

ESTUDIO DE LA FORMA DE ONDA DISPERSADA POR DORADAS EN JAULAS MARINAS

PACS: 43.30.GV

Poveda Martínez, Pedro¹; Soliveres González, Ester¹; Puig Pons, Vicent¹; Ordoñez Cebrián, Patricia¹; Espinosa Roselló, Víctor¹; Ramis Soriano, Jaime²

¹Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras (IGIC)
Universidad Politécnica de Valencia

c/ Paranimf, 1. 46730 Grau de Gandía, Valencia. España

Tel. 96 284 93 68

Fax. 96 284 93 37

² Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal.

Universidad de Alicante

Carretera San Vicente del Raspeig s/n. 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante. España

Tel. 96 590 34 00

Fax. 96 590 34 64

Email: pedpomar@upvnet.upv.es; essogon@upvnet.upv.es; vipuipon@upvnet.upv.es;
patorceb@upvnet.upv.es; vespinos@fis.upv.es; jramis@ua.es;

ABSTRACT

Different studies have suggested the monitoring of biomass in aquaculture sea cages from the information provided by scientific echo sounders based on the recording of the backscattered wave envelope as it has been common in fisheries acoustics. We have initiated the study of the full waveform characteristics for single fish echoes in order to investigate its possible application as an alternative method to the current biomass estimation techniques in open sea cages. The analysis has been carried out over gilt head sea bream (*Sparus aurata*) with different weights. Short distance, dorsal and ventral insonification has been used during the evaluation, obtaining in these conditions a direct measurement of different biometrical variables for the target related to its weight.

RESUMEN

En diferentes trabajos se ha sugerido la monitorización de biomasa en jaulas de acuicultura marina a partir de la información que las ecosondas científicas proporcionan sobre la envolvente de los ecos generados, tal y como ha sido común en evaluación de pesquerías por medios acústicos. Con este trabajo hemos iniciado el estudio de las características de la forma de onda completa de los ecos de peces individuales y su posibles aplicaciones como método alternativo a las técnicas actuales para la estimación de biomasa en jaulas marinas. El análisis se realiza sobre medidas en doradas de diferentes pesos, a corta distancia e insonificadas ventral y dorsalmente, y ofrece en esas condiciones una medida directa de algunas variables biométricas de las doradas, directamente correlacionables con su peso.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura representa un avance considerable en las expectativas de la sociedad como medio para la explotación sostenible de los océanos. Con una producción anual según la FAO de 78,9 millones de toneladas de producto en 2010, se sitúa a la cabeza como proveedor de alimentos provenientes del mar por delante de la pesca. Este vertiginoso crecimiento unido a

un mercado cada vez más exigente introduce cierta complejidad en los procesos, requiriéndose de métodos de evaluación cada vez más sofisticados para el control de la producción [1].

Desde hace ya más de una década que viene sugiriéndose el empleo de ecosondas científicas para la monitorización en tiempo real de la biomasa en explotaciones acuícolas. El carácter remoto de estos equipos los hace especialmente adecuados para su utilización en jaulas marinas. Numerosos estudios tratan en la actualidad de establecer correlaciones directas entre las señales proporcionadas por las ecosondas y los diferentes parámetros biométricos característicos de los peces. Un ejemplo claro es el Target Strength (TS), directamente relacionado con la longitud del animal [2, 3].

Los equipos existentes en el mercado únicamente proporcionan la información sobre la energía dispersada por los peces a partir del registro de la envolvente de las señales capturadas en el proceso de medida. Esta pérdida de información, pese a reducir considerablemente el volumen de datos a almacenar, limita las posibilidades de análisis de los ecos.

