

ARTÍCULO / ARTICLE

Mediciones de la fuerza de blanco *ex situ* del pez espejo *Selene peruviana*

Ex Situ target strength measurements of the Peruvian moonfish *Selene peruviana*

Naldi Herrera^{1*}

0009-0006-2908-2136
nherrera@imarpe.gob.pe

Luis La Cruz²

0000-0002-2208-4538
luis.lacruz@ifop.cl

Mariano Gutierrez³

0000-0001-8500-717X
mgutierrez@ihma.org.pe

1. Instituto del Mar del Perú (Imarpe). Esq. Gamarra and General Valle s/n. Chucuito. Callao. Perú.
2. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile.
3. Instituto Humboldt de Investigación Marina y Acuicola (IHMA), Lima, Perú.

* Autor de correspondencia / Corresponding autor

Recibido / Received: 07/03/2024

Aceptado / Accepted: 02/08/2024

Citación / Citation: Herrera, N.; La Cruz, L.; Gutierrez, M. 2025. Mediciones de la fuerza de blanco *ex situ* del pez espejo *Selene peruviana*. Bol. Invest. Mar. Cost., 54(1): 33-48

RESUMEN

Las mediciones de la fuerza de blanco (*TS*) son fundamentales para estimar distribución y abundancia de los recursos hidrobiológicos en evaluaciones realizadas mediante técnicas hidroacústicas. En este estudio, se realizaron mediciones de *TS ex situ* del pez espejo *Selene peruviana* en el área norte del Perú, frente a la playa Los Órganos (Piura) durante el otoño de 2015. El objetivo principal fue establecer una relación logarítmica lineal entre la longitud total (cm) del pez espejo y la energía acústica retrodispersada (*TS*, dB re 1 m²), utilizando una ecosonda científica Simrad EK60 operando un transductor de haz dividido de 120 kHz. El valor experimental del *TS ex situ* promedio del pez espejo para ejemplares entre 10.9 y 17.6 cm con longitud promedio de 13.77 cm fue de -48.96 dB, con un intervalo de confianza de 95 % entre -50.10 y -48.06 dB. El modelo para la relación entre *TS*-Longitud fue $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{ cm}) - 71.74 \text{ dB}$. Estos resultados son de relevancia tanto para ecólogos especializados en peces como para administradores e investigadores de recursos pesqueros. Por lo tanto, es crucial realizar un análisis más exhaustivo, incluyendo un mayor número de especies de peces costeros en este tipo de estudios.

Palabras clave: Fuerza de blanco, recursos costeros, FAO, stock, manejo.

ABSTRACT

Target strength (*TS*) measurements are fundamental to estimate the distribution and abundance of hydrobiological resources in hydroacoustic assessments. In this study, *ex situ TS* measurements of the Peruvian moonfish *Selene peruviana* were carried out in northern Perú, off Los Órganos beach (Piura), during the fall of 2015. The main objective was to determine a log-linear relationship between the total length (cm) of the moonfish and the backscattered acoustic energy, using a Simrad EK60 echo sounder operating a 120 kHz split beam transducer. The average *ex situ* experimental *TS* value for 10.9-17.6 cm with an average length of 13.77 cm was -48.96 dB, with a 95 % confidence interval between -50.10 and -48.06 dB. The model developed for the *TS*-length relationship was $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{ cm}) - 71.74 \text{ dB}$. These results hold significant importance for fish ecologists and fishery resource managers and researchers. Therefore, it is paramount to perform a more thorough analysis, including a larger number of coastal fish species in this type of study.

Key words: Target strength, coastal resources, FAO, stock, management.

INTRODUCCIÓN

El pez espejo, *Selene peruviana*, pertenece a la familia Carangidae y posee un comportamiento bentopelágico. Estos organismos están caracterizados por formar cardúmenes, habitando tanto en el ambiente pelágico costero como el demersal, particularmente asociados a fondos arenosos de las costas de América. Su rango de distribución se extiende desde el sur de California (EE.UU.) y el Golfo de California (México) hasta la bahía de Chilca (Perú), con registros ocasionales en el Callao y el norte de Chile (Jaksic y Castro, 2010; Walker Jr et al., 2020). En la columna de agua se pueden localizar desde la superficie hasta aproximadamente 80 m de profundidad. Su alimentación principal es piscívora (engráulidos), además de crustáceos y otros invertebrados, especialmente cerca de la costa (Tripp-Valdez et al., 2012). Esta especie posee un alto valor económico y es objeto de explotación por parte de la pesquería para consumo humano directo, utilizando redes de cerco, arrastre y enmalle (Fischer, 1995; Fischer et al., 2004; Jiménez y Béarez, 2004; Martínez, 2005; Tripp-Valdez et al., 2012; Froese y Pauly, 2019). Su carne, al igual que la de otros miembros de la familia Carangidae, es muy demandada (Jiménez y Béarez, 2004). Además, es una de las especies incidentales (*bycatch*) más importantes en la pesquería de arrastre de menor escala en el Perú, en los arrastres de langostino en México (Madrid-Vera et al., 2007; Salazar et al., 2015) y en la flota sardinera cerquera en Ecuador (Mendoza-Nieto et al., 2023). El cambio climático ejerce influencia sobre las capturas del pez espejo; se ha observado que cuando la temperatura promedio del área aumenta, las concentraciones de esta especie disminuyen, y viceversa (Ubillus Bravo, 2015).

En un esfuerzo reciente, el gobierno peruano ha dirigido la medición del Índice de Reflexión Individual de peces, conocido en inglés como *Target Strength (TS)*, a través del Proyecto por Resultados (PpR) 2015 “Fortalecimiento de la Pesca Artesanal”. Este proyecto se centra en los recursos costeros que abarcan aproximadamente 220 especies, siendo 80 % de ellas destinadas principalmente al consumo humano fresco. La medición de la reflectividad acústica, expresado en decibelios por metro cuadrado (dB/m²) (MacLennan et al., 2002), resulta esencial para la estimación de la distribución y abundancia de los recursos hidrobiológicos mediante estudios hidroacústicos (Simmonds y MacLennan, 2005). Este parámetro es crucial para la conversión del volumen de retrodispersión (S_v) (MacLennan et al. 2002) en abundancia de peces aplicando el

INTRODUCTION

The Peruvian moonfish, *Selene peruviana*, belongs to the family Carangidae and exhibits a benthopelagic behavior. These organisms are known for forming schools, inhabiting both pelagic and demersal environments, particularly associated with the sandy bottoms of America's coasts. Their distribution range spans from southern California (USA) and the Gulf of California (Mexico) to Chilca Bay (Peru), with occasional records in the Callao and northern Chile (Jaksic and Castro, 2010; Walker Jr et al., 2020). In the water column, they can be found from the surface down to approximately 80 m deep. Their main source of food is fish (engraulids), in addition to crustaceans and other invertebrates, especially near the coast (Tripp-Valdez et al., 2012). This species has high economic value and has been subjected to exploitation by fisheries for direct human consumption, using purse seines, trawls, and gillnets (Fischer, 1995; Fischer et al., 2004; Jiménez and Béarez, 2004; Martínez, 2005; Tripp-Valdez et al., 2012; Froese and Pauly, 2019). Their meat, as well as that of other members of the family Carangidae, is on high demand (Jiménez and Béarez, 2004). In addition, they are one of the most important bycatch species in small-scale trawl fisheries in Peru (Madrid-Vera et al., 2007; Salazar et al., 2015), in shrimp trawls in Mexico, and in the purse seine sardine fleet of Ecuador (Mendoza-Nieto et al., 2023). Climate change influences moonfish catches; it has been observed that, when the average temperature in the area increases, the concentrations of this species decrease, and vice versa (Ubillus Bravo, 2015).

In a recent effort, the Peruvian government has led the measurement of the individual fish reflection index, *i.e.*, target strength (*TS*), by means of the 2015 results-based project (PpR) named Strengthening Artisanal Fishing. This project focuses on coastal resources, which comprise approximately 220 species, with 80 % of them mainly destined for fresh human consumption. The measurement of acoustic reflectivity, expressed in decibels per square meter (dB/m²) (MacLennan et al., 2002), is essential for estimating the distribution and abundance of hydrobiological resources through hydroacoustic studies (Simmonds and MacLennan, 2005). This parameter is crucial for converting the backscattering volume (S_v) (MacLennan et al., 2002) into fish abundance by applying the hydroacoustic method. The swim bladder is responsible for approximately 95 % of the acoustic backscattering in fish (MacLennan et al., 1992; Simmonds and

método hidroacústico). La vejiga gaseosa es responsable de aproximadamente 95 % de la retrodispersión acústica de los peces (MacLennan *et al.*, 1992; Simmonds y MacLennan, 2005). En la mayoría de los peces, la vejiga gaseosa tiene como función principal regular la flotabilidad (Ona, 1990). El método *ex situ* se basa en medir el *TS* de peces en el eje del haz acústico, ya sea en jaulas o nadando en tanques. Por otro lado, a partir de los métodos *in situ* las mediciones acústicas se realizan en el ambiente natural de los peces. Para ambos casos (métodos *ex* o *in situ*) es necesaria la información de la estructura de tamaños mediante lances de pesca (Simmonds y MacLennan, 2005). A pesar de que el método *in situ* proporciona datos sobre el *TS* en condiciones naturales, presenta deficiencias inherentes que pueden resultar en mediciones sesgadas (Simmonds y MacLennan, 2005). En este contexto, los experimentos *ex situ* ofrecen un mayor control sobre la densidad y garantizan el aislamiento de las especies objetivo, permitiendo la medición de características específicas de la vejiga gaseosa, como especie, ángulo de inclinación, patrón de directividad, velocidad de natación y adaptación a la profundidad (Nielsen y Lundgren, 1999). Es importante destacar que en las mediciones *ex situ* siempre existe una incertidumbre acerca de cómo influye el comportamiento del pez en comparación con su entorno natural sobre las mediciones de *TS*.

