	95000	75	20-119	7357	133	39659.0	EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
16	9611-12	12.11.96 - 22.12.96	SNP-1	98000	56	100	5600	90	17321.1	EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
17	9704	04/04/97 - 21/04/97	Humboldt	45000	28	80-90	2800	55	18050.4	EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
18	9709-10	04/09/97 - 07/10/97	Humboldt, Huamanga*	93600	78	80	4668	115	24062.5	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
19	9803-05	27/03/98 - 01/05/98	Humboldt*	72000	96	25-102	5070	391	19402.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
20	9805-06	25/05/98 - 24/06/98	Olaya*	74550	71	40-83	3338	135	18817.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
21	9808-09	18/09/98 - 17/09/98	Humboldt, Olaya*	92400	77	80	7499	352	18357.9	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
22	9811-12	30/11/98 - 21/12/98	Olaya*	51000	68	50-77	3235	188	3261.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
23	9902-03	10/02/99 - 01/04/99	Olaya*	112500	75	30-119	6696	336	60111.3	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
24	9906	14/06/99 - 28/06/99	Humboldt, Olaya*	48000	32	100	4099	166	10599.6	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
25	9908-09	27/09/99 - 25/10/99	Olaya, Shinkay Maru*	78000	26	200	5202	60	6855.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
26	9911-12	23/11/99 - 15/12/99	Olaya, SNP-2*	64500	43	100-120	5202	224	50870.0	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
27	0001-02	17/01/00 - 29/02/99	Olaya, SNP-2*	115500	77	100-120	8801	447	65602.0	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
28	0006-07	07/06/00 - 07/07/00	Olaya, SNP-2*	90000	50	100-120	6671	309	18948.0	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
29	0008-09	25/08/00 - 23/09/00	Olaya, SNP-2*	48200	52	40-115	3455	108	14025.8	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
30	0010-11	09/10/00 - 17/11/00	Olaya, SNP-2*	106600	68	100-120	8032	372	21240.0	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
31	0103-04	28/02/01 - 13/04/01	Olaya, SNP-2*	120600	74	90-120	9357	451	38079.0	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
32	0107-08	02/07/01 - 08/08/01	Humboldt, Olaya, SNP-2*	128600	71	100-120	9223	410	11798.0	EK500 (38 y 120 kHz)/EY500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
33	0110-11	03/10/01 - 13/11/01	Olaya, SNP-2*	255000	147	200	19608	620	13060.5	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
34	0202-03	17/02/02 - 13/03/02	Olaya, SNP-2*	80000	74	120	6081	307	40422.5	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
35	0208-09	07/08/02 - 01/09/02	Olaya, SNP-2	76644	65	45-148	4836	100	4933.7	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
36	0210-11	30/09/02 - 16/11/02	Humboldt, Olaya, SNP-2	170000	66	200	10580	242	22555.0	EK60,EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
37	0302-04	26/02/03 - 01/04/03	Olaya, SNP-2*	104251	76	110	7086	249	35049.6	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
38	0310-12	25/10/03 - 12/12/04	Humboldt, Olaya*	191900	70	180-200	11113	176	17942.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
39	0402-04	15/02/04 - 26/03/04	Olaya, SNP-2*	109800	82	100	5898	343	51112.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
40	0408-09	08/08/04 - 15/09/04	Olaya, SNP-2*	71820	47	100	5537	91	7306.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
41	0411-12	26/11/04 - 21/12/04	Olaya*	43290	41	60	2759	72	11470.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
42	0502-04	20/02/05 - 05/04/05	Olaya, SNP-2*	112000	82	100	4916	240	58742.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
43	0508-09	15/08/05 - 22/09/05	Olaya, SNP-2*	69150	54	100	5582	70	8852.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
44	0511-12	23/11/05 - 23/12/05	Olaya	57930	41	100-120	4006	215	15688.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
45	0602-04	20/02/06 - 14/04/06	Olaya, SNP-2*	90050	99	100	8052	344	33616.0	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
46	0611-12	05/11/06 - 23/12/06	Olaya, SNP-2*	110297	95	20-200	8387	234	20598.2	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
47	0702-04	22/02/07 - 08/04/07	Olaya, SNP-2*	108580	95	20-150	9925	296	33452.3	EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
48	0708-09	10/08/07 - 21/09/07	Olaya, Humboldt, SNP-2	125388	78	22-155	9398	119	14720.9	EK60 (38 y 120 kHz) y EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
49	0802-04	26/02/08 - 12/04/08	Olaya, SNP-2*	111200	96	18-142	9945	227	53558.4	EK60 (38, 120 y 200 kHz) y EK500 (38 y 120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
50	0811-12	05/11/08 - 24/12/08	Olaya, Humboldt	172000	75	40-300	9834	156	24878.3	EK60 (38, 120 y 200 kHz) y EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
51	0902-04	24/02/09 - 16/04/09	Olaya, Humboldt*	105131	79	40-90	6661	173	54472.1	EK60 (38, 120 y 200 kHz) y EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
52	0912	04/12/09 - 30/12/09	Olaya	36100	40	10-100	2537	56	11619.8	EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
53	1002-04	23/02/10 - 11/04/10	Olaya*	77220	74	20-82	5527	197	36153.7	EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
54	1011-12	10/11/10 - 22/12/10	Olaya	73138	56	40-96	5241	117	14956.0	EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
55	1102-04	23/02/11 - 18/04/11	Olaya*	90576	80	20-80	6339	212	33885.8	EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
56	1110-12	29/10/11 - 17/12/11	Olaya	107127	58	40-150	6503	106	6836.4	EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
57	1202-04	17/02/12 - 13/04/12	Olaya*	86870	79	20-80	6944	201	48101.0	EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
58	1209-11	18/09/12 - 05/11/12	Olaya	76461	76	20-130	6021	169	19630.7	EK60 (38, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
59	1302-04	23/02/13 - 17/04/13	Olaya, Humboldt	84216	79	20-110	6669	190	41728.3	EK60 (38, 120 y 200 kHz) y EY60 (120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
60	1308-09	16/08/13 - 19/09/13	Olaya, Humboldt	101942	79	26-146	7915	216	28269.7	EK60 (38, 120 y 200 kHz) y EY60 (120 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
61	1402-04	24/02/14 - 11/04/14	Olaya*	75944	79	20-100	6434	299	95206.0	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
62	1408-10	08/08/14 - 01/10/14	Olaya*	63900	79	45-100	6069	288	16457.0	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
63	1411-12	05/11/14 - 13/12/14	Olaya	49144	57	60-100	4278	153	10872.6	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
64	1502-04	17/02/15 - 09/04/15	Olaya*	60095	60	20-100	5352	219	30623.0	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
65	1508-10	20/08/15 - 08/10/15	Olaya, Flores	62828	100	50-100	6346	201	10469.8	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
66	1603-04	29/03/16 - 30/04/16	Olaya, Flores*	44114	86	50-80	5956	199	23926.0	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
67	1605-06	21/05/16 - 16/06/16	Olaya, Flores	40608	87	60-70	4885	158	23329.0	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
68	1609-11	17/09/16 - 03/11/16	Olaya, Flores*	80131	115	60-120	10363	358	23233.0	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
69	1703-04	03/03/17 - 13/04/17	Olaya, Flores*	65856	112	60-80	8612	208	44086.8	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales
70	1709-11	22/09/17 - 09/11/17	Olaya, Humboldt	91392	108	50-120	10630	214	11780.0	EK60 (18, 38, 70, 120 y 200 kHz)	Estratificacion por áreas isoparalitorales

* Fueron utilizados lanchas pesqueras como apoyo a los muestreos acusticos y biologicos, generalmente en áreas costeras. En el ultimo crucero de 2017 tambien se realizó una estimación de biomasa por geoestadistica.

Entre los años 1985-1999, el análisis de la identificación fue realizado analógicamente por observaciones visuales de los ecogramas e integramas impresos en papel (húmedo, térmico y/o seco), de manera de transcribir tanto la identidad de cada registro de la especie detectada como su correspondiente valor NASC, descritos en una bitácora. A partir del año 2000, la identificación y creación de bitácoras se realizaron digitalmente a través de un programa de post-procesamiento acústico (*Echoview Myriax software*, Australia) (Higgimbottom *et al*., 2000). Posteriormente, se utilizaron análisis de multifrecuencia de los registros detectados.

El centro de gravedad de la distribución espacial de la anchoveta

El centro de gravedad (CG) de la distribución espacial de anchoveta se determinó mediante la fórmula descrita por Bez (2009), que es la ubicación media de una población en R^2, vector con 2 componentes y su fórmula es representada por:

$$CG = \frac{\int x\, z(x)\, dx}{\int z(x)\, dx}$$

En el caso del muestreo regular, como es el caso de los cruceros sistemáticos, está dada por:

$$CG = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i z_i}{\sum_{i=1}^{N} z_i}$$

$\mathcal{X}_i$: ubicación de la muestra i, i = 1, 2, 3, ... N

$Zx_i = z_i$, $\quad i$ valor muestral.

Ecuaciones de Fuerza de Blanco (TS) de la anchoveta

La Fuerza de Blanco (TS) de una especie es una medición logarítmica de la proporción de la energía incidente que es retrodispersada por el pez o blancos (Simmonds & MacLennan, 2005); es un parámetro acústico importante para estimar la biomasa de una población de peces y depende en gran medida de la longitud del pez (Midttun & Hoff, 1962). En cuanto a las ecuaciones de TS requeridas en la estimación de la biomasa de anchoveta, se han utilizado los valores descritos en la Tabla 2.

(ESDU) was set at 2 nm (1983-1993), following FAO recommendations, and reduced to 1 nm from 1994 onward (Simmonds & MacLennan, 2005; Gutiérrez *et al*., 2012). Spatial distribution maps were generated by interpolating NASC values—representing the integrated acoustic backscatter from fish aggregations—using kriging methods implemented in Surfer software (Golden Software, USA), following the procedures detailed in Castillo *et al*. (2011).