El objetivo de este trabajo es estudiar la forma de onda dispersada por doradas en jaulas marinas mediante las señales proporcionadas por ecosondas, pero modificando la etapa de captura para el registro completo de la señal. Se presta especial atención a aquellas características susceptibles de ser relacionadas directamente con parámetros biométricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Medidas Experimentales

El análisis de la forma de onda dispersada se realiza a partir de las señales obtenidas por medio de una ecosonda científica en el muestreo de doradas (*Sparus aurata*) clasificadas en grupos según su peso.

| | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 | Clase 5 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Peso (g) | 159 | 179 | 194 | 236 | 269 |

Cada una de las clases a tratar es introducida de forma individual en una jaula de 3 m. de diámetro y 2,7 m. de altura. El transductor empleado en la emisión y recepción de señales corresponde a un Lowrance HS-WS Single-Beam con frecuencia de resonancia de 192 kHz. Con objeto de analizar ecos dorsales y ventrales, se sitúa el transductor tanto en la superficie de la jaula como en el fondo de la misma.

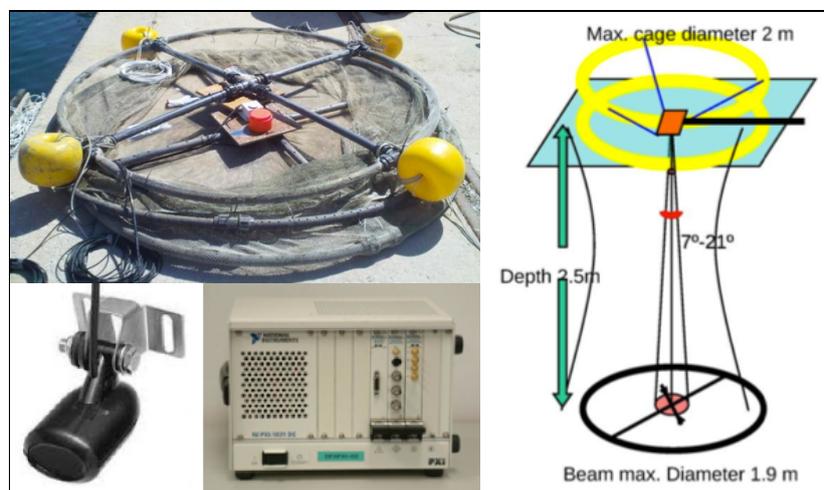


Fig. 1. Equipos y montaje experimental.

La adquisición de señal tiene lugar a través de un dispositivo portátil National Instruments PXI-1031DC, compuesto por un generador de onda NI PXI-5412 de frecuencia de muestreo 100 MS/s, y un osciloscopio NI PXI-5102 de 2 canales y 20 MS/s. Este dispositivo, conectado a un PC gracias al hardware NI PXI-ExpressCard8360, permite la emisión de señal y la recepción de los ecos dispersados por los blancos almacenando la forma de onda completa para su posterior análisis. Se emplea un amplificador lineal Electronic Navigation Industries 2100L serie 245 para acondicionar el nivel de señal a los requerimientos del ensayo.

Como excitación se emplea un tono de 200 kHz de frecuencia, una duración de 12 ciclos y una amplitud a la salida del amplificador de 190 V.

Análisis de Datos

Las señales adquiridas en el proceso experimental son tratadas y analizadas en Matlab. El cálculo de la envolvente correspondiente a cada ping recibido se representa de manera secuencial formando un ecograma. A partir de éste, se procede a la detección de trazas simples pertenecientes a blancos individuales.

Con objeto de mejorar la relación señal a ruido se realiza la correlación de los ecos capturados con la señal emitida, lo que es posible gracias al registro de la forma de onda completa.

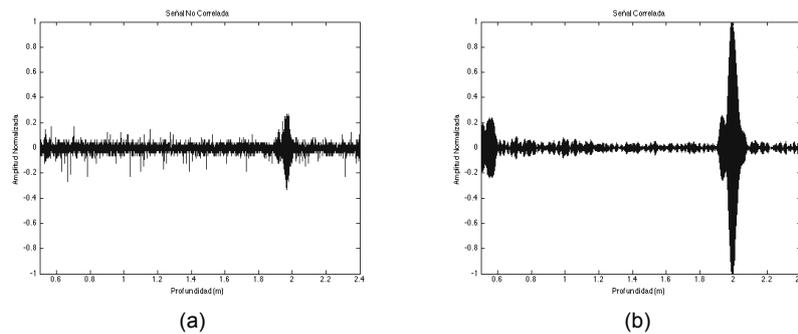


Fig. 2. (a) Señal sin correlar. (b) Señal correlada.