Desde 1983, el Instituto del Mar del Perú (Imarpe) ha llevado a cabo evaluaciones acústicas de las principales especies pelágicas aplicando valores de *TS* obtenidos mediante experiencias *in situ* y *ex situ* de peces (Gutiérrez y Herrera, 1998; Castillo *et al.*, 2009). La experiencia acumulada en estas actividades se refleja en las estimaciones de biomasa de las especies pelágicas más relevantes en el Perú (Castillo *et al.*, 2021, 2022; Cuadros *et al.*, 2024). Sin embargo, en el caso de las especies costeras, la investigación en hidroacústica es limitada, con información disponible únicamente sobre su distribución geográfica en función de las capturas (Estrella *et al.*, 2000; Ganoza *et al.*, 2021). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es establecer una primera aproximación sobre la relación logarítmica lineal entre la longitud total del pez espejo y la energía acústica retro dispersada (*TS*-Longitud), utilizando una ecosonda científica mediante información recabada con experiencias *ex situ*. Este enfoque representa un avance significativo para la pesquería artesanal peruana.

MacLennan, 2005). In most fish, the main function of the swim bladder is to regulate buoyancy (Ona, 1990). The *ex situ* method is based on measuring the *TS* at the axis of the acoustic beam, be it in cages or swimming in tanks. On the other hand, *in situ* methods employ acoustic measurements in the natural environment of fish. For both cases (*ex* or *in situ* methods), it is necessary to obtain size structure information through fishing sets (Simmonds and MacLennan, 2005). Despite the fact that the *in situ* method provides *TS* data under natural conditions, it exhibits inherent differences that may lead to biased measurements (Simmonds and MacLennan, 2005). In this context, *ex situ* experiments offer better control over density and ensure the isolation of the target species, allowing for the measurement of specific swim bladder characteristics such as species, inclination angle, directivity pattern, swimming speed, and depth adaptation (Nielsen and Lundgren, 1999). It is important to highlight that, in *ex situ* measurements, there is always uncertainty regarding the way in which fish behavior with respect to their natural environment influences *TS* measurements.

Since 1983, the Peruvian Institute of the Sea (Imarpe) has conducted acoustic assessments of the main pelagic species, applying *TS* values obtained by means of *in* and *ex situ* experiments (Gutiérrez and Herrera, 1998; Castillo *et al.*, 2009). The experience accumulated in these activities is reflected in the biomass estimation of Peru's most relevant pelagic species (Castillo *et al.*, 2021, 2022; Cuadros *et al.*, 2024). However, in the case of coastal species, hydroacoustic research is limited, with available information primarily concerning the geographic distribution as a function of catches (Estrella *et al.*, 2000; Ganoza *et al.*, 2021). Therefore, the objective of this work is to establish a first approximation to the log-linear relationship between the total length of the moonfish and backscattered acoustic energy (*TS*-Length), using a scientific echo sounder and information collected during *ex situ* experiments. This approach represents a significant advancement for Peruvian artisanal fishery.

ÁREA DE ESTUDIO

Las mediciones de *TS ex situ* del pez espejo se realizaron en el área norte del Perú frente a la playa Los Órganos, departamento de Piura (04° 10.39' S - 081° 08.10' W) desde el 14 de mayo hasta el 2 de junio de 2015, a bordo del Buque de Investigación Científica (BIC) Luis Alberto Flores Portugal (Figura 1).

STUDY AREA

Ex situ TS measurements of the moonfish were conducted in the northern area of Peru, in front of Los Órganos beach, in the department of Piura (04° 10.39' S - 081° 08.10' W) between May 14th and June 2nd, 2015, on board the Luis Alberto Flores Portugal Scientific Research Vessel (SRV) (Figure 1).

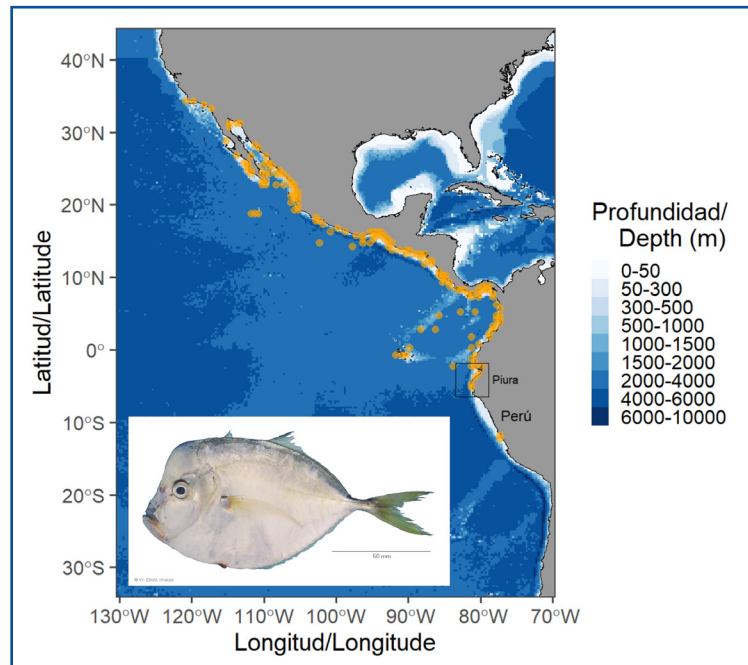


Figura 1. Área de estudio (Piura, Perú) de los experimentos de *TS ex situ* del pez espejo *Selene peruviana*. Los círculos en color naranja indican el rango de su distribución espacial (Fuente: www.fishbase.se).

Figure 1. Study area (Piura, Peru) of the Peruvian moonfish *Selene peruviana* *TS* experiments. The orange circles indicate the species' spatial distribution range (Source: www.fishbase.se).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras biológicas

Se analizaron 132 individuos del pez espejo, con un rango entre 10.9 y 17.6 cm de LT y una talla promedio de 13.77 cm. Con base en el total de pares de datos disponibles, obtenidos en el estudio, se estableció la relación entre la longitud y el peso totales para el pez espejo, ajustándose un modelo lineal (Figura 2), con un R^2 de 0.82 resultando los coeficientes de regresión $a = 0.02$ y $b = 2.88$. Los peces fueron capturados con embarcaciones artesanales (< 8 m de eslora) empleando artes de pesca tipo “cortina o enmalle”. Las capturas se realizaron en zonas cercanas a la costa (0.18 – 3.6 km), habiéndose desarrollado el mayor número de capturas frente a la localidad “Peña del Mudo”, Los Órganos. Posteriormente, los peces se mantuvieron en un tanque con agua de mar filtrada, durante un mínimo de 4 h para su aclimatación.

MATERIALS AND METHODS

Biological samples

132 moonfish individuals were analyzed, with a total length (TL) ranging between 10.9 and 17.6 cm and an average size of 13.77 cm. Based on the total data pairs available from the study, the relationship between the total length and weight of the moonfish was established, adjusting a linear model (Figure 2), with an R^2 of 0.82, obtaining the regression coefficients $a = 0.02$ and $b = 2.88$. The fish were captured from artisanal vessels (< 8 m in length) using curtain or gillnet-type fishing gears. The catches were performed in areas near the coast (0.18-0.36 km), with the majority occurring in front of the locality of Peña del Mudo, Los Órganos. Afterwards, the fish were kept in a tank with filtered seawater for a minimum of 4 h to acclimate.

