

DETERMINACIÓN DEL TS DE TILAPIA GRIS (*Oreochromis niloticus*) A 200 kHz EN ESTANQUES CON AGUA DE SUBSUELO

PACS: (Arial, tamaño 8, línea 8, mayúsculas, alineado izquierda).

Carrillo La Rosa, Luis Lorenzo ¹; Puig Pons, Vicente ²; Llorens Escrich, Susana ^{2,3}; Pérez Arjona, Isabel ² y Espinosa Roselló, Víctor ²

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina - Departamento Académico de Manejo Pesquero y Medio Ambiente. Avenida La Molina, Lima, Perú. lcarrillo@lamolina.edu.pe

² Institut per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres (IGIC) de la Universitat Politècnica de València, Carretera Nazaret-Oliva, s/n 46730 Grao de Gandia, Valencia, España

³ Instituto Español de Oceanografía (IEO), C.O. Murcia, C/el Varadero 1, Lo Pagan, 30740 Murcia, España

ABSTRACT

In recent years, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) has become one of the most exploited commercial species in aquaculture. This work studies the target strength (TS) of Nile tilapia using a Biosonics DT-X echosounder with a single beam transducer operating at 200 kHz. The acoustic survey took place in a pond with characteristics similar to those used in aquaculture farms. The length and weight of fish were measured and they were classified in 8 groups according to size, which ranged from 14.1 to 43.7 cm. The relationship between acoustic (mean and maximum TS) and biometrics variables (length and weight) was analyzed by linear regression model obtaining determination coefficients above 0.9. These results reveal a direct relationship between TS and biometric measures which can be used to monitor the growth of Nile tilapia in ponds through cost-effective acoustic methods.

RESUMEN

La tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) se ha convertido en los últimos años en una de las especies con mayor implantación en la acuicultura mundial. Este artículo analiza la fuerza del blanco (target strength, TS) de la tilapia gris utilizando un ecosonda Biosonics DT-X de 200 kHz trabajando con un transductor monohaz instalado en un estanque de características similares a los utilizados en las explotaciones acuícolas. Se realizaron muestreos para obtener la longitud (total y estándar) y el peso de los ejemplares. Los ejemplares se dividieron por tallas en 8 grupos cuya longitud total variaba de 14.1 hasta 43,7 cm. Con los TS_{medio} y TS_{max} se realizó el análisis de la regresión lineal y se obtuvieron valores del coeficiente de determinación superiores a 0.9. Estos resultados evidencian una relación directa entre el TS y la longitud total, así como entre TS y el peso de las tilapias y puede ser utilizada para el control del crecimiento de las tilapias en estanques mediante métodos acústicos de bajo coste económico.

Palabras clave: Hidroacústica, Fuerza del blanco (TS); tilapia (*Oreochromis niloticus*), Ecosonda.

1. INTRODUCCIÓN

Las ecosondas científicas brindan información sobre la profundidad, distribución, tamaño, abundancia, biomasa, comportamiento y dirección del pez, mediante un método no invasivo de recolección de datos [1], [2], [3], [4] y [5]. Asimismo, ofrecen la posibilidad de muestrear amplias extensiones geográficas en estudios orientados a la evaluación de los recursos hidrobiológicos haciendo uso de herramientas acústicas.

La vejiga natatoria es la responsable de la mayor parte de la energía retrodispersada por los peces que la poseen. La cantidad de energía acústica devuelta por el pez se conoce como Target Strength (TS) o potencia del blanco. El conocimiento del TS, es crucial para la evaluación de la biomasa total de peces en el interior de un estanque, ya que, peces con mayor longitud tendrán vejigas de mayor tamaño que proporcionarán valores de TS mayores. Debido a que la longitud y el peso de los peces están sujetos a relaciones biométricas ampliamente estudiadas para la mayoría de las especies comerciales, se puede afirmar que el TS proporciona una estimación indirecta del tamaño de los peces y es un parámetro acústico importante para la evaluación de la biomasa íctica [6]. El TS se cuantifica en decibelios referenciados a 1 micropascal (dB ref 1 μ Pa), como se explica y describe en [7], [8] y [9]. Dada las implicaciones del TS en la investigación de pesquerías, la obtención de las ecuaciones que relacionan el TS con la longitud y el peso para cada especie resulta de interés para los investigadores que aplican la acústica en este entorno [10], [11], [12], [13] y [14].