Between 1985 and 1999, species identification and NASC extraction were performed manually through visual inspection of printed echograms and integragrams (wet paper, thermal, or dry formats), with results transcribed into acoustic logbooks. From 2000 onward, identification and logbook generation were conducted digitally using post-processing software (Echoview, Myriax Pty Ltd., Australia) (Higgimbottom *et al*., 2000), incorporating multifrequency analysis of detected acoustic signals.

Center of gravity of spatial distribution

The center of gravity (CG) of the spatial distribution of *E. ringens* was calculated following Bez (2009), which represents the mean location of a population in R^2 (a vector with two components), and its formula is given by:

$$CG = \frac{\int x\, z(x)\, dx}{\int z(x)\, dx}$$

For systematic sampling designs, such as the surveys conducted in this study, the discrete formulation applies:

$$CG = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i z_i}{\sum_{i=1}^{N} z_i}$$

$\mathcal{X}_i$: location of sample i, i = 1, 2, 3, ... N

$Zx_i = z_i$, $\quad i$ sample value.

Target strength equations for *Engraulis ringens*

Target strength (TS) is a logarithmic measure of the proportion of incident acoustic energy backscattered by an individual fish or target (Simmonds & MacLennan, 2005). TS is a key parameter in acoustic biomass estimation and is strongly dependent on fish length (Midttun & Hoff, 1962). The TS–length relationships applied for *E. ringens* in this study are summarized in Table 2.

Tabla 2.- Valores de mediciones de fuerza de blanco de la anchoveta utilizados en las estimaciones de biomasa. La dependencia funcional sobre la longitud de peces L es: *TS=m log L+b*, o de la formula estándar $TS=20logL+b_{20}$. Los parámetros *m, b* y b_{20} son normalmente obtenidos de regresión lineal

Table 2.- Values of target strength measurements for *E. ringens* used in biomass estimates. The functional dependence on fish length L is: *TS=m log L+b*, or the standard formula $TS=20logL+b_{20}$. The parameters *m, b,* and b_{20} are normally obtained from linear regression

Rango (cm)	Frecuencia (kHz)	m (dB)	b (dB)	b_{20} (dB)	Referencia
10.0 13.0	120			-76.25	Gutiérrez y MacLennan (1998)
12.0 17.0	120			-77.5	MacLennan *et al.* (1998)
6.0 - 8.5	120			-81.8	Gutiérrez (1999)
11.5 - 14.5	120			-78.5	Gutiérrez (1999)
10.0 - 16.0	120	30	-88.57		Simmonds *et al.* (2009)
12.5 - 18.0	38			-70.9	MacLennan *et al.* (1998)
10.0 - 16.0	38			-78.9	MacLennan *et al.* (1998)

Estimación de biomasa

La biomasa fue estimada por el método de estratificación, efectuándose diversas técnicas en esta metodología del tratamiento de los valores NASC: Por *contorneo* (1985-1991), por *cuadrados Marsden* (1992-1995) y finalmente por áreas isoparalitorales *de 10x30 mn* (1996-2009) (Simmonds & MacLennan, 2005; CPPS, 2001; Gutiérrez & Peraltilla, 1999). Los límites de confianza de la biomasa de anchoveta han sido estimados según la metodología descrita en Bazigos (1976), acorde con el diseño de muestreo utilizado.

La biomasa por estratificación en base a la estimación de la sección transversal de retrodispersión referida a kg (σ_{kg}), es la siguiente:

$$TS = 20 \log < L > -b_{20}$$

$$\sigma = 10000\ [4\pi 10^{\frac{TS}{10}}]$$

$$\sigma_{kg} = 10000\ \sigma\ /< W >$$

$$\delta = 10\ C_i < s_A >/\ \sigma_{kg}$$

$$B = \delta\ A$$

Otra forma es, en base a la estimación de una constante de integración C:

$$TS_{kg} = TS - 10 \log(< W >/1000)$$

$$\sigma_{kg} = 4\pi 10^{TSkg/10}$$

$$C = C_i/(1000\ \sigma_{kg})$$

$$B = C\ A <\ s_A >$$

Y finalmente, en base a la estimación de σ y numero de peces (n):

Biomass estimation

Biomass was estimated using stratified approaches, with different NASC processing techniques applied over time: contouring methods (1985–1991), Marsden square grids (1992–1995), and 10×30 nm isoparallel coastal strata (1996–2009) (Simmonds & MacLennan, 2005; CPPS, 2001; Gutiérrez & Peraltilla, 1999). Confidence limits for biomass estimates were calculated following Bazigos (1976), consistent with the adopted survey design.

Biomass estimation based on stratification and acoustic backscattering cross-sections referenced to weight (σ_{kg}) followed these formulations:

$$TS = 20 \log < L > -b_{20}$$

$$\sigma = 10000\ [4\pi 10^{\frac{TS}{10}}]$$

$$\sigma_{kg} = 10000\ \sigma\ /< W >$$

$$\delta = 10\ C_i < s_A >/\ \sigma_{kg}$$

$$B = \delta\ A$$

Another approach is based on the estimation of an integration constant C:

$$TS_{kg} = TS - 10 \log(< W >/1000)$$

$$\sigma_{kg} = 4\pi 10^{TSkg/10}$$

$$C = C_i/(1000\ \sigma_{kg})$$

$$B = C\ A <\ s_A >$$

And finally, based on the estimation of σ and the number of fish (n):

$$\sigma = 10000[4\pi 10^{TS/10}]$$

$$\delta = 10000\ C_i < s_A > /\sigma$$

$$n = \delta\ A$$

$$B = n < W > /1000000$$

Donde:

σ es la sección transversal de dispersión acústica o área acústica equivalente del blanco o pez, en unidades de metro cuadrado.

σ_{kg} es una expresión del área de la sección transversal de dispersión por kilo del pez, en unidades de metro cuadrado/kg.

W es el peso medio de los peces capturados expresado en gr (relación $W = a\,L^b$), donde L es la longitud media de los peces.

C_i es la constante de instrumentación de la ecosonda obtenida de las calibraciones.

s_A es el coeficiente náutico medio del área de dispersión o valores integrados de la especie dados en m^2/mn^2.

El diagrama Hovmoller es un gráfico para mostrar la evolución temporal, en este caso, de la biomasa estimada en cada crucero por grado de latitud; fue inventado por el meteorólogo danés Ernest Aobo Hovmoller (1912-2008). El gráfico está basado en la interpolación bivariada de grillado para datos irregulares descritos en Akima (1978).

Anomalías de temperatura superficial del mar (ATSM)

Fueron consideradas las anomalías mensuales de la temperatura de superficie del mar de los puertos costeros de: Paita, Chicama, Callao e Ilo, datos provenientes del sistema de monitoreo oceanográfico del Imarpe. Los gráficos fueron realizados de acuerdo con el periodo de la serie de distribución de anchoveta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Serie de distribución espacial de la anchoveta

La distribución de la anchoveta en el periodo de estudio ha sido muy variable y abarcó casi toda la costa, desde Cabo Blanco (04°S) a Morro Sama (18°S), con una característica común en la

$$\sigma = 10000[4\pi 10^{TS/10}]$$

$$\delta = 10000\ C_i < s_A > /\sigma$$

$$n = \delta\ A$$

$$B = n < W > /1000000$$

Where:

σ is the acoustic backscattering cross-section or equivalent acoustic area of the target or fish, in square meters (m^2).

σ_{kg} is an expression of the backscattering cross-section per kilogram of fish, in square meters per kilogram (m^2/kg).

W is the mean weight of captured fish expressed in grams (relationship $W = a\,L^b$), where L is the mean length of the fish.

C_i is the echosounder instrumentation constant obtained from calibrations.

s_A is the mean nautical area scattering coefficient or integrated values for the species, given in m^2/mn^2.

Temporal and latitudinal variability in biomass estimates was visualized using Hovmöller diagrams. These diagrams are based on bivariate interpolation of irregularly spaced data following the method of Akima (1978) and were originally introduced by the Danish meteorologist Ernest Hovmöller.

Sea surface temperature anomalies (SSTA)

Monthly sea surface temperature anomalies were derived from coastal monitoring stations at Paita, Chicama, Callao, and Ilo, using data from Imarpe's oceanographic monitoring system. SST anomaly plots were constructed to match the temporal extent of the *Engraulis ringens* distribution series.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Spatiotemporal distribution of *Engraulis ringens*

The spatial distribution of *Engraulis ringens* along the Peruvian coast exhibited marked variability throughout the study period, extending intermittently from Cabo Blanco (04°S) to

continuidad de presencia-ausencia y en el nivel gregario de localización de cardúmenes, que en algunos casos fueron replegadas a la costa y en otras alejadas de esta, y que dependieron principalmente de las condiciones oceanográficas.

Así, por ejemplo, entre los años 1985-1992 se observó una amplia distribución de anchoveta en los cruceros de marzo-mayo de 1985 (8503-05), abril-mayo de 1986 (8604-05), mayo-julio de 1988 (8805-07) principalmente en el norte y centro de la costa peruana, y en julio-setiembre de 1989 (8907-09) entre Callao-Pisco. Distribuciones muy costeras o replegadas hacia la costa se encontraron en los cruceros de agosto-septiembre de 1987 (8708-09) (por El Niño 1986-1987 de magnitud moderada), febrero-abril de 1990 (9002-04), junio-agosto de 1991 (9106-08) y enero-marzo de 1992 (9201-03) (por El Niño 1991-1992 de magnitud moderada), en este último crucero se encontró una alta concentración entre Huarmey y Ático (Fig. 2).

Morro Sama (18°S). Across surveys, the species alternated between coastal confinement and offshore expansion, with changes in aggregation intensity and continuity primarily modulated by oceanographic forcing.

During the late 1980s and early 1990s (1985–1992), *E. ringens* displayed predominantly wide spatial distributions, particularly during surveys conducted in March–May 1985 (8503-05), April–May 1986 (8604-05), and May–July 1988 (8805-07), mainly across the northern and central coastal sectors. A similar pattern was observed during July–September 1989 (8907-09) between Callao and Pisco. In contrast, pronounced coastal contraction was recorded during August–September 1987 (8708-09), coinciding with the moderate 1986/87 EN, as well as during surveys conducted in February-April 1990 (9002-04), June-August 1991 (9106-08), and January-March 1992 (9201-03), associated with the 1991/92 EN. During this latter period, exceptionally dense aggregations were detected between Huarmey and Atico (Fig. 2).

