

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Económica, Estadística y Ciencias
Sociales



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
ESTIMACIÓN DE BIOMASA POR ESTRUCTURA DE TALLAS
DE LA ANCHOVETA (ENGRAULIS RINGENS) UTILIZANDO EL
MÉTODO DE BOOTSTRAPPING

Para obtener el título profesional de Ingeniero Estadístico.

Elaborado por

Cesar Aron Paz Velasquez

 [0000-0003-1647-6612](https://orcid.org/0000-0003-1647-6612)

Asesor

Mag. Cirilo Alvarez Rojas

 [0000-0002-0309-8918](https://orcid.org/0000-0002-0309-8918)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	(Paz, 2024)
Referencia/Reference	Paz, C. (2024). <i>Estimación de biomasa por estructura de tallas de la anchoveta (Engraulis ringens) utilizando el método de bootstrapping</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres Dora y Daniel, quienes fueron mi fuente de inspiración, me brindaron educación y una formación integral en este mundo lleno de adversidad y prosperidad.

A mi hermana Nadia, que me orientó con su ejemplo y sacrificio para culminar mi carrera. A mi compañera de vida Nathaly, por darme las fuerzas y un amor incondicional.

A mi abuelo César, por su cariño, amistad y protección desde pequeño.

Tu recuerdo siempre vivirá en mí.

Agradecimientos

A mis compañeros del IMARPE, en especial al Área Funcional de Hidroacústica, por permitirme participar en diversos cruceros científicos y mostrarme un mar de oportunidades en el sector de la investigación aplicada en nuestro país.

A mis profesores de la Facultad, que fueron pieza fundamental para escalar una serie de peldaños hacia el mundo profesional.

A mis colegas de la Escuela Profesional de Ingeniería Estadística, por los inolvidables momentos y apoyar mis decisiones de generar mayor difusión en la carrera con eventos, conferencias y paseos junto con el CCKP y diversos círculos académicos.

A mis compañeros del Club Tenis de Mesa - UNI, que me enseñaron disciplina, competitividad y la fuerza para vencer cualquier obstáculo en el deporte, como en la vida.

A mis compañeros de mis prácticas preprofesionales en el BCP y el BCRP, que me ayudaron a desenvolverme en el trabajo, a defender mis habilidades blandas y técnicas, y me llenaron de grandes expectativas de crecimiento con mi profesión.

A mis compañeros de Data & Analytics en TASA por aportar valor con los datos para la toma de decisiones estratégicas y generar una cultura *Insight Driven* en la industria pesquera.

Resumen

La estimación de biomasa de la anchoveta (*Engraulis ringens*) es un proceso fundamental para establecer la cuota de captura industrial, y así garantizar la sostenibilidad de dicho recurso en el ecosistema marino peruano. En ese sentido, el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) realiza los cruceros de evaluación hidroacústica de los recursos pelágicos con el objetivo de estimar su biomasa y abundancia, principalmente, la anchoveta. (Castillo et al. 2009). El cálculo de estimación se realiza a través de la metodología hidroacústica por estratificación de áreas isoparalitorales (AIP) (Castillo et al. 2009). En este trabajo, se planteó un método de estimación a partir de la sustitución del indicador de la talla promedio, por la fracción del número de individuos a la estructura de tallas de la anchoveta. Además, con el fin de aproximar la variabilidad del muestreo de lances de pesca, se aplicó el método del *bootstrapping*. Cabe indicar, que se implementó dicho método utilizando datos recopilados del crucero realizado entre febrero y abril del 2021. Finalmente, se determinó los límites de variabilidad de biomasa mediante el método del *bootstrapping*, los cuales, beneficiaron los resultados de biomasa por estructura de tallas de anchoveta con una mejor construcción del intervalo de confianza.

Palabras clave — Estimación de biomasa, Estructura de Tallas de Anchoveta, Metodología Hidroacústica, Áreas Isoparalitorales, Método del *Bootstrapping*.

Abstract

Estimating the biomass of peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) is a crucial process in establishing the industrial catch quota, thereby ensuring the sustainability of this resource in the Peruvian marine ecosystem. In this regard, the Instituto del Mar del Perú (IMARPE) conducts hydroacoustic assessment cruises of pelagic resources with the aim of estimating their biomass and abundance, primarily peruvian anchovy (Castillo et al., 2009). The estimation calculation is carried out through hydroacoustic methodology by stratifying isoparalitoral areas (AIP) (Castillo et al., 2009). In this study, a new estimation method was proposed by replacing the average size indicator with the fraction of the number of individuals to the size structure of anchoveta. Additionally, to approximate the variability of fishing haul sampling, the bootstrapping method was applied. It was implemented using data collected from the cruise conducted between February and April 2021. Finally, the biomass variability limits were determined using the bootstrapping method, which improved the biomass results for anchoveta size structure with a better construction of the confidence interval.

Keywords — Biomass Estimation, Peruvian Anchovy Size Structure, Hydroacoustic Methodology, Isoparalitoral Areas, Bootstrapping Method.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Tablas.....	x
Lista de Figuras.....	xi
Introducción.....	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.1.1 La pesquería de la anchoveta peruana.....	1
1.1.2 Los cruceros de evaluación hidroacústica.....	2
1.1.3 Los instrumentos acústicos.....	3
1.1.4 Interpretación de ecograma.....	5
1.2 Descripción del problema.....	7
1.3 Objetivos del estudio.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Antecedentes.....	8
1.4.1 Descripción general de la organización.....	8
1.4.2 Contexto y actividades del proyecto.....	9
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	11
2.1 Marco teórico.....	11

2.1.1	Estimación de la biomasa acústica de la anchoveta.....	11
2.1.2	Ecuaciones de Fuerza de Blanco (Target Strength TS)	15
2.1.3	Errores intrínsecos en la estimación de abundancia acústica	15
2.1.4	Remuestreo o método de bootstrapping	17
2.1.5	Aplicación del bootstrapping en evaluaciones acústicas	17
2.2	Marco conceptual.....	19
2.2.1	Reflectividad o Fuerza de Blanco (Target Strength, TS)	19
2.2.2	Sección transversal acústica (σ)	20
2.2.3	Sección Transversal de Retrodispersión (σ_{bs}).....	20
2.2.4	Unidades de medida de la energía acústica	22
2.2.5	Muestreo acústico	24
2.2.6	Muestreo biológico-pesquero	24
2.2.7	Muestra aleatoria	25
2.2.8	Error estándar del promedio.....	26
2.2.9	Estimación del error estándar del promedio	27
2.2.10	Estimación bootstrap del error estándar	28
2.2.11	Algoritmo del método bootstrapping	29
Capítulo III. Desarrollo del trabajo		32
3.1	Materiales.....	32

3.1.1	Área de investigación.....	32
3.1.2	Plataformas y diseño de muestreo acústico.....	32
3.1.3	Instrumentos acústicos.....	34
3.1.4	Lances de pesca.....	34
3.1.5	Datos acústicos.....	36
3.1.6	Datos biológicos.....	36
3.2	Métodos.....	37
3.2.1	Estimación de abundancia y biomasa acústica.....	37
3.2.2	Estimación de biomasa acústica por estructura de tallas.....	39
3.2.3	Estimación de biomasa acústica con el método bootstrapping.....	42
	Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	44
4.1	Biomasa acústica de la anchoveta.....	44
4.2	Biomasa por estructura de tallas de la anchoveta.....	46
4.3	Biomasa por estructura de tallas de la anchoveta con bootstrapping.....	49
	Conclusiones.....	51
	Recomendaciones.....	53
	Referencias bibliográficas.....	54
	Anexos.....	59

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1	15
<i>Ecuaciones de TS para Anchoveta</i>	15
Tabla 2	33
<i>Zonas de muestreo acústico de las embarcaciones en el Cr. 2102-04.</i>	33
Tabla 3	34
<i>Resultados de las calibraciones acústicas en el Cr. 2102-04.</i>	34
Tabla 4	35
<i>Lances de pesca realizados en el Cr. 2102-04.</i>	35
Tabla 5	38
<i>Datos utilizados para estimación de biomasa acústica de anchoveta.</i>	38
Tabla 6	39
<i>Coefficientes talla-peso y ecuaciones TS utilizadas en Cr. 2102-04.</i>	39

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1.....	1
<i>La anchoveta peruana</i>	1
Figura 2.....	2
<i>BIC Luis Flores Portugal</i>	2
Figura 3.....	4
<i>Representación del uso de la ecosonda científica</i>	4
Figura 4.....	4
<i>Elementos y funcionamiento de la ecosonda científica</i>	4
Figura 5.....	6
<i>Representación de ecograma</i>	6
Figura 6.....	6
<i>Características acústicas de un ecotrazo</i>	6
Figura 7.....	6
<i>Acústica multifrecuencia</i>	6
Figura 8.....	9
<i>Organigrama del Instituto del Mar del Perú</i>	9
Figura 9.....	20
<i>Representación de la sección transversal acústica (σ)</i>	20
Figura 10.....	22
<i>Representación de la sección transversal de retrodispersión (σ_{bs})</i>	22
Figura 11.....	23
<i>Representación del área y volumen de retrodispersión</i>	23
Figura 12.....	27
<i>Representación de la distribución normal</i>	27

Figura 13.....	31
<i>Diagrama del algoritmo de error estándar bootstrap.....</i>	<i>31</i>
Figura 14.....	33
<i>Trayectos planificados del Cr. 2102-04.....</i>	<i>33</i>
Figura 15.....	35
<i>Trayectos ejecutados y lances de pesca del Cr. 2102-04.....</i>	<i>35</i>
Figura 16.....	38
<i>Representación de las áreas isoparalitorales.....</i>	<i>38</i>
Figura 17.....	41
<i>Esquema de datos para estimación de biomasa por estructura de tallas.....</i>	<i>41</i>
Figura 18.....	41
<i>Representación de las distribuciones por estructura de tallas.....</i>	<i>41</i>
Figura 19.....	43
<i>Representación del método bootstrapping.....</i>	<i>43</i>
Figura 20.....	43
<i>Representación de réplicas de biomasa utilizando bootstrapping.....</i>	<i>43</i>
Figura 21.....	45
<i>Serie de biomasa acústica de anchoveta.....</i>	<i>45</i>
Figura 22.....	45
<i>Biomasa acústica de anchoveta por grado latitudinal y distancia a costa.....</i>	<i>45</i>
Figura 23.....	46
<i>Distribución espacial de la biomasa acústica de anchoveta.....</i>	<i>46</i>
Figura 24.....	47
<i>Abundancia y biomasa por tallas de la anchoveta del Cr. 2102-04.....</i>	<i>47</i>
Figura 25.....	48
<i>Distribución espacial de abundancia y biomasa por tallas de la anchoveta.....</i>	<i>48</i>

Figura 26.....	48
<i>Biomasa de anchoveta adulta y juvenil por latitud</i>	48
Figura 27.....	50
<i>Réplicas de biomاسas por el método bootstrapping</i>	50

Introducción

La estimación de biomasa de la anchoveta (*Engraulis Ringens*) es un proceso fundamental para garantizar la sostenibilidad del recurso, establecer las cuotas en las temporadas de pesca para las capturas de la flota industrial y dirigir de manera eficiente la gestión pesquera del recurso en el ecosistema marino peruano.

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) realiza los cruceros de evaluación hidroacústica de los recursos pelágicos con el objetivo de estimar la biomasa y abundancia de dichos recursos (Castillo et al. 2009). Actualmente, el método de estimación es por estratificación de áreas isoparalitorales (AIP), en el caso de la anchoveta, se utiliza la talla (cm) media por AIP, (Castillo et al. 2009).

En el presente estudio se desarrolló la estimación de biomasa de la anchoveta a partir del método hidroacústico, incorporando el desglose por su estructura de tallas, aplicando una metodología de bootstrapping o remuestreo con los datos biométricos de los lances de pesca e indicadores acústicos de ecoabundancia (NASC) en cada AIP.

Así mismo, se calculó las estimaciones de biomasa de la anchoveta obtenidas del crucero de evaluación hidroacústica en el verano de 2021 a partir de tres métodos: i) estimación por la metodología hidroacústica tradicional, ii) estimación de abundancia y biomasa por estructura de tallas, y iii) estimación de la biomasa por estructura de tallas aplicando el bootstrapping. Cabe resaltar que este último método permitió determinar los límites de variabilidad de estimación de biomasa acústica de la anchoveta.

En el cuerpo del presente estudio se encontrará el capítulo I, con las generalidades del pesquería de la anchoveta peruana, la importancia de los cruceros de evaluación, el uso de las ecosondas científicas y la interpretación de un ecograma. Además, se describe el problema y se plantea el objetivo general y específicos, así como los antecedentes principales.

En el capítulo II, se describe una mirada general acerca principales términos del campo de la acústica pesquera y principales métodos acústicos para la estimación de

biomasa de anchoveta, así como los conceptos estadísticos, de estimación del error estándar y el método de bootstrapping o remuestreo.

Luego en el capítulo III, se describen los datos e instrumentos acústicos y muestras biológicas recopilados en los lances de pesca del crucero de evaluación hidroacústica del verano 2021. Así mismo, se desarrollan las tres metodologías de estimación de biomasa anchoveta arriba mencionadas.

Finalmente, en el capítulo IV, se presentan los análisis y discusión de los diferentes resultados de biomasa de anchoveta a partir de los tres métodos de estimación, y las implicaciones por el uso del método bootstrapping para determinar los límites de variabilidad con las réplicas de biomasa.

Cabe resaltar, que este estudio se desarrolló dentro de los proyectos científicos del Área Funcional de Hidroacústica del IMARPE con el objetivo de fortalecer el uso de metodologías de estimación de biomasa de especies a través de las tecnologías acústicas y proponer estrategias en la gestión eficiente de los cruceros de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

1.1.1 La pesquería de la anchoveta peruana

La pesquería marina peruana está sustentada en la extracción de recursos pelágicos, especialmente la anchoveta, con nombre científico, *Engraulis ringens*, que es la especie más abundante (Castillo et al. 2009). Cabe señalar, que la anchoveta es un elemento crítico del ecosistema de la Corriente de Humboldt, sustentando la pesquería más grande del mundo (Simmonds et al. 2009).

La anchoveta peruana (Figura 1), es un pez de la familia de los *engraulidae*; vive en aguas costeras frías, tiene una esperanza de vida máxima de 4 años y una longitud corporal máxima de 20 cm. La primera madurez sexual ocurre alrededor de la edad de un año con una longitud aproximada de 12 cm. Los individuos de una talla menor a 12 cm son por consecuencia considerados como juveniles (Quiroz et. al 2011).

Cabe indicar que su abundancia se debe al ¹afloramiento costero, la principal característica del mar peruano, que suministra vastas cantidades de nutrientes inorgánicos que sostienen los niveles tróficos ²primarios y ³secundarios (Castillo et al. 2009).

Figura 1

La anchoveta peruana



Nota: Fuente <https://www.gob.pe/institucion/imarpe/noticias/77715-embarcaciones-del-imarpe-realizaron-prospeccion-biologica-pesquera-de-la-anchoveta-en-el-mar-peruano> (Nota de Prensa, IMARPE)

¹ El afloramiento costero es un fenómeno oceanográfico por el cual se transportan aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes hacia la superficie.

² protozoos o protozoarios, larvas de animales pequeños, crustáceos de menor tamaño, krill (zooplancton) e hidromedusas, entre otros.

³ peces que se alimentan de otros más pequeños, crustáceos mayores, calamares y gaviotas

1.1.2 Los cruceros de evaluación hidroacústica

Con el fin de gestionar la pesquería peruana el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) realiza cruceros de evaluación o más conocidos como “Cruceros de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos”, los cuales, tienen como objetivo estimar el estado más reciente de los principales recursos pelágicos (abundancia por tallas, biomasa, distribución, condición reproductiva, edad y crecimiento, ecología trófica, entre otros) y las condiciones oceanográficas del mar peruano (desde los puntos de vista de la física, química, biología y geología) (Castillo et al. 2009).

En el Perú, desde 1983 el IMARPE realiza cruceros sistemáticos haciendo uso de las técnicas acústicas (Gutiérrez et al., 2007; Simmonds et al., 2009). Las evaluaciones se realizan a bordo de buques de investigación científica (BIC) (Figura 2) contando con la participación de técnicos y especialistas en los campos de hidroacústica, sensoramiento remoto, artes de pesca, biología y oceanografía.

Los cruceros de evaluación se realizan previo a cada temporada de pesca de la anchoveta, usualmente son dos veces por año, sin embargo, se pueden realizar hasta tres o cuatro cruceros dependiendo de la presencia de fenómenos oceanográficos, como el “El Niño” o “La Niña”⁴, que pueden afectar la distribución y abundancia de dicho recurso.

Figura 2

BIC Luis Flores Portugal



Nota. Fuente <https://www.gob.pe/institucion/imarpe/noticias/342971-imarpe-evaluara-por-50-dias-el-recurso-anchoveta-y-otros-pelagicos> (Nota de Prensa, IMARPE).

⁴ Son las componentes oceánicas del ENOS (Oscilación del Sur) que corresponde a la aparición interanual, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña)

1.1.3 Los instrumentos acústicos

Un instrumento acústico llamado "sonar" es un término general para cualquier dispositivo que utilice el sonido para la detección remota u observación de objetos en el agua. Un tipo particular de sonar es la ecosonda, cuyo haz acústico está dirigido verticalmente hacia abajo (Simmonds & McLennan, 2005).

La ecosonda (Figura 3) emite pulsos de sonido desde un transductor (onda ultrasónica⁵) hacia el agua, estos pulsos pueden encontrarse con objetos como peces o el fondo marino, reflejándose de vuelta hacia el transductor.

Por otro lado, de acuerdo con Simmonds y McLennan (2005), las ecosondas científicas tiene la particularidad de que su electrónica ha sido diseñada teniendo en cuenta la estabilidad de la amplitud y que la señal recibida se convierte de forma temprana de analógica a digital en el procesamiento.

La ecosonda científica transmite pequeños paquetes de sonido a los que denominamos pulsos o pings que consisten en un cierto número de ciclos a una frecuencia determinada. La duración del pulso es igual a los ciclos emitidos divididos por la frecuencia de emisión (Ventero, 2016).

Los elementos de una ecosonda científica comprenden un transductor "Split-beam" que determina la distribución de tamaños dentro del volumen insonificado, una unidad transceptora (GTP), una unidad procesadora (CPU) y un monitor para la visualización del ecograma. (Figura 4).

Por ende, los métodos acústicos para estimar la abundancia de peces se basan en el conocimiento previo de la reflectividad (Fuerza de Blanco o *Target Strength*, *TS*) de los peces según su talla, su morfología y fisiología (Foote, 1987). En ese sentido, los métodos acústicos son los más importantes a efectos de calcular tanto la distribución como la abundancia de las especies (Koslow et al. 2009).