Cada una de las trazas detectadas es analizada de forma individual de acuerdo con su evolución temporal. Se estudia el perfil característico de los ecos poniendo atención en patrones reiterativos en las trazas que puedan ser relacionados, de manera directa, con variables biométricas de las doradas.

RESULTADOS

Del análisis temporal de las trazas a partir de su envolvente se desprende la continua inestabilidad en la forma de onda generada por los ecos del pez.

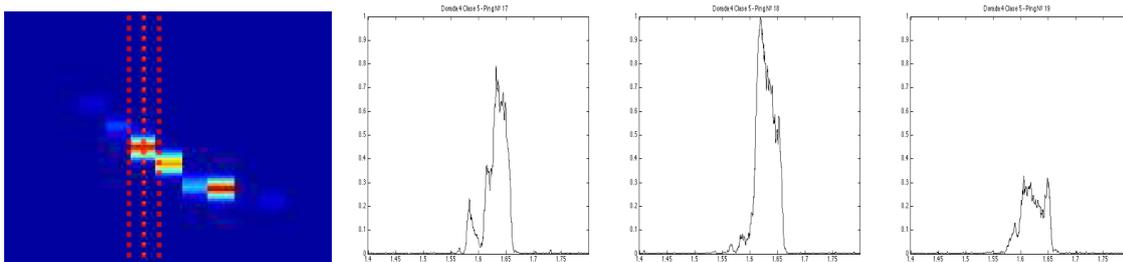


Fig. 3. Pings consecutivos de traza simple.

Se produce una superposición entre ecos cercanos que favorece la inestabilidad de la onda, dificultando así la detección de picos individuales y la extracción de parámetros. Es posible identificar a partir del ping de mayor amplitud la existencia de un eco principal y pequeños lóbulos laterales.

La no consideración de los ecos de baja intensidad anexos a la reflexión máxima permite simplificar la forma de onda proveniente del blanco mediante una función gaussiana. Esta consideración es acorde con el proceso llevado a cabo por diferentes autores a la hora de implementar algoritmos de detección de biomasa utilizando funciones gaussianas como señal de correlación para el realce de los blancos de interés.

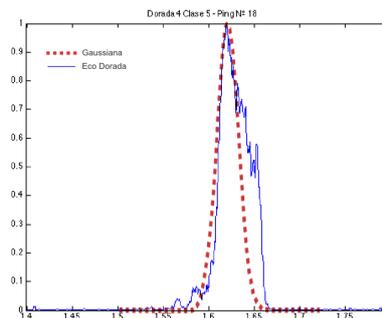


Fig. 4. Comparación Eco Dorada – Función Gaussiana.

La utilización de señales correladas mejora considerablemente los resultados obtenidos, garantizando una mayor relación señal a ruido y disminuyendo las continuas oscilaciones de la envolvente.

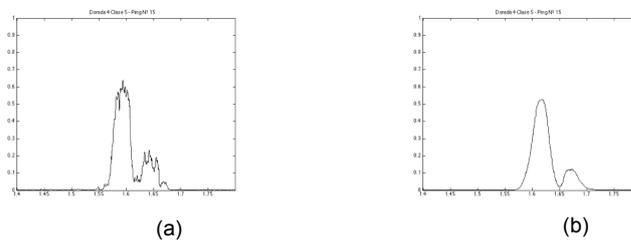


Fig. 5. Envolvente eco dorada. (a) Sin correlación. (b) Señal correlada.

Sin embargo, el uso de una senoide como señal de excitación limita considerablemente los resultados obtenidos en la correlación y proporciona una resolución espacial de orden de magnitud elevado.