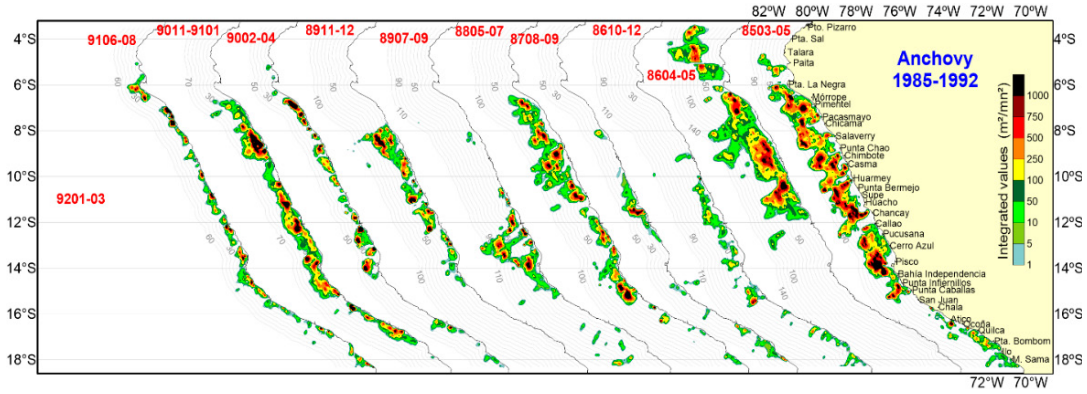

Figura 2.- Distribución de anchoveta entre 1985-1992

Figure 2. Peruvian anchoveta distribution between 1985 - 1992

En el periodo 1993 y 1998, el repliegue de la anchoveta hacia la costa continuó en los años 1993 a 1995, destacándose que en el verano de 1994 (9401-03) se encontraron altas concentraciones, principalmente entre Huarmey y San Juan de Marcona. En 1996, tuvo una amplia distribución que alcanzó hasta las 108 mn de la costa en la primavera de este año (9611-12), generalmente en concentraciones de tipo disperso. Posteriormente, en los cruceros realizados en 1997 y 1998, la anchoveta estuvo replegada cerca de la costa con distribuciones ubicadas en distancias menores a 52 mn de la costa, por la presencia de El Niño 1997-1998 de magnitud extraordinario (Fig. 3).

Between 1993 and 1998, nearshore distributions remained dominant, particularly from 1993 to 1995. Notably, during summer 1994 (9401-03), high concentrations were observed between Huarmey and San Juan de Marcona. A contrasting scenario emerged in spring 1996 (9611-12), when *E. ringens* expanded offshore to distances exceeding 100 nm, although predominantly in dispersed schools. This expansion was followed by a sharp shoreward contraction during 1997/98, when the extraordinary EN restricted the distribution to within approximately 50 nm from the coast (Fig. 3).

Entre los años 1999 y 2001, la distribución de anchoveta fue en general amplia, que alcanzó hasta las 158 mn de distancia a la costa entre octubre-noviembre del 2001 (crucero 0110-11); y en distancias menores de 70 mn de la costa en el crucero de febrero-marzo de 1999 (9902-03). Las mayores abundancias fueron encontradas en los veranos del 2000 (0001-02) y 2001 (0103-04), principalmente entre Punta La Negra y Huarmey (Fig. 4).

Los años del periodo 2002 al 2005 fueron considerados de condiciones neutras o ligeramente anómalos, durante los cuales la anchoveta presentó un comportamiento típico; es decir, en el verano se encontró cerca de la costa y en el invierno alejada de esta. Tuvo importantes áreas de alta abundancia en febrero-marzo del 2002 (0202-03), febrero-abril del 2004 (0402-04) y febrero-abril del 2005 (0502-04) localizados hasta las 88 mn de la costa. En el invierno del 2004 (0408-09) se registró su presencia hasta las 180 mn de la costa frente a Cerro Azul (Fig. 5).

During the period 1999–2001, the distribution of *E. ringens* was generally extensive, reaching up to 158 nm offshore during October–November 2001 (cruise 0110–11), while remaining within 70 nautical miles during February–March 1999 (9902–03). The highest abundances were observed during the summers of 2000 (0001–02) and 2001 (0103–04), primarily between Punta La Negra and Huarmey (Fig. 4).

Between 2002 and 2005, a period characterized by neutral or slightly anomalous conditions, *E. ringens* exhibited a typical seasonal pattern: a coastal distribution during summer and a more offshore distribution during winter. Significant areas of high abundance were recorded during February–March 2002 (0202–03), February–April 2004 (0402–04), and February–April 2005 (0502–04), extending up to 88 nm from the coast. During winter 2004 (0408–09), the species was detected as far as 180 nm offshore in the vicinity of Cerro Azul (Fig. 5).