Como es descrito en Castillo et al. (2009), la asunción fundamental en estos métodos de cuantificación consiste en que, si se conoce la cantidad de energía sónica

⁵ Propagación de vibraciones en un medio material que posee las adecuadas condiciones de elasticidad

que es emitida, se le puede, entonces, comparar con la que se recibe como eco (o Retrodispersión), y atribuir la diferencia a la cantidad de dispersores presentes en el agua. De tal modo, si se conoce la energía que un solo pez es capaz de reflejar, entonces la relación entre esas dos cantidades nos dará el número de peces presentes en el agua (Castillo et al. 2009).

Figura 3

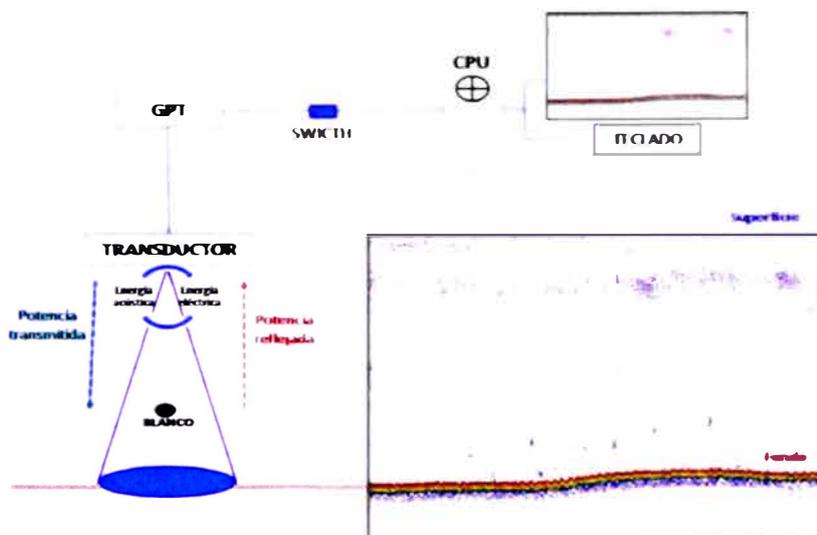
Representación del uso de la ecosonda científica.



Nota: Evolución de las ecosondas científicas. Tomado del Área Funcional de Hidroacústica, IMARPE

Figura 4

Elementos y funcionamiento de la ecosonda científica.



Nota: Tomado de (Ventero, 2016)

1.1.4 Interpretación de ecograma

Un ecograma es el resultado de la recepción, digitalización y visualización de los ecos devueltos por las distintas discontinuidades (fondo, peces, zooplancton, etc) presentes en la columna de agua, cuando emitimos pulsos a una determinada frecuencia (Ventero, 2016) (Figura 5).

Cabe resaltar que las grabaciones hidroacústicas o datos acústicos en las ciencias del mar se utilizan para la clasificación de especies hidrobiológicas, así como, para la estimación de su biomasa y su distribución en el mar del Perú.

Desde 2002, con la utilización de las ecosondas científicas digitales, el análisis de los datos acústicos se efectuó a través del programa de post-procesamiento *Echoview* (Myriax, Australia), que contiene módulos tales como detección de cardúmenes y construcción de ecogramas virtuales (o sintéticos) que facilitan la extracción y análisis de la información en estudio. (Castillo et al. 2009)

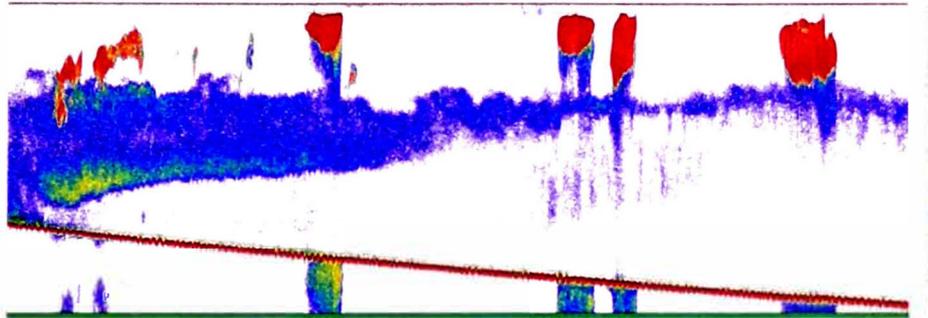
La lectura o interpretación de los ecogramas consiste en etiquetar cada ecotrazo detectado a una especie e identificar sus principales características a través del programa *Echoview* (Figura 6). El proceso de lectura requiere de una limpieza previa de los ecogramas, principalmente en la eliminación del ruido constante proveniente de los equipos electrónicos y la hidrodinámica del buque científico (Ventero, 2016).

Según La Cruz et al. 2017, la discriminación y clasificación de las especies de peces como la anchoveta en las comunidades pelágicas se puede resolver a partir de análisis multifrecuencia utilizando frecuencias de 18, 38, 70, 120 y 200 kHz (Figura 7).

Así mismo, la identificación de ecotrazos también se puede llevar a cabo a través de otros enfoques: características de bifrecuencia como diferencia de dB, morfología de las trazas de ecos, fuerza del blanco (TS), distribución geográfica, zonas de pesca, entre otros. (La Cruz et al. 2017)

Figura 5

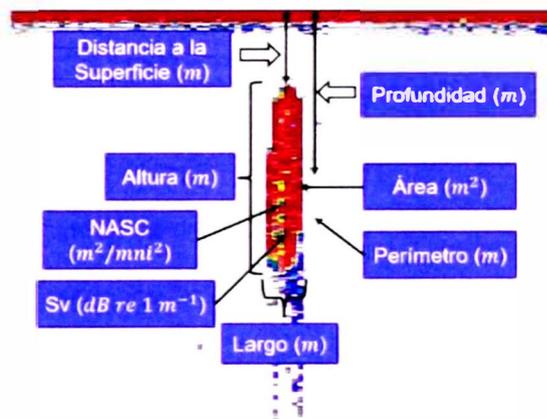
Representación de ecograma.



Nota: Tomado de Área Funcional Hidroacústica, IMARPE.

Figura 6

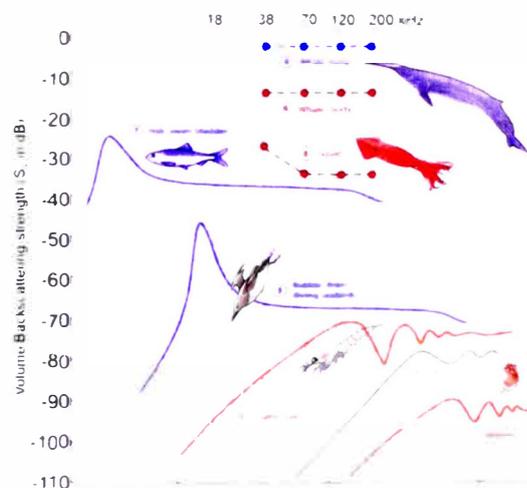
Características acústicas de un ecotrazo.



Nota: Tomado de Área Funcional Hidroacústica, IMARPE.

Figura 7

Acústica multifrecuencia



Nota: Tomado de Área Funcional Hidroacústica, IMARPE.

1.2 Descripción del problema

Actualmente, la estimación de biomasa de la anchoveta se determina a partir del método acústico por estratificación de áreas isoparalitorales utilizando los datos recolectados durante los cruceros de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos. En este proceso, el cálculo de la biomasa radica en el uso del indicador de abundancia acústica promedio asociado a una talla promedio. Sin embargo, este enfoque no toma en cuenta la variabilidad inherente al muestreo de la información acústica, ni la información biométrica específica de la estructura de tallas de la anchoveta para establecer los límites estadísticos de confianza de su biomasa.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Establecer los límites de variabilidad en la estimación de biomasa de la anchoveta aplicando una metodología bootstrapping utilizando datos acústicos de abundancia e incorporando al cálculo, la información biométrica, diferenciado por la estructura de tallas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Describir los métodos acústicos de estimación de biomasa de la anchoveta.
- Incorporar al cálculo de la biomasa la metodología bootstrapping que utiliza la abundancia acústica e información biométrica por estructura de tallas de la anchoveta.
- Establecer los límites de variabilidad para la estimación de biomasa de la anchoveta.

1.4 Antecedentes

1.4.1 Descripción general de la organización

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) es el organismo técnico especializado del Ministerio de la Producción (Produce), cuyo propósito es generar conocimiento científico. Este conocimiento se utiliza para proporcionar asesoramiento científico y preciso al Estado peruano, con el fin de promover el uso sostenible de los recursos marinos y de aguas continentales.

De acuerdo con su misión, el IMARPE busca promover y realizar investigaciones científicas y tecnológicas del mar, aguas continentales y de los recursos vivos de ambos, con el objeto de lograr el aprovechamiento racional de los mismos; proporcionando al Ministerio de la Producción y a la comunidad científica los estudios de manera veraz y oportuna.

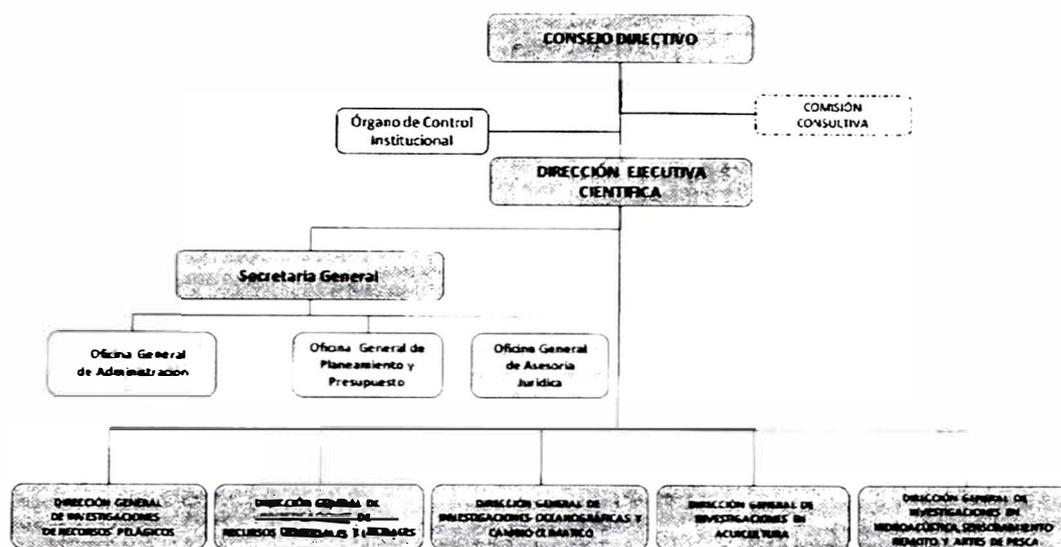
Con respecto a su visión, se define en alcanzar la excelencia y afirmar el liderazgo en las investigaciones sobre los ecosistemas marinos y de aguas continentales, contribuyendo al desarrollo sostenible de las pesquerías y de la acuicultura con un enfoque ecosistémico.

De acuerdo con su organigrama (Figura 8) se encuentra la Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca (DGHISA), la cual, realiza investigaciones científicas y tecnológicas para la evaluación poblacional de recursos hidrobiológicos, aplicando método hidroacústico, la utilización de sensoramiento remoto para el estudio del medio ambiente marino y costero, y el desarrollo de artes y estrategias de pesca ecológicamente amigables con fines de sostenibilidad pesquera con enfoque ecosistémico y seguridad alimentaria.

Como parte de la DGHISA, el Área Funcional de Hidroacústica (AFH) tiene entre sus principales funciones, planificar, programar y ejecutar los cruceros de evaluación de hidroacústica. Además, realiza el seguimiento de la distribución y estimación de abundancia de los recursos pesqueros, especialmente la anchoveta, utilizando tecnologías acústicas, como ecosondas científicas y sonares.

Figura 8

Organigrama del Instituto del Mar del Perú



Nota: Fuente <https://cdn.www.gob.pe/uploads/institution/orgchart/000/000/038/organigrama.pdf> (Reglamento de organización y funciones de IMARPE)

1.4.2 Contexto y actividades del proyecto

De acuerdo con los objetivos del AFH, se desarrolló el proyecto de investigación para establecer una metodología de estimación acústica de biomasa de anchoveta que utilice la estructura de tallas e incorpore el método bootstrapping.

Dentro de los principales antecedentes del trabajo, se estimó las biomásas acústicas de anchoveta por estructura de tallas para 18 cruceros desde el año 2011 hasta el año 2021. La metodología se basó la estimación de abundancia acústica de la anchoveta por áreas estratificadas planteada por Simmonds y MacLennan (2005) y el uso de los valores de las ecuaciones de fuerzas de blanco versus el logaritmo de la longitud de la talla (cm) a partir de Gutierrez et al. (2002).

De acuerdo con el cuadro comparativo de biomásas que se detallan en el Anexo 1, se obtuvo que la metodología de estimación de biomasa por estructura de tallas presentó valores de biomasa muy similares con respecto al método de estimación de biomasa por talla media de la anchoveta.

Es importante resaltar que en los cruceros analizados donde la estructura de tallas de anchoveta presentó una distribución bimodal, es decir, existió alta abundancia de anchovetas juveniles y/o adultas, se evidenció que el nuevo método obtuvo la concordancia con el incremento de biomasa de anchoveta, caso contrario, su disminución (Anexo 1).

Por otro lado, un método para abordar el problema de la estimación de la varianza en los cruceros de evaluaciones acústica es el método de bootstrap, conocido como una técnica inspirada en el método de jackknife (Efron y Tibshirani, 1986).

Simmonds (2003) y Robotham y Castillo (1990) lo han aplicado a datos acústicos, peso-tallas y composición por edades de recursos pesqueros para su evaluación de stocks de biomasa y abundancia.

Según Simmonds y MacLennan (2005), al utilizar un generador de números aleatorios, la función de densidad de probabilidad representada por las densidades observadas se vuelve a muestrear para crear nuevos conjuntos de datos simulados con el mismo número de muestras que se recogieron inicialmente durante el estudio. Por lo tanto, se estima la abundancia de cada conjunto y se determinan los límites de confianza.

Sin embargo, en lo que respecta a la varianza estimada, se supone implícitamente que el diseño del muestreo es aleatorio. El método bootstrap no tiene en cuenta la distribución espacial, y cada observación es como una muestra de una función de densidad de probabilidad estacionaria (Simmonds y MacLennan, 2005)

Finalmente, el bootstrapping presenta importantes ventajas, ya que no sólo estima la varianza, sino también la función de densidad de probabilidad, puesto que al incluir los datos acústicos y de lances de pesca en el esquema de remuestreo es posible realizar un análisis más completo del error para la estimación de abundancia acústica.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

En este capítulo se desarrolla los principales métodos acústicos para la estimación de biomasa de anchoveta, así como los conceptos de indicadores acústicos y estadísticos, como el método de bootstrapping o remuestreo.

2.1 Marco teórico

2.1.1 Estimación de la biomasa acústica de la anchoveta

La estimación de biomasa acústica se establece según el Protocolo acústico para la estandarización de información en los cruceros de evaluación de recursos pesqueros, descritos en Castillo et al. (2009).

La estimación de abundancia de anchoveta se determina a través de dos métodos: el método convencional de estratificación por áreas isoparalitorales (Gutiérrez & Peraltilla, 1999) y el método de estratificación por transectos (Jolly & Hampton 1990; Hewitt et al. 2003)

2.1.1.1 Método de estratificación en áreas isoparalitorales.

Consiste en dividir el área estudiada, en este caso el mar peruano, en lo que el IMARPE denomina "áreas isoparalitorales" (AIP). Según Gutierrez y Peraltilla (1999), las AIP son paralelogramos formadas por la proyección imaginaria de la línea de costa cada 10 millas náuticas (mn), las que son cortadas cada 30 minutos por los paralelos de latitud hasta una distancia de 200 mn desde la línea de costa.

Cada AIP es considerado como un estrato de 10 mn de ancho por 30 mn de alto, que puede contener partes de varios transectos con sus respectivas muestras acústicas o unidades básicas de muestra (UBM).

Según MacLennan y Simmonds (1992), esta metodología calcula la abundancia o biomasa de peces en toneladas a partir de la medición de los valores de la ecointegración acústica, conocido como "NASC" por cada UBM y al aplicar las ecuaciones de Fuerza de Blanco (TS) - Talla para la determinación de la sección transversal de retrodispersión (σ_{BS}).

Foote (1987) propuso estimar la fuerza de blanco (o TS) a partir de la talla, como vemos en la Ecuación 1, donde L longitud del pez en cm, b_{20} en decibeles (dB) es un factor dependiente de las características reflectivas del blanco.

$$TS = 20 \log(L) - b_{20} \quad (1)$$

La sección transversal de retrodispersión y la densidad o número de peces se calcula según las Ecuaciones 2 y 3, respectivamente, donde, S_A es el valor promedio "NASC" de la anchoveta de la frecuencia de 120 kHz.

$$\sigma_{BS} = 4 \pi 10^{TS/10} \quad (2)$$

$$\rho = S_A / \sigma_{BS} \quad (3)$$

Además, la biomasa se calcula dentro de cada estrato isoparalitoral en base al peso medio (W) en gramos como vemos en la Ecuación 4, donde, a y b son constantes.

$$W = a L^b \quad (4)$$

Así mismo, conociendo la magnitud del área (A) de cada AIP, la biomasa total (B) (Ecuación 6) será la sumatoria de las biomاسas por estrato isoparalitoral i en toneladas calculado por la Ecuación 5.

$$B_i = \rho_i W_i A_i \quad (5)$$

$$B = \sum B_i \quad (6)$$

Cabe indicar, los límites estadísticos de confianza se estiman en base a lo descrito por Bazigos (1976) (Ecuación 7):

$$LC = B \pm 1.96 \sqrt{\frac{\sum (s_i^2 / n_i) (A_i^2) / |\sum A_i|^2}{\sum [\bar{S}_{A_i} A_i] / \sum (A_i)}} 100 \quad (7)$$

Donde: B es la biomasa o abundancia total de la evaluación (toneladas), s_i^2 es la varianza del estrato i , n_i es el número de UBM en el i -ésimo estrato, A_i , el área del i -ésimo estrato en (mn^2) y el S_{A_i} , coeficiente náutico de dispersión acústica promedio en el i -ésimo estrato.

