

Resumen

La acuicultura marina ha aumentado considerablemente su producción en los últimos años debido a la escasez de recursos pesqueros y al aumento de la demanda. En el año 2013 la producción mundial alcanzó las 173062 Tn de dorada (*Sparus aurata*) y 161059 Tn de lubina (*Dicentrarchus labrax*), producida principalmente en Grecia, Turquía, España e Italia. La dorada y la lubina son unas de las especies más interesantes para su cultivo en España. Su zona de cultivo se limita a aguas templadas y se cultiva normalmente en sistemas de jaulas flotantes. La estimación del crecimiento de los peces y la biomasa son esenciales en la preparación del plan de producción de granjas de peces, así como para organizar y llevar a cabo operaciones de gestión, tales como la clasificación y la distribución de los peces, la descarga de nuevos lotes, los horarios de recolección, el cálculo de las tasas de alimentación diaria, etc. Es necesario optimizar estos procesos de producción, no sólo para mejorar la rentabilidad económica, sino también para minimizar el impacto ecológico de las instalaciones. Entre estos procesos cabe destacar la estrategia de alimentación, el crecimiento y la vigilancia de la población. La alimentación diaria se estima en función de la biomasa presente y diferentes factores como el tamaño medio de los peces, la época del año, la temperatura del agua, etc. Por tanto, las estimaciones del tamaño y el número de peces son datos cruciales para el manejo adecuado de la producción.

Las técnicas acústicas resultan las más apropiadas para la detección remota en el agua, debido a que las ondas acústicas permiten recorrer grandes distancias en comparación con las ondas electromagnéticas, que se atenúan muy rápidamente. La luz no penetra más de un par de cientos de metros por debajo de la superficie del agua, y mucho menos

cuando el medio está cargado de sólidos en suspensión o biota, como por ejemplo plancton. De este modo, los instrumentos acústicos que transmiten y reciben ondas acústicas son capaces de detectar peces u otros objetos lejanos que quedan más allá del campo de visión. Por este motivo, las tecnologías acústicas han tenido un mayor impacto en la detección de peces. Desde hace algunas décadas se han estado empleando métodos acústicos para la detección de bancos de peces, de forma que la información proporcionada por sónares y ecosondas resulta un factor importante en la eficiencia de las operaciones actuales de pesca.

Hoy en día se está investigando la manera de determinar de forma precisa la biomasa presente en jaulas mediante técnicas acústicas no invasivas, que pasan por la estimación de la abundancia de peces y la distribución de tamaños. De igual modo estas técnicas pueden permitir el estudio del comportamiento del cardumen en jaulas flotantes, el control del proceso de alimentación e incluso la identificación de especies. La metodología de ecosondas científicas o comerciales se ha orientado principalmente hacia la pesca pelágica, y resulta necesario evaluar si el equipo y los algoritmos pueden aplicarse en el control de granjas de acuicultura marina.

Con el fin de evaluar la biomasa de peces en jaulas, en esta tesis se evalúan dos técnicas para la estimación de la talla y se aborda el estudio de la energía devuelta por el cardumen de peces para la estimación de la abundancia, tal y como se comenta en el Capítulo 1. De igual modo se caracteriza la respuesta acústica del pienso en función de su calibre.

En el Capítulo 2 se incluye información general sobre la dorada y la lubina, y su cultivo en jaulas flotantes, con la finalidad de facilitar la comprensión del comportamiento de los animales y la interpretación del campo acústico dispersado por sus cuerpos. Los conceptos básicos y las formulaciones empleadas en acústica para la estimación de biomasa se describen en el Capítulo 3, que resultan útiles para la comprensión de esta tesis. Se asume un medio homogéneo, isotrópico y no dispersivo, en el que las variaciones de presión son de pequeña amplitud, de forma que los efectos no lineales pueden ser despreciados. Se aborda la ecuación del sónar a partir del estudio de la propagación de una onda acústica en un fluido y la dispersión del campo sonoro producida por un blanco. También se tratan los parámetros electroacústicos del transductor. Se incluyen los conceptos necesarios para la estimación de la talla y la abundancia a partir de la energía devuelta por los peces. Además se resumen las expresiones empleadas por dos ecosondas científicas de las más comercializadas, la EK60 de Simrad y la DT-X de Biosonics.

En el Capítulo 4 se estudia la idoneidad del uso de ecosondas científicas para la estimación de la talla a partir de la detección de ecos procedentes de blancos individuales, con la particularidad de que los peces se encuentran situados a distancias próximas al transductor. Se mide el aspecto ventral y dorsal del target strength (*TS*) para 5 tallas diferentes de dorada a una frecuencia de 200 kHz. El ensayo se lleva a cabo en un reducido rango de distancias, similar a las distancias que se dan en jaulas en condiciones

de producción para la detección de peces aislados. La medida del *TS* a distancias tan próximas al transductor lleva implícita una serie de complicaciones e incertidumbres debido principalmente al campo cercano de los peces, la compensación de las pérdidas de propagación de la onda acústica, la lectura del ángulo de incidencia del campo sonoro retrodispersado y la alteración de la envolvente del eco causada por el tamaño finito de los peces. La relación del *TS* con la talla permitirá estimar de forma indirecta el tamaño de los peces a partir de mediciones acústicas.

En el Capítulo 5 se evalúa la aplicabilidad de ecosondas científicas en la estimación de la talla promedio y la abundancia de peces en jaulas de dorada y lubina en condiciones de producción, que se caracteriza por una reducida separación entre el transductor y los peces así como por densidades elevadas. Se evalúan dos frecuencias, 123 y 201 kHz, de forma dorsal. El estudio del *TS* para la determinación del tamaño queda limitado a la zona superior del cardumen, donde se pueden obtener detecciones de peces aislados, siendo inviable su evaluación a mayores distancias donde la elevada densidad del cardumen hace inevitable la detección de ecos procedentes de múltiples blancos. La abundancia de peces se evalúa mediante la integración de la energía retrodispersada por el banco.

En el Capítulo 6 se propone un método alternativo para la estimación del tamaño de los peces basado en la medida de la diferencia del tiempo de vuelo entre dos máximos de un mismo eco, que corresponden a las reflexiones del pulso transmitido en diferentes partes del cuerpo del pez. Se evalúa el método para el aspecto ventral y dorsal de la dorada, empleando un transductor single-beam a 200 kHz.

Por último, en el Capítulo 7 se caracteriza la respuesta acústica del pienso en función de su calibre empleando una ecosonda científica a 200 kHz, que permitirá la detección e identificación de la caída del pienso sobrante en jaulas en condiciones de producción.