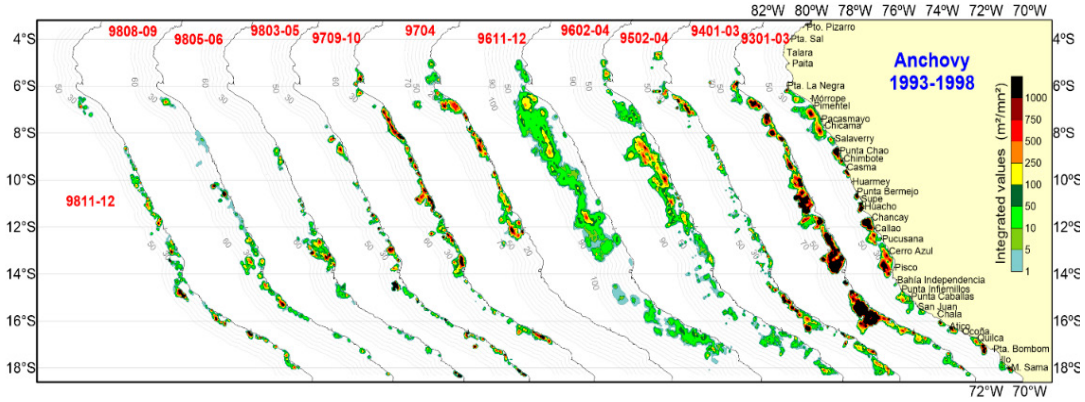

Figura 3.- Distribución de anchoveta entre 1993 y 1998

Figure 3. Peruvian anchoveta distribution between 1993 -1998

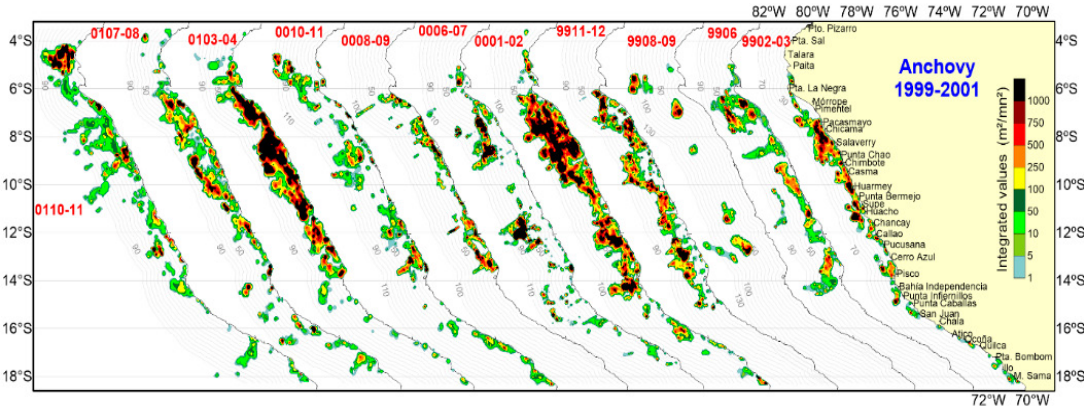

Figura 4. Distribución de anchoveta entre 1999-2001

Figure 4. Peruvian anchoveta between 1999-2001

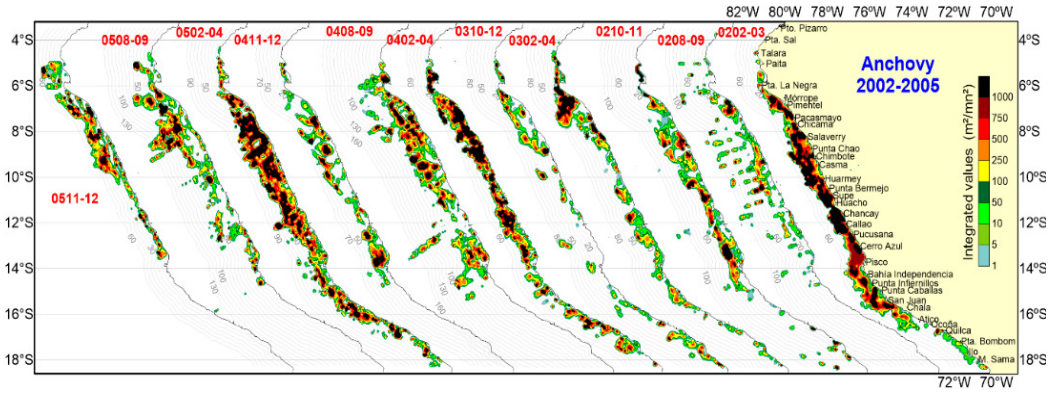

Figura 5.- Distribución de anchoveta entre 2002-2005

Figure 5. Peruvian anchoveta between 2002 - 2005

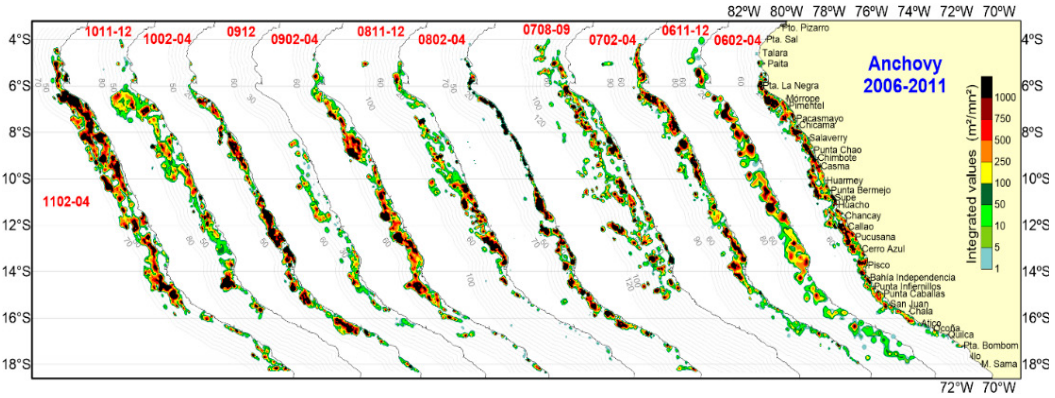

Figura 6.- Distribución de anchoveta entre 2006 y 2011

Figure 6. Peruvian anchoveta between 2002 - 2005

Entre los años 2006 y 2011, la anchoveta se encontró en núcleos de alta concentración en casi todos los cruceros, registrándose una amplia distribución en el invierno del 2007 (0708-09) hasta 140 mn frente a Supe. Es importante mencionar que en el crucero de verano del 2008 (0802-04) la anchoveta estuvo muy replegada hacia la costa entre Talara-Chancay (0,5 a 10 mn de distancia a la costa) con altas concentraciones de cardúmenes (Fig. 6).

Entre los años 2011 y 2015 la distribución de anchoveta fue muy variable. Presentó altas concentraciones con una alta abundancia en el verano del 2013 (1302-04), especialmente entre Punta La Negra y Huarmey hasta las 100 mn de la costa, y en el invierno de ese año (1308-09) tuvo una mayor dispersión registrándose hasta las 140 mn de la costa. Situación distinta fue observada en el invierno del 2014 (1408-10) en el cual la anchoveta estuvo muy replegada a la costa, alcanzando solamente hasta las 78 mn frente a Chicama, con un amplio predominio de concentraciones dispersas. En el verano del 2015 (1502-04), la anchoveta se encontró hasta

From 2006 to 2011, *E. ringens* formed high-density cores in nearly all surveys. A notably broad distribution was observed during winter 2007 (0708–09), extending up to 140 nm offshore near Supe. In contrast, during the summer survey of 2008 (0802–04), the species was strongly concentrated near the coast between Talara and Chancay (0.5–10 nm offshore), forming dense schools (Fig. 6).

Between 2011 and 2015, spatial patterns were again highly variable. High abundances were observed during summer 2013 (1302–04), particularly between Punta La Negra and Huarmey, extending up to 100 nm offshore. During the winter of the same year (1308–09), the distribution became more dispersed, reaching 140 nm offshore. In winter 2014 (1408–10), *E. ringens* was markedly coastal, extending only to 78 nm offshore near Chicama, with a predominance of dispersed aggregations. During summer 2015 (1502–04), the species extended up to 60 nm

las 60 mn frente a Casma con importantes núcleos de alta densidad. Posteriormente, en el invierno del 2015 (1508-10), predominaron concentraciones dispersas hasta 76 mn con un amplio repliegue entre 0 y 17 mn de la costa-entre Pisco-Sama (Fig. 7).

Finalmente, en el 2016 y 2017 caracterizados por eventos El Niño en los primeros meses de estos años (considerados de magnitud "fuerte" y Niño costero "débil", respectivamente), la anchoveta se encontró muy costera en marzo-abril y mayo-junio del 2016 (1603-04 y 1605-06), con una alta concentración en el extremo sur del área evaluada (Punta Infiernillos-Chala). Posteriormente, como consecuencia de la migración de la anchoveta hacia el norte debido a la normalización de las aguas costeras, se registró una ligera dispersión en la zona norte (Paita-Pimentel), que fue ampliada en setiembre-noviembre (1609-11) hasta las 112 mn frente a Pimentel. En el verano del 2017 (1703-04), la anchoveta estuvo muy replegada hacia la costa (45 mn de la costa) con importantes concentraciones distribuidas entre Punta La Negra-Morro Sama; y entre setiembre-noviembre (1709-11) presentó una distribución amplia (105 mn de Pimentel) con núcleos de alta abundancia entre Callao-Pisco y una alta presencia de ejemplares juveniles (Fig. 8).

En todos los cruceros se visualizó una distribución con características diversas y con cierta continuidad en algunas zonas del litoral. Castillo *et al.* (2015), en un análisis de variogramas de los valores NASC de anchoveta entre los años 2000 y 2014, determinó que la distribución de la anchoveta es altamente variable, es estructurada y espacialmente dependiente; es decir, tiene auto correlación espacial, donde la probabilidad de encontrar cardúmenes de esta especie es mayor en las proximidades donde ya existe otro.

offshore near Casma, forming dense aggregation cores, while in winter 2015 (1508–10), dispersed distributions predominated up to 76 nm offshore, with strong coastal contraction between Pisco and Sama (Fig. 7).

In 2016 and 2017, both years influenced by El Niño events (classified as "strong" and "weak coastal EN," respectively), *E. ringens* exhibited pronounced coastal distributions during March–April and May–June 2016 (1603–04 and 1605–06), with high concentrations in the southernmost sector of the study area (Punta Infiernillos–Chala). As coastal waters normalized, a northward migration was observed, resulting in moderate dispersion in the northern region (Paita–Pimentel), which expanded during September–November 2016 (1609–11) to 112 nm offshore near Pimentel. During summer 2017 (1703–04), the species was again strongly coastal (within 45 nm), with high concentrations between Punta La Negra and Morro Sama. By September–November 2017 (1709–11), the distribution expanded offshore (up to 105 nm near Pimentel), with high-abundance cores between Callao and Pisco and a notable presence of juvenile individuals (Fig. 8).

Across all surveys, *E. ringens* displayed diverse spatial configurations, with partial continuity along certain coastal sectors. Variogram analyses of NASC values between 2000 and 2014 demonstrated that the distribution of *E. ringens* is highly variable, spatially structured, and autocorrelated, indicating a higher probability of encountering schools in proximity to existing aggregations (Castillo *et al.*, 2015).

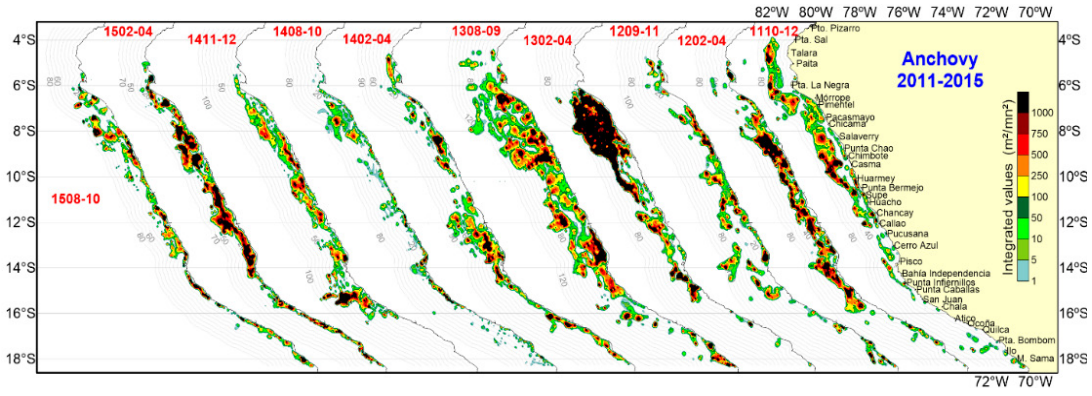

Figura 7.- Distribución de anchoveta entre 2011 y 2015

Figure 7. Peruvian anchoveta distribution between 2011 - 2015

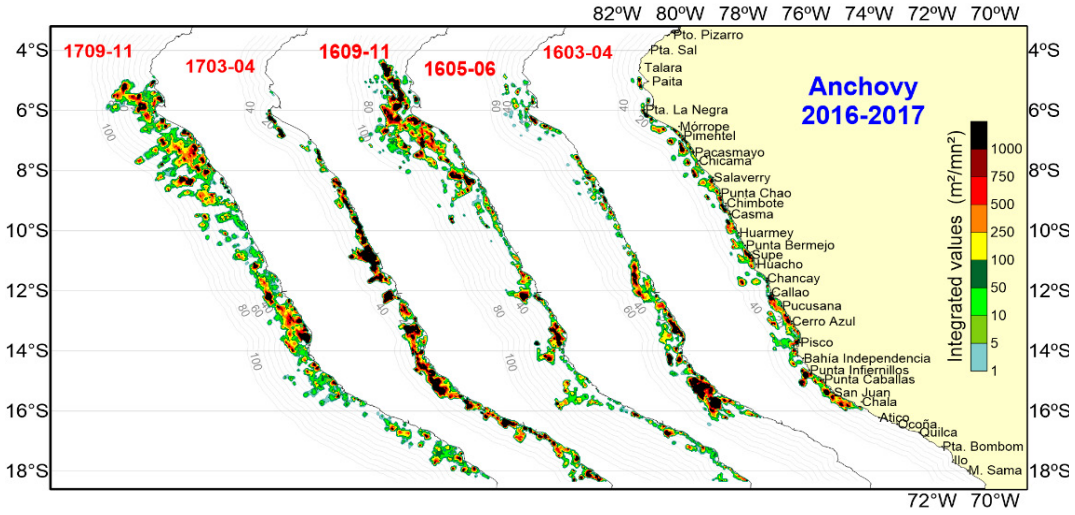

Figura 8.- Distribución de anchoveta entre 2016 y 2017

Figure 8. Peruvian anchoveta between 2016 - 2017

Distribución vertical de la anchoveta

Con respecto a su distribución vertical, la anchoveta normalmente se registra en la capa superficial de los 50 m, con mayores abundancias en los primeros 25 m. Bertrand *et al.* (2008c) considera que la anchoveta está fuertemente limitada por la ubicación del tope superior de la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO), en tanto que la salinidad y temperatura son limitantes menos exigentes a nivel vertical (Bertrand *et al.*, 2004). En condiciones anómalas como un evento El Niño, la anchoveta efectúa migraciones desplazándose hacia el sur y cerca de la costa, teniendo como comportamiento vertical un desplazamiento hacia lugares más profundos cerca de la costa, especialmente en la zona norte de Huarmey (10°S), y puede alcanzar profundidades de 130 m debido a la profundización de la ZMO, como lo ocurrido en El Niño 1997-1998.