Alternativamente, se pueden calcular otros factores estadísticos, como el coeficiente de variación (CV) (Ecuación 8), donde δ es la desviación estándar de la muestra y \hat{u} su media:

$$CV = \delta / \hat{u} \quad (8)$$

2.1.1.2 Método de estratificación por transectos

En el método de Jolly y Hampton (1990) se sustituye el uso de la talla promedio por la estructura de tallas de la anchoveta a partir del muestreo de lances de pesca durante los cruceros de evaluación hidroacústica y solo se considera los valores acústicos "NASC" por transectos.

La estimación de la abundancia o biomasa por transectos se determina a partir de las proporciones (p) por lance (i) y clase (j) de talla (L), recolectados de los lances de comprobación, considerando las tallas, el número (n) de individuos por talla y los pesos individuales (w) como factores de ponderación como vemos en las Ecuaciones 9 y 10.

Según MacLennan y Simmonds (1992), es conveniente efectuar la ponderación según el cuadro de las tallas, puesto que la magnitud de los ecos está aproximadamente relacionada con el cuadrado del tamaño del pez.

$$p_{ij} = \frac{L_j^2 \cdot w_{ij} \cdot n_{ij}}{\sum L_j^2 \cdot w_{ij} \cdot n_{ij}} \quad (9)$$

$$\sum p_i = 1 \quad (10)$$

Luego, se calcula un factor de conversión (CF), que es definido como el cociente entre el peso del pez (w) y su correspondiente área de sección transversal de retrodispersión en m^2 (σ), como vemos en la Ecuaciones 11 y 12. Además, según Foote (1987), la fuerza de blanco (TS) en la clase j se describe en la Ecuación 13:

$$CF_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sigma_j} \cdot 10^6 ; (t/mn^2) \quad (11)$$

$$\sigma_j = 4\pi \cdot 10^{TS_j/10} ; (m^2) \quad (12)$$

$$TS_j = A \log(L_j) - b_{20} ; (dB) \quad (13)$$

Donde el peso w_{ij} puede obtenerse desde la relación longitud – peso, es decir de las ecuaciones de forma $w = a L^b$ o bien a través de la medición directa del peso medio por clases. Por otro lado, A y b_{20} son factores que dependen de la reflectividad de la especie en estudio.

La densidad ρ expresada en $t. mn^{-2}$ en el transecto k , muestra acústica o UBM l , lance i y clase de tamaño j (pkl) es calculada obteniendo previamente un factor de corrección K para cada lance i y clase de tamaño j , que es expresado en $t. m^{-2}$:

$$K_{ij} = CF_{ij} \cdot p_{ij} \quad (14)$$

$$\rho_{klij} = NASC_{kl} \cdot K_{ij} \quad (15)$$

Donde el $NASC_{kl}$ es el valor de dispersión acústica de la anchoveta medido por la ecosonda científica y discriminado por especie expresando en $m^2. mn^{-2}$ para el transecto k y UBM l . Para aplicar la Ecuación 15, se debe decidir cuál lance servirá para estimar la abundancia en cada transecto; los transectos pueden subdividirse en caso exista más de un lance sobre un mismo estrato (transecto).

Cabe resaltar, que la biomasa puede estimarse para cada UBM. La biomasa B en el transecto k , UBM l , es en realidad la suma de las densidades por tallas, multiplicado por la separación E entre transecto expresado en mn^2 como vemos en la Ecuación 16. Por lo tanto, la abundancia o biomasa en el transecto (estrato) k se obtiene a partir de la Ecuación 17.

$$B_{kl} = E \cdot \sum \rho_{klij} ; (t) \quad (16)$$

$$B_k = \sum B_{kl} \quad (17)$$

Así mismo, para determinar el número de individuos en el transecto k , UBM l , lance i y clase j se utiliza la Ecuación 18.

$$N_{klij} = \frac{E \cdot \rho_{klij}}{w_{ij}} ; (t) \quad (18)$$

2.1.2 Ecuaciones de Fuerza de Blanco (Target Strength TS)

La ecuación de TS de Foote (1987) (Ecuación 19) se utilizó para evaluar los principales recursos pelágicos, como el arenque *Clupea harengus* del Mar del Norte entre 1992 y 1997. La similitud morfológica de dicha especie frente a la sardina, jurel y caballa motivó la aplicación de esta ecuación.

$$TS = 20 \log(L) - 71.9 \quad (19)$$

Según Castillo et al. (2009), teniendo como base los experimentos de Foote (1987), se desarrolló el proyecto en Imarpe (1997 - 2001) llamado "Determinación de Ecuaciones de Fuerza de Blanco", donde tuvo logros significativos a partir del uso de sus diferentes estructuras de tallas registradas en los diversos cruceros de investigación.

Las ecuaciones de TS para el caso de la anchoveta en función de sus tallas fueron obtenidas por métodos in-situ, y ex-situ, por lo que los resultados se describen en la Tabla 1.

Tabla 1

Ecuaciones de TS para Anchoveta

Especie	Frecuencia (kHz)	m	b_{20}	Rango (cm)	Referencia
Anchoveta	20	20	-76.25	10 – 13	Gutierrez y MacLennan (1998)
			-77.50	12 – 17	MacLennan et al. (1998)
	120	20	-81.80	6 – 8.5	Gutierrez y Herrera (1998)
			-78.50	11.5 – 14.5	
	30	20	-88.57		Simmonds et al. (2009)
	38	20	20	-70.90	12.5 – 18
-78.90				10 – 16	

Nota: La función de TS para una longitud en cm del pez (L) es representado por $TS = m \log(L) + b_{20}$. Adaptado de Castillo et al. (2009)

2.1.3 Errores intrínsecos en la estimación de abundancia acústica

Según Simmonds y MacLennan (2005), para la estimación de la abundancia acústica existen dos fuentes principales de error: el error de muestreo (vinculado a la precisión) y el error sistemático (vinculado a la exactitud o sesgo). El error de muestreo

se debe a la toma estocástica de medidas de una población, lo que significa que los valores de estimación no serían exactamente iguales a los de la población.

Sin embargo, el error sistemático es aquel que tiene un impacto uniforme en todas las mediciones; por ejemplo, el error de los valores de fuerza de blanco (*TS*) tendrá un impacto uniforme en todas las estimaciones de biomasa.

Los métodos de remuestreo o bootstrap, la estimación del grado de cobertura, la varianza geoestadística, el posicionamiento aleatorio del transecto y las prospecciones múltiples son algunos de los métodos mencionados para encontrar intervalos de confianza.

Simmonds y MacLennan (2005), resaltan que la aplicación de bootstrap por transecto satisface la condición de independencia entre las unidades remuestreadas, necesaria para evitar el sesgo por autocorrelación, presente si se aplicara dicha técnica por UBM.

De acuerdo con Lau (2016), las estimaciones actuales de biomasa incluyen el uso de un método de remuestreo de NASC a nivel de transectos con el fin de obtener valores de varianza en las estimaciones.

Es importante indicar que la evaluación acústica presenta fuentes de incertidumbre. Simmonds y MacLennan (2005) señalan la presencia de ruido de fondo, el fenómeno de campo cercano, la orientación y apertura del transductor, prospecciones de zonas someras, el evitamiento y movimiento de cardúmenes, y la identificación de especie por cardumen, criterios ligados a la experiencia del profesional encargado de analizar los datos de ecosondas.

Por ende, Castillo et al. (2009), menciona que los métodos de evaluación en la investigación marina presentan sus fuentes de error, y como tal requiere de personal capacitado para realizar los diversos procesos que demanda la metodología. En el Anexo 3 se describen las principales fuentes de error cuando se utiliza la técnica hidroacústica para estimar una población de peces planteado por Simmonds y MacLennan (2005).

2.1.4 Remuestreo o método de bootstrapping

El método de bootstrapping es un procedimiento estadístico que sirve para aproximar la distribución (gaussiana) en el muestreo de un estadístico. Para ello, el método procede mediante remuestreo, es decir, se obtuvieron muestras mediante procedimiento aleatorio que utilice la muestra original (Abad & Casal, 2020).

Según Efron et al. (1979), la idea del "bootstrap" es que la inferencia sobre una población a partir de datos de muestra puede ser modelada mediante un nuevo muestreo de los datos de la muestra y realizando la inferencia sobre una muestra a partir de datos remuestreados. Como la población es desconocida, el verdadero error en una muestra estadística contra su valor poblacional es desconocido.

De acuerdo con Solanas y Sierra (1992), la técnica bootstrap proporciona estimaciones del error estadístico, imponiendo escasas restricciones sobre las variables aleatorias analizadas y estableciéndose como un procedimiento de carácter general, independientemente del estadístico considerado.

2.1.5 Aplicación del bootstrapping en evaluaciones acústicas

De acuerdo con Robotham y Castillo (1990), propuso el método de bootstrap como una alternativa para estimar el intervalo de confianza de la biomasa de la sardina (*Sardinops Sagax*) en el mar del norte de Chile a partir de las evaluaciones por técnicas acústicas. Además, dicho método representó una buena alternativa especialmente cuando no se dispone de intervalos analíticos o éstos no son fiables y el tamaño de las muestras es pequeño.

Simmonds et al. (2001), con el objetivo de estimar del número de capturas por edad y sus varianzas asociadas en la evaluación de stocks del arenque del Mar del Norte, se realizó una combinación de los datos brutos de muestreo de las agrupaciones edad-talla apropiadas y elevar los datos de muestreo al total de desembarques internacionales. De este modo, las varianzas del procedimiento se calcularon directamente a partir de un análisis bootstrap.

Simmonds (2003), explicó cómo se podía ampliar el análisis bootstrap en una evaluación acústica para incluir errores correlacionados en la estimación de la abundancia del arenque. El análisis de la varianza del muestreo mediante el método bootstrap demostró que, para la mayoría de las edades del arenque, el estudio acústico proporcionó una estimación de la varianza mínima superior en precisión a todas, excepto en las larvas.

Demer et al. (2011), estimó las varianzas muestrales de biomasa de recursos pelágicos mediante procedimientos de bootstrapping (Efron, 1981) que proporcionan una mejor inferencia estadística que los métodos tradicionales (Jolly y Hampton, 1990) para distribuciones estadísticas desconocidas.

Según Woillez et. al. (2016), con el objetivo de estimar la incertidumbre debido a errores en las relaciones funcionales, se aplicó el método de bootstrapping para las relaciones entre la fuerza de blanco (TS) y peso-talla, así como, la relación edad-talla del recurso abadejo (*Walleye pollock*) en el Mar de Bering Oriental.

Así mismo, Woillez et. al. (2016) determinó de la incertidumbre total de las estimaciones de biomasa y abundancia por edad en las evaluaciones acústicas de arrastre del abadejo, principalmente utilizando los datos de retrodispersión acústica, talla-peso y composición por edad. Concluyó que dichas estimaciones sugieren que la estructura de covarianza asumida en el ajuste de los modelos de evaluación de poblaciones difiere sustancialmente de lo que indican en realidad los análisis de los datos en mención.

Debertin (2020), utilizó el método bootstrap o muestreo con reemplazo para estimar la biomasa media, los intervalos de confianza y el coeficiente de varianza de las estimaciones de biomasa acústica por pesca arrastre de fondo. Además, para estimaciones de biomasa acústica, las UBM se consideraron muestras independientes y el bootstrap se ponderó en función del área de la región con agrupación de cardúmenes.

Así mismo, Doray et al. (2021), planteó dos enfoques principales para estimar la precisión de las estimaciones de abundancia: la teoría del muestreo aleatorio y el

bootstrapping. Con respecto al procedimiento con bootstrapping, los datos transectos y sus lances de pesca con redes de arrastre asociadas se seleccionan aleatoriamente con reemplazo dentro de cada estrato. Por ende, se calcularon la biomasa y la abundancia en cada iteración "n" (n=500) utilizando los datos remuestreados. Por último, el resultado de todas las ejecuciones se utilizó para calcular el error de muestreo relativo.

2.2 Marco conceptual

En el campo de la hidroacústica, las definiciones de las mediciones acústicas para establecer la evaluación de recursos pesqueros han sido correctamente descritas por Gutierrez (2002) a partir de la estandarización de definiciones, unidades y símbolos acústicos propuestos por MacLennan y Fernandez (2000) (Anexo 2). A continuación, se describen las principales mediciones acústicas.

2.2.1 Reflectividad o Fuerza de Blanco (*Target Strength*, TS)

La reflectividad, o capacidad intrínseca de reflejar el sonido, se describe también como la fuerza de dispersión de un blanco insonificado, sumergido (pez, cardumen o cualquier otro objeto) (Gutierrez, 2014). En ese sentido, se conoce a la reflectividad como *Target Strength* (TS).

Según Ventero (2016), TS es la medida en decibeles (dB) que representa la proporción de la energía incidente que es reflejada por un blanco, siendo un blanco cualquier objeto con un límite, en este caso un pez o un organismo zooplanctónico.

Para una misma especie, como la anchoveta, su capacidad reflectiva individual (TS) cambia según el tamaño, condición reproductiva, contenido graso y fisiología (Gutiérrez, 2002).

Además, el TS es medido al insonificar un objeto a través de la emisión de un solo ping o pulso sonoro, o bien a través del promedio de varias emisiones. En términos físicos, se define como la sección de dispersión transversal equivalente de un blanco (σ_{bs}), expresada en unidades de área (m^2) (Ventero 2016).

2.2.2 Sección transversal acústica (σ)

Está definido como el área en el frente de onda incidente que intercepta la esfera y la cual es dispersada por el blanco en todas direcciones (Figura 9). Puesto que el área de la superficie de una esfera de radio r es $4\pi r^2$, tenemos que la ecuación es:

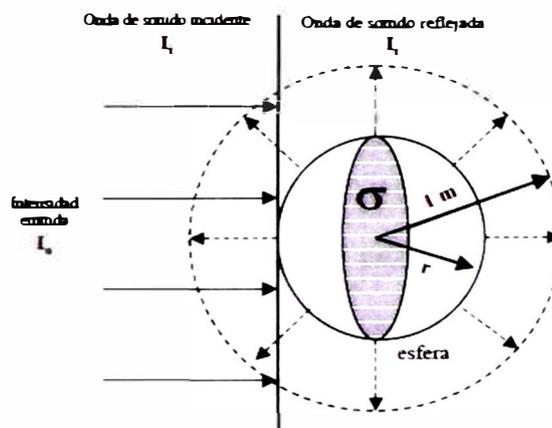
$$\sigma = 4\pi r^2 \left[\frac{I_r}{I_o} \right] \quad (20)$$

Donde I_o es la intensidad de un onda incidente y I_r es la intensidad dispersada constante en toda la superficie de la esfera (isotrópico).

De acuerdo con Gutierrez (2002), la ecuación fue adaptado al caso de dispersores anisotrópicos (blancos tales como un pez), con la modificación conceptual de que la intensidad de la retrodispersión es replicada sobre la totalidad de la superficie de la esfera. Además, en casi todas las aplicaciones pesqueras, lo más determinante es la dirección de retorno al transductor.

Figura 9

Representación de la sección transversal acústica (σ).



Nota. Fuente Gutierrez, 2002.

2.2.3 Sección transversal de retrodispersión (σ_{bs})

Se basa en la Ecuación 20, no obstante, no solo se considera la dispersión en la dirección opuesta a la onda incidente. $I_{bs}(r)$, la intensidad retrodispersada, es inversamente proporcional al área de la superficie de la esfera encerrada en $\Delta\Omega$, la cual, se expresa en la siguiente ecuación

$$I_{bs}(r) = \frac{I_o}{r^2 \Delta\Omega} \quad (21)$$

σ_{bs} se define en la Ecuación 22 como el área en el frente de onda incidente que intercepta una potencia igual a aquella retrodispersada por ⁶estereorradián en $\Delta\Omega$. (Figura 10)

$$\sigma_{bs} = r^2 \left[\frac{I_{bs}(r)}{I_o} \right] \quad (22)$$

La misma propiedad física del blanco, se expresa en la fuerza acústica dispersada:

$$TS = 10 \log_{10}(\sigma_{bs}) \quad (23)$$

Donde TS es la fuerza de blanco (Target Strength, en dB), la cual, se expresa en forma logarítmica debido a la gran diferencia la energía devuelta por los blancos y la transmitida desde la ecosonda. Por lo tanto, σ_{bs} se calcula como la inversa del logaritmo.

$$\sigma_{bs} = 10^{TS/10} \quad (24)$$

De acuerdo con Ventero (2016), en el caso de los peces, el TS puede calcularse aplicando un modelo geométrico donde la energía devuelta por los blancos es proporcional a la sección transversal horizontal de los órganos que contribuyen al eco (proporcional al tamaño de la vejiga natatoria). La sección transversal horizontal de los peces cambia con el cuadrado de la longitud del pez (L), suponiendo que la vejiga natatoria crece proporcionalmente al crecimiento del pez.

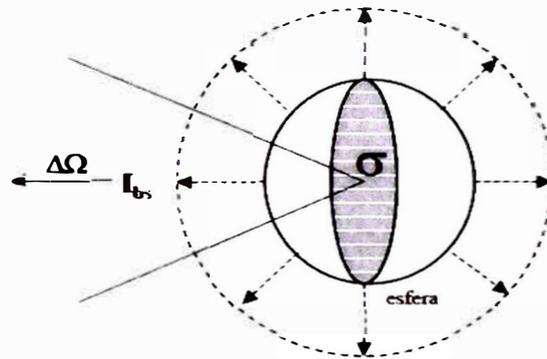
En ese sentido, si σ_{bs} es proporcional a L^2 , entonces de la Ecuación 23 se obtiene que la fuerza del blanco es igual a $20\text{Log}(L)$ más un término constante:

$$TS = 20\text{Log}(L) + b \quad (25)$$

⁶ El estereorradián se define como el ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera

Figura 10

Representación de la sección transversal de retrodispersión (σ_{bs}).



Nota: Fuente, Gutierrez (2002).

2.2.4 Unidades de medida de la energía acústica

De acuerdo con Ventero (2016), los datos acústicos pueden almacenarse en referencia a un volumen, o bien, en referencia a un área. Según el planteamiento de Gutierrez (2002), a partir de un pequeño volumen ΔV conteniendo blancos con una sección transversal acústica combinada $\Delta\sigma$ (Figura 11). El coeficiente del volumen de dispersión se representa por:

$$S_V = \frac{\Delta\sigma}{\Delta V} \quad (26)$$

Por ende, los coeficientes de volumen y área de retrodispersión se definen en forma similar, con σ_{bs} , reemplazando a σ en las fórmulas.