En el siguiente estudio se determinará la relación entre el TS y la longitud total (LT) y la relación entre el TS y el peso (W) de tilapias (*Oreochromis niloticus*) desde una longitud total de 13 cm hasta 44 cm. Se han establecido 8 grupos diferentes en función de la longitud total, abarcando los individuos juveniles y adultos. Para cada grupo se ha obtenido la energía acústica retrodispersada de forma horizontal en un estanque utilizando ecosonda de haz simple a 200 kHz para los diferentes grupos de tilapias establecidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Lugar y tiempo

Las pruebas y mediciones fueron realizadas en el Centro de Investigación Piscícolas (CINPIS) – Universidad Nacional Agraria La Molina - La Molina- Lima – Perú, desde diciembre del 2018 hasta diciembre del 2019, en un estanque cuyas dimensiones eran: 4x4x1,5 m.

2.2 Equipos y materiales

A partir de un primer lote de 1000 alevines adquiridos en diciembre de 2017, se seleccionaron tilapias con una LT desde 13 cm hasta 44 cm. Se llevaron a cabo mediciones biométricas de cada ejemplar (Longitud Total (LT), Longitud Estándar (LS), altura (H) y peso (W)) utilizando un ictiómetro y una balanza (Figura 1). Los individuos fueron seleccionados con una desviación máxima de 2 cm en su longitud total y, dependiendo de la disponibilidad de los mismos, se colocaron en el estanque grupos de peces compuestos por 6 individuos como mínimo y 20 como máximo. Cabe mencionar que todos los individuos estaban y se mantuvieron vivos durante las medidas y tenían libertad de movimiento. Las medidas acústicas se realizaron con la ecosonda Biosonics DT-X de 200 kHz durante 2 a 5 días por cada grupo de longitud. Los valores de longitud total y peso de los diferentes grupos se presentan en la Tabla 1.



Figura 1. Balanza digital (W= 338 g) y el icitiometro (LT= 17.6 cm y LS= 14.8 cm).

Tabla 1. Grupos de tallas de los ejemplares y valores de longitud total y peso de tilapias.

Grupo	Ejemplares	LT media (cm)	LT mínima (cm)	LT máxima (cm)	W media (g)
1	20	14.1	13.0	15.0	47.0
2	15	17.9	17.0	19.0	99.4
3	14	21.5	21.0	22.0	179.9
4	14	24.6	24.0	25.0	230.1
5	6	30.3	29.0	31.0	540.0
6	6	35.1	34.0	36.0	758.3
7	6	40.8	40.0	41.5	1383.3
8	6	43.7	43.0	44.0	1445.8

2.3 Recolección de datos acústicos.

Se instaló el transductor en un soporte, para luego introducirlo en el estanque apoyado en una de sus paredes a una altura de 60 cm respecto al fondo del estanque. El haz acústico se emitía horizontalmente realizando un recorrido máximo de 4 m incidiendo lateralmente sobre los peces. En la Figura 2 se muestran imágenes del transductor colocado en el estanque y de la ecosonda utilizada.

La configuración utilizada y las especificaciones de la ecosonda Biosonic DT-X se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de la configuración de la ecosonda Biosonics.

Frecuencia	201 kHz
Angulo haz a -3dB (monohaz)	9,9°
Duración del pulso	0,1 ms
Pings por segundo	5
Nivel de fuente	202,3 dB rel.1μ@1m
Sensibilidad en recepción	- 64,9 dB

Los datos acústicos se adquirieron mediante el programa Visual Acquisition de Biosonics® y se generaron archivos de 30 minutos de duración cada uno. Posteriormente los datos fueron convertidos para ser leídos y procesados con el programa Sonar5-Pro [15].



Figura 2. A la izquierda, estanque con el soporte del transductor (en el estanque) y, a la derecha, la ecosonda Biosonics DT-X (Sala).

2.4 Procesamiento de los datos

Se utilizaron las herramientas que el software Sonar5-Pro proporciona aplicando umbrales para una correcta visualización de los ecogramas obtenidos. La selección de las trazas, provenientes de las tilapias alojadas en el tanque, se realizó manualmente y de manera individual. Cuando el perfil de los valores de TS que forman una traza era igual o similar a una “V” invertida, la traza era seleccionada y se guardaba su información de: Tiempo de la traza, Número de pings, TS_{medio} (que es el valor medio del TS de todos los ecos que forman la traza), TS_{max} (que es el valor máximo del TS de todos los ecos que forman la traza) y la distancia al transductor o rango (R). Estos datos fueron exportados al Software de Microsoft Excel 2016 en el cual se hizo el cálculo de distintas variables estadísticas como la moda, la mediana, el promedio y la desviación estándar. A partir de los datos estadísticos se intentó ajustar los datos a las ecuaciones de regresión:

$$TS = a + b \cdot \log(LT) \quad (1)$$

$$TS = a + b \cdot \log(W) \quad (2)$$

donde: a y b son constantes, LT: Longitud total, W: peso total de las tilapias y log hace referencia al logaritmo decimal.