Como se pudo constatar anteriormente, analizando la evolución de los ecos a lo largo de la traza se aprecia la existencia de más de un máximo local. Esta característica se manifiesta en un número elevado de blancos y se evita habitualmente aumentando la duración del pulso emitido para poder identificar ecos de un solo máximo con ecos de peces individuales. En el presente trabajo se pretende utilizar la mínima duración de pulso emitido para explotar la resolución espacial obtenida.

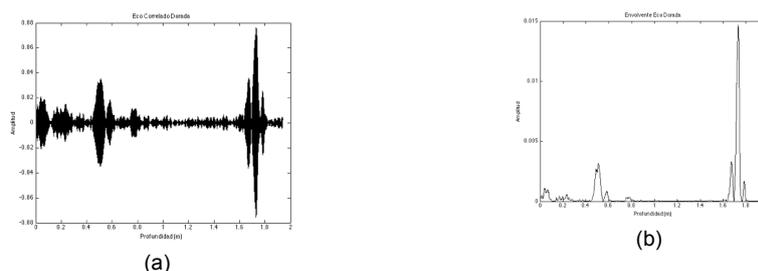


Fig. 6. Eco dorada. (a) Señal correlada. (b) Envolvente señal correlada.

La diferencia de amplitud entre los máximos locales del eco así como la separación espacial entre ellos hace que la utilización de algoritmos cuadráticos para la detección de envolventes pueda generar atenuación y enmascaramiento de los ecos secundarios y consecuentemente, una pérdida de información considerable.

Los ecos recibidos son debidos a reflexiones originadas en el haz ultrasónico con motivo de un cambio de impedancia en el medio de transmisión. La existencia de ecos con tres contribuciones consecutivas de diferente amplitud concuerda con la fisonomía de los ejemplares estudiados. El eco de mayor amplitud corresponde a la reflexión sufrida por el haz al encontrarse con la vejiga natatoria de las doradas. En este caso, la existencia de gas en su interior produce un cambio de impedancia elevado y por tanto, una mayor energía en el eco reflejado. Por lo que respecta a los máximos anteriores y posteriores, los atribuimos a que la interfaz agua-tejido de la dorada lleva asociada un cambio de impedancia inferior, lo que supone una energía devuelta al transductor sensiblemente menor a la generada por la vejiga natatoria. Estos ecos, anterior y posterior, corresponden a la zona ventral y dorsal del pez, pudiendo aportar información relativa a su altura.

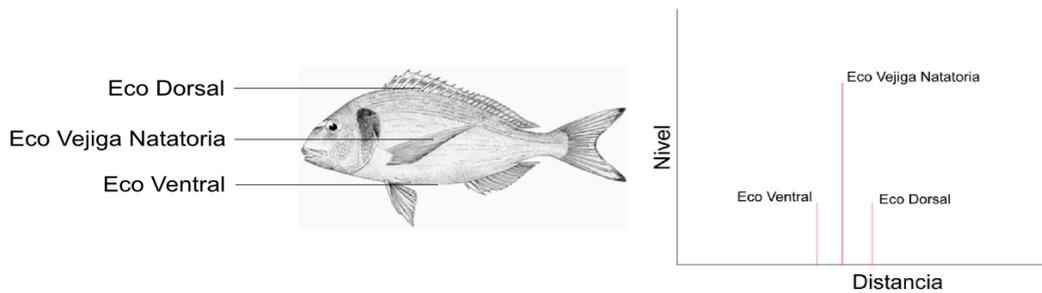


Fig. 7. Esquema de los ecos recibidos.

La posición del blanco en el interior del haz ultrasónico condiciona la calidad de la señal adquirida, afectando a su vez a la aparición de lóbulos laterales. Cambios en la forma de dispersión de la onda pueden llevar asociados fenómenos de enmascaramiento tanto en los ecos ventrales como dorsales, o incluso la desaparición completa de los lóbulos.