El coeficiente del volumen de retrodispersión (S_v) es representado en la Ecuación 27, con unidades m^{-1} ; como de forma logarítmica (Sv) en la Ecuación 28, expresado en unidades $dB \text{ re } 1 \text{ m}^{-1}$

$$S_v = \frac{\Delta\sigma_{bs}}{\Delta V} \quad (27)$$

$$Sv = 10 \log_{10}(S_v) \quad (28)$$

Así mismo, se tiene una pequeña área ΔA de una capa de agua entre profundidades $x = d_1$ y $x = d_2$. El coeficiente del área de retrodispersión (S_a) de la capa

se representa en la Ecuación 29, con unidades m^2m^{-2} y de forma logarítmica (S_a) en la Ecuación 30, expresado en unidades dB re $1 m^2m^{-2}$:

$$S_a = \int_{d_1}^{d_2} S_v dx \quad (29)$$

$$S_a = 10 \log_{10}(S_a) \quad (30)$$

Cabe resaltar, que el proceso de eco integración que permite la evaluación de peces consiste en sumar todas las medidas acústicas registradas en un volumen (S_v) y reducirlas a dos dimensiones (S_a).

Además, dichas mediciones se consideran por una unidad básica de muestreo (UBM), la cual, corresponde a una milla náutica. Por lo tanto, el coeficiente náutico del área de dispersión (*Nautical Area Scattering Coefficient, NASC*) se expresa en la siguiente ecuación:

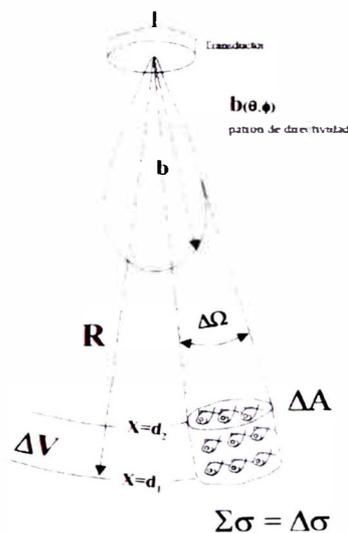
$$NASC = s_A = 4\pi 1852^2(S_a) \quad (31)$$

Finalmente, utilizando las Ecuaciones 22, 23 y 25 se logra transformar S_v en *NASC* con la siguiente expresión:

$$NASC = 4\pi 10^{S_v/10} 1852^2(d_2 - d_1) \quad (32)$$

Figura 11

Representación del área y volumen de retrodispersión.



Nota Fuente, Gutierrez (2002).

2.2.5 Muestreo acústico

El muestreo acústico se basa en la colección de ecogramas volumen de retrodispersión (Sv), fuerza de blanco (TS) y de coordenadas angulares, que son los tres tipos de datos fundamentales necesarios para realizar análisis de reflectividad y ecointegración. Cabe resaltar que los datos se graban a una profundidad de 500 metros. (Castillo et al. 2009).

Según MacLennan y Simmonds (1992), cuando la ecointegración se usa para cuantificar la abundancia de organismos marinos se tiene que convertir dichas unidades a biomasa. Si esto se hace para un punto determinado se tendrá que determinar el número de dispersores por unidad de área o volumen. Si la cuantificación se hace globalmente se requerirá una medición promedio de la densidad. Cuando esto se hace para el área o volumen evaluado se conseguirá entonces una medición de la abundancia.

Además, si los instrumentos de medición (ecosondas, ecointegradores) están calibrados de acuerdo con los estándares (Foote et al, 1987) entonces los resultados de la ecointegración pueden expresarse en unidades absolutas (Foote y Knudsen, 1994).

Por ende, muestreo acústico es realizado con ecosonda científica en intervalos llamados "Unidad Básica de Muestreo" (UBM), y consiste en la medición del "Coeficiente Náutico de Dispersión Acústica" (*Nautical Area Scattering Coefficient, NASC*). En términos prácticos, es la longitud del espacio a lo largo del cual se efectúa cada medición consecutiva de la ecointegración (o energía acústica acumulada en función al número de emisiones o *pings* efectuadas al interior de cada UBM).

2.2.6 Muestreo biológico-pesquero

Según Castillo et al. (2009), los métodos acústicos que se emplean para evaluar la abundancia de peces utilizando una ecosonda, requieren necesariamente la ejecución de un muestreo pesquero intenso para conocer la estructura demográfica de las especies en estudio, de esta información depende el cálculo de las ecuaciones *TS*-*Talla* necesarias para realizar los cálculos de abundancia.

Los muestreos son capturados con redes de arrastre pelágico de media agua en varios puntos de la zona de estudio con el fin de complementar la identificación de ecotrazos de especies registrados en los ecogramas.

El objetivo es realizar varios lances de pesca y determinar la composición por especies y distribución de tallas de la población de peces, lo más homogénea posible, para estimar una media adecuada por cada estrato (Simmonds & MacLennan, 2005).

Cabe mencionar que las áreas isoparalitorales (AIP) son los estratos definidos como el producto de la proyección de líneas imaginarias cada 10 millas náuticas paralelas a la línea de costa, las que son interceptadas por los paralelos de latitud cada 30 minutos. Las AIP están codificadas según latitud y distancia a la costa (Castillo et al. 2009).

2.2.7 Muestra aleatoria

Sea un población finita o universo U de unidades individuales U_1, U_2, \dots, U_n , cualquiera de los cuales tiene las mismas probabilidades de ser seleccionado en un único sorteo aleatorio.

Una muestra aleatoria de tamaño n es definida como una colección de n unidades definida u_1, u_2, \dots, u_n seleccionadas al azar de U . En principio, el proceso de muestreo es el siguiente: un dispositivo de números aleatorios selecciona independientemente números entero j_1, j_2, \dots, j_n cada uno de los cuales es igual a cualquier valor entre 1 y N con probabilidad $1/N$. Dichos números enteros determinan qué miembros de U se seleccionan para formar parte de la muestra aleatoria, $u_1 = U_{j_1}, u_2 = U_{j_2}, \dots, u_n = U_{j_n}$.

Según Efron y Tibshirani (1994), en la práctica, el proceso de selección rara vez se presenta claro y la población U puede estar mal definida, pero el marco conceptual del muestreo aleatorio sigue siendo útil para comprender la inferencia estadística.

La definición del muestreo aleatorio permite que una unidad U_i aparezca en más de una vez en la muestra. Esto se podría evitar insistiendo en que los enteros j_1, j_2, \dots, j_n sean distintos, llamándolo "muestreo sin reemplazamiento". Cabe resaltar, que en este

estudio el muestreo aleatorio significará “muestreo con reemplazamiento”, salvo que se indique lo contrario.

2.2.8 Error estándar del promedio

Supongamos que x es una variable aleatoria de valor real con distribución de probabilidad F . Denotamos la esperanza y la varianza de F por los símbolos μ_F y σ_F^2 respectivamente, donde

$$\mu_F = E_F(x) \quad , \quad \sigma_F^2 = var_F(x) = E_F[(x - \mu_F)^2] \quad (33)$$

La notación alternativa de $var_F(x)$ para la varianza, es abreviada por $var(x)$, que significa lo mismo que σ_F^2 . Además, podemos utilizar la siguiente expresión para denotar de forma concisa la esperanza y varianza de la variable aleatoria x .

$$x \sim (\mu_F, \sigma_F^2) \quad (34)$$

Sea (x_1, \dots, x_n) una muestra aleatoria con tamaño n de la distribución F . El promedio de la muestra $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$ con esperanza μ_F y varianza σ_F^2 / n ,

$$\bar{x} \sim (\mu_F, \sigma_F^2 / n) \quad (35)$$

Es decir, la esperanza de \bar{x} es la misma esperanza que x , pero la varianza de \bar{x} es $1/n$ veces la varianza de x . Por esta razón, es recomendable utilizar los promedios: cuanto mayor sea n , menor será $var(\bar{x})$, un mayor n significa una mejor estimación de μ_F .

El error estándar del promedio \bar{x} , denotado por $se_F(\bar{x})$, o $se_F(x)$, es la raíz cuadrada de la varianza de \bar{x} ,

$$se_F(\bar{x}) = [var_F(\bar{x})]^{1/2} = \sigma_F / \sqrt{n} \quad (36)$$

El error estándar es un término general para la desviación estándar de un estadístico resumen. Son la forma más común de indicar la precisión estadística.

Por otro lado, se desea que \bar{x} sea menor que un error estándar de μ_F cerca del 68% de las veces y menos dos errores estándar de μ_F cerca del 95% de veces. Estos

porcentajes están basados en el ⁷teorema del límite central. Bajo ciertas condiciones en F , la distribución de \bar{x} se aproximará a una normal mientras n sea mayor, de tal forma

$$\bar{x} \sim N(\mu_F, \sigma_F^2/n) \quad (37)$$

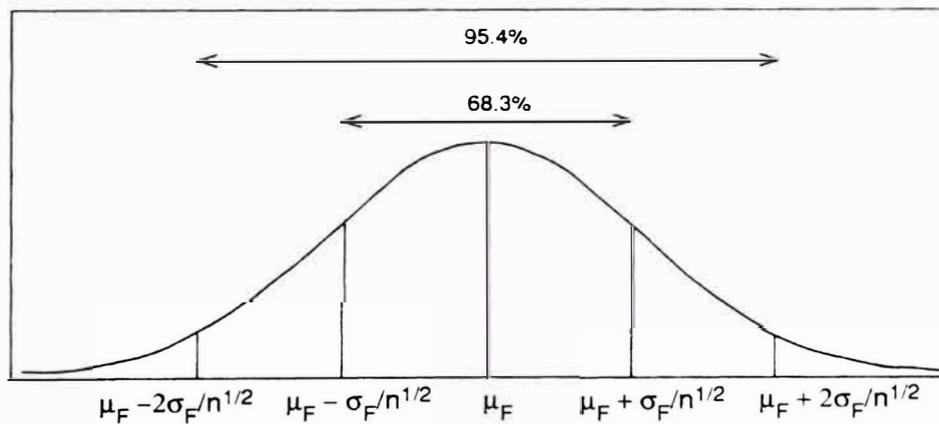
Sabemos que la esperanza μ_F y varianza σ_F^2/n de son exactas, solo la normalidad es la distribución aproximada. Usando la Ecuación 37, una tabla de distribución normal nos da las siguientes probabilidades:

$$Prob \left\{ |\bar{x} - \mu_F| < \frac{\sigma_F}{\sqrt{n}} \right\} \doteq 0.683 \quad , \quad Prob \left\{ |\bar{x} - \mu_F| < \frac{2\sigma_F}{\sqrt{n}} \right\} \doteq 0.954 \quad (38)$$

Como se muestra en la Figura 12. Descrito por Efron y Tibshirani (1994), una de las ventajas del bootstrap es que no tenemos que basarnos totalmente en el teorema del límite central.

Figura 12

Representación de la distribución normal.



Nota: Fuente Efron y Tibshirani (1994). Para valores grandes de n , el promedio \bar{x} de una muestra aleatoria de F , obtendrá una distribución normal aproximada con media μ_F y varianza σ_F^2/n

2.2.9 Estimación del error estándar del promedio

Consideremos una muestra de números aleatorios $F \rightarrow x_1, x_2, \dots, x_n$ calculamos la estimación \bar{x} de la esperanza μ_F , y se desea conocer el estimador del error estándar de

⁷ Estudia el comportamiento de la suma de variables aleatorias, cuando crece el número de sumandos, asegurando su convergencia hacia una distribución normal en condiciones muy generales

\bar{x} . La Ecuación 36, $se_F(\bar{x}) = \sigma_F / \sqrt{n}$, implica la distribución desconocida F , por lo que no puede utilizarse directamente.

Según el “principio de reemplazo” se establece que, para estimar un parámetro desconocido de una distribución de probabilidad, se puede sustituir el valor verdadero del parámetro por su estimación obtenida a partir de los datos observados. (Efron et al. 1979).

A partir del uso de dicho principio, podemos sustituir \hat{F} de F en la fórmula $se_F(\bar{x}) = \sigma_F / \sqrt{n}$. El estimador de reemplazo de $\sigma_F = [E_F(x - \mu_F)^2]^{1/2}$ es:

$$\hat{\sigma} = \sigma_{\hat{F}} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right\}^{1/2} \quad (39)$$

Desde $\mu_{\hat{F}} = \bar{x}$ y $E_{\hat{F}}g(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g(x_i)$ para cualquier función g . Por lo tanto, se obtiene el estimador del error estándar, $\widehat{se}(\bar{x}) = se_{\hat{F}}(\bar{x})$,

$$\widehat{se}(\bar{x}) = \sigma_{\hat{F}} / \sqrt{n} = \left\{ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n^2 \right\}^{1/2} \quad (40)$$

Cabe resaltar que la estimación bootstrap del error estándar, equivale a utilizar el principio de reemplazo para estimar el error estándar de un estadístico arbitrario $\hat{\theta}$, por ejemplo, la media muestral.

2.2.10 Estimación bootstrap del error estándar

Sea $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ una muestra aleatoria proveniente de una distribución de probabilidad desconocida F y se desea estimar el parámetro de interés $\theta = t(F)$ de la base de x .

La metodología bootstrapping es introducida por Efron et al (1979) como un método informático para estimar el error estándar de $\hat{\theta}$. Cabe indicar que dicha metodología, depende de la noción de una muestra bootstrap.

Sea \hat{F} una distribución empírica, asignando probabilidad $1/n$ en cada uno de los valores observados x_i , con $i = 1, 2, \dots, n$. Por consiguiente, una muestra bootstrap se

define como una muestra aleatoria de tamaño n extraída de \hat{F} , se establece que $x^* = x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$, entonces

$$\hat{F} \rightarrow (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (41)$$

La notación asterisco indica que x^* no es el conjunto de datos real x , sino una versión aleatoria con reemplazamiento o remuestreada de x .

El conjunto de datos bootstrap $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ se compone de miembros del conjunto de datos original (x_1, x_2, \dots, x_n) algunos aparecen cero veces, otros una, otros dos, etc.

Correspondiente a un conjunto de datos bootstrap x^* es una réplica bootstrap de $\hat{\theta}$, por lo que se tiene en la Ecuación 42

$$\hat{\theta}^* = s(x^*) \quad (42)$$

Donde la cantidad $s(x^*)$ es el resultado de aplicarle la misma función $s(\cdot)$ a x^* que se aplicó a x . En otras palabras, si se tiene $s(x)$ es la media muestral \bar{x} entonces $s(x^*)$ es la media del conjunto de datos bootstrap, $\bar{x}^* = \sum_{i=1}^n x_i^*/n$.

Por lo tanto, la estimación bootstrap de $se_F(\hat{\theta})$, el error estándar de un estadístico $(\hat{\theta})$, es una estimación con principio de reemplazo que utiliza la función de distribución empírica \hat{F} en lugar de la función de distribución desconocida F . Específicamente, la estimación bootstrap $se_F(\hat{\theta})$ es definida por la Ecuación 43.

$$se_F(\hat{\theta}^*) \quad (43)$$

Quiere decir que el estimador bootstrap de $se_F(\hat{\theta})$ es el error estándar de $\hat{\theta}$ para los conjuntos de datos con tamaño n muestreados aleatoriamente de \hat{F} . La Ecuación 43, también es conocida como la "estimación bootstrap ideal del error estándar" de $\hat{\theta}$.

2.2.11 Algoritmo del método bootstrapping

El algoritmo del método bootstrapping es una forma computacional de obtener una buena aproximación al valor numérico de $se_F(\hat{\theta}^*)$. Sea un dispositivo de números

aleatorios selecciona independientemente números enteros i_1, i_2, \dots, i_n cada uno de los cuales es igual a cualquier valor entre 1 y n con probabilidad $1/n$. La muestra bootstrap está formado por los miembros correspondientes de x .

$$x_1^* = x_{i_1}, x_2^* = x_{i_2}, \dots, x_n^* = x_{i_n} \quad (44)$$

El algoritmo bootstrap funciona extrayendo muchas muestras bootstrap independientes, evaluando las correspondientes réplicas bootstrap y estimando el error estándar de $\hat{\theta}$ por la desviación estándar empírica de las réplicas. El resultado se denomina estimación bootstrap del error estándar, denotado por \widehat{se}_B . Donde B es el número de muestras bootstrap utilizadas.

Según Efron y Tibshirani (1994), el procedimiento se describe en tres pasos:

1. Seleccionar B muestras bootstrap independiente $x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*B}$, cada uno de las cuales consta de n valores de datos extraídos con sustitución de x .
2. Evaluar la réplica bootstrap correspondiente a cada muestra bootstrap,

$$\hat{\theta}^*(b) = s(x^{*b}) \quad , \quad b = 1, 2, \dots, B \quad (45)$$

3. Estimar el error estándar $se_F(\hat{\theta})$ por la desviación estándar muestral de las B réplicas:

$$\widehat{se}_B = \left\{ \sum_{b=1}^B [\hat{\theta}^*(b) - \hat{\theta}^*(\cdot)]^2 / (B - 1) \right\}^{1/2} \quad \text{donde} \quad \hat{\theta}^*(\cdot) = \sum_{b=1}^B \hat{\theta}^*(b) / B \quad (46)$$

El límite de \widehat{se}_B cuando B tiende al infinito es la estimación bootstrap ideal de $se_F(\hat{\theta})$ y se representa con la ecuación

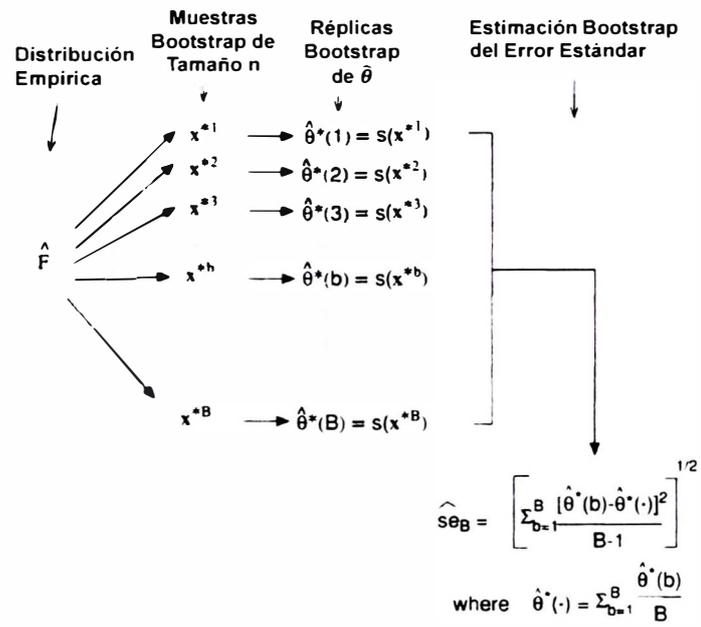
$$\lim_{B \rightarrow \infty} \widehat{se}_B = se_F = se_F(\hat{\theta}^*) \quad (47)$$

El hecho que \widehat{se}_B se aproxime a se_F cuando B tienda al infinito equivale a decir que una desviación estándar empírica se aproxima a la desviación típica de la población a medida que el número de réplicas aumenta. Ver representación del algoritmo en la Figura 13.