Relación de la distribución de la anchoveta con las ATSM

La distribución de la anchoveta está asociada a las condiciones oceanográficas, principalmente por la presencia de aguas costeras frías; la presencia de las aguas oceánicas (aguas subtropicales superficiales) cerca de la costa limita su distribución restringiéndolo en áreas reducidas hacia el litoral, como lo observado en los cruceros: 8708 -09, 9704, 9709-10, 9803-05, 9805-06, 9808-09, 9811-12 (1997 y 1998 por el evento El Niño). Asimismo, se observaron otros periodos con una distribución de anchoveta replegada hacia la costa en los cruceros de verano del 2008, 2016 y 2017, especialmente hacia el norte del Callao donde se visualizan Anomalías Positivas de

Vertical distribution of *Engraulis ringens*

Vertically, *E. ringens* was typically recorded within the upper 50 m of the water column, with highest abundances concentrated in the upper 25 m. Bertrand *et al.* (2008c) consider that the vertical distribution is strongly constrained by the upper boundary of the Oxygen Minimum Zone (OMZ), whereas temperature and salinity exert less restrictive vertical control (Bertrand *et al.*, 2004). Under anomalous conditions such as El Niño events, the species migrates southward and toward the coast, exhibiting deeper vertical distributions nearshore, particularly north of Huarmey (10°S), reaching depths of up to 130 m due to deepening of the OMZ, as observed during the 1997/98 EN.

Relationship between spatial distribution and SSTA

The distribution of *E. ringens* is closely linked to oceanographic conditions, particularly the presence of cold coastal waters. The intrusion of oceanic subtropical surface waters near the coast restricts its distribution to narrow coastal bands, as observed during several surveys affected by EN events (e.g., 8708–09, 9704, 9709–10, 9803–05, 9805–06, 9808–09, 9811–12). Similar coastal contractions were observed during summer surveys in 2008, 2016, and 2017, particularly north of Callao, coinciding with positive sea surface temperature anomalies exceeding 2°C (Fig. 9). The 2015/16 EN,

la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) mayores de 2°C (Fig. 9). En el otoño del 2015 se inició el evento El Niño 2015-2016, considerado de magnitud fuerte por el ENFEN (Estudio Nacional del Fenómeno El Niño), el cual alcanzó su máxima intensidad en diciembre del 2015 con su fase declinante en marzo del 2016. El Niño costero ocurrido en el verano del 2017 produjo también fuertes ATSM en la zona norte hasta alcanzar +10,0 C en Huanchaco, lo cual originó el repliegue de la anchoveta hacia la costa; y posteriormente en los meses siguientes fue normalizándose hasta alcanzar condiciones neutras en el Pacifico Central y en el Pacifico Oriental.

En el periodo 1999-2001, las condiciones ambientales en toda la costa fueron frías (anomalías negativas), por lo cual las distribuciones de anchoveta fueron amplias. En cambio, entre el 2002 y 2015, las condiciones oceanográficas en la costa fueron normales y la anchoveta se registró más alejada de la costa en el invierno, generalmente con anomalías negativas, y más costera en el verano, con anomalías positivas.

Estos cambios en la dinámica de las masas de agua en el mar peruano también afectan la distribución de otros recursos pelágicos, negativamente a los asociados a condiciones de aguas frías (e.g., múnida) y positivamente a especies asociadas al sistema oceánico, como el jurel, la caballa, los túnidos y las especies mesopelágicas como la vinciguerria.

Castillo Valderrama (2017), hizo un análisis de los datos (1985-2015) de la distribución de la

classified as strong by ENFEN (Multisectoral Commission for the National Study of the El Niño Phenomenon), peaked in December 2015 and declined by March 2016. The coastal El Niño of summer 2017 generated extreme positive temperature anomalies, reaching +10°C in northern areas such as Huanchaco, causing pronounced coastal contraction of *E. ringens*. Subsequent months were marked by a gradual return to neutral conditions in both the central and eastern Pacific.

During 1999–2001, predominantly cold conditions prevailed along the coast, resulting in wide spatial distributions. In contrast, between 2002 and 2015, generally neutral conditions led to offshore distributions during winter (associated with negative anomalies) and coastal distributions during summer (associated with positive anomalies).

Changes in water mass dynamics also affected other pelagic resources, negatively impacting species associated with cold coastal waters (e.g. *Pleurocondes monodon*) and favoring those linked to oceanic (*T. murphyi* and *S. japonicus peruanus*) conditions and mesopelagic environments (*Vinciguerria lucetia*).

Analyses of data from 1985 to 2015 (Castillo Valderrama, 2017) showed that *E. ringens* occurred preferentially at temperatures between 14.2 and 23.6°C, salinities between 32.01 and 35.21, and dissolved oxygen concentrations between 4.3

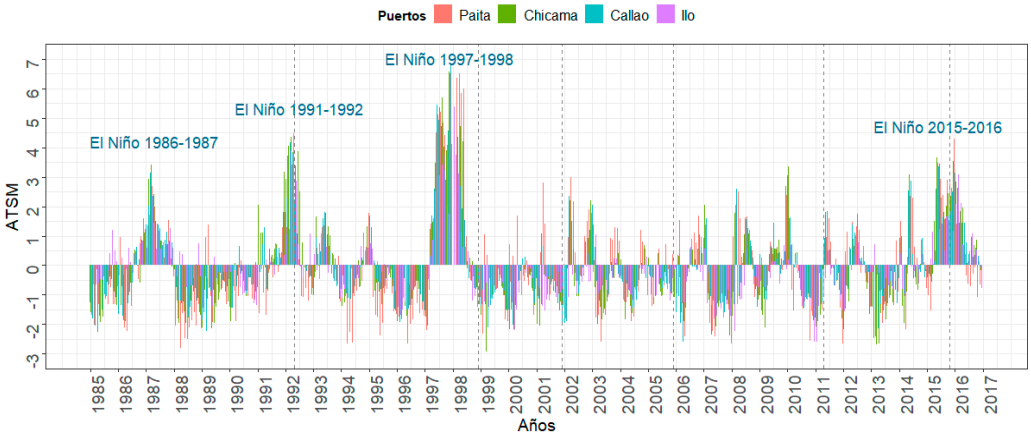

Figura 9.- Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (°C) en los puertos costeros de Paita, Chicama, Callao e Ilo, distribuidos en periodos de acuerdo con los gráficos de la distribución de anchoveta (en líneas punteadas), se indica los eventos El Niño de mayor impacto en el hábitat de la anchoveta

Figure 9.- Sea Surface Temperature Anomalies (°C) in the coastal ports of Paita, Chicama, Callao, and Ilo, distributed in periods according to the anchovy distribution graphs (dotted lines), indicating the El Niño events with the greatest impact on the Peruvian anchoveta habitat

anchoveta con las condiciones oceanográficas de temperatura, salinidad y oxígeno superficial del mar, determinó que la anchoveta se encontró preferencialmente en temperaturas entre 14,2 - 23,6°C, salinidades entre 32,01 - 35,21 y oxígeno entre 4,3 - 8,6 $mL.L^{-1}$, con ligeras variaciones clasificadas por estaciones del año. Así mismo, se observó una aclimatación a mayores valores de estas variables oceanográficas después de El Niño 1997-1998, manifestando la adaptabilidad (resiliencia) de la anchoveta a la dinámica estacional de las condiciones oceanográficas de la Corriente de Perú y a su estrategia de respuestas ante eventos anómalos. Después de este evento disminuyeron las abundancias de la sardina, jurel y caballa, y aumentó la biomasa de la múnida en la zona costera.

Muchos autores han descrito que la distribución de la anchoveta responde a la variabilidad de las condiciones oceanográficas de la región norte de la Corriente de Perú, es angosta en el verano y amplia en el invierno (Swartzman *et al.,* 2008; Simmonds *et al.,* 2009; Ganoza *et al.,* 2000; Castillo Valderrama, 1995), y puede alcanzar hasta las 140 mn de la costa, excepcionalmente más allá de dicha zona sigue la proyección de los filamentos costeros (Chaigneau *et al.,* 2008).

La variabilidad de estas aguas puede ser influenciada en gran parte por los eventos El Niño, que provocan una gran variación en la abundancia y distribución de anchoveta (Gerlotto *et al*., 2004; Bertrand *et al*., 2008a). Por lo general, durante este fenómeno, las aguas frías de la costa peruana están cubiertas por una masa de agua caliente, pobre en nutrientes. Esto afecta la distribución, abundancia y el estado físico de la anchoveta debido a la falta de alimento que genera una calidad más baja para la pesquería; su larga migración hacia el sur, como su refugio en aguas más profundas, la vuelve menos accesible a sus depredadores (Gerlotto *et al*., 2006; Bertrand *et al*., 2008b). Como su principal presa está prácticamente inaccesible, las aves y cetáceos marinos mueren en grandes cantidades y la pesca se paraliza (Chavez, 1987). Muchas especies de la costa peruana se adaptan para sobrevivir a estas fluctuaciones naturales. Peces, aves y mamíferos han desarrollado estrategias de comportamiento reproductivo y flexible que minimizan las pérdidas en el largo plazo. Durante los eventos La Niña, el efecto es más o menos lo contrario, las aguas frías ocupan una mayor extensión y la anchoveta tiene mayor área de distribución.

and 8.6 $mL{\cdot}L^{-1}$, with minor seasonal variations. Likewise, acclimatization to higher values of these oceanographic variables was observed following the 1997/98 EN, demonstrating the adaptability (resilience) of *E. ringens* to the seasonal dynamics of oceanographic conditions in the Humboldt Current and to its response strategy during anomalous events. After this event, abundances of *Sardinops sagax, T. murphyi*, and *S. japonicus peruanus* decreased, while the biomass of *P. monodon* increased in the coastal zone.

