



46º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA  
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA  
EUROPEAN SYMPOSIUM ON VIRTUAL ACOUSTICS AND  
AMBISONICS

**EL USO DE ECUACIONES ESPECÍFICAS DE CONVERSIÓN TS-TALLA  
PARA LA ESTIMA DE LA BIOMASA DE PECES EN BALSAS DE  
ACUICULTURA SOMERAS MEDIANTE MÉTODOS ACÚSTICOS**

**PACS:**

Lourdes Encina Encina<sup>1</sup>, Victoria Rodríguez Sánchez<sup>1</sup>, Amadora Rodríguez Ruiz<sup>1</sup>, Carlos Orduna Martín<sup>1</sup>, Juan Ramón Cid Quintero<sup>1</sup>, María del Mar Barrios Galán<sup>2</sup>, Myriam Retamero Coro<sup>2</sup> y Macarena Algarín Ojeda<sup>2</sup>

1: FIUS; 2: CTAQUA

**RESUMEN**

La acuicultura es un sector con demanda creciente en nuestro país y se encuentra en una etapa donde los procesos de producción y comercialización están consolidados. Actualmente, las empresas acuícolas buscan la mejora en la optimización de gastos y el control de la trazabilidad del producto. Para mejorar estos parámetros, es fundamental tener un control exhaustivo sobre el número de peces que se crían en las balsas de cultivo y la biomasa de estas. En primer lugar, para ajustar la dosis de pienso (gasto más relevante en la producción) y en segundo lugar, para mejorar la trazabilidad y el control de la producción final. La hidroacústica ha demostrado ser una técnica eficaz para la determinación de densidad y biomasa de peces, tanto en sistemas de agua dulce como salada. Con este método no intrusivo, se pretende mejorar la fiabilidad de las estimas de densidad y biomasa y reducir el estrés que provocan a los peces los muestreos convencionales. Este trabajo tiene como objetivo la aplicación de esta técnica para la estima de biomasa de peces en balsas de doradas (*Sparus aurata*) y lubinas (*Dicentrarchus labrax*) en esteros. Para ello, se han elaborado ecuaciones que relacionan el TS (dB), cantidad de sonido que devuelve el pez, con la longitud (mm) de los peces, validándose la eficiencia del uso específico de dichas ecuaciones para la estima de la biomasa de peces en sistemas someros.

**INTRODUCCIÓN**

La acuicultura en su conjunto produce hoy en día más de la mitad del pescado consumido en el mundo. En los países europeos meridionales, la dorada (*Sparus aurata*), la lubina (*Dicentrarchus labrax*) y el rodaballo (*Psetta maxima*) son las especies de mayor producción. Concretamente en España la acuicultura produce un 95% del total de las doradas y lubinas comercializadas. A pesar de su importancia, la situación de la acuicultura española no presenta el crecimiento que se esperaba y los acuicultores trabajan para mejorar la eficiencia de sus explotaciones y para reducir los costes de producción.

Las estimaciones del tamaño y biomasa de los peces son esenciales para preparar el plan de producción y gestión de las granjas de peces. El procedimiento habitual empleado en las instalaciones de piscicultura es el muestreo de peces con cierta periodicidad, empleando para ello métodos intrusivos de despesque. Desde Septiembre de 2014 el CTAQUA y la FIUS trabajan en un Proyecto para el uso de métodos hidroacústicos en la gestión acuícola de estos sistemas. A diferencia de los métodos extractivos, los métodos acústicos permiten obtener información sobre la densidad y biomasa de peces de forma no intrusiva, evitando la manipulación directa de los animales y el estrés que esto conlleva.

La llave para la correcta interpretación de los datos de un muestreo hidroacústico es el valor de la fuerza del blanco (TS) que devuelven los peces. Conociendo este valor se construyen ecuaciones de conversión que permiten traducir el sonido devuelto del pez (TS) en parámetros biológicos medibles como su longitud o su peso. Disponer de estas ecuaciones espues imprescindibles, ya que son las que nos permitirán estimar la biomasa empleando las técnicas acústicas.