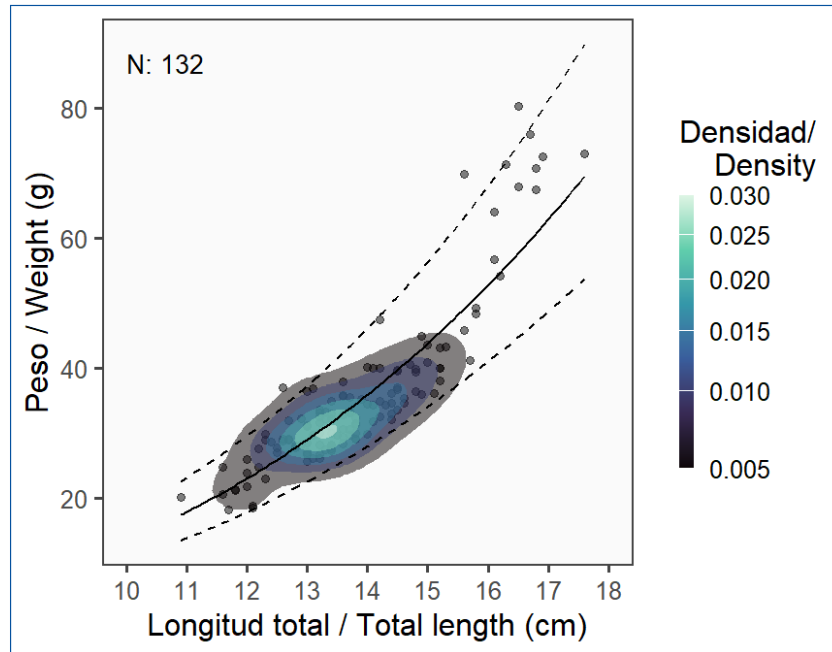


Figura 2. Relación longitud total (LT, cm) - peso (g) del pez espejo *Selene peruviana* utilizando la ecuación $W = a \times L^b$ donde W es el peso y L es la longitud total, a es el coeficiente de proporcionalidad y b es el coeficiente de alometría (Ricker, 1975). La línea continua representa el mejor ajuste e intervalos de confianza al 95 % (líneas punteadas).

Figure 2. Total length (TL, cm) - weight (g) relationship of the Peruvian moonfish *Selene peruviana*, as obtained using the equation $W = a \times L^b$, where W denotes weight, L is the TL, a is the proportionality coefficient, and b is the allometry coefficient (Ricker, 1975). The continuous line represents the best fit, and the 95 % confidence intervals are denoted by dashed lines.

Equipamiento acústico

Las mediciones de *TS ex situ* se realizaron utilizando una ecosonda científica Simrad EK60 (Simrad Kongsberg Maritime AS, Horten, Noruega) operando un transductor de 120 kHz de frecuencia. El transductor utilizado fue el ES120-7C, el cual posee un haz dividido estrecho de 3 dB de 7°. El mismo fue instalado en una plataforma flotante de la que se sostuvo una jaula de calibración de 1.2 × 1.2 × 1.2 m (1.73 m³ de volumen, ignorando la distorsión debido al estiramiento) construida con paños de monofilamento de 0.4 mm de diámetro, sumergida a ~10 m del transductor (Figura 3). Es importante destacar que la distancia entre los individuos insonificados y la cara radiante (10 m) excluye posibles mediciones inexactas a causa del campo cercano (~1.49 m) (Simmonds y MacLennan, 2005).

La ecosonda fue calibrada (raíz del error cuadrático medio: 0.19 dB) antes de los experimentos mediante un blanco patrón (esfera de cobre de 23 mm de diámetro la cual posee, a la frecuencia de trabajo, un *TS* de - 40.4 dB) (Foote *et al.*, 1987; Simmonds y MacLennan, 2005; Demer *et al.*, 2015). Durante las mediciones acústicas la ecosonda operó con las siguientes configuraciones: longitud de pulso 0.256 milisegundos, potencia 50 W e intervalo de muestreo de una emisión o ping/s.

Acoustic equipment

The *ex situ* *TS* measurements were carried out using a Simrad EK60 scientific echo sounder (Simrad Kongsberg Maritime AS, Horten, Norway) operating a transducer with a frequency of 120 kHz. The transducer employed was the ES120-7C, which has a narrow 3 dB split beam width of 7°. It was installed on a floating platform to which a 1.2 × 1.2 × 1.2 m calibration cage was coupled (1.73 m³ volume, neglecting the distortion due to stretching), built with 0.4 mm diameter monofilament nets and submerged at ~10 m from the transducer (Figure 3). It is important to highlight that the distance between the insonified individuals and the transducer face (10 m) excludes potential inaccurate measures due to the near field (~1.49 m) (Simmonds and MacLennan, 2005).

The echo sounder was calibrated (root mean square error: 0.19 dB) before the experiments by means of a target pattern (a 23 mm diameter copper sphere with a *TS* of - 40.4 dB at the working frequency) (Foote *et al.*, 1987; Simmonds and MacLennan, 2005; Demer *et al.*, 2015). During the acoustic measurement, the echo sounder operated with the following configuration: a 0.256 ms pulse length, 50 W power, and a sampling interval of 1 emission or ping per second.

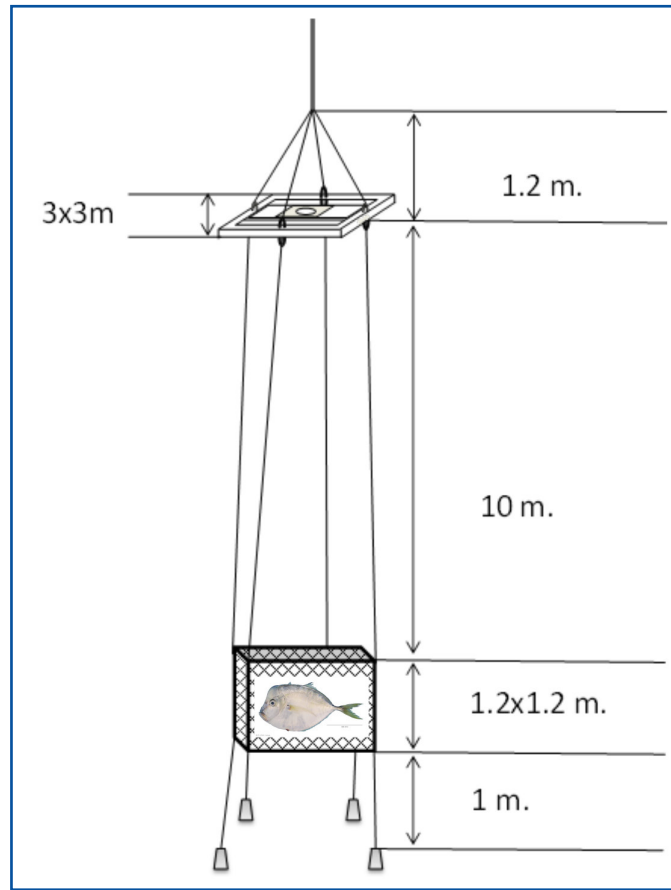


Figura 3. Configuración experimental para las mediciones de TS *ex situ* del pez espejo *Selene peruviana*.

Figure 3. Experimental setup for *ex situ* TS measurements of the Peruvian moonfish *Selene peruviana*.

Mediciones acústicas de la jaula vacía

Con la finalidad de obtener los valores de retrodispersión producidas por la jaula, se realizaron cuatro mediciones de la misma cuando se encontraba vacía (MacLennan *et al.*, 1998). Se determinó la normalidad de los datos acústicos con la prueba de Shapiro–Wilk y se evaluaron las posibles diferencias mediante la prueba de Kruskal-Wallis (Kronthaler *et al.*, 2021; Ahmad *et al.*, 2023).

Mediciones acústicas de la jaula de calibración con peces vivos

Los experimentos consistieron en realizar mediciones utilizando grupos de peces de diferentes tamaños: inicialmente con 10, seguidos por grupos de 20, 30, 40, y finalmente 50 peces vivos. Para los trabajos de instalación, el monitoreo del comportamiento y la disposición de los peces en la jaula de calibración se contó con un buzo científico. Asimismo, fue el encargado del abastecimiento de peces a la jaula durante los experimentos, captura de videos y fotografías acuáticas. Para este trabajo de monitoreo, se empleó

Acoustic measurement of the empty cage

With the purpose of obtaining the backscattering values produced by the cage, it was measured four times when empty (MacLennan *et al.*, 1998). The normality of the acoustic data was determined via the Shapiro-Wilk test, and the possible differences were evaluated by means of the Kruskal-Wallis test (Kronthaler *et al.*, 2021; Ahmad *et al.*, 2023).

Acoustic measurement of the calibration cage with live fish

The experiments consisted of taking measurements using groups of fish of different sizes. This was initially done with 10 fish, followed by groups of 20, 30, 40, and, finally, 50 live fish. For the installation work, behavior monitoring, and the arrangement of fish in the calibration cage, a scientific diver was employed. This diver was also in charge of supplying fish to the cage during the experiments, capturing videos, and taking underwater photographs. For this monitoring work, a Scuba diving system was employed, with two 2265 l bottles pressurized at 200 km/cm², which were loaded using

un sistema de buceo Scuba. Una cámara de video subacuática monitoreaba continuamente el movimiento de los peces en la jaula de calibración. Después de realizar las mediciones acústicas de los peces confinados en la jaula de calibración, se procedió a medir las tallas individuales de los peces. El objetivo fue comparar las distribuciones de las secciones transversales (*TS*) obtenidas de las mediciones acústicas con los histogramas de tamaños individuales de los peces. (Figura 4).

a Bauer high-pressure compressor. An underwater video camera continuously monitored the movement of the fish in the calibration cage. After the acoustic measurement of the fish confined in this cage, we measured their individual sizes. The objective was to compare the distribution of the transversal sections (*TS*) obtained from the acoustic measurements against the histograms of the individual fish sizes (Figure 4).