Numerous studies have documented that the distribution of *E. ringens* is closely tied to variability in oceanographic conditions within the Northern Humboldt Current Ecosystem (NHCE), remaining relatively narrow during summer and expanding substantially in winter (Swartzman *et al.,* 2008; Simmonds *et al.,* 2009; Ganoza *et al.,* 2000; Castillo Valderrama, 1995). This distribution can extend up to 140 nm offshore, and exceptionally farther in areas influenced by coastal filament projections (Chaigneau *et al.,* 2008).

Such variability in these waters is largely driven by El Niño events, which induce profound shifts in E. ringens abundance and distribution (Gerlotto *et al*., 2004; Bertrand *et al*., 2008a). Typically, during these episodes, the cold coastal waters of Peru are overlaid by a warm, nutrient-poor water mass, disrupting *E. ringens* distribution, abundance, and overall condition due to diminished food availability. This results in poorer fishery quality, prompting extensive southward migrations or retreats to deeper waters that render the fish less accessible to predators (Gerlotto *et al*., 2006; Bertrand *et al*., 2008b). With their primary prey largely unavailable, mass mortalities occur among seabirds and marine cetaceans, and commercial fishing operations often grind to a halt (Chavez, 1987). Many Peruvian coastal species, including fish, seabirds, and marine mammals, have evolved adaptive behavioral and reproductive strategies to mitigate long-term losses from these natural fluctuations. In contrast, La Niña events produce largely opposing effects, with cold waters expanding over greater areas and enabling broader *E. ringens* distributions.

Centros de gravedad de la distribución espacial de la anchoveta

Los centros de gravedad (CG) de la distribución de la anchoveta por crucero y distancia de la costa muestran diferencias estacionales, así en los veranos se registraron cerca de la costa (cruceros: 1402-04, 1002-04, 9201-03, 9002-04, 0802-04, 0402-03, etc.) y en los inviernos más alejados de esta (cruceros: 0508-09, 0208-09, 0408-09, 9908-09 y 8907-09). En condiciones ambientales anómalas como eventos cálidos, esta distribución es alterada, como en los cruceros de invierno 1508-10, 1408-10, 9106-08, 9709-10, 0107-08, 9808-09, 8708-09 y 1308-09) que se encontraron cerca de la costa. Es excepcional lo reportado en el crucero de verano del 2013 (1302-04) en el cual se observó la presencia de anchoveta hasta las 100 mn de la costa, en un promedio de 51 mn de CG y con altas abundancias. Así también, El Niño 1997-1998 produjo migraciones de la anchoveta hacia el sur, obteniéndose el CG cerca de la costa y a mayores latitudes. El Niño costero del 2017 produjo un CG de la anchoveta muy cerca de la costa (crucero 1703-04) (Fig. 10).

Centers of gravity in the spatial distribution of *Engraulis ringens*

The centers of gravity (CG) for the spatial distribution of *E. ringens*, derived from individual survey cruises and measured as offshore distance, reveal pronounced seasonal differences. In summer surveys, the CG typically lies close to the coast (e.g., cruises 1402-04, 1002-04, 9201-03, 9002-04, 0802-04, 0402-03), while winter surveys show it displaced substantially farther offshore (e.g., cruises 0508-09, 0208-09, 0408-09, 9908-09, 8907-09). Anomalous warm events disrupt this pattern, often shifting the CG nearer to the coast even during winter surveys (e.g., 1508-10, 1408-10, 9106-08, 9709-10, 0107-08, 9808-09, 8708-09, 1308-09). A noticeable exception was observed in the 2013 summer survey (1302-04), where *E. ringens* occurred up to 100 nm offshore, yielding an average CG distance of 51 nm accompanied by exceptionally high abundances. The 1997/98 EN induced extensive southward migrations, positioning the CG nearshore and at higher latitudes. Similarly, the 2017 Coastal El Niño resulted in a markedly coastal CG (cruise 1703-04) (Fig. 10).

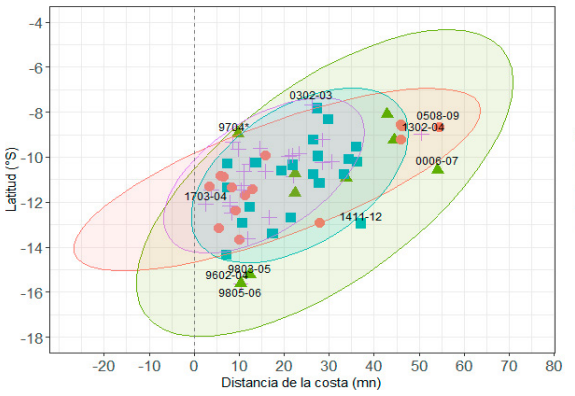

Figura 10.- Centros de gravedad de distribución de la anchoveta con respecto a la distancia a la costa en cada crucero (1985-2017), la línea punteada es el litoral

Figure 10. Centers of gravity of the E. ringens distribution relative to offshore distance for each survey cruise (1985–2017); the dashed line represents the coastline

Serie de biomasas estimadas de anchoveta

Los estimados de biomasa determinados por el método hidroacústico mostraron una variabilidad a través del tiempo, y han dependido tanto de las condiciones oceanográficas como de los efectos de la pesquería. La primera estimación realizada en el año 1985 fue calculada en 6,2 millones de toneladas, obteniéndose la menor biomasa en agosto-setiembre de 1987 (crucero 8708-09) con 1,05 millones de toneladas y la máxima en febrero-abril del 2005 (crucero 0502-04) con 12,7 millones de toneladas;

Time series of biomass estimates

Hydroacoustic biomass estimates of *E. ringens* exhibited pronounced temporal variability, driven by oceanographic conditions and fishing pressure. The first estimate in 1985 reached 6.2 million tons, while the lowest biomass (1.05 million tons) was recorded in August–September 1987 (8708–09). The maximum biomass (12.7 million tons) occurred in February–April 2005 (0502–04). In recent years (2014–2017), biomass remained above

en los últimos años (2014-2017) se ha mantenido sobre los 6,3 millones de toneladas, siendo la región norte-centro la principal área de abundancia.

Esta abundancia y las áreas de distribución se encontraron disminuidas en los eventos El Niño 1987 y El Niño 1997-98; asimismo, se registraron altas concentraciones de anchoveta en áreas reducidas como lo ocurrido en febrero-abril de 2008 (0802-04), con una biomasa estimada en 10,9 millones de toneladas en un área de 15043 mn^2 y altas dispersiones como lo encontrado en noviembre-diciembre de 1996 (9611-12). En cuanto a los límites de confianza de la biomasa de anchoveta, los mayores intervalos correspondieron a los cruceros del año 1998 (alcanzó hasta 54,70%) como consecuencia de la alta variabilidad de los datos de integración provocada por El Niño 1997-98. El promedio general del límite de confianza de los estimados de biomasa fue de 16%, lo cual refleja una alta confiabilidad estadística de las estimaciones realizadas en esa operación (Fig. 11).

6.3 million tons, with the north-central region representing the main area of abundance.

Abundance and distribution areas of *E. ringens* were markedly reduced during the 1987 and 1997–1998 EN events. Conversely, periods of exceptionally high concentrations in restricted areas were observed, such as during the February–April 2008 survey (0802-04), which recorded an estimated biomass of 10.9 million tons within an area of 15,043 nm². In contrast, pronounced dispersion occurred, for example, in the November–December 1996 survey (9611-12). Confidence intervals for *E. ringens* biomass estimates were widest in 1998 surveys (reaching up to 54.70%), reflecting high integration data variability induced by the 1997–1998 El Niño. Overall, the mean confidence limit across biomass estimates was 16%, indicating strong statistical reliability in the survey assessments (Fig. 11).

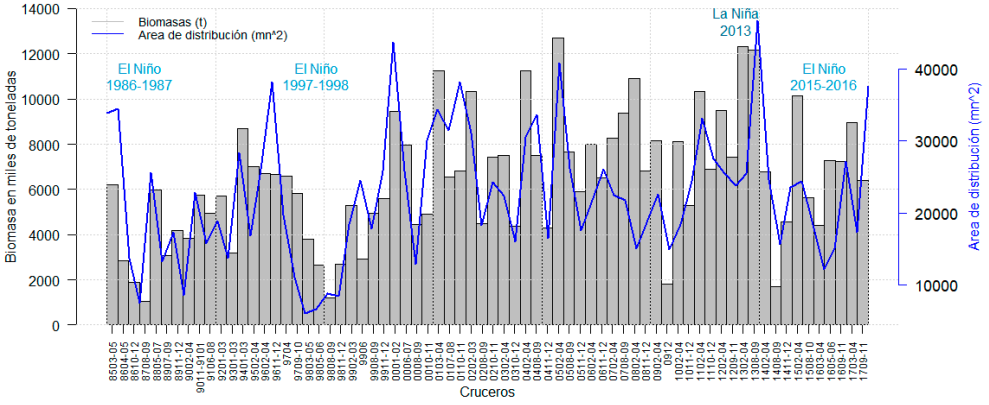

Figura 11.- Biomasa y área de distribución de anchoveta por crucero (1985-2017)

Figure 11.- E. ringens biomass and distribution per research cruise (1985-2017)

Es evidente que, durante la última década, la mayor biomasa de anchoveta se ha localizado principalmente en la región norte-centro (06-15°S), con altos valores de ecointegración que se reflejaron en los desembarques de la flota pesquera; así mismo, como es de esperar, se notó una disminución durante los eventos El Niño (Fig. 12). Además, se observó que la mayor abundancia de anchoveta en la serie analizada ha sido alcanzada después de El Niño 1997-98.