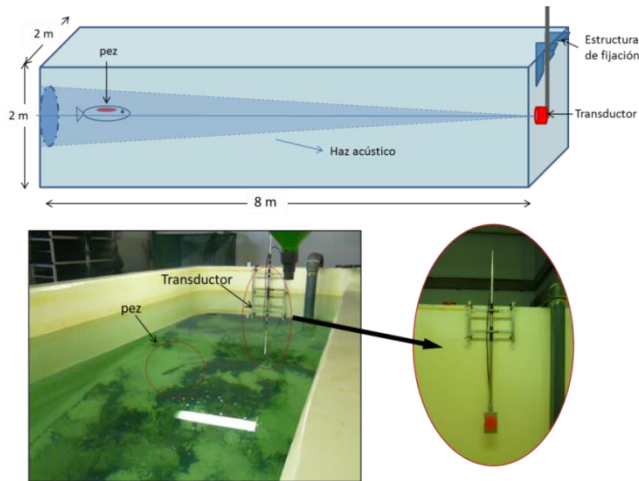
Aunque existen ecuaciones de conversión para algunas especies, no son suficientes para cubrir las necesidades que la hidroacústica presenta y, aunque pueden usarse ecuaciones de tipo genérico ya publicadas, el hecho de que el TS dependa de aspectos tan característicos de cada especie, como su morfología, el tamaño de su vejiga gaseosa, su tipo de crecimiento, etc, su uso puede dar lugar a estimas poco fiables.

Es por ello que uno de los objetivos del Proyecto ha sido el desarrollo de ecuaciones específicas para las principales especies de cultivo de las empresas participantes en el Proyecto y su aplicación en la estima de la densidad y biomasa de peces en las balsas de engorde. Concretamente las especies con las que se ha trabajado han sido la lubina (*Dicentrarchus labrax*) y la dorada (*Spaurusaurata*). El grado de exactitud del uso de dichas ecuaciones para la estima de la biomasa en balsas de acuicultura en tierra fue validado en una unidad de cultivo facilitada por la empresa PISTRESA (Trebujena, Cádiz), de la que se conocía el número real de peces, su biomasa y peso medio.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Dado que estas balsas son sistemas de agua someros, se ha utilizado la técnica en su aplicación horizontal, por lo que es necesario introducir en las mismas el factor relacionado con el cambio en el TS devuelto por el pez en función de la orientación de natación. Las ecuaciones han sido pues desarrolladas en cada una de las orientaciones principales: lateral, oblicua y cabeza/cola. Se utilizó una Ecosonda Simrad EK60 de 200kHz y haz partido circular de 7°, aplicándose la metodología de Rodríguez-Sánchez *et al.* (2015).

El diseño experimental para la obtención de las ecuaciones se llevó a cabo en Esta fase se ha desarrollado en las instalaciones que la empresa Pesquerías Isla Mayor S.A. (PIMSA) posee en Veta la Palma. Concretamente en uno de los tanques de la sala de engorde de sus instalaciones de hatchery. Antes de comenzar el experimento se comprobó que la cubeta seleccionada permitiera la adquisición de datos de calidad sin reverberaciones notables procedentes de las paredes de la misma. Para comprobar esto, se realizaron *pruebas de grabación de escucha pasiva* para detectar posibles fuentes de sonido en la piscina. Posteriormente se realizaron pruebas de grabación con emisión de sonido para ver cómo se comportaba el sonido en el tanque y el nivel de reverberaciones que se producía por la acción de las paredes de la cubeta. En uno de los laterales de la cubeta se colocó una estructura de sujeción a la que se le acopló una barra de acero inoxidable que sostenía a su vez el transductor de la ecosonda (**Figura 1**). El centro acústico del transductor se situó en 1 m. Previo a las grabaciones se realizó una calibración del sistema con una bola de calibración de cobre de 13 mm de diámetro y sonido conocido de -45dB (20°C).



**Figura 1:** Diseño experimental para la obtención de las ecuaciones de conversión horizontal de doradas y lubinas.

Se han analizado los registros sonoros de un total de 15 individuos de lubina y 15 individuos de dorada de diferente talla. Todos los ejemplares seleccionados fueron medidos en (mm): longitud total, longitud furcal y longitud estándar; y pesados (g) antes de ser introducidos en la piscina experimental. La clasificación por talla se hizo en función del grupo de peso al que pertenecen los ejemplares. Los peces se introdujeron individualmente en la cubeta y se insonificaron con natación controlada. Los datos acústicos procedentes de cada uno de los individuos insonificados se procesaron con Sonar 5-Pro (Balk y Lindem, 2012). Los archivos brutos (.raw), se convirtieron con la función 40logR. Una vez obtenidos los ecogramas se procedió de forma manual a la clasificación y registro de trayectorias o tracks de los peces insonificados.