3. RESULTADOS.

3.1 Distribución de TS_{max} y TS_{medio}

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de las distribuciones del TS_{medio} y TS_{max} a 200 kHz, para los ocho grupos de tilapias. De cada distribución se obtuvo el valor promedio ($TS_{promedio}$), la mediana ($TS_{mediana}$) y la desviación típica. Para los datos de TS_{medio} , se observaron valores de $TS_{promedio}$ desde -44,2 hasta -34,8 dB y valores del $TS_{mediana}$ desde -44.0 hasta -34,7

dB y para los valores del TS_{max} , el $TS_{promedio}$ variaba desde -41,3 hasta -32,1 dB y los valores del $TS_{mediana}$ entre -41,0 hasta -32,0dB. Se pudo constatar que a medida que aumentaba la longitud total también aumentaban de los valores del TS, es decir se comprobó que existe una relación directa entre TS y LT. Los histogramas del TS, para tres grupos de tilapias ($LT_1= 14,1$ cm, $LT_5= 30,3$ cm y $LT_8 = 43,7$ cm) se muestran en la Figura 3.

Tabla 3. Valores del promedio, la mediana y la desviación típica para las distribuciones del TS_{medio} y TS_{max} de los ocho grupos de tallas de tilapias.

Talla media (cm)	TS_{medio} (dB)			TS_{max} (dB)			Número de trazas
	$TS_{promedio}$	$TS_{mediana}$	Desviación típica	$TS_{promedio}$	$TS_{mediana}$	Desviación típica	
14.1	-44.2	-44.0	3.4	-41.3	-41.0	3.5	1402
17.9	-43.7	-43.5	3.6	-40.8	-40.6	3.8	2240
21.5	-41.7	-40.6	5.7	-39.6	-38.6	6.0	8696
24.6	-41.5	-41.4	3.4	-36.9	-37.1	3.7	1698
30.3	-38.6	-38.7	4.0	-36.4	-36.4	4.0	5088
35.1	-38.3	-38.5	3.4	-35.9	-36.3	3.7	2291
40.8	-34.9	-34.4	4.5	-32.5	-31.9	4.6	8612
43.7	-34.8	-34.7	3.8	-32.1	-32.0	3.8	5400