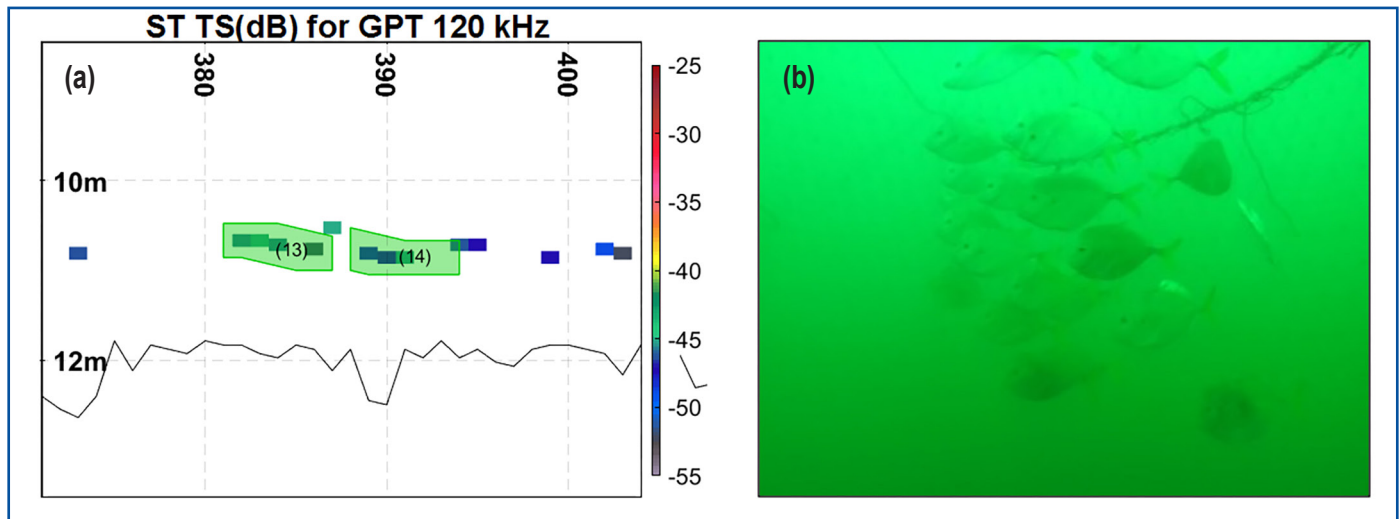


Figura 4. (a) Ecograma de 120 kHz con blancos individuales resueltos y las regiones 13 y 14 mostrando ecos continuos (*fish tracking*) del pez espejo *Selene peruviana*. El eje-x se refiere a la distancia en ping y el eje-y a la profundidad en metros. (b) Comportamiento de los peces espejo dentro de la jaula de calibración durante los experimentos de *TS ex situ*.

Figure 4. (a) 120 kHz echogram with single or resolved targets. Regions 13 and 14 show continuous echoes (*fish tracking*) of the Peruvian moonfish *Selene peruviana*. The x-axis refers to the distance in pings and the y-axis to the depth in meters. (b) Behavior of Peruvian moonfish within the calibration cage during *ex situ* TS experiments.

Procesamiento y análisis de datos

Los datos acústicos en formato *.raw* fueron analizados mediante el programa Echoview 5.2 (Myriax Soft. Pty. Ltd. 2016) (Kang, 2006; Harrison *et al.*, 2015). Este programa permitió inicialmente la visualización, revisión y verificación de los ecogramas, posteriormente la sustracción del ruido e interferencias que pudieran sesgar la información obtenida. La detección de las regiones de ecointegración (NASC, m^2/mn^2) (MacLennan *et al.*, 2002) fueron analizadas en intervalos de tiempo de 30 s con el programa Echoview. Además, el análisis *Fish Tracking* se llevó a cabo con el programa ESP3 versión 1.52.0 (Ladroit *et al.*, 2020). El procesamiento de datos para la obtención de la ecuación de *TS*-Longitud (Simmonds y MacLennan, 2005) se sustentó siguiendo las recomendaciones realizadas por el *International Council for the Exploration of the Sea* (Ices) (Foote *et al.*, 1987; Ehrenberg y Torkelson, 1996; MacLennan *et al.*, 1998; Ona, 1999):

Data processing and analysis

The acoustic data, in *.raw* format, were analyzed using the Echoview 5.2 software (Myriax Soft. Pty. Ltd. 2016) (Kang, 2006; Harrison *et al.*, 2015). This software initially allowed visualizing, reviewing, and verifying the echograms. Later, it enabled the subtraction of noise and interferences that could bias the information obtained. The detection of the echo-integration regions (NASC, m^2/mn^2) (MacLennan *et al.*, 2002) was analyzed in 30 s intervals using Echoview. In addition, fish tracking analysis was carried out with the ESP3 software, version 1.52.0 (Ladroit *et al.*, 2020). The data processing carried out to obtain the *TS*-Length equation (Simmonds and MacLennan, 2005) was supported by following the recommendations of the International Council for the Exploration of the Sea (Ices) (Foote *et al.*, 1987; Ehrenberg and Torkelson, 1996; MacLennan *et al.*, 1998; Ona, 1999):

Determinación del TS de los peces utilizando una jaula de calibración (Método 1)

El primer paso fue estimar el área de la jaula de calibración y la determinación de la constante sigma (σ) de los peces.

$$A = \frac{l^2}{1852^2} \quad (mn^2) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde A es el área de la jaula de calibración (mn^2) y l es la longitud de la arista de la jaula (m).

$$\sigma = \frac{[(NASC_{Total} - NASC_{Jaula\ vacia}) * A]}{N} \quad (m^2) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde σ es la sección de retrodispersión promedio de los peces, N es el número de los peces; $NASC_{Total}$ es el valor ecointegrado generado por la jaula vacía más los peces ($NASC, m^2/mn^2$). Y $NASC_{Jaula\ vacia}$ es la ecointegración generada por la jaula vacía ($NASC, m^2/mn^2$).

$$TS = 10 \times \log_{10} \left(\frac{\sigma}{4\pi} \right) \quad (dB\ re\ 1m^2) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde TS (dB) es la fuerza de blanco promedio de los peces. Luego, los valores de TS promedio de los experimentos fueron calculados en el dominio lineal y luego convertidos al dominio logarítmico en base 10.

Determinación del TS utilizando el método de seguimiento de peces (Método 2)

Con la finalidad de verificar el Método 1 se estimaron peces individuales o blancos resueltos a través del método de seguimiento de peces (*Tracked Target* o *Fish Tracking*) que incluyen los cambios de velocidad y profundidad de los peces (Ona, 1999; Reid, 2000; Ladroit et al., 2020) (Figura 4). Dicho análisis se realizó utilizando el programa ESP3 (Ladroit et al., 2020). Las ecuaciones utilizadas están basadas en documentos estándar de Echoview (Echoview Software Pty Ltd., Hobart, Australia). Los peces individuales se pudieron filtrar según los valores de umbral mínimo o máximo para cualquier propiedad acústica de los peces (*Single Target*) (Tabla 1).

Tabla 1. Configuración de identificación de peces individuales y las funcionalidades de los objetivos rastreados del programa ESP3.

Parámetros de los algoritmos / Algorithm parameters	Valor / Value
Fuerza objetivo / Single target	
Máxima profundidad del eco / Maximum echo depth (m)	15
Umbral mínimo de la fuerza objetivo / Minimum thresholding on target strength (dB re 1 m ²)	-55
Umbral máximo de la fuerza objetivo / Maximum thresholding on target strength (dB re 1 m ²)	-45

Determining the TS of the fish using a calibration cage (Method 1)

The first step was to estimate the area of the calibration cage and determine the *sigma* constant of the fish (σ).

$$A = \frac{l^2}{1852^2} \quad (mn^2) \quad (\text{Equation 1})$$

where A is the area of the calibration cage (mn^2), and l is the length of its edge (m).

$$\sigma = \frac{[(NASC_{Total} - NASC_{Jaula\ vacia}) * A]}{N} \quad (m^2) \quad (\text{Equation 2})$$

where σ is the average backscattering section of the fish; N is the number of fish; $NASC_{Total}$ is the echo-integrated value generated by the empty cage plus the fish ($NASC, m^2/mn^2$); and $NASC_{Empty\ cage}$ is the echo-integration generated by the empty cage ($NASC, m^2/mn^2$).

$$TS = 10 \times \log_{10} \left(\frac{\sigma}{4\pi} \right) \quad (dB\ re\ 1m^2) \quad (\text{Equation 3})$$

where TS (dB) is the average target strength of the fish. Afterwards, the average TS values of the experiments were calculated in the linear domain and later converted into the base-10 logarithmic domain.