Finalmente, la estimación bootstrap ideal $se_{\hat{F}}\hat{\theta}^*$ y su aproximación \widehat{se}_B son también denominados estimaciones bootstrap no paramétricas porque están basados en \hat{F} , la estimación no paramétrica de la población F .

Figura 13

Diagrama del algoritmo de error estándar bootstrap



Nota: Adaptado de Efron y Tibshirani (1994)

Capítulo III. Desarrollo del trabajo

En este capítulo se abordará los materiales como los datos y equipos acústicos, muestras biométricas y la metodología acústica de estimación de biomasa de la anchoveta por estructura de tallas aplicando el método de bootstrapping.

3.1 Materiales

Los datos de acústicos y muestras biométricas del recurso anchoveta se recopilaron durante el “Cruce de Evaluación Hidroacústica de la Anchoveta y Otros Recursos Pelágicos” en el verano del año 2021, con denominación “Cr. 2102-04”. Los dos primeros dígitos (“21”) se originan por el año de la evaluación, los dos siguientes (“02”) según el mes inicio del cruce, es decir, febrero; luego, los dos últimos dígitos (“04”) por el mes de finalización en abril.

3.1.1 Área de investigación

El área geográfica de investigación planificado (Figura 14) fue en el mar peruano entre Tumbes ($03^{\circ}33'S$) y Tacna ($18^{\circ}20'S$), desde 0,3 millas náuticas (mn) hasta las 80 mn de distancia a la costa entre las zonas de Tumbes-San Juan de Marcona y hasta las 60 mn entre San Juan de Marcona-Tacna. Sin embargo, debido a factores externos y climatológicos solo se cubrió casi el 91% del área correspondiente del stock Norte-Centro⁸ ($03^{\circ}25'S$ a $16^{\circ}00'S$).

3.1.2 Plataformas y diseño de muestreo acústico

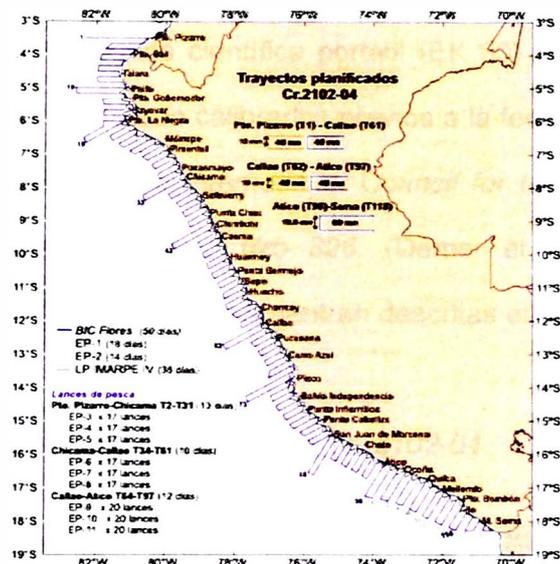
Es importante resaltar, que se contó con la participación del buque de investigación científica (BIC) “Luis Flores Portugal” (Figura 2), la lancha pesquera (LP) “Imarpe IV”, y con el apoyo de once (11) embarcaciones pesqueras (EP) de la Sociedad Nacional de Pesquería (SNP). El diseño del muestreo hidroacústico fue el sistemático

⁸ Stock de anchoveta que generalmente ocupa el área comprendida entre el 4° y 16° S. y desde la línea de la costa hasta las 80 mn.

paralelo, que consiste en transectos o perfiles perpendiculares a la línea de costa y paralelos entre sí, con una separación de 12.5 mn. Se realizaron un total de 110 transectos, cuyos detalles por zonas se indican en la Tabla 2 (Figura 14).

Figura 14

Trayectos planificados del Cr. 2102-04



Nota: Tomado del plan del "Cruce de evaluación hidroacústica de anchoveta y otros recursos pelágicos 2102-04". Fuente: IMARPE.

Tabla 2

Zonas de muestreo acústico de las embarcaciones en el Cr. 2102-04.

Entidad	Embarcaciones	Eslora (m)	Distancia (mn)	Lugar de la zona
IMARPE	BIC Flores Portugal	28.45	0 - 40	Punta Sal – Casma
	LP Imarpe IV	16.60	0 - 8	Paita – Chala
	EP Ribar XVI	56.00	0 - 80 40 - 80	Zorritos – Punta Sal Punta Sal – Callao
	EP Andes 52	53.40	0-40 0 -70	Casma – Callao Callao – Punta Infiernillos
	*EP Región Chavín IV	32.69		
SNP	*EP Tasa 111	26.04		
	*EP Jadranka B	44.50		
	*EP Altántico I	43.00		
	*EP Dalmacia	40.10		
	*EP Ana Claudia	25.53		
	*EP Polar IV	43.64		
	*EP Tasa 23	31.05		
	*EP Tasa 27	27.70		

Nota: BIC: Buque de Investigación Científica. EP: Embarcación Pesquera. *EP: EPs que solamente realizaron lances de pesca para incrementar los muestreos biológicos. Adaptado de (Castillo et al. 2022)

3.1.3 Instrumentos acústicos

El BIC Luis Flores Portugal utilizó una ecosonda científica multifrecuencia "Simrad EK 80" con frecuencias de emisión de 18, 38, 70, 120 y 200 kHz. Por otro lado, en la L/P Imarpe IV se instaló la ecosonda portátil "Simrad EY 60" con una sola frecuencia de 120 kHz. Además, en las dos embarcaciones de la SNP, que apoyaron en el muestreo acústico, se instalaron la ecosonda científica portátil (EK 80) con frecuencias: 38, 70 y 120 kHz. Dichos instrumentos fueron calibrados previos a la fecha de inicio del muestreo, de acuerdo con la metodología de *International Council for the Exploration of the Sea (ICES) Cooperative Research Report Nro 326*. (Demer et al., 2015; Simmonds & MacLennan, 2005), y sus resultados se encuentran descritas en la Tabla 3.

Tabla 3

Resultados de las calibraciones acústicas en el Cr. 2102-04.

Entidad	Embarcación	Ecosonda Simrad	Modelo de Transductor	Frecuencia (kHz)	RMS (dB)	Ganancia (dB)	Sa corregido (dB)
IMARPE	BIC Flores Portugal	EK 80	ES18	18	0.27	22.39	-0.13
			ES38-7	38	0.04	26.84	-0.17
			ES70-7C	70	0.05	27.74	-0.04
			ES120-7C	120	0.08	27.13	0.05
			ES200-7C	200	0.25	27.36	0.07
	LP Imarpe IV	EY 60	ES120-7C	120	0.26	24.30	-0.59
SNP	EP Ribar XVI	EK 80	ES38-10	38	0.07	24.59	0.11
			ES70-7C	70	0.09	27.70	-0.33
			ES120-7C	120	0.12	27.68	-0.08
	EP Andes 52	EK 80	ES38-10	38	0.07	24.59	-0.08
			ES70-7C	70	0.09	27.70	-0.16
			ES120-7C	120	0.12	27.71	-0.12

Nota: RMS (Root Mean Square). Escala de valores del modelo: RMS < 0.2, Muy aceptables; RMS 0.2 - 0.4, Aceptables; RMS > 0.4, Deficientes. Adaptado de (Castillo et al. 2022)

3.1.4 Lances de pesca

Los lances de pesca se efectuaron durante el rastreo acústico en diversas horas del día dependiendo de los ecotrazos registrados, puesto que permitieron la comprobación de blancos acústicos y recolección de muestras para el muestreo biológico. Se efectuaron un total de 301 lances de comprobación, detalladas en la Tabla 4

(Figura 15). El BIC Flores y la LP Imarpe IV utilizaron redes de arrastre pelágico tipo Granton con aberturas verticales de 8 y 6 metros, respectivamente. Por otro lado, las embarcaciones pesqueras de la SNP emplearon redes de cerco de malla anchovetera.

Tabla 4

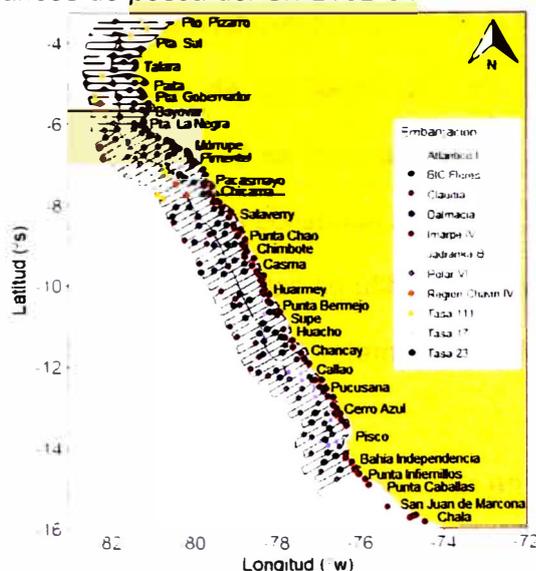
Lances de pesca realizados en el Cr. 2102-04.

Entidad	Embarcaciones	Lances	Tipo de arte de pesca
IMARPE	BIC Flores Portugal	74	Red de arrastre pelágica
	LP Imarpe IV	89	Red de arrastre pelágica
SNP	EP Ribar XVI		
	EP Andes 52		
	*EP Región Chavin IV	13	Red de cerco anchovetera
	*EP Tasa 111	12	Red de cerco anchovetera
	*EP Jadranka B	16	Red de cerco anchovetera
	*EP Atlántico I	14	Red de cerco anchovetera
	*EP Dalmacia	13	Red de cerco anchovetera
	*EP Ana Claudia	15	Red de cerco anchovetera
	*EP Polar IV	23	Red de cerco anchovetera
	*EP Tasa 23	16	Red de cerco anchovetera
	*EP Tasa 27	16	Red de cerco anchovetera
Total		301	

Nota: Adaptado de (Castillo et al. 2022)

Figura 15

Trayectos ejecutados y lances de pesca del Cr. 2102-04



Nota: Tomado del informe del "Cruce de evaluación hidroacústica de anchoveta y otros recursos pelágicos 2102-04". Fuente: IMARPE

3.1.5 Datos acústicos

El post-procesamiento de datos acústicos y su almacenamiento se efectuaron de acuerdo con los siguientes protocolos: "Protocolo para la colección y análisis de ecogramas durante prospecciones de evaluación de recursos pesqueros", "Protocolo de acción en la toma de información de datos en un crucero de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos", "Protocolo acústico para la estandarización de información en los cruceros de evaluación de recursos pesqueros", descritos en Castillo et al. (2009).

La muestra acústica o unidad básica de muestreo (UBM) fue de 1 mn, así como, los valores del coeficiente náutico de dispersión acústica por área (NASC, m^2/mn^2) de cada cardumen fueron medidos por ecointegración (Simmonds & MacLennan, 2005).

Con respecto a la discriminación acústica fue realizada con el programa *Echoview*, donde se identificaron los ecotrazos de las especies detectadas de acuerdo a: composición de captura por lance de pesca, tipo de ecotrazo y por análisis multifrecuencia (gráficos de respuesta de frecuencia acústica de cardúmenes) (La Cruz et al., 2017; Castillo et al., 2009). La detección de cardúmenes de anchoveta fue clasificada en dos categorías: anchoveta juvenil (ejemplares con modas menores a 12 cm de longitud) y anchoveta adulta (ejemplares con modas mayores a 12 cm de longitud).

En las zonas con presencia de anchoveta, el valor de la integración NASC total en cada UBM es dado por la sumatoria de los NASC de cada cardumen de anchoveta ("NASC anc"). Estos valores de cada UBM se exportan en una bitácora acústica (Anexo 4), según la frecuencia de resonancia de la ecosonda analizada, en este caso, fue de 120 kHz. Para el análisis de las bitácoras acústicas se utilizó el software estadístico *RStudio*, y paquete acústico *EchoviewR*, que benefició el tratamiento de datos acústicos.

3.1.6 Datos biológicos

Los datos biológicos fueron obtenidos de las capturas en los lances de pesca para determinar la estructura de tallas y la relación longitud-peso de las diferentes especies pelágicas evaluadas, como la anchoveta, el jurel, la caballa, la múnida, entre otras.

Cabe resaltar, que el muestreo biométrico fue de tipo aleatorio, mientras que, las muestras biológicas fueron estratificadas considerándose 10 ejemplares por talla y por cada cala para determinar la composición de las especies y su condición reproductiva, así como, la recolección de otolitos y estómagos para estudios de edad-crecimiento, ecología trófica, y determinar las fases de madurez gonadal de los principales recursos.

En el caso de la anchoveta, la distribución de frecuencia de tallas fue medido a intervalos de medio centímetro (0.5 cm) y se obtuvo para cada lance positivo de anchoveta; mientras que, se estimaron tres valores de integración "NASC anc" antes y después del lance de pesca.

3.2 Métodos

A partir de la consolidación de los datos acústicos, datos biométricos y la información de área isoparalitorales (AIP) (Tabla 5) delimitados en el mar peruano (Figura 16), se determinaron los cálculos de la abundancia y biomasa de la anchoveta.

3.2.1 Estimación de abundancia y biomasa acústica

Los estimados de abundancia o biomasa fueron obtenidos por el método de estratificación en AIP de 10 por 30 mn (10x30 mn), descrito en Castillo et al. (2009). Las variables utilizadas como ecuaciones de fuerza de blanco (TS) y relación longitud-peso de la anchoveta se detallan en la Tabla 6.

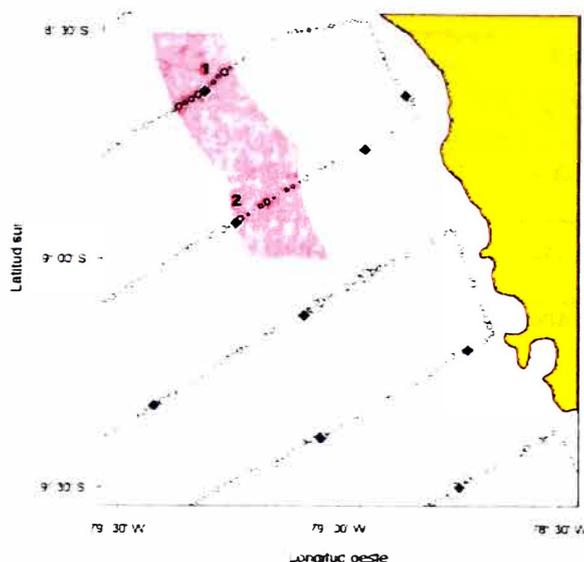
Además, el mapeo de los gráficos de distribución y concentración espacial horizontal de cada especie evaluada fue realizado por interpolación de los valores NASC, mediante el método ⁹*kriging* en el programa *Surfer*.

Adicional a ello, se tabularon los valores de biomasa por cada grado de latitud y 10 mn de distancia a la costa en un cuadro de doble entrada.

⁹ El *kriging* es una técnica geoestadística que sirve para interpolar datos de una grilla (estimación local) y/o crear un mapa (estimación global).

Figura 16

Representación de las áreas isoparalitorales



Nota: Los círculos vacíos representan las ecoabundancias muestreadas durante el crucero, mientras que los rombos azules representan los lances de comprobación. Las líneas rojas delimitan las áreas isoparalitorales a partir de las cuales se inicia el proceso de estimación de la abundancia y biomasa acústica. Tomado del Protocolo "Elaboración de la Tabla de Decisión para la determinación del Límite Máximo de Captura Total Permisible por temporada de pesca en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana". Fuente: IMARPE.

Tabla 5

Datos utilizados para estimación de biomasa acústica de anchoveta.

Categoría de datos	Variables	Unidades	Fuente
Áreas Isoparalitorales (AIP)	ID AIP	-	Área de Hidroacústica – Base de datos en Sistema georreferenciado
	Área	mn^2	
	Longitud	-	
	Latitud	-	
Acústicos	NASC	m^2/mn^2	Área de Hidroacústica – Bitácora de celdas exportadas de <i>Echoview</i>
	Longitud	-	
	Latitud	-	
Biológicos	ID Lance	-	Área de Recursos Pelágicos – Base de datos en Sistema IMARSIS
	Peso de captura	kg	
	Especie	-	
	Peso de muestra	kg	
	Frecuencia / talla	-	
	Peso / talla	gr	

Nota: Fuente: Área Funcional de Hidroacústica – IMARPE

Tabla 6

Coefficientes talla-peso y ecuaciones TS utilizadas en Cr. 2102-04.

Especie	a	b	Frecuencia (kHz)	Rango (cm)	Promedio (cm)	b_{20}	Referencia
Anchoveta (<i>Engraulis</i> <i>Ringes</i>)	0.0049	3.1167	120	6.0 – 8.5	7	-81.80	Gutierrez (1999)
				8.5 – 13.0	11.3	-76.25	Gutierrez y MacLennan (1998)
				> 13.0	15.1	-77.50	MacLennan et al. (1998)

Nota: Coeficientes de relación talla-peso ($W = aL^b$) y la función de TS para una longitud en cm del pez (L) es representado por $TS=20\log(L) + b_{20}$. Adaptado de (Castillo et al. 2022)

3.2.2 Estimación de biomasa acústica por estructura de tallas

Se estima la abundancia y biomasa por la estructura de tallas de la anchoveta en cada AIP. Luego se calcula la abundancia y biomasa por tallas de todo el stock como la suma de las estimaciones hechas por AIP (Castillo et al. 2009; Simmonds et al. 2009).

Por lo que, cada AIP presenta una abundancia estimada por tallas entre 2 y 20 cm de longitud total, a intervalos de 0.5 cm. De acuerdo con el procedimiento descrito en Simmonds & MacLennan (2005), se tiene:

$$Q_i(l) = P_i(l) \frac{\bar{s}_{A_i} A_i}{\bar{\sigma}_{bs_i}} \quad (48)$$

Siendo,

$$\bar{\sigma}_{bs_i} = \sum_l P_i(l) 10^{(20\log(l)+b_{20})/10} \quad (49)$$

Donde,

$Q_i(l)$, es la abundancia de la talla l en el área i .

$P_i(l)$, es la proporción de individuos de la talla l en el área i .

\bar{s}_{A_i} , es el promedio de las ecoabundancias registradas en el área i .

A_i , es la superficie en mn^2 del área i .

$\bar{\sigma}_{bs_i}$, es la sección transversal de retrodispersión de peces en el área i .

b_{20} , es el parámetro de la relación entre la fuerza de blanco y el logaritmo de las tallas de anchoveta.