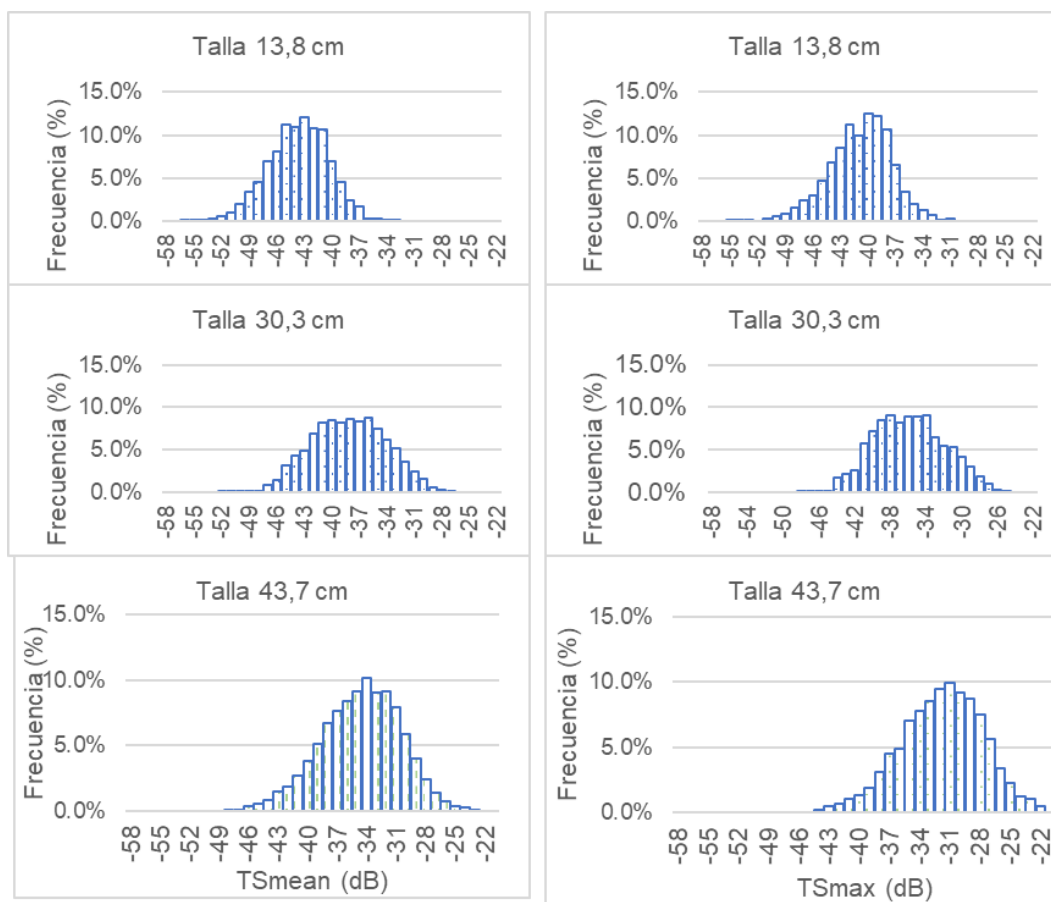


Figura 3 Histogramas de los TS_{medio} y TS_{max} a 200 kHz para tres grupos de tilapias.

3.2 Relación TS y la longitud total

La Figura 4 muestra los resultados de la regresión lineal entre los datos de TS y de longitud total de la tilapia. La ecuación 3 se obtuvo ajustando los valores del $TS_{promedio}$ obtenidos a partir del TS_{medio} de las trazas. Del mismo modo, se obtuvo el ajuste mostrado en la ecuación 4 a partir de los valores máximos (TS_{max}) de las trazas.

$$TS_{medio} = 19.55 \log(LT) - 67,28 \text{ (dB; } R^2 = 0,95) \quad (3)$$

$$TS_{max} = 18.81 \log(LT) - 63.48 \text{ (dB, } R^2=0.92) \quad (4)$$

Estos resultados demuestran que el TS está directamente relacionado con la longitud total de tilapia con valores del coeficiente de correlación superiores a 0.9 en ambos casos.

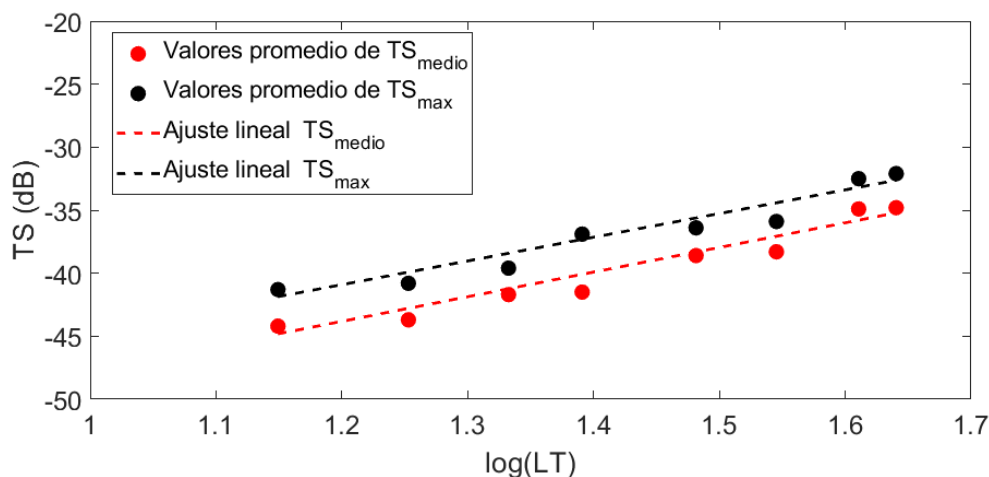


Figura 4. Gráfico de TS vs log(LT) para ocho grupos de tilapias, con los valores de TS_{medio} y TS_{max} a 200 kHz.