Determining the TS using the fish tracking method (Method 2)

In order to verify method 1, individual fish or resolved targets were estimated via the tracked target or fish tracking method, including the changes in the speed and depth of the fish (Ona, 1999; Reid, 2000; Ladroit et al., 2020) (Figure 4). This analysis was carried out using the ESP3 software (Ladroit et al., 2020). The equations used are based on Echoview's standard documents (Echoview Software Pty Ltd., Hobart, Australia). The individual fish could be filtered according to their minimum or maximum threshold values for any acoustic property (single target) (Table 1).

Table 1. Configuration for the identification of individual fish and the tracked target functionalities of the ESP3 software.

Parámetros de los algoritmos / Algorithm parameters	Valor / Value
Corrección máxima del patrón de haz / Maximum beam pattern correction (dB)	12
Longitud normalizada mínima del pulso / Minimum normalized pulse length	0.8
Longitud normalizada máxima del pulso / Maximum normalized pulse length	1.2
Máxima desviación estándar de la posición transversal / Maximum standard deviation of across position (°)	0.8
Máxima desviación estándar de la posición longitudinal / Maximum standard deviation of along. position (°)	0.8
Objetivo rastreado / Tracked target	
Número mínimo de objetivos individuales en el trayecto / Minimum number of single targets in track	3
Número mínimo de pulsos en el trayecto / Minimum number of pings in track (ping)	3
Número máximo de espacios en el trayecto / Maximum number of gaps in track (ping)	1

Determinación del valor b_{20} de la relación TS -Longitud

Los valores promedio de TS de ambos métodos se calcularon en el dominio lineal y posteriormente se convirtieron al dominio logarítmico en base 10 y se aplicó la prueba $t.test()$ para calcular el TS promedio y sus intervalos de confianza. Además, se estimó la longitud promedio de los experimentos válidos para determinar el coeficiente b_{20} según la ecuación propuesta por Love (1977):

$$b_{20} = TS - 20 \times \log_{10}(L, cm) \text{ (dB) (Ecuación 4)}$$

RESULTADOS

Mediciones acústicas de la jaula de calibración y los peces vivos

Se realizaron cuatro mediciones acústicas de la jaula vacía, descartándose una experiencia causada por condiciones hidrometeorológicas desfavorables tales como viento, mareas y materia orgánica suspendida, entre otros (Figura 5). La prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que no existe diferencia entre las medianas de los valores acústicos ($NASC, m^2/mn^2$) en las tres mediciones de las jaulas vacías, por lo que se consideró como una muestra única, ($p = 0.34$, chi-cuadrado = 2.17), teniendo como resultado un valor ecointegrado de la jaula vacía de $3154.79 m^2/mn^2$. En el estudio de TS se seleccionaron tres experimentos con tamaños de grupos de 20, 30 y 50 peces, obteniéndose valores $NASC$ cuyas medianas fueron $7724.15 m^2/mn^2$, $9219.11 m^2/mn^2$ y $16386.86 m^2/mn^2$, respectivamente (Figuras 5 y 6).

Determining the b_{20} value of the TS -Length relationship

The average TS values of both methods were calculated in the linear domain and later converted into the base-10 logarithmic domain. The $t.test()$ was applied to calculate the average TS and its confidence intervals. In addition, the average length of the valid experiments was estimated to determine the b_{20} coefficient, according to the equation proposed by Love (1977):

$$b_{20} = TS - 20 \times \log_{10}(L, cm) \text{ (dB) (Equation 4)}$$

RESULTS

Acoustic measurements of the calibration cage and the live fish

Four acoustic measurements were carried out in the empty cage, discarding an experience caused by unfavorable hydrometeorological conditions such as wind, tides, and suspended organic matter, among others (Figure 5). The Kruskal-Wallis statistical test demonstrated that there is no difference between the medians of the acoustic values ($NASC, m^2/mn^2$) for the three measurements of the empty cages, which is why they were considered as a single sample ($p = 0.34$, chi-square = 2.17), obtaining an echo-integrated value of $3154.79 m^2/mn^2$ for the empty cage. During the TS study, three experiments with group sizes of 20, 30, and 50 fish were selected, obtaining $NASC$ values with medians of $7724.15 m^2/mn^2$, $9219.11 m^2/mn^2$, and $16386.86 m^2/mn^2$, respectively (Figures 5 and 6).

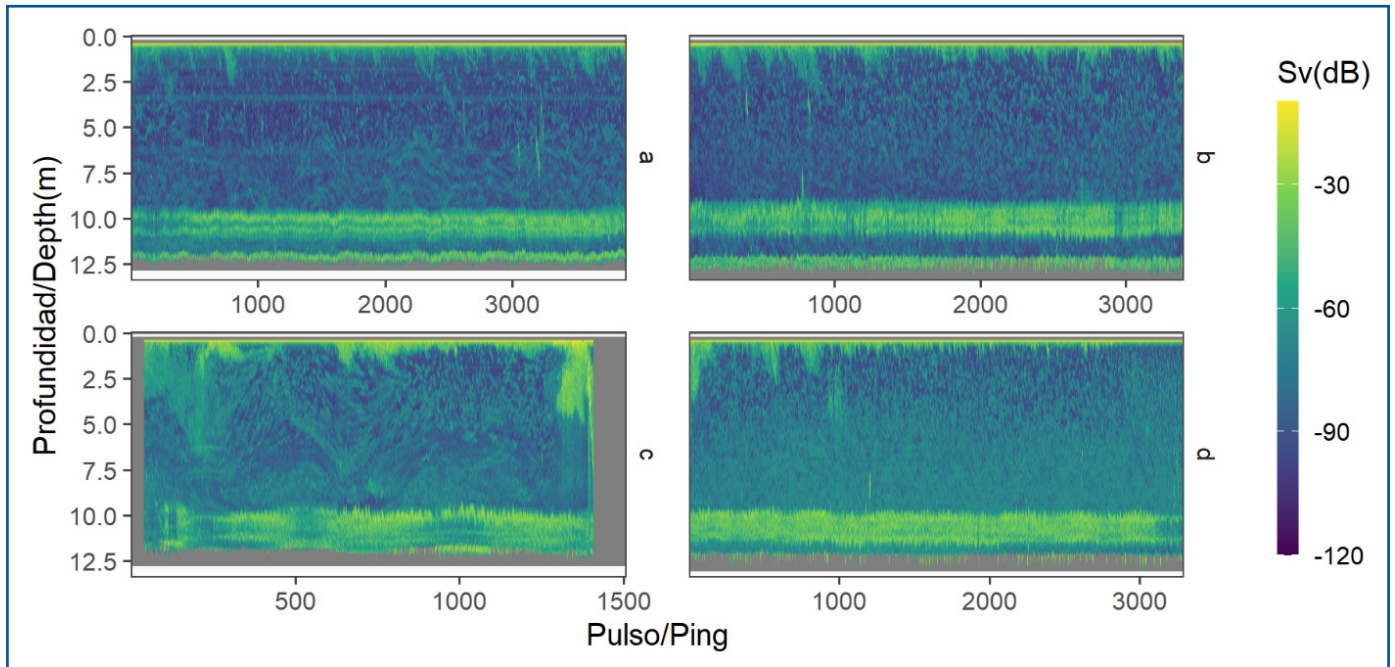


Figura 5. Ecograma de las mediciones acústicas de *TS ex situ*. (a) Jaula vacía localizada a una profundidad entre 9 y 11 m de la cara del transductor de 120 kHz. (b) Jaula de 20 peces. (c) Jaula de 30 peces y (d) jaula de 50 peces espejo. El eje-x representa el tiempo en pings y el eje-y la profundidad (m). La escala de colores representa la fuerza media del volumen de retrodispersión (*Sv*, dB).

Figure 5. Echogram of *ex situ TS* acoustic measurements. (a) Empty cage located at a depth between 9 and 11 m from the 120 kHz transducer face. (b) 20-fish cage, (c) 30-fish cage, and (d) 50-fish cage. The x-axis represents time in pings, and the y-axis represents depth in meters. The color scale represents the mean strength of the backscatter volume (*Sv*, dB).