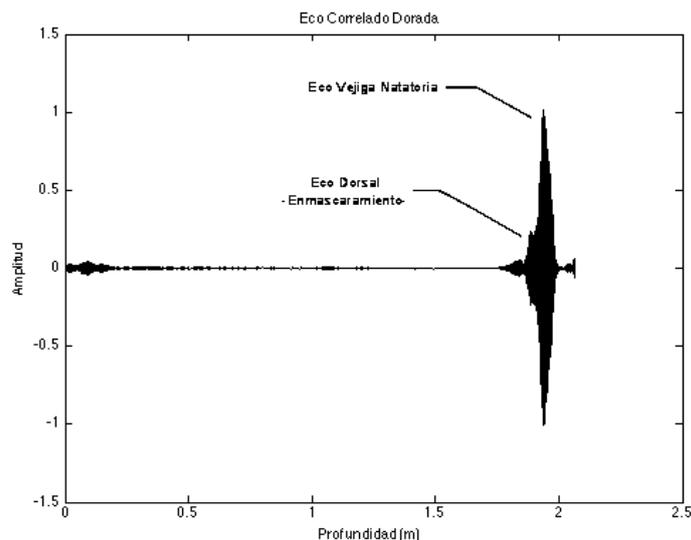


Fig. 8. Eco Dorada. Enmascaramiento lóbulo dorsal y ventral.

Con objeto de simplificar el proceso de análisis, se establece como punto de referencia para la toma de medidas el ping de mayor amplitud de entre todos los ecos de la traza. Se analizan señales obtenidas mediante insonificación ventral y dorsal de los peces.

Medidas Ventrales

Se constata de forma reiterativa la aparición de ecos provenientes de la vejiga natatoria y de la zona dorsal de los blancos. Gran parte de los ejemplares estudiados presentan enmascaramiento de la señal correspondiente a la zona ventral.

Medidas Dorsales

De forma contraria a lo que sucede en el caso ventral, las medidas dorsales proporcionan información de los ecos pertenecientes a la vejiga natatoria y a la zona ventral del pez. En este caso cabe destacar la presencia de lóbulos laterales en un número menor de trazas. Esta característica puede estar asociada a fenómenos de scattering producidos en los contornos superiores de la dorada (*Sparus aurata*).

Determinación de la relación Anchura-Peso de forma experimental

Se determina para cada traza la distancia espacial entre el eco proveniente de la vejiga natatoria y el lóbulo lateral. Se adopta como norma general de medida las siguientes consideraciones:

| Insonificación | Longitud Medida |
|----------------|-------------------------------|
| Ventral | Eco Vejiga – Eco zona Dorsal |
| Dorsal | Eco Vejiga – Eco zona Ventral |

Se asume una simetría en la fisonomía de las doradas respecto a la posición de la vejiga, por lo que la longitud determinada a partir de los lóbulos laterales de la señal y el eco correspondiente a la vejiga se duplicará para obtener la altura correspondiente de cada ejemplar. A partir de las longitudes calculadas en cada traza, se establece una altura media por clase de dorada. Las siguientes figuras muestran la relación altura-peso obtenida a partir de medidas dorsales y ventrales.