La insonificación de los peces se mantuvo hasta obtener los tracks necesarios para todas las orientaciones del pez. Una vez obtenidos los tracks y calculados los ángulos según la metodología de Rodríguez-Sánchez *et al.* (2015), éstos se clasificaron en intervalos de  $10^\circ$  y se calculó la media de TS para cada intervalo. Más tarde se establecieron 3 categorías que resumían las posiciones angulares en: cabeza/cola, que comprende ángulos entre los  $0^\circ$ - $30^\circ$  y  $150^\circ$ - $180^\circ$ ; oblicua, con ángulos entre los  $30^\circ$ - $60^\circ$  y  $120^\circ$ - $150^\circ$ ; y lateral, entre los  $60^\circ$ - $120^\circ$  (Boswell y Wilson, 2008).

Las ecuaciones TS-longitud desarrolladas se implementaron en el programa de post-procesamiento de los datos acústicos (SONAR 5 Pro) a fin de poder aplicarse en las estimas de biomasa mediante técnicas acústicas. También se incorporaron las ecuaciones de regresión longitud-peso de cada una de las especies, necesarias para la conversión entre la talla y peso para el cálculo de la biomasa. Los análisis de regresión se realizaron con el paquete estadístico SPSS. La eficacia de las ecuaciones desarrolladas se verificó a partir del muestreo en la balsa de PISTRESA, contrastándose los resultados de biomasa obtenidos con las ecuaciones específicas y con ecuaciones genéricas.

En concreto se trataba de una unidad mixta de doradas y lubinas de planta rectangular (20m ancho y 220m de largo) y una profundidad media de 2m (**Figura 2**). Para el muestreo se utilizó una embarcación ligera en la que se colocó la ecosonda, igualmente la Simrad EK60 de 200 kHz y haz partido circular de  $7^\circ$  utilizada en el desarrollo experimental de las ecuaciones. Para el post-procesamiento de los datos acústicos se utilizó el software SONAR 5 Pro v.6.0.1 (Balk and Lindem, 2012), al que se incorporó las ecuaciones TS-longitud y longitud-peso previamente obtenidas.

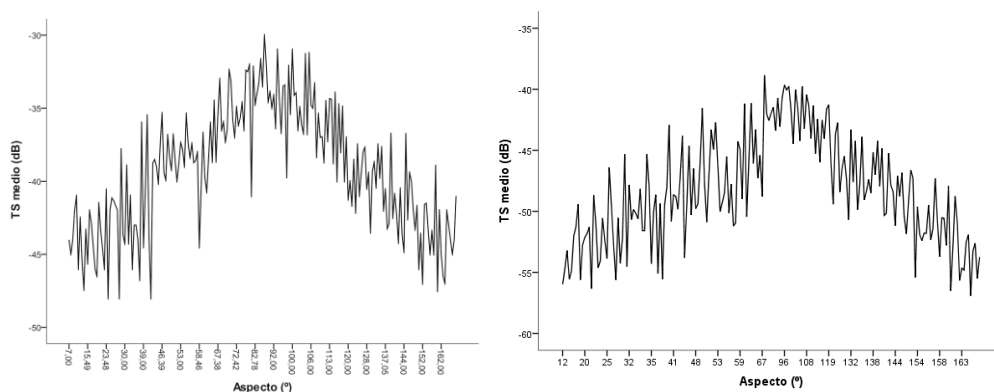


**Figura 2.** Balsa de las instalaciones de PISTRESA, en Trebujena

Como la balsa estudiada estaba compuesta por lubinas y doradas, pero en más proporción por lubinas, se analizaron los datos empleando la ecuación de conversión de esta especie. Se repitió el análisis pero en este caso utilizando una ecuación mixta con ambas especies, tanto para la conversión TS-talla, como para la conversión talla-peso. Por último, se empleó una ecuación genérica de conversión TS-talla, en concreto la de Kubecka *et al.* (2009). A partir del análisis de los datos acústicos se obtuvo la biomasa media de peces de la balsa (Kg/ha) y el peso medio de los ejemplares, a fin de ser contrastados con los reales proporcionados por la empresa.