Cabe resaltar que se utilizó las ecuaciones de fuerza de blanco (TS) de la especie anchoveta, las cuales fueron descritas en Gutierrez et al. (2002), Simmonds y MacLennan (2005) (Tabla 6). Con respecto a la biomasa por AIP, se calcula al sumar los productos de las abundancias por los pesos medios a la talla:

$$B_i = \sum_l Q_i(l)W(l) \quad (50)$$

Siendo,

$$W(l) = al^b \quad (51)$$

Donde,

B_i , es la biomasa estimada para el área i .

$W(l)$, es el peso medio de los individuos de la talla l .

a , es el factor de condición estimado para el stock.

b , es el factor alométrico de crecimiento en peso estimado para el stock.

Los valores de a y b son estimados a partir del ajuste de un modelo potencial a los datos talla-peso de los individuos muestreados.

Por lo tanto, la abundancia por tallas y biomasa de todo el stock son calculadas al sumar las estimaciones hechas por AIP:

$$Q(l) = \sum_i Q_i(l) \quad (52)$$

$$B = \sum_i B_i \quad (53)$$

Donde,

$Q(l)$, es la abundancia por tallas de todo el stock.

$Q_i(l)$, es la abundancia por tallas en el área i .

B , es la biomasa de todo el stock.

B_i , es la biomasa en el área i .

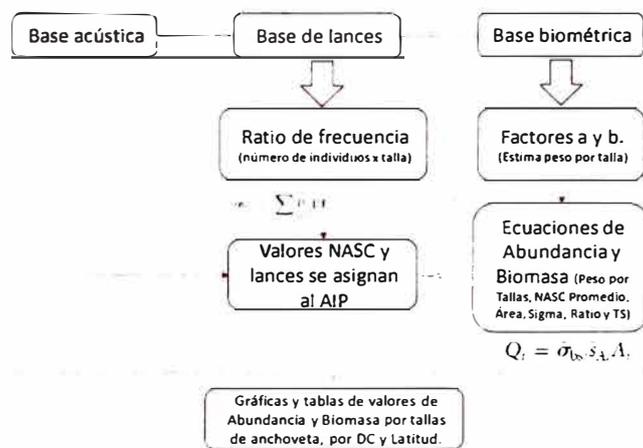
La codificación del cálculo de estimación de biomasa por tallas se realizó a través del software estadístico *RStudio*. Los datos que se utilizaron como fuente de entrada, fueron los datos acústicos, llamados "Bitácora de Celdas 120 kHz Cr. 2102-04" (Anexo 4) y los datos biométricos, denominados "Pelágico Cr. 2102-04". A partir de los datos

biométricos, se filtró y transformó una base de datos de lances de anchoveta, que incluyó la frecuencia por tallas y se denominó, "Cr. 2102-04_Tallas" (Anexo 5).

El esquema de los cálculos de estimación de biomasa por estructura de tallas de anchoveta se realizó por el método de estratificación de AIP (10x30 mn) (Figura 17). Sin embargo, esta metodología acústica, principalmente sustituye el peso de la talla promedio, por el peso de la distribución de tallas por cada AIP (Figura 18).

Figura 17

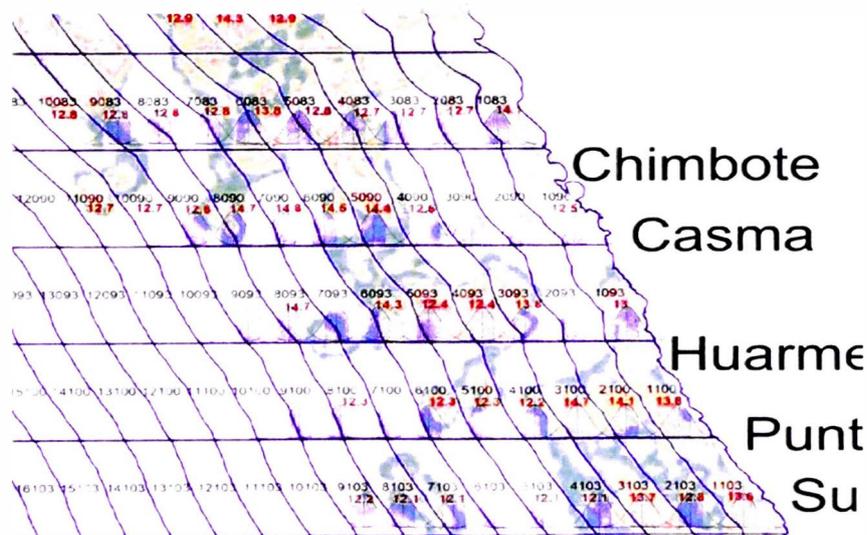
Esquema de datos para estimación de biomasa por estructura de tallas



Nota: Fuente: Área Funcional de Hidroacústica - IMARPE

Figura 18

Representación de las distribuciones por estructura de tallas



Nota: Distribución de tallas anchoveta por cada AIP. Fuente: Área Funcional de Hidroacústica - IMARPE

3.2.3 Estimación de biomasa acústica con el método bootstrapping

Las estimaciones de abundancia y biomasa por la estructura de tallas de la anchoveta aplicando el método bootstrapping se realizan con el fin de incorporar la incertidumbre asociada con los datos recolectados, así como, estimar el riesgo de tomar decisiones basándose en dicha información.

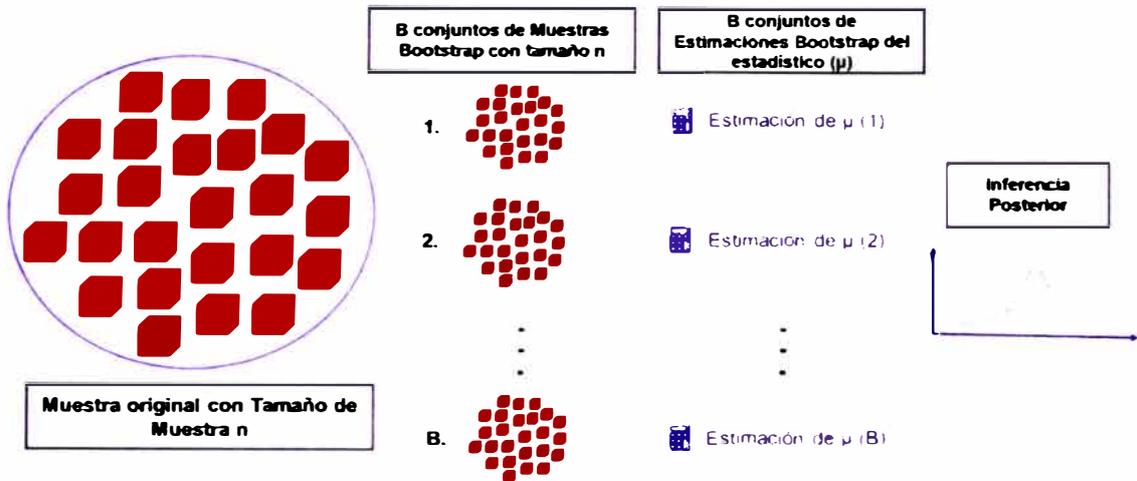
El método de bootstrapping o remuestreo con reemplazo, es el método utilizado para estimar las réplicas de biomasa y tiene como ventaja permitir la incorporación de múltiples fuentes de incertidumbre (Simmonds & MacLennan, 2005; Simmonds et al. 2009) y proporcionar mejores inferencias estadísticas para datos con distribuciones no conocidas (Figura 19).

De acuerdo con Simmonds et al. 2009, para la estimación de la abundancia y biomasa acústica de la anchoveta las principales fuentes de incertidumbre provienen del muestreo de ecoabundancias (NASC) y de la composición por especies de dichas ecoabundancias y su estructura por tallas.

En tal sentido, esta metodología utiliza las Ecuaciones 48 a 53 repitiendo una cantidad determinada de "B" veces, remuestreando en cada oportunidad la información acústica y biológica anteriormente mencionada, con el propósito de generar la misma cantidad de vectores de abundancia y biomasa por estructura de tallas. Cabe señalar que, los límites de confianza de la biomasa se establecen a partir de los percentiles 2.5 y 97.5 de "B" réplicas de sus estimados globales (Figura 20).

Figura 19

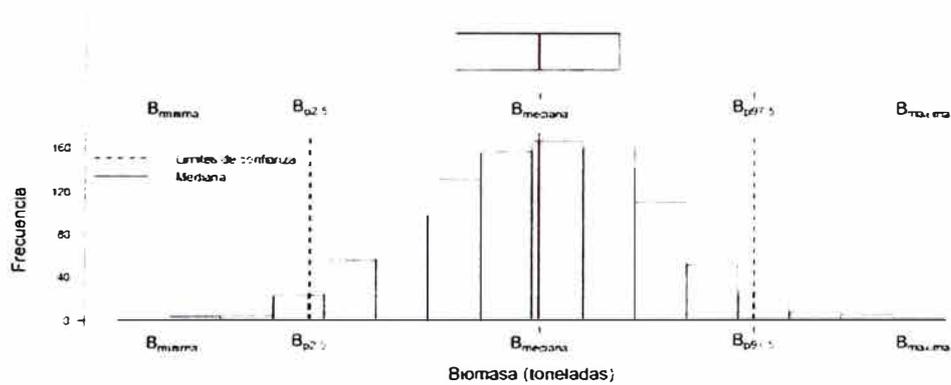
Representación del método bootstrapping



Nota: Fuente: Área Funcional de Hidroacústica - IMARPE.

Figura 20

Representación de réplicas de biomasa utilizando bootstrapping



Nota: Tomado del Protocolo "Elaboración de la Tabla de Decisión para la determinación del Limite Máximo de Captura Total Permisible por temporada de pesca en la pesquería del Stock Norte-Centro de la anchoveta peruana". Fuente: IMARPE.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Biomasa acústica de la anchoveta

Según el análisis y cálculos del crucero 2102-04, la estimación de biomasa acústica del Stock Norte Centro de la anchoveta fue de 9.881 millones de toneladas (t). Dicho valor fue 17% superior a la biomasa obtenida durante la primavera de 2020 (Cr. 2009-11, con 8.423 millones t) e inferior en -2% a lo estimado durante el verano del año anterior (Cr. 2002-04). (Figura 21)

Se evidenció que la anchoveta se distribuyó hasta las 80 mn de distancia a la costa, el 33.4% de la biomasa se localizó dentro de las primeras 10 mn, mientras que el 73.1% de la misma se localizó dentro de las primeras 30 mn. Con respecto al análisis latitudinal, la biomasa se repartió en un 50.3% distribuido en la zona norte del mar peruano, es decir entre Punta Sal ($\sim 3^{\circ}50'S$) y Huarmey ($\sim 09^{\circ}59'S$), mientras que el 49.7% restante se presentó en la zona central, es decir entre Huarmey ($\sim 10^{\circ}00'S$) y Chala ($\sim 16^{\circ}00'S$) (Figura 22).

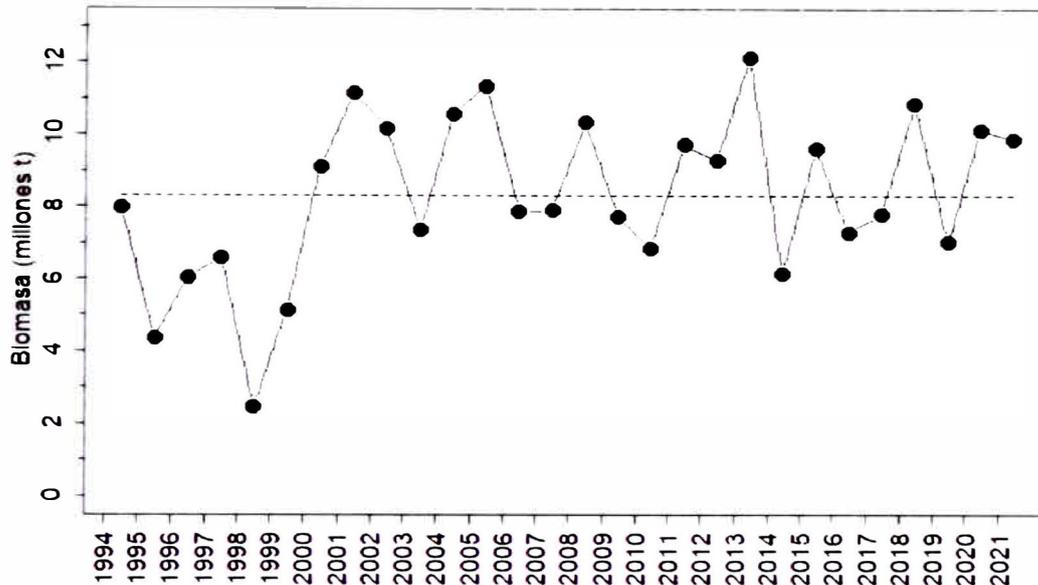
Cabe resaltar que la distribución horizontal o espacial de la anchoveta se observó una continuidad a lo largo de la costa entre Paita y Bahía Independencia. Luego, dentro de la zona costera (0,5 a 15 mn de la costa) entre Paita-Mórrope, y una zona amplia entre Chicama-Chimbote y frente a Punta Bermejo (0,5 a 80 mn de la costa). Además, se evidenció abundancia en la zona costera de las 55 mn entre Mórrope y Bahía Independencia con presencia de altas concentraciones o áreas densas de anchoveta (Figura 23). En ese sentido, se observó una alta concentración que generó la formación de cardúmenes de mayor tamaño y biomasa (características morfométricas y energéticas) favorables para la flota pesquera.

Con respecto al nivel de tamaño, la distribución de anchoveta adulta (modas mayor o igual a 12 cm) fue registrada en áreas de mayor densidad principalmente entre Mórrope y San Juan de Marcona; quiere decir, que se detectaron en diversos núcleos a lo largo de esta franja costera localizados en: Mórrope-Pacasmayo, Pimentel-Chimbote,

Casma-Huarmey, Huacho-Pucusana, Cerro Azul-bahía Independencia y Punta Caballas-San Juan de Marcona. Por otro lado, la distribución de anchoveta juvenil (modas menor a 12cm) se concentró principalmente cerca de la costa entre Mórrope-Salaverry, sur de Salaverry, Huarmey, Callao-Pucusana y Punta Infernillos-Ocoña (Figura 20).

Figura 21

Serie de biomasa acústica de anchoveta



Nota: Serie de biomasa acústica de anchoveta en periodos de verano desde 1994 hasta 2021. Tomado del Informe del "Crucero de evaluación hidroacústica de anchoveta y otros recursos pelágicos 2102-04". Fuente: IMARPE.

Figura 22

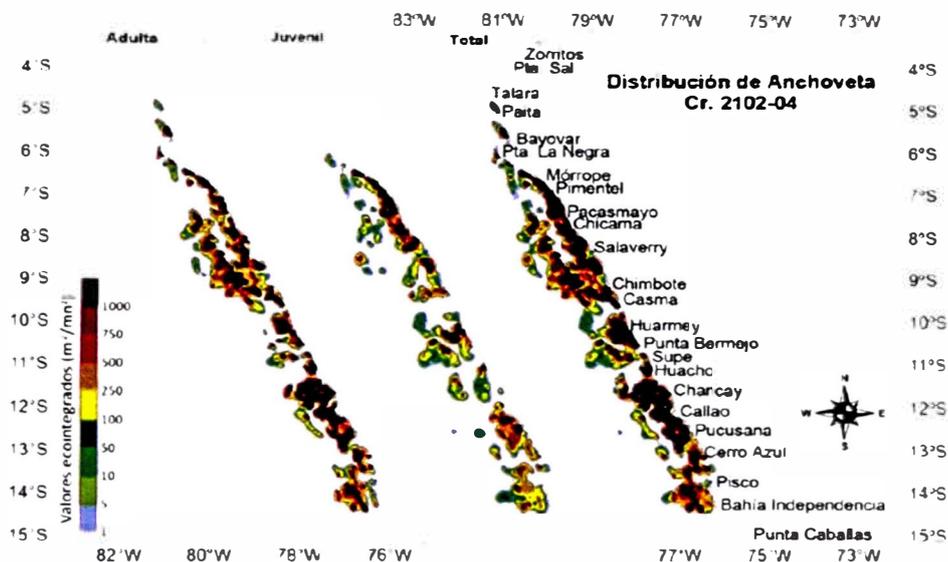
Biomasa acústica de anchoveta por grado latitudinal y distancia a costa

% Lat	Total	70-80	60-70	50-60	40-50	30-40	20-30	10-20	05-10	Dist/Lat
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	03° - 04°
0.06	5709	0	0	0	0	0	0	0	5709	04° - 05°
2.82	278583	0	0	0	0	0	0	0	278583	05° - 06°
7.74	764378	0	0	0	0	0	281	48407	715690	06° - 07°
10.60	1047348	0	2550	85801	154290	46726	122831	268499	366651	07° - 08°
15.09	1491441	56589	42627	150667	312562	165455	219667	366452	177423	08° - 09°
14.03	1386073	16771	46691	120455	138122	248822	147523	255226	412463	09° - 10°
12.43	1227684	0	12932	15779	80776	165887	325016	246840	380453	10° - 11°
15.97	1577514	0	0	933	65701	233967	346130	307462	623321	11° - 12°
12.94	1278742	0	0	3950	42524	165685	465380	364827	236375	12° - 13°
5.85	578330	0	0	13885	30932	140110	150509	157136	85758	13° - 14°
2.48	244863	0	253	1903	13196	82083	92869	37768	16791	14° - 15°
	9880665	73360	105054	393373	838103	1248735	1870206	2052618	3299216	Total
100%		0.7	1.1	4.0	8.5	12.6	18.9	20.8	33.4	% Dist

Nota: Tomado del Informe del "Crucero de evaluación hidroacústica de anchoveta y otros recursos pelágicos 2102-04". Fuente: IMARPE.

Figura 23

Distribución espacial de la biomasa acústica de anchoveta



Nota. Distribución espacial de la anchoveta de acuerdo con los niveles de ecointegración del Cr. 2102-04. Se indica la distribución adulta (moda ≥ 12 cm), la distribución juvenil (moda < 12 cm) y la distribución total. Informe del "Crucero de evaluación hidroacústica de anchoveta y otros recursos pelágicos 2102-04". Fuente: IMARPE.