Hay que considerar que los resultados de las biomasas de anchoveta obtenidas en algunos cruceros realizados en las estaciones de invierno y prima-

During the last decade, the highest biomasses were consistently observed in the north-central region (06–15°S), closely reflected in fishery landings. As expected, biomass declined during El Niño events (Fig. 12), and the highest abundances in the series were recorded after the 1997/98 El Niño.

It is important to recognize that *E. ringens* biomass estimates from certain winter and spring hydroacoustic surveys may be slightly underestimated. This bias stems from the extensive dispersion of the stock during these seasons, when cold coastal waters expand and

vera tienen ligeras subestimaciones, como consecuencia de la alta dispersión del recurso generado por la ampliación de las aguas costeras frías que muchas veces se encuentran en la capa superficial de los 5 m. Las recomendaciones hechas por diversos investigadores internacionales han sido incorporadas en el desarrollo de los cruceros de evaluación hidroacústica, y se encuentran dentro de un estándar reconocido, por lo cual los resultados son confiables y pueden ser utilizados en modelos ecológicos de pronóstico. En ese contexto, recomendaciones como la propuesta por Simmonds *et al*. (2009), sobre la utilización de una ecuación general de TS para la anchoveta (TS=30logL-88,57), se debe utilizar con mucha precaución, teniendo en consideración los presupuestos que respaldan la propuesta. Esto debido a que la estructura poblacional de la anchoveta es muy dinámica, variable, y siempre habrá predominancia de uno o dos rangos de tamaño en cada crucero en particular.

El nivel actual de abundancia coincide con el desarrollo de condiciones climáticas más frías que las que se observaron entre 1970 y 1998. Esta fluctuación (interdecadal) ha sido descrita como un cambio de régimen, desde un estado dominado por recursos como: sardina, jurel y caballa, desde mediados de la década de los años 1970, a otro régimen dominado por la anchoveta desde el 2000 (Chavez *et al.*, 2003; Alheit & Ñiquen, 2004; Bertrand *et al.*, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2007; Swartzman *et al.*, 2008).

frequently dominate the upper 5 m of the water column. Recommendations from international experts have been systematically integrated into survey protocols, ensuring alignment with established international standards and conferring high reliability on the estimates for application in predictive ecological models. In particular, the general target strength (TS) equation proposed by Simmonds *et al*. (2009) for *E. ringens* (TS=30logL-88.57) should be applied cautiously, with full consideration of its underlying assumptions. The highly dynamic and variable population structure of *E. ringens* typically features dominance by one or two size classes in any individual survey, which can significantly influence the applicability of a standardized TS relationship.

Present-day abundance levels of *E. ringens* correspond to a cooler climatic regime compared to the warmer conditions prevailing from 1970 to 1998. This interdecadal oscillation has been interpreted as a regime shift: from a period dominated by *Sardinops sagax, Trachurus murphyi,* and *Scomber japonicus* beginning in the mid-1970s, to an *E. ringens*-dominated regime emerging around 2000 (Chavez *et al.*, 2003; Alheit & Ñiquen, 2004; Bertrand *et al.*, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2007; Swartzman *et al.*, 2008).

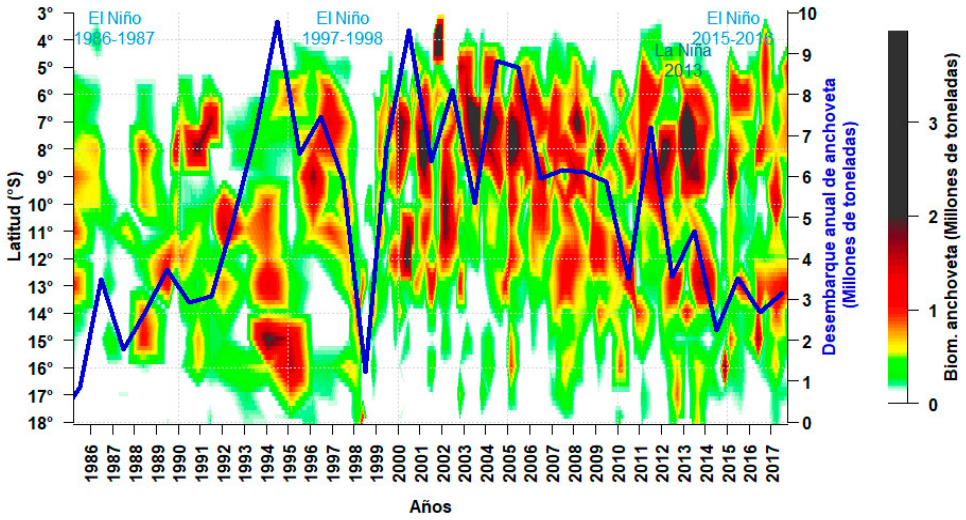

Figura 12.- Diagrama Hovmoller de la biomasa de anchoveta por grados de latitud y su relación con los desembarques anuales (1985-2017)

Figure 12. Hovmöller diagram of *E. ringens* biomass by degree of latitude and its relationship with annual landings (1985–2017)

4. CONCLUSIONES

El diseño de las evaluaciones y procedimientos operacionales realizados en el periodo de estudio han seguido los distintos estándares mundiales conforme ha evolucionado la metodología hidroacústica, aplicando los principios estadísticos para la estimación de poblaciones de peces aceptados en las prácticas internacionales descritos en MacLennan (1997) y Foote (1995). El método de evaluación hidroacústica aquí descrito constituye una ayuda para determinar el nivel poblacional de la anchoveta para las recomendaciones de las cuotas de pesca y que ha permitido mantener la sostenibilidad del recurso a través del tiempo. Esta metodología ha sido validada por diferentes expertos internacionales y ha sido la base para brindar asesoría a otros países de América.

La distribución de la anchoveta es estructurada, con autocorrelación espacial y tiene alta variabilidad por las condiciones oceanográficas dinámicas de la región norte de la Corriente de Perú, su biomasa ha oscilado entre 1,05 y 12,7 millones de toneladas, y en los últimos años (2014-2017) se ha mantenido sobre los 6,3 millones de toneladas, siendo la región norte-centro la más abundante.

Asimismo, el desarrollo de cruceros hidroacústicos es importante para desarrollar actividades multidisciplinarias que abarcan otras especies pelágicas (incluyendo el macrozooplacton), demersales y litorales, así como para el monitoreo de las condiciones oceanográficas y otros indicadores ambientales, los que contribuyen a disponer de información para implementar un enfoque holístico del ecosistema.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a los investigadores acústicos: Daniel Bertoni, Janusz Burczynski, Kenneth Foote, David MacLennan, François Gerlotto, Gordie Swartzman, John Simmonds y Arnaud Bertrand, que permitieron fortalecer la técnica de evaluación para lograr resultados confiables; asimismo, un reconocimiento especial al Ing. Ricardo Vílchez†

4. CONCLUSIONS

The survey design and operational protocols applied throughout the study period were aligned with internationally accepted standards, evolving in step with advances in hydroacoustic assessment techniques. The application of statistical principles for fish population estimation followed globally recognized best practices, as outlined by MacLennan (1997) and Foote (1995). The hydroacoustic methodology employed in this study constitutes a reliable and objective tool for estimating population levels of *E. ringens*, providing essential scientific support for the formulation of fishing quotas and contributing to the long-term sustainability of the resource. This approach has undergone validation by several international experts and has also served as a technical reference for capacity-building and advisory efforts in other countries across the Americas.

The spatial distribution of *E. ringens* is highly structured and characterized by pronounced spatial autocorrelation, reflecting the strong influence of the dynamic oceanographic conditions prevailing in the NHCE. Biomass estimates exhibited substantial temporal variability, ranging from 1.05 to 12.7 million tons during the study period. In recent years (2014–2017), biomass levels remained consistently above 6.3 million tons, with the north-central sector of the study area persistently supporting the highest concentrations.

Furthermore, the continued development and implementation of hydroacoustic surveys are fundamental to advancing multidisciplinary research that extends beyond *Engraulis ringens* to include other pelagic components, macrozooplankton, demersal species, and coastal resources. These surveys also provide critical information on oceanographic conditions and environmental indicators, thereby supporting the adoption of an ecosystem-based approach to marine resource assessment and management.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the contributions of acoustic research specialists Daniel Bertoni, Janusz Burczynski, Kenneth Foote, David MacLennan, François Gerlotto, Gordie Swartzman, John Simmonds, and Arnaud Bertrand, whose expertise significantly strengthened the methodological framework and enhanced the reliability of the results.

cuya tenaz convicción promovió el inicio de las evaluaciones acústicas en el Perú, que en su momento fue, después de Noruega, el país que más utilizó esta metodología aplicada a los recursos pesqueros.

Special recognition is extended to Engr. Ricardo Vílchez†, whose vision and perseverance were instrumental in initiating hydroacoustic evaluations in Peru, enabling the country to become—at the time—one of the world's leading users of this methodology in fisheries research, second only to Norway.

5. REFERENCIAS

Akima, H. (1978). A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregularly distributed data points. *ACM Transactions on Mathematical Software*, *4*(2), 148-164. https://doi.org/10.1145/355780.355786

Alheit, J. & Ñiquen, M. (2004). Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progress in Oceanography*, *60*, 201-222. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.02.006

Bakun, A. & Weeks, S. J. (2008). The marine ecosystem off Peru: What are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold? *Progress in Oceanography*, *79*, 290-299. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.027

Bazigos, G. (1976). *Applied Fishery Statistics* (FAO Fisheries Technical Paper 135). FAO.