3.3 Relación TS y peso

La Figura 5 muestra los resultados del ajuste lineal del TS y el peso de las tilapias, utilizando las TS_{medio} y el TS_{max} de las trazas seleccionadas. En este caso se siguió el mismo procedimiento que para el caso del ajuste TS vs LT. Al igual que en el caso anterior los valores del coeficiente de correlación son como mínimo 0.9 tanto para los valores medios del TS de las trazas como para los valores máximos.

$$TS_{medio} = 6.31 \log(W) - 55.35 \text{ (dB; } R^2 = 0,96) \quad (5)$$

$$TS_{max} = 6.02 \log(W) - 51.86 \text{ (dB, } R^2=0.90) \quad (6)$$

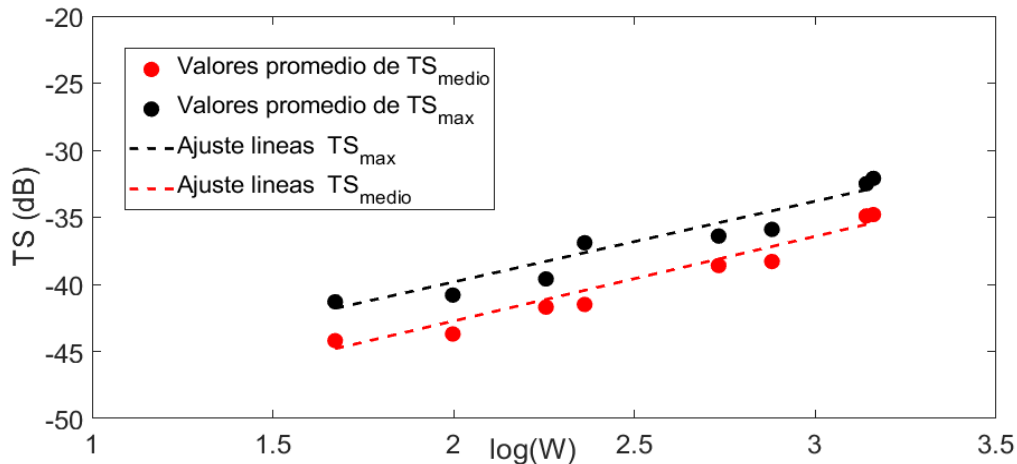


Figura 5. Gráfico de TS vs log(W) para ocho grupos de tilapias, con los valores de TS_{medio} y TS_{max} a 200 kHz.

4. DISCUSION

La vejiga natatoria es la responsable de la mayor parte de la energía retrodispersada por los peces [16], [17]. Las tilapias son peces con vejiga natatoria, por este hecho, se puede inferir que los valores del TS registrados están ligados al tamaño de la vejiga, de manera que, cuanto más grande sea la vejiga natatoria mayor será el valor del TS registrado por la ecosonda. Tras haber realizado un estudio con 8 grupos de tilapias divididas por su longitud (desde juveniles (14.1 cm) hasta adultas (43.7 cm)), se puede afirmar que existe una relación directa entre la longitud total de las tilapias y el TS. En la Figura 4 se puede observar la bondad de los ajustes presentados en las ecuaciones 3 y 4. Como se indica, los valores del R^2 son superiores a 0.9 tanto para el TS_{medio} de las trazas como cuando se considera el valor máximo de las mismas (TS_{max}). En anteriores trabajos [18] realizados con tilapias de longitud comprendida entre 18 y 29 cm no se obtuvieron buenos ajustes entre TS y LT y se presentó una relación inversa entre ambas variables. Sin embargo, en [10] se realizaron medidas con ecosondas científicas de haz partido en un tanque de laboratorio que confirman la bondad de los ajustes obtenidos en este trabajo. Cabe destacar que, a diferencia de [10], las medidas presentadas en este texto fueron realizadas con una ecosonda monohaz.

Es conocido que la longitud de un pez y su peso están relacionados, y para la mayoría de las especies de interés existen relaciones biométricas que relacionan estos dos parámetros. Por ello, se planteó un ajuste lineal entre el peso de las tilapias y el TS. Los resultados obtenidos y mostrados en la Figura 5 y las ecuaciones 5 y 6 confirman los datos obtenidos con la longitud y demuestran que las técnicas acústicas son una herramienta altamente útil para la gestión de instalaciones acuícolas de tilapias criadas en tanques con agua de subsuelo. Especial mención merece el uso de ecosondas de haz simple, lo que permite el uso de sistemas de menor coste, en las plantas y centros de producción acuícola.