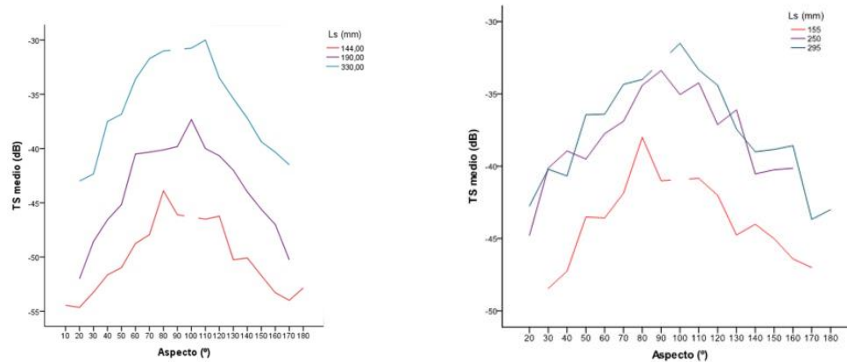
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian diferencias en la respuesta del pez dependiendo de su orientación de natación. Para ambas especies, la orientación cabeza/cola provoca los valores más bajos de TS y las orientaciones laterales producen los sonidos más altos (Figura 3).



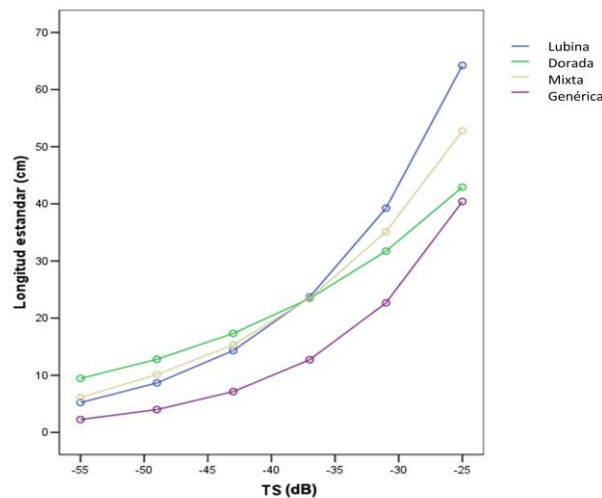
**Figura 3.** Evolución del TS medio (dB) de una dorada de 295 mm de longitud estándar (izquierda) y una lubina de 197 mm de longitud estándar en relación al ángulo de natación (aspecto)

Por otro lado, existe una clara relación entre el TS y la talla de los peces, que a la par es que dependientes de la orientación de natación (Figura 4).



**Figura 4:** Evolución del TS medio de tres lubinas (izquierda) y tres doradas (derecha) de diferente talla.

En la **Figura 5** se muestran los modelos de regresión para la longitud esperada en función del TS de cada especie a partir de las ecuaciones TS-talla y talla-biomasa obtenidas experimentalmente en el muestreo de la balsa de PISTRESA empleando las ecuaciones de lubina y dorada, una ecuación mixta lubina-dorada y la ecuación genérica de Kubecka *et al.* (2009). Los parámetros correspondientes y el ajuste de los modelos se indican en la **Tabla 1**.



**Figura 5.** Modelos de regresión TS-talla para las ecuaciones obtenidas en este estudio y para la ecuación genérica de Kubecka *et al.* (2009).

**Tabla 1:** Modelos de regresión para la longitud esperada en función del TS de cada una de las especies por separado, conjunta y para la ecuación genérica.  $R^2$ : ajuste de la regresión; F: f de snedecor;  $b$ : constante;  $p < 0.001$  para todas las ecuaciones.

	$R^2$	F	b
Lubina	0.986	286.48	3.17
Dorada	0.987	300.71	1.91
Mixta	0.979	183.4	2.68
Genérica	0.987	302.98	3.65

Como puede observarse, existen importantes diferencias en la longitud estimada a partir de las señales de TS de los datos acústicos. En concreto, mientras que la ecuación mixta y las ecuaciones de lubina y dorada proporcionan resultados en consonancia con los obtenidos en condiciones experimentales, la ecuación genérica proporciona los peores resultados, especialmente en las tallas intermedias. Los modelos de lubina y dorada presentan un comportamiento ajustado al crecimiento propio de cada una de las especies. Mientras que la lubina es una especie que crece más en longitud que en anchura, la dorada crece relativamente más en anchura que en longitud, lo que se refleja en las diferencias dependientes de los modelos de regresión de ambas especies, mayor en la lubina que en la dorada. La ecuación mixta, como era de esperar, se sitúa entre los dos modelos.

Las diferencias de longitud generadas por cada una de las ecuaciones, si bien pueden parecer pequeñas, se traducen en importantes diferencias de biomasa, especialmente en especies como las lubinas y doradas, en las que un incremento de 100 mm puede llegar a equivaler a más de 300 g en el caso de las lubinas, y más de 500 g en las doradas.