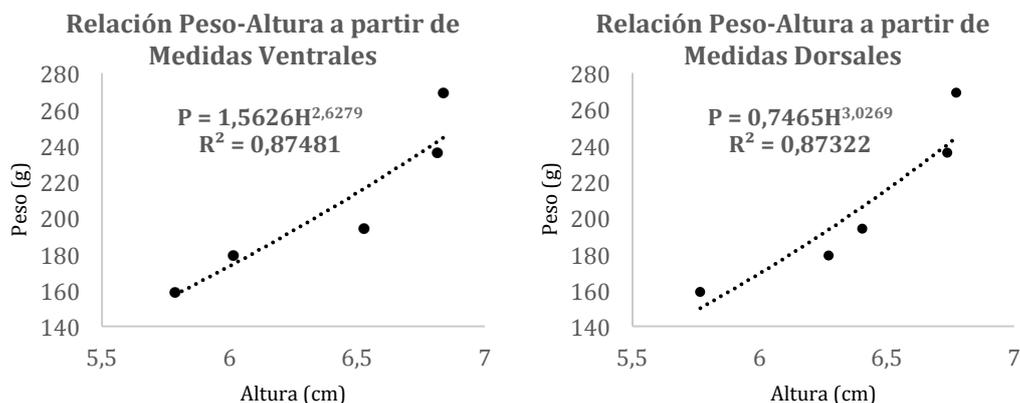


Fig. 9. Relación Peso – Altura a partir de datos ecosonda.

La correlación entre ambos parámetros es elevada, presentando un coeficiente de determinación cercano a la unidad.

$$P = 1.562 \cdot H^{2.6279} ; R^2 = 0.875 \quad (\text{medidas ventrales})$$

$$P = 0.746 \cdot H^{3.0269} ; R^2 = 0.873 \quad (\text{medidas dorsales})$$

Se hace necesaria la comparación de estos resultados con muestreos biométricos para determinar la viabilidad del método experimental.

Parámetros Biométricos

Se establece una relación directa entre la altura del blanco y su peso a partir de los datos biométricos obtenidos del muestreo realizado, durante junio de 2013, sobre una población de 143 ejemplares vivos de dorada (*Sparus aurata*) con pesos comprendidos entre 20 y 500 gramos. La altura de cada ejemplar se determina tomando como referencia la distancia máxima entre la zona ventral y dorsal.

Los parámetros biométricos ponen de manifiesto la existencia de una correlación directa entre peso y altura.

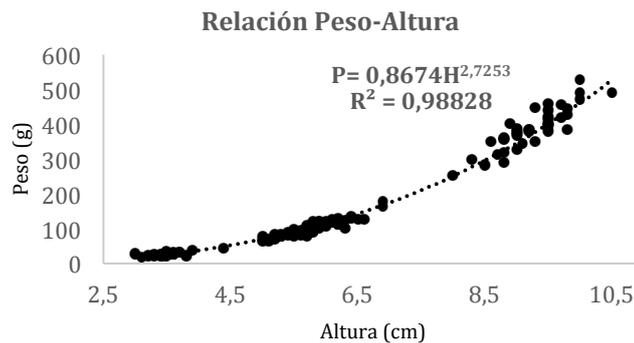


Fig. 10. Relación Peso – Altura. Biometría Maremar 2 (27.06.2013)

La expresión que se deriva del análisis estadístico realizado será empleada como modelo para la comparación con los datos obtenidos por medios acústicos.

$$P = 0.867 \cdot H^{2.725} ; R^2 = 0.988$$

P corresponde al peso (g) y H a la altura máxima del ejemplar (cm).

Comparación Medida Experimental – Biometría

La siguiente figura muestra de forma conjunta la relación Altura-Peso obtenida por medios acústicos y a través de biometrías.