5. REFERENCIAS

[1] Hansoo K. , Donhyug K., Sungho Ch. , Mira K. , Jisung P. and Kiseon K. 2018. Acoustic Target Strength Measurements for Biomass Estimation of Aquaculture Fish, Redlip Mullet (*Chelon haematocheilus*) . Appl. Sci. 8: 1536; doi:10.3390/app8091536.

- [2] Koslow, J. A. 2009. The role of acoustics in ecosystem-based fishery management. ICES Journal of Marine Science, 66(6), 966–973. doi:10.1093/icesjms/fsp082
- [3] Lillo, S., Bahamonde, R., Cancino, C., Saavedra, J., Flores, F. y Saavedra A. 2007. Estimaciones in situ de la fuerza de blanco (TS) de merluza de tres aletas. Instituto de Fomento Pesquero. Informe FIP N° 2005-29. Consultado el 22 de octubre del 2020. Disponible en: http://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89111_informe_final.pdf
- [4] Simmonds J, and MacLennan. 2005. Fisheries Acoustics, Theory and Practice 2da Edition. Fish and Aquatic Resources series 10
- [5] Medwin and Clay, 1998. Fundamentals of Acoustical Oceanography. Academic Press, New York 712 pp
- [6] MacLennan, D. N., Fernandes, P. G., and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. ICES Journal of Marine Science, 59: 365–369
- [7] Carrera, P. 2015. Estudio de la dinámica de poblaciones pelágicas de peces mediante técnicas hidroacústicas. Tesis de doctorado. Universidade da Coruña. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/61916793.pdf>.
- [8] Guillard, J., Lebourges-Dhaussy, A., and Brehmer, P. 2004. Simultaneous Sv and TS measurements on Young-of-the-Year (YOY) freshwater fish using three frequencies. e ICES Journal of Marine Science, 61: 267e273
- [9] MacLennan and Simmonds, 1992. Fisheries Acoustics. Fish and Fisheries, series 5 Chapman & Hall, London.
- [10] Jen-Ming Liu, Hendra Setiazi Elaine Q. Borazon. 2021. Hydroacoustic assessment of standing stock of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under 120 kHz and 200 kHz split-beam systems in an aquaculture pond. Aquaculture Research. 2021; 00:1 – 12. John Wiley & Sons Ltd.
- [11] González J., Blanc B., Prario I. y Madirolas A. 2012. Modelación de la respuesta acústica de peces: aplicación a ensayos de laboratorio con percas (*Percichthys trucha*). Anales AFA Vol.23 N.1 (92-101), Montevideo 2011
- [12] Linares, E. O.; Caballero, P., Guillard, J.; Sierra, L. y Hernadez J.L. 2009. Acoustic target strength measurement of two marine fish species of the families Lutjanidae and Haemulidae (*mutton snapper, Lutjanus analis and bluestriped grunt, Haemulon sciurus*). Serie Oceanológica N°5, 2009. ISSN 2072-800x. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2014010736>
- [13] Godlewska Małgorzata. 2004. Target strength of freshwater fishes at 420 kHz measured in cages. Centro Regional Europeo de Ecohidrología, Academia de Ciencias de Polonia.
- [14] Foote K.G. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. Journal Acoustic Society of America, 82(3): 981-987
- [15] Balk and Lindem. Sonar4 and Sonar5 -Pro Post processing systems. Ver 6.0.3
- [16] Foote, K.G. 1980. Importance of the swimbladder in acoustical scattering by fish: a comparison of gadoid and mackarel target strengths. J. Acoustic. Soc. Am. 67(6):2084 - 2089
- [17] Hazen, E. y Horne, J. 2003. A method for evaluation the effects of biological factor son fish target strength. ICES Journal of Marine Science, 60: 555- 562.



**53º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
XII CONGRESO IBÉRICO DE ACÚSTICA**

[18] Pujiyati, S., Karo-Karo, P. E., Yaman, A. Y. N., Khairiza, S., Bendrianto, Sidqi, M. H., & Rizqyawan, R. 2020. Targets strength of freshwater fish with single beam echosounder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 429, 012048. : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/429/1/012048/pdf>.

[19] Warner D. M., Rudstam L. G. and Klumb R. A. 2002. In situ target strength of alewives in freshwater. Transactions of the American Fisheries Society 131:212–223 [http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659\(2002\)1312.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659(2002)1312.0.CO;2)