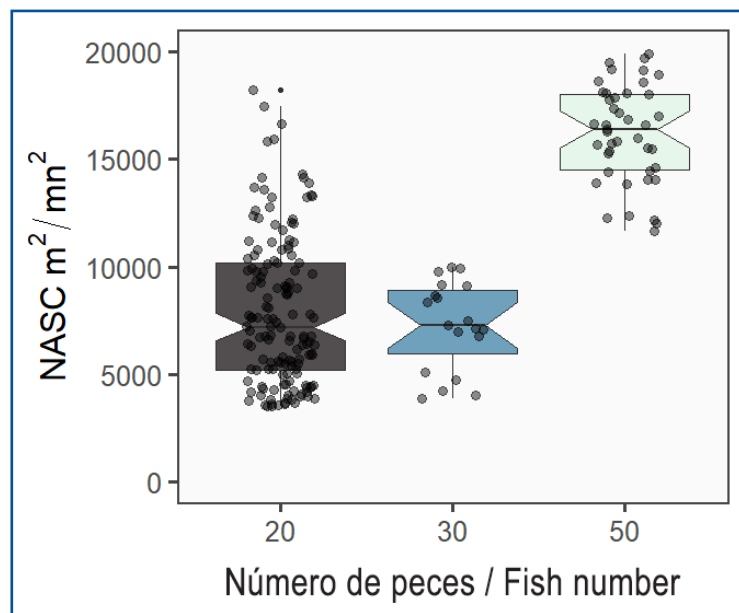


Figura 6. Diagrama de cajas de los valores ecointegrados (NASC, m^2/mn^2) de los experimentos de *TS ex situ* en jaulas de calibración con 20, 30 y 50 peces.

Figure 6. Boxplot of the echo-integrated *TS* values (NASC, m^2/mn^2) of the *ex situ* experiments in calibration cages with 20, 30, and 50 fishes.

A partir de los valores NASC, se estimaron los valores de *TS* para el método 1; mientras que, los valores de *TS* promedio del método 2, fueron estimados a partir de la técnica *tracked target*. A continuación, en la **Tabla 2** se muestran los resultados de los experimentos con los peces vivos:

Based on the NASC values, the *TS* values for method 1 were estimated, while the average *TS* values of method 2 were estimated through the tracked target technique. Next, **Table 2** shows the results of the experiments with the live fish:

Tabla 2. Resultados de los experimentos de *TS ex situ* en el pez espejo *Selene peruviana* basado en la ecuación $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) + b_{20}$ (Love, 1977).

Table 2. Results of the *ex situ* *TS* experiments on the Peruvian moonfish *Selene peruviana*, based on the equation $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) + b_{20}$ (Love, 1977).

Experimento / Experiment	1	2	3
Número de peces / Number of fish	20	30	50
Rango de la longitud / Length range (cm)	12.3-16.9	10.9-17.6	11.6-16.8
Longitud promedio / Average length (cm)	13.70	14.17	13.45
NASC (m ² /mn ²)	4569.36	6064.32	13232.07
Área de la jaula de calibración / Calibration cage area (mn ²)	4.20×10^{-7}	4.20×10^{-7}	4.20×10^{-7}
Método 1 / Method 1			
N (peces individuales) / Individual fish	149	19	43
Sigma (σ , m ²)	1.48×10^{-4}	1.80×10^{-4}	1.11×10^{-4}
<i>TS</i> (dB)	-49.30	-48.45	-50.83
Método 2 / Method 2			
N (peces individuales) / (Tracked fish)	74	319	3
<i>TS</i> (dB)	-48.28	-48.03	-49.45

Modelo *TS*-Longitud

El coeficiente b_{20} en la ecuación, $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) + b_{20}$, está determinado por el promedio de los valores de *TS* en cada experimento y métodos. El valor experimental del *TS ex situ* del pez espejo para ejemplares entre 10.9 y 17.6 cm con una longitud promedio de 13.77 cm fue -48.96 dB, con un intervalo de confianza de 95 % entre -50.10 y -48.06 dB. El modelo *TS*-Longitud en 120 kHz, para el pez espejo fue: $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) - 71.74$ dB (Figura 7).

TS-Length model

The b_{20} coefficient in the equation $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) + b_{20}$ is determined by the average of the *TS* values in each experiment and method. The *ex situ* experimental *TS* value of the moonfish for specimens between 10.9 and 17.6 cm, with an average length of 13.77 cm, was -48.96 dB, with a 95 % confidence interval between -50.10 and -48.06 dB. The *TS*-Length model at 120 kHz for the moonfish was $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) - 71.74$ dB (Figure 7).

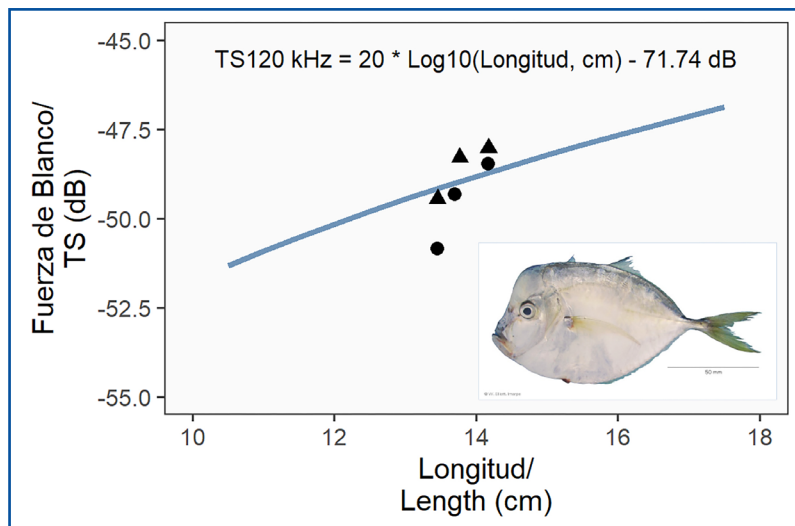


Figura 7. Modelo *TS*-Longitud del pez espejo a 120 kHz para un rango de tallas entre 10.9 y 17.6 cm (línea continua). La curva se ajusta a la función estándar $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) + b_{20}$ (Love, 1977). Los círculos y triángulos corresponden a los experimentos de los métodos 1 y 2, respectivamente. La fotografía del pez espejo pertenece a W. Elliot (Imarpe).

Figure 7. *TS*-Length model of the moonfish at 120 kHz for a size range between 10.9 and 17.6 cm (solid line). The curve fits the standard function $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{cm}) + b_{20}$ (Love, 1977). The circles and triangles correspond to the experiments of methods 1 and 2, respectively. The photograph of the Peruvian moonfish belongs to W. Elliot (Imarpe).

DISCUSIÓN

Diseño y configuración experimental

La tarea de mantener con vida las muestras de peces espejo a bordo resultó ser un desafío complejo. A pesar de ello, se considera que el número total de ejemplares monitoreados en el experimento *ex situ* (100) es adecuado para estimar con precisión estadística el valor de *TS ex situ* y medir con exactitud la longitud total. Debido a la suposición inicial de que los peces espejo podrían tener movimientos limitados producto de la profundidad relativa de la jaula, la misma fue revisada mediante observaciones visuales, indicando que los individuos nadaban de manera natural. Es relevante destacar la posibilidad de pérdida no lineal, especialmente en situaciones que involucran fuentes de alta potencia, alta frecuencia y alta directividad (Tichy *et al.*, 2003). Este rango de pérdidas no lineales se interpreta como el margen de posibles errores en la medición de *TS* en este estudio. Cabe señalar que las mediciones de *TS* en este estudio se llevaron a cabo con una potencia baja (inferior a 100 W) y a poca profundidad (~11 m). El *TS* promedio *ex situ* resultó ser de -48.96 dB (13.77 cm).

Por otro lado, es crucial tener en cuenta que este experimento representa la primera medición de fuerza de blanco realizada en el pez espejo, así como la primera realizada en una jaula construida íntegramente con paño de monofilamento, sin la presencia de aros metálicos que pudieran interferir con la detección de ecos débiles de los peces. A pesar del diseño y el material innovadores, los valores eco integrados de la jaula vacía fueron relativamente altos, registrando un valor de 3154.79 m²/mn².

Sesgos en las estimaciones *ex situ*

Los experimentos *ex situ* plantean algunas preocupaciones, como la posible alteración del comportamiento de los peces (y, por lo tanto, el posible sesgo de los valores promedios de *TS*) (Simmonds y MacLennan, 2005). Las variaciones de las mediciones acústicas de la **Figura 5** puede ser causado por la presencia de varios ángulos de inclinación de los peces. La jaula con 30 y 50 peces espejo mostraron una mayor variabilidad de los valores NASC (m²/mn²) pudiéndose deber al comportamiento o al patrón de olas dispersas reflejadas por los peces (Haslett, 1969; Love, 1977).

DISCUSSION

Experimental design and configuration

The task of maintaining the moonfish samples alive while on board turned out to be a complex challenge. In spite of this, we consider the total number of specimens (100) monitored in the *ex situ* experiment to be adequate for estimating the *ex situ TS* value with proper statistical accuracy and precisely measuring the total length. Given the initial supposition that the moonfish could have limited mobility due to the relative depth of the cage, a visual inspection was conducted, indicating that the individuals could swim naturally. It is important to highlight the possibility of nonlinear loss, especially in situations involving high power, frequency, and directivity (Tichy *et al.*, 2003). This range of nonlinear losses can be interpreted as the margin for possible errors in *TS* measurement in this study. It is worth pointing out that the measurements of this work were carried out at low power (less than 100 W) and depth (~11 m). The average *ex situ TS* was -48.96 dB (13.77 cm).