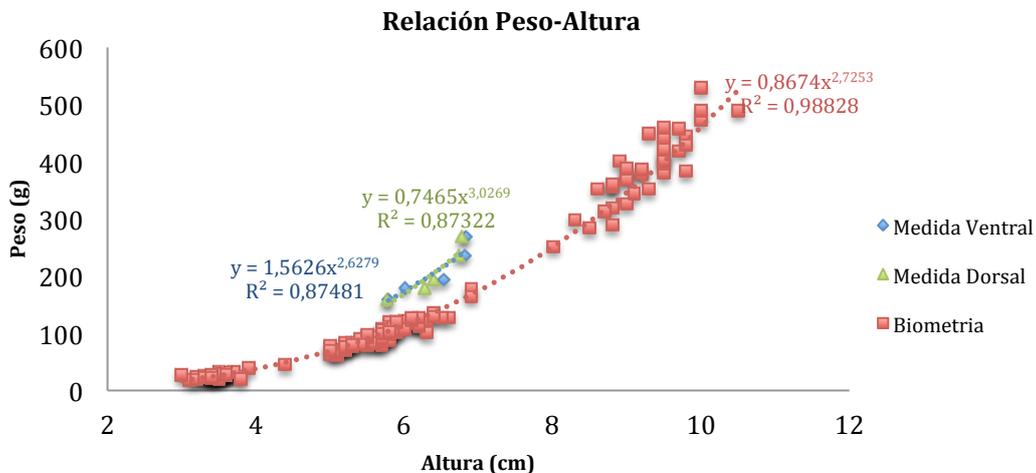


Fig. 11. Relación Peso – Altura en doradas

Las líneas de tendencia se ajustan de manera considerable a los parámetros biométricos, constatando la viabilidad del método como procedimiento alternativo para la determinación del peso de doradas a partir de su altura. La posición relativa del pez dentro del haz acústico y la medición de la altura a partir de la vejiga hacen que los resultados difieran ligeramente respecto a los datos proporcionados por la biometría. Sin embargo, se manteniendo la misma tendencia en ambos métodos.

CONCLUSIONES

El análisis realizado a través de biometrías pone de manifiesto una clara relación entre la altura y el peso de doradas. Del mismo modo, el estudio de la forma de onda completa en señales dispersadas por ejemplares de esta especie proporciona datos relativos a la altura del pez, medida a través de los ecos procedentes de la zona ventral, dorsal y vejiga natatoria. Todo ello, permite establecer un método alternativo para la estimación de biomasa, pudiendo extrapolarse a otras especies de interés.

Se debe hacer referencia a las dificultades presentadas por la posición relativa del blanco en el interior del haz ultrasónico. El elevado número de caminos a recorrer por parte del pez y las diferencias que esto origina en la señal recibida, requieren de un análisis exhaustivo de las trazas, desechando todas aquellas donde las ondas dispersadas no aporten la información suficiente para la caracterización del ejemplar.

Del mismo modo, indicar las limitaciones de resolución asociadas a la utilización de señales sinusoidales como excitación. El empleo de señales tipo chirp y algoritmos de procesamiento garantizarían ondas sensiblemente más estrechas y por tanto, la mejora del sistema gracias a una mayor separación espacial entre ecos correlativos.

Otra mejora sobre el método radica en la determinación de un parámetro de simetría que represente de manera más exacta la fisonomía real de las doradas. En este trabajo se ha considerado, a modo de simplificación, una simetría central en la especie tratada. Sin embargo, la pequeña desviación que presentan las medidas acústicas respecto a los datos biométricos ponen de manifiesto la necesidad de optimizar dicho parámetro.

REFERENCIAS

- [1] APROMAR, “La acuicultura marina de peces en España”, (2012), www.apromar.es
- [2] F.R. Knudsen, J.E. Fosseidengen, F. Oppedal, Ø. Karlsen, E. Ona, “Hydroacoustic monitoring of fish in sea cages: target strength (TS) measurements on Atlantic salmon (*Salmo salar*)”, Fisheries Research, Vol. 69, Issue 2, 205–209 (2004)
- [3] V. Espinosa, E. Soliveres, V.D. Estruch, M. Bou, G. Larosa, S. Martínez, M. Jover, “Gilt-head sea bream (*Sparus Aurata*) cross-section measurements for the acoustical control of sea farms”, Acústica. Portugal. (2008).
- E.Soliveres, V. Espinosa, E. Escuder, J. Alba, J. Redondo, M. Ardid, S. Martínez, M. Jover and V. D. Estruch, “On the use of broadband signals for the acoustical characterization of the gilt-head sea beam”, 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2-7 September 2007.
- J.I. Edwards and F. Amstrong, “Measurement of the target strength of live herring and mackerel”. FAO Fish. Rep., 300:69-77 (1983).
- Xavier Lurton, “An introduction to underwater acoustics. Principles and applications”. Springer & Praxis, 2002.