Bertrand, A., Segura, M., Gutiérrez, M. & Vasquez, L. (2004). From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish and Fisheries*, *5*, 296-316. https://doi.org/10.1111/j.1467-2679.2004.00165.x

Bertrand, A., Gerlotto, F., Bertrand, S., Gutiérrez, M., Alza, L., Chipollini, A., Diaz, E., Espinoza, P., Ledesma, J., Quesquén, R., Peraltilla, S. & Chavez, F. (2008a). Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: an analysis across multiple spatial scales. *Progress in Oceanography*, *79*, 264-277. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.018

Bertrand, S., Díaz, E. & Lengaigne, M. (2008b). Patterns in the spatial distribution of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) revealed by spatially explicit fishing data. *Progress in Oceanography*, *79*, 379–389. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.009

Bertrand, S., Dewitte, B., Tam, J., Diaz, E. & Bertrand, A. (2008c). Impacts of Kelvin wave forcing in the Peru Humboldt Current System: scenarios of spatial reorganizations from physics to fishers. *Progress in Oceanography*, *79*, 278–289. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.017

Bez, N. (2009). *Course Basics on geostatistics for fish data* [Curso realizado en Imarpe en enero 2009].

Buitrón, B. & Perea, A. (2000). Aspectos reproductivos de la anchoveta peruana durante el periodo 1992–2000. *Bol Inst Mar Perú*, *19*(1-2), 45–53. https://hdl.handle.net/20.500.12958/996

Castillo Valderrama, P. R. (1995). Distribución de los principales recursos pelágicos durante los veranos de 1992 a 1994. *Inf Inst Mar Perú*, (114), 2-24. https://hdl.handle.net/20.500.12958/409

Castillo Valderrama, P. R. (2017). *Predição da distribuição espacial de anchoveta (*Engraulis ringens*) através de modelos dinâmicos espaço-temporais* [Tesis de Doctorado, Universidade Federal do Rio Grande]. Plataforma ucupira. https://acortar.link/yIt6PY

Castillo, P. R., Madureira, L., Marangoni, J., Gerlotto, F. & Guevara-Carrasco, R. (2015). Variability in distribution and aggregation behavior of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) analyzed using a fifteen-year long series of acoustic surveys (2000–2014). En *RIO Acoustics 2015 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium*. IEEE. https://doi.org/10.1109/RIOAcoustics.2015.7473636

Castillo, P. R., Peraltilla, S. Aliaga, A., Flores, M., Ballón, M., Calderón, J. & Gutiérrez, M. (2011). Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. *Inf Inst Mar Perú*, *36*(1-2), 7-28. https://hdl.handle.net/20.500.12958/2001

Chaigneau, A., Eldin, G. & Dewitte, B. (2008). Eddy activity in the four major upwelling systems from satellite altimetry (1992-2007). *Progress in Oceanography*, *83*, 117–123. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.012

Chavez, F. P. (1987). El Niño y la Oscilación del Sur. *Investigación y Ciencia*, *128*, 46-55.

Chavez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E. & Ñiquen, M. (2003). From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, *299*, 217-221. https://doi.org/10.1126/science.1075880

Chavez, F. P., 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. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.012

Comisión Permanente del Pacifico Sur [CPPS]. (2001). Propuesta del Perú sobre estandarización de métodos para el procesamiento de datos y opciones de análisis bajo áreas isoparalitorales. Estrategias para el intercambio de información. En *Informe del Segundo Taller Regional sobre Metodologías de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pesqueros* (pp. 38-41).

Demer, D. A., Berger, L., Bernasconi, M., Bethke, E., Boswell, K., Chu, D., Domokos, R., Dunford, A., Fässler, S., Gauthier, S., Hufnagle, L. T., Jech, J. M., Bouffant, N., Lebourges-Dhaussy, A., Lurton, X., Macaulay, G. J., Perrot, Y., Ryan, T., Parker-Stetter, S., … Williamson, N. (2015). *Calibration of acoustic instruments* (ICES Cooperative Research Report No. 326). International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM). https://doi.org/10.17895/ices.pub.5494

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. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.022

Fernandes, P. G., Gerlotto, F., Holliday, D. V., Nakken, O. & Simmonds, E. J. (2002). Acoustic applications in fisheries science: the ICES contribution. *ICES Marine Science Symposia*, *215*, 483-492. https://doi.org/10.17895/ices.pub.8889

Foote, K. G. (1995). *Ordenación de la pesquería Perú: examen de los métodos de evaluación acústica y de los resultados de los últimos cruceros de evaluación acústica de especies pelágicas realizados en el Perú* (Programa de Cooperación Técnica FAO. FI:TCP/PER/4451). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Ganoza, F., Castillo, P. R. & Marín, D. (2000). Variaciones estacionales en la distribución y biomasa de anchoveta entre 1983 y 2000. *Bol Inst Mar Perú*, *19*(1-2), 157-177. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1007

Gerlotto, F., Bertrand, S., Bez, N. & Gutiérrez, M. (2006). Waves of agitation inside anchovy schools observed with multibeam sonar: a way to transmit information in response to predation. *ICES Journal of Marine Science*, *63*, 1405-1417. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.023

Gerlotto, F., Castillo, J., Saavedra, A., Barbieri, M. A., Espejo, M. & Cotel, P. (2004). Three-dimensional structure and avoidance behaviour of anchovy and common sardine schools in central southern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, *61*, 1120-1126. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.07.017

Gutiérrez, M. (2001). Efectos del evento El Niño 1997–98 sobre la distribución y abundancia de anchoveta (*Engraulis ringens*). En J. Tarazona, W. E. Arntz & E. Castillo (Eds.), *El Niño en América Latina. Impactos Biológicos y Sociales* (pp. 55-72). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Gutiérrez, M. (1999). Mediciones *In situ* de TS a finales del verano 1999. Crucero BIC José Olaya Balandra 9902-03. *Inf Inst Mar Perú*, (147), 7-10. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1589

Gutiérrez, M. & Maclennan, D. N. (1998). Resultados preliminares de las mediciones de fuerza de blanco *in situ* de las principales especies pelágicas. Crucero Bic Humboldt 9803-05 de Tumbes a Tacna. *Inf Inst Mar Perú*, (135), 16-19. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1481

Gutiérrez, M. & Peraltilla, S. (1999). Aplicación de un Sistema de Información Geográfica y de la carta electrónica isoparalitoral en las evaluaciones hidroacústicas de la biomasa de recursos pesqueros en el mar peruano. *Inf Inst Mar Perú* (146), 25-29. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1568

Gutiérrez, M., Swartzman, G, Bertrand, A. & Bertrand, S. (2007). Anchovy (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*) spatial dynamics and aggregation patterns in the Humboldt Current ecosystem, Peru, from 1983–2003. *Fisheries Oceanography*, *16*(2), 155-168. https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2006.00422.x

Gutiérrez, M., Castillo, R., Segura, M., Peraltilla, S. & Flores, M. (2012). Trends in spatio-temporal distribution of Peruvian anchovy and other small pelagic fish biomass from 1966-2009. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, *40*(3), 633-648. https://doi.org/10.3856/vol40-issue3-fulltext-12

Higgimbottom, I. R., Pauly, T. J. & Heatley, D. C. (2000). Virtual echograms for visualization and post-processing of multiple-frequency echosounder data. En P. Chevret & M. E. Zakharia (Eds.), *Proceedings of the Fifth European Conference on Underwater Acoustics, ECUA 2000* (pp. 1497-1502). https://acortar.link/325sf4

Instituto del Mar del Perú [Imarpe]. (1973). *Informe sobre la primera semana de pesca de anchoveta realizada del 5 al 9 de marzo de 1973* (Serie de Informes Especiales Nro. IM-124). Instituto del Mar del Perú. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1737

Jahncke, J., Checkley, D. M. & Hunt, G. L. (2004). Trends in carbon flux to seabirds in the Peruvian upwelling system: effects of wind and fisheries on population regulation. *Fisheries Oceanography*, *13*(3), 208–223. https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2004.00283.x

MacLennan, D. (1997). *Informe sobre la visita al Instituto del Mar del Perú. 15 octubre al 14 de noviembre 1997*. Consultor Pesquero VECEP.

Maclennan, D. N., Gutiérrez, M., Castillo, R., Ganoza, F., Aliaga, A., Escudero, L., Gonzáles, A. & Chalén, X. (1998). Fuerza de Blanco de anchoveta (*Engraulis ringens*) utilizando frecuencias de 38 y 120 kHz. *Inf Inst Mar Perú*, (133), 15-25. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1474

Midttun, L. & Hoff, I. (1962). Measurement of the reflection of sound by fish. *Fiskdir Skr. (Hauvanders)*, *13*(3), 1-18.

Morón, O. (2000). Características del ambiente marino frente a la costa peruana. *Bol Inst Mar Perú*, *19*(1-2), 179-204. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1008

Muck, P. (1989). Relationships between anchoveta spawning strategies and the spatial variability of sea surface temperature off Peru. En D. Pauly, P. Muck, J. Mendo & I. Tsukayama (Eds.), *The Peruvian Upwelling Ecosystem: Dynamics and Interactions* (pp. 168–173). Instituto del Mar del Perú (Imarpe), Deutsche Gesellschaft Fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM). https://hdl.handle.net/20.500.12958/1432

Perea, A., Peña, C., Oliveros-Ramos, R., Buitrón, B. & Mori, J. (2011). Potential egg production, recruitment, and closed fishing season of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*): Implications for fisheries management. *Ciencias Marinas*, *37*(4B), 585-601. https://doi.org/10.7773/cm.v37i4B.1827

Simmonds, J. & Maclennan, D. (2005). *Fisheries Acoustics. Theory and Practice* (2ª ed.). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9780470995303

Simmonds, E. J., Williamson, N. J., Gerlotto, F. & Aglen A. (1992). *Acoustic survey design and analysis procedure: a comprehensive review of current practice* (ICES Cooperative Research Report, No. 187). International Council for the Exploration of the Sea. https://acortar.link/MOIDnK

Simmonds, E. J., Gutiérrez, M., Chipollini, A., Gerlotto, F., Woillez, M. & Bertrand, A. (2009). Optimizing the design of acoustic surveys of Peruvian anchoveta. *ICES Journal of Marine Science*, *66*, 1341–1348. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp118

Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S. & Vasquez, L. (2008). The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography*, *79*, 228-237. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.021

Villanueva, R. (1971). The Peruvian Eureka Programme of rapid acoustic survey. En H. Kristjonsson (Ed.), *Modern fishing gear of the world* (Vol. 3, pp. 20-24). Fishing News (Books).