En la **Tabla 2** se recogen los resultados de las estimas de biomasa y peso medio obtenidos en la balsa de las instalaciones de PISTRESA. Sólo se han empleado las ecuaciones de lubina, al ser la especie proporcionalmente más abundante y la mixta lubina-dorada, a fin de verificar la idoneidad de las mismas. Como puede observarse, el peso medio procedente del empleo de la ecuación de la lubina es menor que el procedente de la ecuación mixta, siendo esta última la que ha dado valores más ajustados al peso medio real de los peces proporcionados por la ecosonda: 297,5 g. Evidentemente esta diferencia en el peso medio estimado por la ecosonda con una u otra ecuación va a tener una implicación directa en la biomasa estimada, siendo mayor en el caso de la ecuación mixta que cuando se usó la ecuación de la lubina. Como puede comprobarse nuevamente, la ecuación mixta arroja una estima dentro del rango real de la balsa, según los datos proporcionados por la empresa.

**Tabla 2:** Resultados de biomasa estimados implementando las ecuaciones desarrolladas.

	Peso medio (g)	Biomasa (Kg/ha)
Ecuación lubina	205,15	10.884
Ecuación mixta	292,10	18.618
Datos PISTRESA	297,50	14.293-19.653

## CONCLUSIONES

Para obtener ecuaciones exactas que relacionen el TS con la longitud total del pez en hidroacústica horizontal, es necesaria la utilización de un transductor de haz partido ya que nos permiten medir ubicaciones angulares de ecos en el volumen insonificado, como así lo demuestran los resultados obtenidos en este estudio. En el proceso de adquisición de datos, un método de cálculo adecuado para obtener el ángulo de incidencia del haz acústico sobre los peces es crucial para obtener datos correctos.

En un estudio hidroacústico, la elección de una ecuación de conversión TS-longitud adecuada es fundamental para la obtención de estimas precisas del tamaño y biomasa de los peces (Boswell y Wilson, 2008). Como se ha probado en estudios anteriores la elección de una ecuación u otra, incluso el método empleado para el cálculo de esta ecuación, puede influir significativamente en el resultado final de la relación TS-talla. Estas variaciones, aun siendo mínimas, provocarían una gran variación en el cálculo final de biomasa de las balsas pretendido en este estudio ya que una pequeña variación por pez se acumularía de gran manera, teniendo en cuenta que las balsas más pequeñas suelen contar con unos 15000-2000 peces.

Las ecuaciones desarrolladas a partir del diseño experimental desarrollado para la insonificación de las especies lubina y dorada con natación controlada, ha producido resultados válidos y de alta calidad para el estudio de la biomasa de estas dos especies en balsas de acuicultura en tierra. Dichos resultados indican que se pueden obtener estimas fiables de la biomasa de peces en este tipo de explotaciones piscícolas a partir de métodos hidroacústicos, siempre que se empleen ecuaciones de conversión TS-talla apropiadas a cada especie, lo que abre unas enormes expectativas de aplicación y futuro del uso de estas técnicas en la gestión de los cultivos piscícolas en tierra.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este estudio agradecen la colaboración de las empresas PIMSA y PISTRESA, ofreciendo sus instalaciones para el desarrollo del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balk and Lindem, 2012. Sonar4 and Sonar5 post processing systems, Operator manual version 5.9.9, 438p. Lindem Data Acquisition Humleveien 4b.0870 Oslo Norway.
- Boswell, K. M., and Wilson, C. A. 2008. Side-aspect target strength measurements of bay anchovy (*Anchoa mitchilli*) and Gulf menhaden (*Brevoortia patronus*) derived from *ex situ* experiments. ICES Journal of Marine Science, 65: 1012–1020.
- Kubečka, J., Hohausová, E., Matěna, J., Peterka, J., Amarasinghe, U. S., Bonar, S. A., & Winfield, I. J. 2009. The true picture of a lake or reservoir fish stock: a review of needs and progress. *Fisheries Research*, 96(1), 1-5.
- Rodríguez-Sánchez, V.; Encina-Encina, L.; Rodríguez-Ruiz, A.; Sánchez-Carmona, R. 2015. Horizontal target strength of *Luciobarbus* sp. in *ex situ* experiments: Testing differences by aspect angle, pulse length and beam position. *Fisheries Research*, 164:214-222.