On the other hand, it is crucial to bear in mind that this experiment constitutes the first target strength measurement carried out for the moonfish, as well as the first conducted in a cage made entirely out of monofilament netting, without the presence of metal rings that could interfere with the detection of weak echoes from the fish. Despite the innovative design and materials, the echo-integrated values of the empty cage were relatively high, recording 3154.79 m²/nm².

Bias in the *ex situ* estimations

The *ex situ* experiments raise some concerns, such as the possible alteration of fish behavior (and, therefore, the potential bias in the average *TS* values) (Simmonds and MacLennan, 2005). The variations in the acoustic measurements shown in **Figure 5** may be caused by the various inclination angles of the fish. The cages with 30 and 50 moonfish showed a greater variability of the NASC values (m²/mn²), which may be due to the behavior or the pattern of scattered waves reflected by the fish (Haslett, 1969; Love, 1977).

Aplicación de la ecuación de TS en las evaluaciones hidroacústicas

El método hidroacústico ofrece un enfoque para identificar las agregaciones de peces y estimar sus densidades ayudando a los administradores pesqueros a priorizar los sitios y enfocar sus recursos en áreas que pueden tener un mayor valor de manejo (Simmonds y MacLennan, 2005; Costa *et al.*, 2014). Los hallazgos de este trabajo indican la necesidad de llevar a cabo investigaciones adicionales para perfeccionar la información acústica relacionada con el pez espejo. Es necesario analizar la dependencia *in situ* de la sección transversal con respecto a la profundidad y el ángulo de inclinación (Ona, 1990, 1999). Los resultados obtenidos *ex situ* deben ser interpretados con cautela antes de su aplicación en condiciones naturales. En este sentido, se sugiere seguir adelante con este tipo de pruebas, reconociendo que, por el momento, se consideran como experimentales, pero con la capacidad de ser aplicables en las evaluaciones hidroacústicas del pez espejo.

Plan de investigación futuro

Se sugiere la utilización de jaulas de mayores dimensiones en futuros experimentos con el propósito de permitir la inclusión de un mayor número y longitudes de peces. La metodología para ello se encuentra bien establecida gracias a investigaciones previas realizadas en otras especies pelágicas costero-demersales (Kang *et al.*, 2009; Grabowski *et al.*, 2012; Bakhtiar *et al.*, 2021; Sobradillo *et al.*, 2021). La implementación de técnicas de rastreo de peces podría enriquecer la comprensión del comportamiento de diversas especies, incluido el pez espejo.

Los resultados obtenidos mediante este enfoque podrían arrojar luz sobre aspectos cruciales del comportamiento de natación, tales como la velocidad y la dirección de los desplazamientos (tanto verticales como horizontales). En otros estudios, se presentan evidencias tanto de variaciones periódicas, como de migraciones verticales no compensadas, como de variaciones estacionales, causadas por el contenido graso y el desarrollo de las gónadas (Ona, 1999).

Esta información resulta fundamental para ecólogos especializados en peces, así como para administradores e investigadores de recursos pesqueros. En consecuencia, se hace imperativo llevar a cabo un análisis más exhaustivo mediante la inclusión en este tipo de estudios de un mayor número de especies de peces.

Applying the TS equation to hydroacoustic assessments

The hydroacoustic method offers an approach to identifying aggregations of fish and estimating their densities, thereby helping fisheries management to prioritize sites and focus their resources in areas that may have a greater management value (Simmonds and MacLennan, 2005; Costa *et al.*, 2014). The findings of this work indicate the need for conducting additional research aimed at perfecting the acoustic information on the moonfish. It is necessary to analyze the *in situ* dependence of the transversal section with respect to depth and the angle of inclination (Ona, 1990, 1999). The results obtained *ex situ* must be interpreted with caution before applying them under natural conditions. In this sense, we suggest moving forward with this kind of testing, acknowledging that, for now, it is regarded as experimental but may be applicable in the hydroacoustic evaluation of the moonfish.

Future research plan

We suggest larger cages in future experiments, with the purpose of allowing for the inclusion of a larger number of fish. The methodology for this is well-established thanks to previous research carried out on other coastal-demersal pelagic species (Kang *et al.*, 2009; Grabowski *et al.*, 2012; Bakhtiar *et al.*, 2021; Sobradillo *et al.*, 2021). The implementation of fish tracking techniques could enrich the understanding of the behavior of various species, including the moonfish.

The results obtained through this approach could shed light on crucial aspects of swimming behavior, such as the speed and direction of displacement (both vertical and horizontal). Other studies present evidence of periodic variations, uncompensated vertical migrations, and seasonal variations caused by fat content and gonad development (Ona, 1999).

This information is fundamental to ecologists specialized in fish, as well as to fishing resources administrators and researchers. As a consequence, it is imperative to perform a more thorough analysis by including a larger number of fish species in this type of study.

Finalmente, se podrían realizar tomografías computarizadas dirigidas a estudiar la morfología de la vejiga gaseosa del pez espejo. Esto permitiría concretar modelos computacionales y de esta manera, obtener valores de TS estimados. Estos podrían ser de gran utilidad para comparar con mediciones empíricas ya sea mediante experiencias *in situ* o *ex situ*.

CONCLUSIONES

La ecuación de fuerza de blanco para el pez espejo (*Selene peruviana*) con una longitud promedio de 13.77 cm y una frecuencia de 120 kHz se expresa de la siguiente manera: $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{ cm}) - 71.74 \text{ dB}$. Los resultados derivados de este estudio tienen aplicaciones directas en las evaluaciones hidroacústicas del pez espejo. No obstante, es esencial repetir el experimento con tallas de peces que no estén contempladas en las actuales calibraciones. Además, se recomienda considerar los resultados existentes como provisionales hasta que se complementen con otras mediciones. Igualmente es importante destacar que antes de la presentación de dicha ecuación de TS , no se contaba con ninguna para ser aplicada durante el proceso de estimación de abundancia de peces mediante la implementación de técnicas hidroacústicas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento proporcionado por el Proyecto por Resultados (PpR) 2015 “Fortalecimiento de la pesca artesanal”, otorgado por la Dirección General de Investigaciones de Recursos Demersales y Litorales (Dgird) a través del Área Funcional de Investigaciones en Peces Demersales Bentónicos y Litorales (Afipdbl), así como el Área Funcional de Hidroacústica (AFH) de la Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca (Dgihsa) y el Laboratorio Costero de Tumbes del Imarpe.

Finally, computerized tomographies could be carried out, aiming to study the morphology of the swimming bladder of the moonfish. This would allow defining computational models and thereby obtaining estimated TS values, which could be of great help in comparisons with both *ex* and *in situ* empirical measurements.