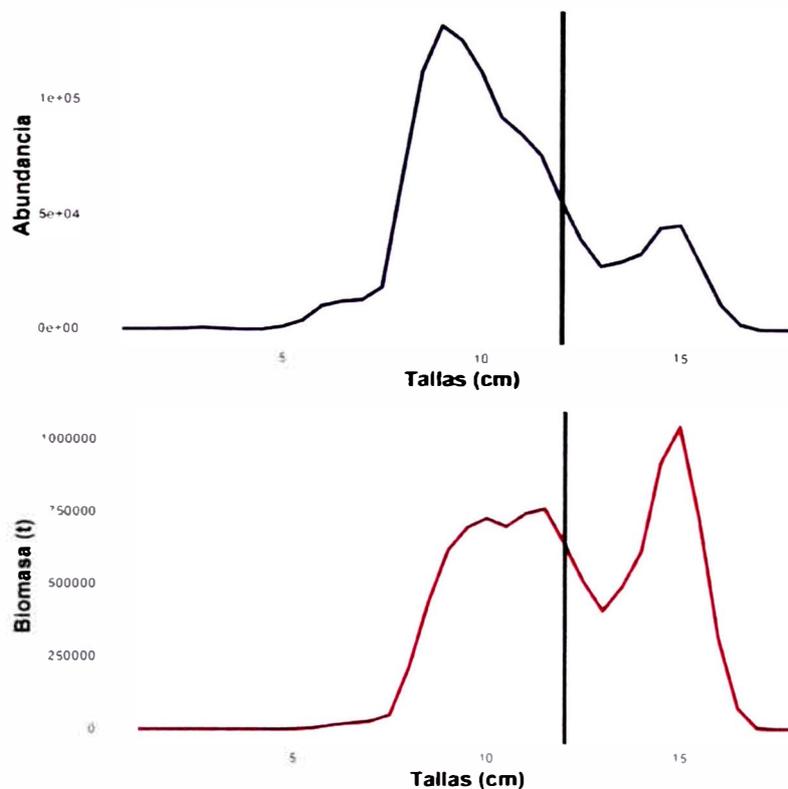
4.2 Biomasa por estructura de tallas de la anchoveta

El resultado de la estimación de biomasa acústica por estructura de tallas de anchoveta fue de 10.734 millones de t. Dicha biomasa representa a un 8% superior a lo estimado por la metodología convencional de evaluación acústica. La diferencia principal recae en la sustitución de la talla promedio de cada área isoparalitoral por la distribución de tallas de la anchoveta. Por lo que se evidenció un incremento significativo en la biomasa al utilizar el rango completo de tallas.

Las tallas de anchoveta observadas durante el Cr. 2102-04 abarcaron entre 2.0 cm y 18.0 cm de longitud total, observándose una moda principal en 9.5 cm (individuos de ~0.5 años de edad) y moda secundaria de 14.5-15.0 cm (individuos de ~1.5-2.0 años de edad). Cabe resaltar, que los resultados demostraron un porcentaje de anchoveta juvenil fue del 73% en abundancia o número de individuos y del 47% en biomasa o unidades de peso. (Figura 24)

Figura 24

Abundancia y biomasa por tallas de la anchoveta del Cr. 2102-04

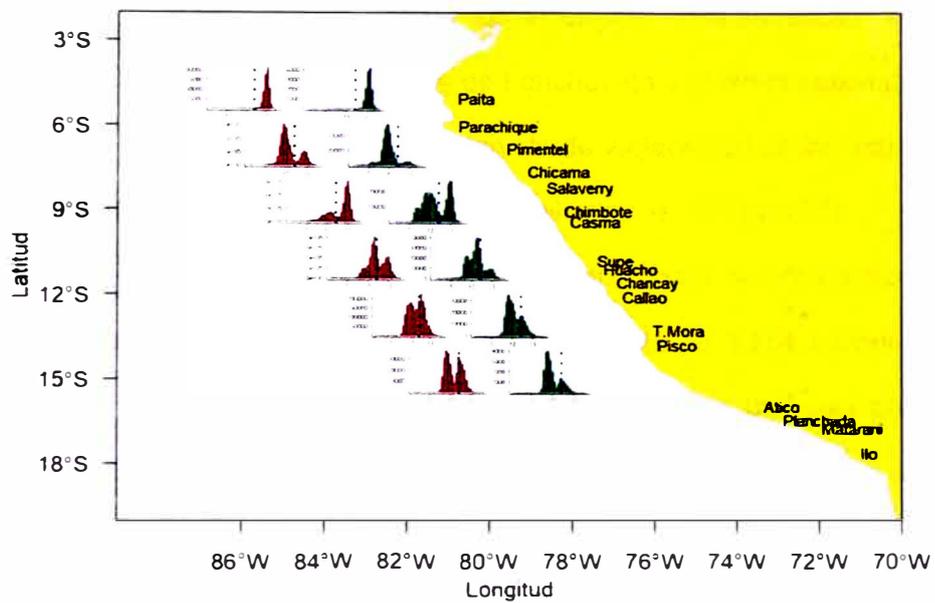


Nota: Distribución de abundancia (línea azul - arriba) y biomasa (línea roja - abajo) la anchoveta. La línea vertical negra que intercepta la talla 12 cm representa el límite entre anchoveta juvenil y anchoveta adulta. Fuente: IMARPE.

La distribución espacial de la abundancia y biomasa por estructura de tallas presentó concentraciones bajas de cardúmenes de anchoveta adulta en la zona norte desde Paita hasta Parachique. Además, se presentó alta concentración de anchoveta juvenil con modas de 10.0 cm frente a Pimentel. Cabe indicar que se presentaron biomazas con distribuciones bimodales con modas 9.0 cm y 12.0 cm desde Callao hasta Bahía Independencia (Figura 25). A nivel latitudinal general, se evidenció diferencias en la presencia de la anchoveta adulta, la cual, se concentró entre Huarmey y Chimbote, mientras que, la anchoveta juvenil presentó mayor biomasa entre Punta La Negra y Chicama y en las zonas de Callao y Chancay (Figura 26).

Figura 25

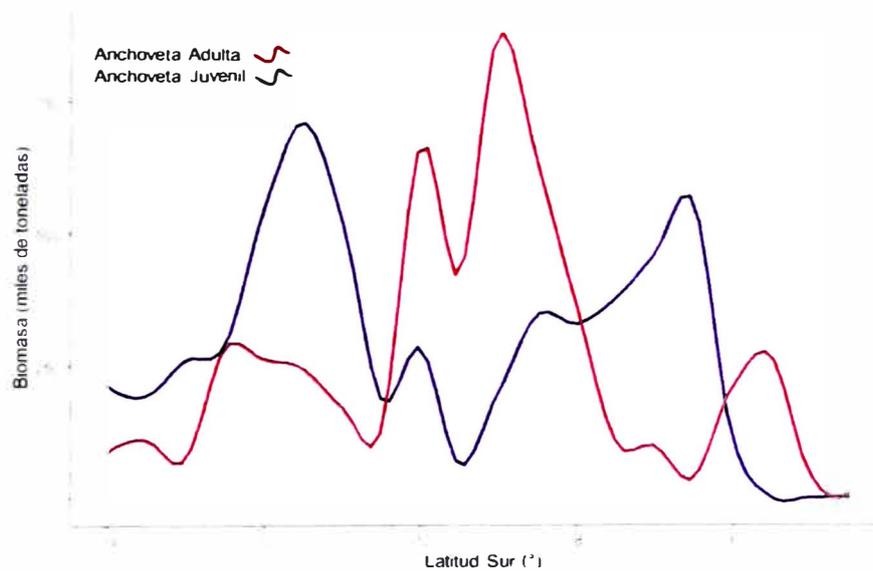
Distribución espacial de abundancia y biomasa por tallas de la anchoveta.



Nota: Distribución histogramas de abundancia (verde) y biomasa (rojo) por estructura de tallas de anchoveta para cada 2 grados de latitud.

Figura 26

Biomasa de anchoveta adulta y juvenil por latitud.



Nota: Distribución de biomasa anchoveta adulta y juvenil en línea roja y azul respectivamente por grado latitud.

4.3 Biomasa por estructura de tallas de la anchoveta con bootstrapping

Los resultados de la estimación de la biomasa acústica por estructura de tallas aplicando el método bootstrapping obtuvo las siguientes características: se determinó límite de biomasa inferior de 7.775 millones de t anchoveta y el límite máximo de biomasa de 9.447 millones de t, quiere decir que el intervalo de variabilidad de las estimaciones de biomasa se encontró a una diferencia menor a 2 millones de t (Figura 27).

A partir de un total de 69 réplicas de remuestreo para la información acústica y biológica, se generó una biomasa promedio de anchoveta de 8.554 millones de t. Esta última estimación de biomasa representa un 13% inferior a la biomasa por el método acústico y un 20% inferior respecto la biomasa por estructura de tallas sin la aplicación de réplicas de remuestreo.

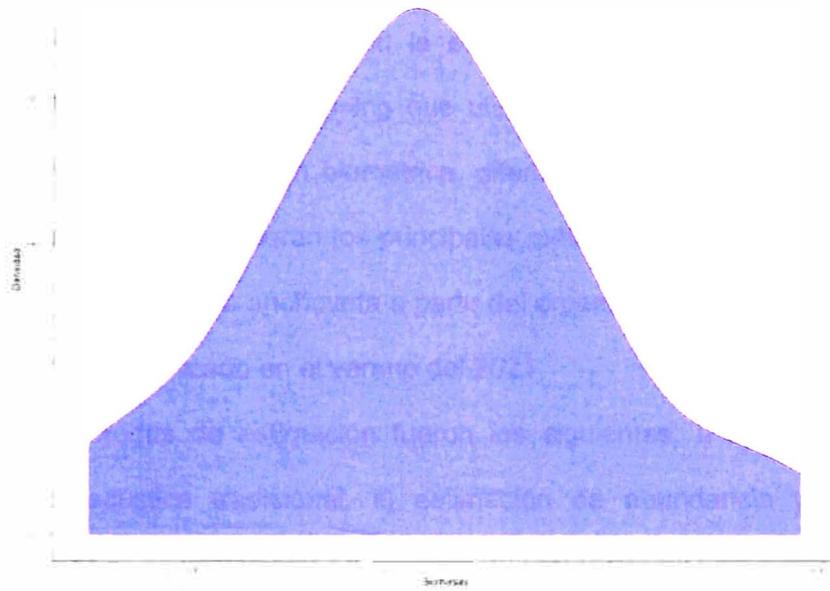
La diferencia principal con respecto al resultado de este método es la inclusión del error estándar de muestreo no solo biométrico por estructura de tallas, sino, por la variabilidad de datos de ecoabundancia (NASC) de anchoveta por AIP, que normalmente presentan distribuciones asimétricas con valores altos o atípicos de NASC.

Con respecto al ratio o fracción por estructura de tallas es posible ponderarlo por diferentes métodos: según la proporción de especies del lance, o utilizando la ponderación al peso, y/o a la ecoabundancia cercana al lance por cada AIP. En este estudio, se consideró la fracción del número de individuos por talla de anchoveta del total de captura.

Otro punto importante por resaltar es que se utilizó el indicador de cobertura igual al valor de la unidad (1) dentro de la estimación de biomasa acústica por AIP, sin embargo, se debe identificar los casos donde los transectos del rastreo acústico durante los cruceros pasan por una porción muy pequeña del AIP, por lo tanto, el índice debe ser una proporción (< 1) del AIP en evaluación.

Figura 27

Réplicas de biomasa por el método bootstrapping



Nota: Distribución réplicas de biomasa de anchoveta para los límites de variabilidad utilizando el método de bootstrapping.

Conclusiones

En este trabajo de suficiencia profesional se planteó como objetivo principal establecer los límites de variabilidad en la estimación de biomasa de la anchoveta aplicando una metodología bootstrapping que utiliza datos acústicos de abundancia e incorpora al cálculo, la información biométrica, diferenciado por la estructura de tallas. Para dicho propósito se describieron los principales métodos acústicos donde se calculó la abundancia y biomasa de la anchoveta a partir del crucero de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos realizado en el verano del 2021.

Los tres métodos de estimación fueron los siguientes: i) la estimación por la metodología hidroacústica tradicional, ii) estimación de abundancia y biomasa por estructura de tallas, y iii) estimación de la biomasa por estructura de tallas aplicando el bootstrapping.

En primer lugar, se concluye que mediante la metodología tradicional utilizando los valores de ecoabundancia NASC y tallas promedio por AIP, se obtuvo una biomasa acústica de 9.881 millones de toneladas (t) de anchoveta. El segundo método estimó la abundancia y biomasa acústica utilizando la estructura de tallas de la anchoveta en cada AIP, con un valor que ascendió a los 10.734 millones de t. Por último, el tercer método implementó la técnica del bootstrapping en la estimación biomasa por estructura de tallas, obteniendo los límites de variabilidad desde un límite inferior de 7.775 millones de t hasta un límite máximo de 9.447 millones de t, con una biomasa promedio de 8.554 millones de toneladas.

Sobre la incorporación del método bootstrapping en el cálculo de biomasa se concluye que su implementación fue relevante para incluir la incertidumbre proveniente de las evaluaciones hidroacústicas. Este método permitió modelar la inferencia sobre una población mediante un nuevo muestreo de los datos acústicos y biométricos, realizando la inferencia a partir de datos remuestreados.

Además, sobre los límites de variabilidad en la estimación de biomasa acústica, desde el punto de vista estadístico, se concluye que la aplicación del método bootstrapping en la estimación de biomasa por estructura de tallas de la anchoveta benefició la efectividad para establecer los intervalos de confianza que reflejan la incertidumbre asociada con las mediciones acústicas y los datos biométricos durante los cruceros de evaluación hidroacústica.

Finalmente, desde el punto de vista acústico pesquero, los límites de variabilidad en las aplicaciones de evaluación hidroacústica para estimar la población de la anchoveta permitieron un mejor conocimiento del estado actual de este recurso predominante, con el fin de recomendar estrategias de gestión que garanticen su conservación y sostenibilidad en el tiempo, asegurando así la viabilidad de la pesquería y el ecosistema marino peruano.

Recomendaciones

La estimación de biomasa acústica de la anchoveta es un proceso de gran importancia para garantizar la sostenibilidad y el manejo pesquero del recurso en el ecosistema marino peruano, por lo que se recomienda la aplicación de nuevos métodos de estimación como el bootstrapping para fortalecer los estudios científicos en el Área Funcional de Hidroacústica, IMARPE.

Con respecto a los datos acústicos, se utilizaron las ecuaciones de fuerza de blanco (TS) tradicionales descritas en Gutierrez et al. (2002), Simmonds y MacLennan (2005), sin embargo, se recomienda aplicar los parámetros según Simmonds et. al. 2009, para evaluar el performance de los métodos.

Con respecto a los datos biométricos, se identificó ausencia de distribuciones de tallas de anchoveta en diferentes áreas isoparalitorales (AIP), debido a la complejidad y costo para incrementar el muestreo por lances de pesca. Así mismo, se obtuvo un gran cantidad de AIP a una distribución sesgadas a una talla juvenil o adulta. Por ende, se sugiere, aplicar métodos de interpolación por geoestadística con el objetivo de elevar la diversidad en las estructuras por tamaños de la anchoveta en todo el mar peruano.

De acuerdo con la metodología de bootstrapping se recomienda estimar diferentes escenarios de réplicas $B=50, 100, 200$ o 1000 para determinar el número óptimo de réplicas necesarias en la estimación de biomasa acústica por estructura de tallas y establecer los límites de variabilidad permisibles en la abundancia de anchoveta.

A pesar de que las estimaciones de la biomasa de anchoveta realizadas durante el crucero 2102-04 permitieron concluir que la población de anchoveta se encontró abundante y saludable en el ecosistema marino peruano, se recomienda continuar con un adecuado monitoreo y manejo sostenible de la pesca, puesto que su distribución y abundancia puede verse alterada de manera repentina por eventos oceanográficos anómalos.

Referencias bibliográficas

- Abad, R. C., & Casal, R. F. (2020). *Técnicas de Remuestreo*. Madrid: https://rubenfcasal.github.io/book_remuestreo.
- Bazigos G. (1976). *Applied Fishery Statistics*. FAO Fish. Tech. Pap. (135):164 pp.
- Castillo, R., Aparco, LLC., Grados, D., Cornejo, R., Guevara, R., et al. (2020). *Anchoveta (Engraulis ringens) Biomass in the Peruvian Marine Ecosystem Estimated by Various Hydroacoustic Methodologies during Spring of 2019*. *J Mar Biol Oceanogr* 9:2.
- Castillo, R., Peraltilla, S., Aliaga, A., Flores, M., Ballón, M., Calderón, J., & Gutiérrez, M. (2009). *Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano*. Versión 2009.
- Castillo, R., Cornejo Urbina, R., La Cruz, L., Grados, D., Cuadros, G., Valdez, C., Paz, A. & Pozada, M. (2021). *Abundancia de anchoveta (Engraulis ringens) y otras especies pelágicas estimadas por el método hidroacústico en el ecosistema marino peruano en el 2020*. *Inf Inst Mar Perú*, 48(3), 327-349.
- Castillo, P. R., Valdez, C., Grados, D., Pozada, M., Cuadros, G., Paz, A., Cornejo, R. & Escudero, L. (2022). *Distribución y biomasa de los principales recursos pelágicos determinados por acústica, verano-otoño 2021*. *Inf Inst Mar Perú*, 49(2), 175-192.
- Debertin, A. J. (2020). *Estimating the biomass of a mixed species complex using hydroacoustics and catch data from the Bay of Fundy and Scotian Shelf summer ecosystem survey*. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 77(7), 1101-1116.
- Demer, D.A., Berger, L., Bernasconi, M., Bethke, E., Boswell, K., Chu, D., Domokos, R., et al. (2015). *Calibration of acoustic instruments*. ICES Cooperative Research Report, 326, 133 pp. DOI: <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-185>

- Demer, D. A., Zwolinski, J. P., Byers, K. A., Cutter, G. R., Renfree, J. S., Sessions, T. S., & Macewicz, B. J. (2011). *Acoustic-trawl surveys of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and other pelagic fishes in the California Current ecosystem: Part 1, Methods and an example application*. Advanced Survey Technologies Program.
- Doray, M., Boyra, G., & Kooij, J. (2021). *ICES Survey Protocols – Manual for acoustic surveys coordinated under ICES Working Group on Acoustic and Egg Surveys for Small Pelagic Fish (WGACEGG). 1st Edition*. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences Vol. 64. 100 pp.
- Efron, B. (1979). *Computers and the theory of statistics: Thinking the unthinkable*. *SIAM Rev.*, 21(4): 460-480.
- Efron, B., & Tibshirani, R. (1986). Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy. *Statistical science*, 54-75.
- Efron, B., & Tibshirani, R. (1994). *An introduction to the bootstrap*. Chapman and Hall/CRC.
- Foote, K. G. (1987). *Fish target strengths for use in echo integrator surveys*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82(3), 981-987.
- Foote, K. G., & Knudsen, H. P. (1994). *Physical measurements with modern echo integrators*. *Journal of Acoustic Society of Japan (English Edition)*, 15: 393-395.
- Grados, D. (2010). *Identificación de estructuras y relaciones espaciales en los componentes del sistema de corriente de Humboldt: Una comparación de métodos estadísticos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI.
- Gutierrez, M. (2002). *Determinación de la Fuerza de Blanco (TS) de las principales especies del mar peruano* [Tesis para magister, Universidad Nacional Federico Villareal].
- Gutiérrez, M. (2014). *Dinámicas e interacciones entre las principales especies pelágicas costeras y oceánicas de la Región Norte del Sistema de la Corriente de Humboldt*

- entre 1966 y 2012. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Peru, 2014].
- Gutierrez, 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.
- 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.
- 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.
- Hewitt, R. P., Demer, D. A., & Emery, J. H. (2003). *An 8-year cycle in krill biomass density inferred from acoustic surveys conducted in the vicinity of the South Shetland Islands during the austral summers of 1991–1992 through 2001–2002*. Aquatic Living Resources, 16(3), 205-213.
- Jolly, G. M., & Hampton, I. (1990). *A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 47(7), 1282-1291.
- Koslow, J. A. (2009). *The role of acoustics in ecosystem-based fishery management*. ICES Journal of Marine Science, 66(6), 966-973.
- La Cruz, L., Castillo, R., Robles, J., Valdez, C., Cornejo, R. (2017). *Pelagic species identification using multifrequency acoustic in the Northern Humboldt Current System off Peru*. DOI: 10.1109/rioacoustics.2017.8349744.
- Lau Medrano, L. W. (2016). *Construcción de índices de biomasa para los recursos anchoveta (*Engraulis ringens*) y jurel (*Trachurus murphyi*) del Ecosistema de*

afloramiento peruano usando modelos empíricos basados en información acústica.

