

Resumen

El atún rojo (*Thunnus thynnus*) es una especie de alto valor económico que se vio amenazada en el cambio de siglo por la sobrepesca. Este hecho llevó a la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (*ICCAT*) y a las autoridades, a establecer un férreo sistema de cuotas de pesca, a limitar los periodos en los que esta especie puede ser capturada, a fijar una talla mínima de captura y, finalmente, a diseñar un Plan de recuperación que ha permitido observar signos de recuperación del stock en los últimos dos años.

La acuicultura basada en la captura del atún rojo generó en 2014, alrededor de 4000 Tn de atún engrasado en España frente a las más de 6000 Tn de 2004 (de la Gándara *et al.*, 2016). Los productores, afectados por las restricciones impuestas a la captura necesitan de herramientas para el control del proceso de engrase que permitan mejorar la eficiencia de dicho proceso. Del mismo modo, la mejora de las herramientas utilizadas para el control de la cuota pesquera asignada, es objeto de debate continuo entre productores, autoridades y científicos.

Las técnicas acústicas se han revelado como una herramienta eficiente para el control de la biomasa en jaulas de cría para otras especies de gran consumo, como la dorada o el salmón. Este tipo de técnicas, ya utilizadas por los pescadores para la detección remota de cardúmenes a grandes distancias, no se aplican de manera masiva en las plantas piscícolas como si se hace en mar abierto. Sin embargo, el control de la biomasa en las jaulas de cría (y en las de engrase de atunes) se realiza, bien mediante muestreos manuales que pueden provocar daños a los peces y resultar costosos operacional y económicamente, o bien mediante el uso de sistemas de cámaras estereoscópicas, no invasivas con los peces, pero que se ven limitadas por el alcance del campo de visión de las cámaras, la profundidad y la turbiedad del agua.

En esta tesis, como se detalla en el Capítulo 1, se propone estudiar la viabilidad del uso de las técnicas acústicas para el control de los atunes en las jaulas de engrase, así como para la evaluación del comportamiento de los atunes cuando pasan de vivir en estado salvaje a estar confinados en jaulas marinas. El tamaño de los atunes, así como la forma y tamaño de las jaulas donde son engrasados, limita los estudios y las configuraciones de medida presentadas en el presente documento.

En el Capítulo 2 se incluye información general sobre del atún rojo y sobre su engrase en cautividad a partir de peces adultos capturados (normalmente mediante técnicas de cerco), a diferencia del resto de producciones acuícolas en las que los peces nacen en cautividad. Seguidamente, en el Capítulo 3, se ofrecen los conceptos básicos y la formulación sobre acústica submarina para facilitar la comprensión del resto de capítulos. Es necesario conocer el funcionamiento de la tecnología utilizada en el desarrollo de los experimentos, y para ello se presenta el funcionamiento de una ecosonda y se aborda de manera separada cada una de las partes que la componen y sus particularidades. Desde el transmisor, pasando por el transductor hasta el receptor de la señal, sin olvidar el medio de propagación y las particularidades del blanco que se pretende detectar, así como la manera en la que afectan las limitaciones de medir dentro de una jaula a la determinación de la energía acústica retropropagada por los peces (también conocida como *TS* o target strength).

Se realizó un experimento con el objetivo de conocer cómo se comporta el atún rojo en cautividad y si dicho comportamiento se veía alterado cuando era sometido a estímulos sonoros externos de carácter antropogénico. La metodología y los resultados de este estudio se muestran en el Capítulo 4.

En el Capítulo 5, se evalúa la idoneidad del uso de técnicas acústicas para establecer una relación entre el tamaño del atún rojo y el *TS*, cuando se realizan las medidas desde la superficie del mar y con los sensores orientados hacia el fondo (vista dorsal de los peces). Para ello, se midieron cuatro tallas diferentes de atún a dos frecuencias distintas 120 y 200 kHz. Las medidas se llevaron a cabo en jaulas de engrase, por lo que se asumieron las limitaciones que la determinación del *TS* a cortas distancias lleva implícitas.

A partir de datos provenientes del sacrificio de peces engrasados, se han buscado relaciones entre el peso y las dimensiones del atún rojo. De este modo se han obtenido expresiones que predicen el peso

medio de los peces engrasados en una jaula a partir de su longitud, altura y anchura máxima. Dichas expresiones se muestran en el Capítulo 6.

Haciendo uso de las técnicas acústicas combinadas con un sistema de visión estereoscópica, se ha estudiado la viabilidad de obtener relaciones entre la longitud del atún rojo y el *TS* en jaulas de engrase desde el punto de vista ventral. Para ello, se dispusieron los equipos en el fondo de la jaula de engrase y se registraron los datos con todos los sensores sincronizados y mirando hacia la superficie. Se realizó el estudio para las frecuencias de 120 y 200 kHz como en el caso dorsal, con la particularidad de poder conocer el valor del *TS* de un pez determinado que es grabado con un sistema estereoscópico que nos facilitara datos sobre su longitud, anchura máxima y orientación respecto del transductor. Como en el caso de las medidas dorsales, se pretendía conocer la aplicabilidad de la técnica para conseguir el objetivo fijado.

Por último, en el Capítulo 8 se presenta un método para el conteo de atunes mediante técnicas acústicas. Esta técnica novedosa pretende facilitar el conteo de ejemplares durante los procesos de transferencia, automatizándolo en gran medida y haciéndolo inmune a la falta de visibilidad en el momento de la maniobra. Para conseguirlo se utilizó un sonar de barrido lateral trabajando a 200 kHz y se acompañó el sensor de un sistema de video estereoscópico que permitiera conocer la talla de manera automática.