CONCLUSIONS

The target strength equation for moonfish (*Selene peruviana*) with an average length of 13.77 cm and a frequency of 120 kHz is expressed as follows: $TS_{120\text{ kHz}} = 20 \times \text{Log}_{10}(L, \text{ cm}) - 71.74 \text{ dB}$. The results of this study have direct applications in the hydroacoustic assessment of the moonfish. Nevertheless, it is essential to repeat the experiment with fish sizes not contemplated in the current calibrations. In addition, we recommend considering the existing results as provisional until they are complemented with other measurements. Likewise, it is important to highlight that, before presenting the aforementioned TS equation, there was no expression that could be applied to the process of estimating fish abundance through hydroacoustic techniques.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was made possible by the funding provided by the 2015 Results-Based Project (PpR), titled *Strengthening Artisanal Fishing*, granted by the General Directorate for Research on Demersal and Littoral Resources (Dgird), through the Functional Area of Demersal, Benthic, and Littoral Fish Research (Afipdbl), as well as through the Functional Area of Hydroacoustics (AFH) of the General Directorate of Research on Hydroacoustics, Remote Sensing, and Fishing Gears (Dgihsa) and the Tumbes Coastal Laboratory of Imarpe.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Ahmad, W. M. A. W., F. M. M. Ghazali and M.A. Yaqoob. 2023. Basic statistical analysis using RStudio software. Penerbit USM.
- Bakhtiar, D., I. Jaya, H. Manik and H. Madduppa. 2021. Karakteristik hambur balik akustik pada ikan kakaktua (*Chlorurus sordidus*) melalui pengukuran secara ex-situ dengan metode akustik. Saintek Perikanan: Indones. J. Sci. Technol., 271–278. <https://doi.org/10.14710/ijfst.17.4.271-278>.
- Castillo, R., S. Peraltilla, A. Aliaga, M. Flores, M. Ballón, J. Calderón y M. Gutiérrez. 2009. Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. Bol. Inst. Mar. Perú, 36(1-2): 7–28. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2001>
- Castillo, R., M. Ñiquen, L. La Cruz, R. Guevara-Carrasco and G. Cuadros. 2021. Migration behavior of anchoveta (*Engraulis ringens*) in the Northern Humboldt Current System between September 2019 and September 2020. Lat. Am. J. Aquat. Res., 49(5): 702–716. <http://dx.doi.org/10.3856/vol49-issue5-fulltext-2669>
- Castillo, R., C. Peña, D. Grados, L. La Cruz, C. Valdez, M. Pozada and R. Cornejo. 2022. Characteristics of anchoveta (*Engraulis ringens*) schools in the optimum zone and the physiological stress zone of its distribution between 2011 and 2021. Fish. Oceanogr., 31(5): 510–523. <https://doi.org/10.1111/fog.12601>
- Costa, B., J. Taylor, L. Kracker, T. Battista and S. Pittman. 2014. Mapping reef fish and the seascape: Using acoustics and spatial modeling to guide coastal management. PLoS One, 9(1): e85555. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085555>
- Cuadros, G., R. Castillo, L. La Cruz, C. Valdez, C. Peña, G. Chacón, L. Escudero y J. Salcedo. 2024. Variabilidad de la anchoveta (*Engraulis ringens*) entre febrero y junio en la zona restringida a la pesca industrial en el inicio la primera temporada de pesca del 2022. Bol. Investig. Mar. Costeras, 53(1): 145–166. DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2024.53.1.1246>
- Demer, D.A., L. Berger, M. Bernasconi, E. Bethke, K. Boswell, D. Chu, R. Domokos. *et al.* 2015 Calibration of acoustic instruments. Ices Coop. Res. Rep. 326, 133 p. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-185>
- Ehrenberg, J. E. and T. C. Torkelson. 1996. Application of dual-beam and split-beam target tracking in fisheries acoustics. Ices J. Mar. Sci., 53(2): 329–334. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0044>
- Estrella, C., R. Guevara-Carrasco, W. Ávila, J. Palacios y A. Medina. 2000. Informe estadístico de los recursos hidrobiológicos de la pesca artesanal por especies, artes, meses y caletas durante el segundo semestre de 1999. Inf. Inst. Mar Perú, 151, 194 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1824>
- Fischer, L. G., L. E. D. Pereira y J.P. Vieira. 2004. Peixes estuarinos e costeiros (p. 131)
- Fischer, W. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental Vol.2. Roma, FAO, 647-1200.
- Footo, K., G. H. P. Knudsen, G. Vestnes, D.N. MacLennan and E.J. Simmonds. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: A practical guide. Ices Coop. Res. Rep., 84 p.
- Froese, R. and D. Pauly. 2019. FishBase. *Selene peruviana* (Guichenot, 1866). Available from: www.fishbase.org/summary/SpeciesSummary.php?ID=1958&AT=espejo.
- Ganoza, F., R. Gonzales, A. Ramírez, E. Pinto y E. Pumachagua. 2021. Vulnerabilidad de los recursos hidrobiológicos durante el Niño Costero 2017 en zonas de la Región Lima. Inf. Inst. Mar Perú, 48(1): 115-138. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3525>.
- Grabowski, T. B., K. Boswell, B. McAdam, R. Wells and G. Marteinsdóttir. 2012. Characterization of Atlantic cod spawning habitat and behavior in Icelandic coastal waters. PLoS One, 7(12): e51321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051321>
- Gutiérrez, M. y N. Herrera. 1998. Mediciones *in situ* de TS de diversas especies a finales del invierno de 1998. Crucero BIC Humboldt 9808-09. Inf. Inst. Mar Perú, 141. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1534>
- Harrison, L., M. Cox, G. Skaret and R. Harcourt. 2015. The R package EchoviewR for automated processing of active acoustic data using Echoview. Front. Mar. Sci, 2: 15. <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00015>
- Haslett, R. 1969. The target strengths of fish. J. Sound Vib., 9(2): 181–191. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(69\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0022-460X(69)90026-1)
- Jaksic, F. y S. Castro. 2010. Ecología y biodiversidad de vertebrados de Chile: Análisis comentado de la Zoología de Claude Gay. Rev. Chil. Hist. Nat., 83(3): 323-333. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2010000300001>
- Jiménez, P. y P. Béarez. 2004. Peces marinos del Ecuador continental. Simbioe/NAZCA/IFEA Vol. 2. 406 p.
- Kang, D., S. Cho, C. Lee, J. Myoung and J. Na. 2009. *Ex situ* target-strength measurements of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in the coastal Northwest Pacific. Ices J. Mar. Sci, 66(6): 1219–1224. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp042>
- Kang, M. 2006. Current technology of fisheries acoustics based on analyzed acoustic data using SonarData's Echoview. 2006: 493–497. www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AASNZ2006/papers/p114.pdf
- Kronthaler, F. and S. Zöllner. 2021. Testing normal distribution with RStudio: 59-63. In Data analysis with RStudio: An easygoing introduction. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62518-7>
- Ladroit, Y., P. Escobar-Flores, A. Schimel and R. O'Driscoll. 2020. ESP3: An open-source software for the quantitative processing of hydro-acoustic data. SoftwareX, 12: 100581. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100581>
- Love, R. H. 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. J. Acoust. Soc. Am., 62: 1397–1403. <https://doi.org/10.1121/1.381672>
- MacLennan, D.N. and E. Simmonds. 1992. Target strength. In: Fisheries Acoustics. Fish & Fisheries Series, Vol 5. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1558-4_6
- MacLennan, D., M. Gutiérrez, R. Castillo, F. Ganoza, A. Aliaga, L. Escudero, A. Gonzales y X. Chalén. 1998. Fuerza de blanco de anchoveta (*Engraulis ringens*) utilizando frecuencias de 38 y 120 kHz. Inf. Inst. Mar Perú, 133. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1474>
- MacLennan, D., P. Fernandes and J. Dalen. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. Ices J. Mar. Sci., 59(2): 365–369. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1158>
- Madrid-Vera, J., F. Amezcua and E. Morales-Bojórquez. 2007. An assessment approach to estimate biomass of fish communities from bycatch data in a tropical shrimp-trawl fishery. Fish. Res., 83(1): 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.08.026>

- Martínez, J. 2005. Manual de pesca blanca. 45 especies de interés comercial. Asociación de Exportadores de Pesca Blanca del Ecuador, ASOEXPEBLA.
- Mendoza-Nieto, K., C. Mila, S. Escofet and M. Carrera-Fernández. 2023. Reproductive cycle and sexual maturity size of landed *Selene peruviana* (Perciformes: Carangidae) on the coasts of the Ecuadorian Pacific. *Cienc. Mar.*, 49. <https://doi.org/10.7773/cm.y2023.3363>
- Nielsen, J. R. and B. Lundgren. 1999. Hydroacoustic ex situ target strength measurements on juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *Ices J. Mar. Sci.*, 56(5), 627–639. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0515>
- Ona, E. 1990. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 70(1): 107–127. <https://doi.org/10.1017/S002531540003424X>
- Ona, E. 1999. Methodology for target strength measurements (With special reference to in situ techniques for fish and mikro-nekton). *Ices Coop. Res. Rep.* <https://doi.org/10.17895/ices.pub.5367>
- Reid, D. G. 2000. Report on echo trace classification. *Ices Coop. Res. Rep.*, 238. 115 p. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.5371>
- Ricker, W. E. 1975. The Fisheries Research Board of Canada—Seventy-five years of achievements. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32(8): 1465–1490. <https://doi.org/10.1139/f75-170>
- Salazar, M., G. Chacón, J. Alarcón, C. Luque, R. Comejo y F. Chalking. 2015. Flota de arrastre de fondo de menor escala en la Región Tumbes. *Inf. Inst. Mar Perú*, 42(2): 185-219. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2973>
- Simmonds, J. and D. MacLennan. 2005. Fisheries acoustics: Theory and practice. Fish and Aquatic Resources. Wiley-Blackwell. <https://books.google.cl/books?id=1w5Lilr3NdoC>
- Sobradillo, B., G. Boyra, I. Pérez-Arjona, U. Martínez and V. Espinosa. 2021. *Ex situ* and *in situ* target strength measurements of European anchovy in the Bay of Biscay. *Ices J. Mar. Sci.*, 78(3): 782–796. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa242>
- Tichy, F. E., H. Solli and H. Klaveness. 2003. Non-linear effects in a 200-kHz sound beam and the consequences for target-strength measurement. *Ices J. Mar. Sci.*, 60(3): 571–574. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa242>
- Tripp-Valdez, A., F. Arreguín-Sánchez and M.J. Zetina-Rejón. 2012. The food of *Selene peruviana* (Actinopterygii: Perciformes: Carangidae) in the southern Gulf of California. *Acta Ichthyol. Piscat.*, 42(1): 1-7. <https://doi.org/10.3750/AIP2011.42.1.01>
- Ubillus Bravo, M. Z. 2015. Efecto del cambio climático sobre los volúmenes de desembarque de Las principales especies icticas desembarcadas en Cancas de 2000 A 2010. <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/208>
- Walker H., P. Hastings, J. Hyde, R. Lea, O. Snodgrass and L. Bellquist. 2020. Unusual occurrences of fishes in the Southern California Current System during the warm water period of 2014–2018. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 236, 106634. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106634>