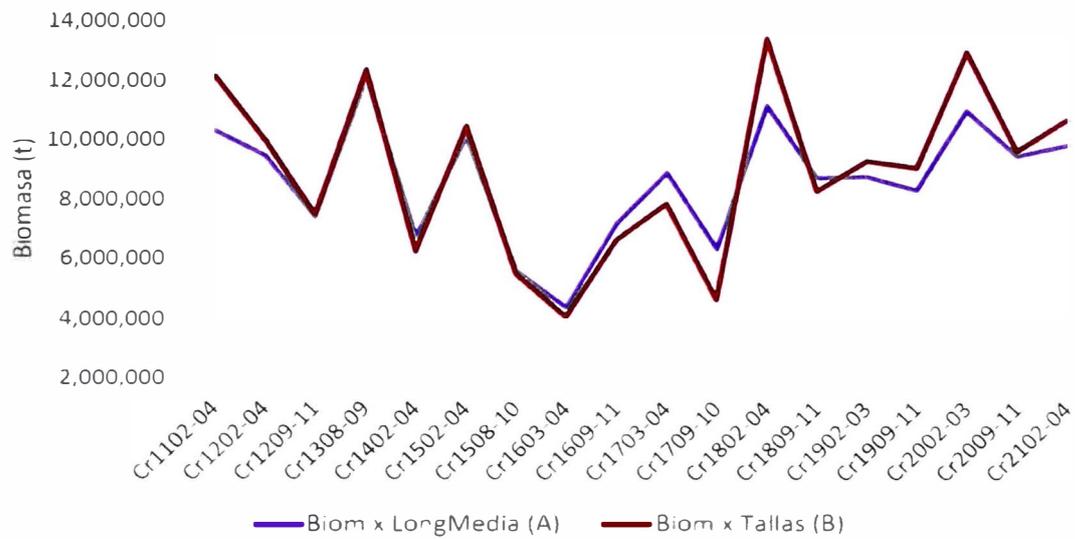
- MacLennan, D. & Fernandez, P. (2000). *Definitions, Units and Symbols in Fisheries Acoustics*. FAST-ICES Working Group Meeting. St. Johns' Newfoundland, Canada, April 1999 (Mimeo). 6pp.
- MacLennan, D. & Simmonds, J. (1992). *Fish and Fisheries Series 5. Fisheries acoustic* Chapman y Hall, London. 325 pp.
- Quiroz, Z. (2011). *Estudio de la distribución de aves marinas en relación con sus presas y la profundidad del límite superior de la zona de mínimo oxígeno en el sistema de la Corriente de Humboldt utilizando análisis de procesos puntuales y modelos lineales generalizados* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI.
- Robotham, H., & Castillo, J. (1990). *The bootstrap method: an alternative for estimating confidence intervals of resources surveyed by hydroacoustic techniques*. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer, 189, 421-424.
- Santivañez, Y. (2017). *Caracterización y Comparación de Patrones Espaciotemporales Y Nichos Ecológicos de la Múnida (Pleuroncodes Monodon) y la Anchoqueta (Engraulis Ringens) en el Mar Peruano desde 1998 hasta 2013* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Simmonds, E. J., Needle, C. L., Degel, H., Flatman, S., O'Brien, C. M., & Pastoors, M. A. (2001). *The precision of international market sampling for North Sea herring and its influence on assessment*. In International Council Exploration of the Sea Council Meeting 2001/P: 21 (2001) (pp. 1-1).
- Simmonds, E. J. (2003). *Weighting of acoustic-and trawl-survey indices for the assessment of North Sea herring*. ICES Journal of Marine Science, 60(3), 463-471.
- Simmonds, E. J., & MacLennan, D. N. (2005). *Fisheries Acoustics: Theory and Practice, 2nd Edition*. Blackwell Science, London. 437 pp.

- 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(6), 1341-1348.
- Solanas, A., & Olivera, V. (1992). *Bootstrap: fundamentos e introducción a sus aplicaciones*. Anuario de psicología/The UB Journal of psychology, 143-154.
- Ventero, A. (2016). Estudio biológico de la capa de dispersión acústica estival en el mar de Alborán y su implicación en la evaluación de pelágicos costeros. Centro Oceanográfico de Baleares.
- Woillez, M., Walline, P. D., Ianelli, J. N., Dorn, M. W., Wilson, C. D., & Punt, A. E. (2016). *Evaluating total uncertainty for biomass-and abundance-at-age estimates from eastern Bering Sea walleye pollock acoustic-trawl surveys*. ICES Journal of Marine Science, 73(9), 2208-222.

Anexos

Anexo 1: Serie de biomاسas por estructura de tallas de anchoveta.....	1
Anexo 2: Lista de símbolos para cantidades acústicas.....	2
Anexo 3: Fuentes de error en la estimación de biomasa acústica	3
Anexo 4: Bitácora acústica de frecuencia 120 kHz de Cr. 2102-04	4
Anexo 5: Consolidación de datos recopilados de Cr. 2102-04.....	5

Anexo 1: Serie de biomasa por estructura de tallas de anchoveta



Cruceros	Biom x LongMedia (A)	Biom x Tallas (B)
Cr1102-04	10,321,604	12,133,496
Cr1202-04	9,481,168	9,992,108
Cr1209-11	7,437,741	7,512,098
Cr1308-09	12,148,057	12,379,793
Cr1402-04	6,783,828	6,303,146
Cr1502-04	10,154,808	10,504,035
Cr1508-10	5,650,658	5,546,299
Cr1603-04	4,423,146	4,104,281
Cr1609-11	7,246,782	6,692,725
Cr1703-04	8,941,961	7,903,589
Cr1709-10	6,385,250	4,687,950
Cr1802-04	11,210,217	13,470,371
Cr1809-11	8,785,454	8,341,696
Cr1902-03	8,825,231	9,354,615
Cr1909-11	8,376,927	9,127,427
Cr2002-03	11,047,031	13,020,587
Cr2009-11	9,518,207	9,678,518
Cr2102-04	9,880,665	10,734,635

Anexo 2: Lista de símbolos para cantidades acústicas

Símbolo	Nombre	Ecuación de definición
σ_{ts}	Sección transversal de retrodispersión	$\sigma_{ts} = [r^2 \log(r) / l_0]$
σ	Sección transversal acústica	$\sigma = 4\pi r^2 [l(r) / l_0] = 4\pi\sigma_{ts}$
TS	Fuerza de blanco	$TS = 10 \log_{10} \sigma / 4\pi $
S_v	Coefficiente del volumen de retrodispersión	$S_v = \Delta\sigma_{ts} / \Delta V$
S_v	Coefficiente del volumen de dispersión	$S_v = 4\pi S_v = \Delta\sigma / \Delta V$
s_v	Coefficiente escalado del volumen de retrodispersión	$s_v = K S_v$
s_v	Coefficiente escalado del volumen de dispersión	$s_v = K S_v = 4\pi s_v$
S_a	Coefficiente del área de retrodispersión	$S_a = \int \frac{d^2}{dt} S_v dx$
S_a	Coefficiente del área de dispersión	$S_a = \int \frac{d^2}{dt} S_v dx = 4\pi S_a$
s_a	Coefficiente náutico del área de retrodispersión	$s_a = (1852)^2 S_a$
$s_a = NASC$	Coefficiente náutico del área de dispersión	$s_a = (1852)^2 S_a = 4\pi s_a$
S_v	Coefficiente logarítmico del volumen de retrodispersión	$S_v = 10 \log_{10} (S_v)$
SV	Coefficiente logarítmico del volumen de dispersión	$SV = 10 \log_{10} (S_v)$
s_v	Coefficiente logarítmico escalar del volumen de retrodispersión	$s_v = 10 \log_{10} (s_v)$
sV	Coefficiente logarítmico escalar del volumen de dispersión	$sV = 10 \log_{10} (s_v)$
S_a	Coefficiente logarítmico del área de retrodispersión	$S_a = 10 \log_{10} (S_a)$
SA	Coefficiente logarítmico del área de dispersión	$SA = 10 \log_{10} (S_a)$
s_a	Coefficiente logarítmico náutico del área de retrodispersión	$s_a = 10 \log_{10} (s_a)$
sA	Coefficiente logarítmico náutico del área de dispersión	$sA = 10 \log_{10} (s_a)$

Anexo 3: Fuentes de error en la estimación de biomasa acústica

Fuente de error	Error al azar	Rango	Comentario
<u>Error de índice acústico</u>			
Calibración física	±2 a 5%	±1 a 5%	Bajas frecuencias pueden ser medidas más contablemente
Movimiento de transducer		0 a -25%	Los haces angostos son más sensibles al movimiento
Atenuación de la burbuja		0 a -90%	Los sistemas montados en la quilla y los remolcados a profundidades son menos sensibles.
Condiciones hidrográficas	±2 a 5%	0 a 25%	Debido a la incertidumbre en el tamaño del blanco y la orientación.
Fuerza de blanco	±5 a 25%		Debido a la incertidumbre en el tamaño del blanco y la orientación.
Identificación de especies	0 a 50%		Depende de la mezcla del blanco y de las diferentes fuerzas de blanco entre especies.
Muestreo al azar	5 a 20%	0 a 50%	Depende de la distribución espacial, las capas pueden ser estimadas con precisión, la alta variabilidad de tamaños de cardumenes son el escenario más difícil
Comportamiento migración diurna	0 a 50%		
Abundancia	0 a 50%	0 a 30%	Bajo con buque calmo en aguas profundas abiertas peores en áreas limitadas con cardumenes poco profundos
<u>Error de la abundancia absoluta</u>			
Error de la abundancia absoluta		±3 a 10%	Peores en altas frecuencias y con haces muy estrechos
Calibración física			
Condiciones hidrográficas		±2 a 25%	Peores en altas frecuencias y largos rangos debido a la incertidumbre del coeficiente de absorción
Fuerza de blanco		0 a 50%	Es mejor para peces que tienen vejiga natatoria. Peor para especies de profundidad.

Anexo 4: Bitácora acústica de frecuencia 120 kHz de Cr. 2102-04

Transect	Date_M	Time_M	Lat_M	Lon_M	NASC ANC	Survey	Vessel
24	20210304	07:15:20.1880	-6.616	-80.572	346.09	Small Pelagics	Flores
24	20210304	07:22:12.4110	-6.625	-80.586	114.98	Small Pelagics	Flores
24	20210304	07:29:05.1680	-6.633	-80.601	3.96	Small Pelagics	Flores
24	20210304	07:35:58.9730	-6.642	-80.615	1.04	Small Pelagics	Flores
24	20210304	07:42:49.7580	-6.650	-80.630	30.05	Small Pelagics	Flores
24	20210304	07:49:38.0040	-6.658	-80.644	111.96	Small Pelagics	Flores
24	20210304	07:56:29.7260	-6.666	-80.659	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:03:24.3470	-6.675	-80.674	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:10:14.2800	-6.683	-80.688	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:17:05.0970	-6.693	-80.702	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:23:53.5920	-6.703	-80.715	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:30:42.2120	-6.713	-80.729	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:37:27.7130	-6.723	-80.742	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:44:10.7120	-6.733	-80.755	5.65	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:50:51.2250	-6.743	-80.769	56.8	Small Pelagics	Flores
24	20210304	08:57:30.4290	-6.750	-80.784	9.72	Small Pelagics	Flores
24	20210304	09:04:03.7910	-6.754	-80.801	2.94	Small Pelagics	Flores
24	20210304	09:10:39.6520	-6.760	-80.816	1.87	Small Pelagics	Flores
24	20210304	09:17:15.6160	-6.768	-80.831	4.7	Small Pelagics	Flores
24	20210304	09:24:49.9780	-6.777	-80.847	17.26	Small Pelagics	Flores
24	20210304	09:39:14.0400	-6.785	-80.860	7.74	Small Pelagics	Flores
24	20210304	10:00:59.3470	-6.791	-80.876	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	10:17:48.9340	-6.794	-80.888	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	10:37:45.0050	-6.809	-80.904	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	10:44:16.0180	-6.818	-80.918	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	10:50:50.3490	-6.827	-80.932	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	10:57:32.0010	-6.836	-80.946	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	11:04:16.2960	-6.845	-80.960	0	Small Pelagics	Flores
24	20210304	11:11:02.9960	-6.853	-80.975	0	Small Pelagics	Flores

Anexo 5: Consolidación de datos recopilados de Cr. 2102-04

NOMBRE OF. LATITUD INICIAL	LONGITUD INICIAL	FEC INICIO	FEC FIN	CAPTURA AC	NOMBRE COMERCIAL	REE NPESOR	REE NPESOR	REE NPESOR	LONGITUD PREC	SAMPLE	PESO	
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	16.5	3	93.2
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	16	10	256.8
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	15.5	17	389.8
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	15	22	472
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	14.5	30	588.6
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	14	22	296.4
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	13.5	20	323.2
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	13	20	295
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	12.5	33	425.8
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	12	51	585.6
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	11.5	106	1059.8
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	11	116	1023.6
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	10.5	131	394.2
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	50.5	11142.2	10	177	1150.9
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	9.5	288	1583.8
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	9	251	1226.4
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	8.5	66	277.8
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	8	1	1.8
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	7	1	2.9
CR 2102-04	8 116	79 47833333	8/03/2021 18:18	8/03/2021 18:37	52.5 ANCHOVETA	PELAQUILLA	52.5	52.5	11142.2	6.5	1	1.6
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	16	1	26.3
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	15.5	3	76.9
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	15	11	231.3
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	14.5	16	332.2
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	14	10	184.7
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	13.5	7	121.4
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	13	5	75.3
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	12.5	11	141.9
CR 2102-04	8 219	79 3105	8/03/2021 23:49	9/03/2021 00:07	71 ANCHOVETA	PELAQUILLA	10 6528	71	10652.8	12	26	297.7

buque	fecha	lat	lon	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	drop	code	
1 ATLANTICO	1/03/2021	8 120863	79 38155	277	30	78	90	53	17	0	0	0	0	0309772	4080
3 ATLANTICO	2/03/2021	8 740717	79 88103	200	13	38	70	53	22	0	0	0	0	07287449	6083
4 ATLANTICO	3/03/2021	9 216383	79 58787	221	25	61	70	42	18	0	0	0	0	NA	7090
5 ATLANTICO	3/03/2021	9 371367	79 5817	206	21	53	67	46	11	4	1	0	0	8203991	6090
1 CLAUDA ES	2/03/2021	8 462833	80 439	204	26	56	67	45	8	0	0	0	0	1	8050
2 CLAUDA ES	2/03/2021	8 899333	80 17317	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0015131	6083
3 CLAUDA ES	2/03/2021	8 766	79 593	197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	03448919	5083
4 CLAUDA ES	3/03/2021	8 979	79 64133	246	25	68	86	42	20	3	0	0	0	0 625	6083
6 CLAUDA ES	3/03/2021	9 535	79 16183	189	4	12	47	61	54	10	1	0	0	09779048	4093
1 DALMACIA	2/03/2021	8 532667	79 84633	344	20	67	146	67	20	3	0	0	0	NA	5083
2 DALMACIA	3/03/2021	8 945333	79 94317	318	5	50	119	96	43	0	0	0	0	0 386755	7083
3 DALMACIA	3/03/2021	9 038333	79 4775	350	64	78	72	35	8	1	3	0	0	0 3866071	5090
9 DALMACIA	7/03/2021	11 38117	78 291	299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 9547021	4110
19 FLORES	26/02/2021	5 489167	81 36633	1071	35	174	309	367	149	29	2	0	0	1	1050
23 FLORES	27/02/2021	5 944633	81 17417	370	22	59	138	115	92	10	0	0	0	0 6378125	1053
35 FLORES	3/03/2021	6 336333	80 8485	826	163	214	182	64	20	2	0	0	0	1	1060
38 FLORES	4/03/2021	6 817833	80 44633	804	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0 8038572	2063
39 FLORES	4/03/2021	6 477167	80 32133	1178	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0 3903995	1060
40 FLORES	4/03/2021	6 783833	80 859	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 1260128	3063
42 FLORES	4/03/2021	6 743167	80 4505	1169	120	56	28	4	1	0	0	0	0	0 996137	2063
43 FLORES	4/03/2021	6 7465	80 11517	1053	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0 398738	1063
45 FLORES	5/03/2021	6 839667	80 34233	1192	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0 8963675	1063
46 FLORES	5/03/2021	7 058633	80 30667	1005	22	18	15	12	3	4	0	0	0	0 9968792	2070
49 FLORES	6/03/2021	7 285333	79 11117	1065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 546579	1070
50 FLORES	6/03/2021	7 4485	79 99117	890	43	43	16	12	4	1	0	0	0	0 1	3070
51 FLORES	6/03/2021	7 506833	79 749	1021	3	1	2	4	0	0	0	0	0	0 919426	2073
52 FLORES	6/03/2021	7 733	79 79233	810	22	27	21	9	8	0	0	0	0	0 1186048	2073