

RESUMEN DE TESIS DOCTORAL

Cultivo en tierra en sistemas de recirculación de aguas de bacalao (*Gadus morhua*) y salmón (*Salmo salar*) Atlántico en el País Vasco: contribuciones al conocimiento científico de la viabilidad económica, sostenibilidad medioambiental y aceptación social

Maddi Badiola Amillategui

Directores:

Dr. Diego Mendiola

Dra. Oihane C. Basurko

Defendida el 5 de abril de 2017 en la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Realizada en AZTI Tecnalia

Mención internacional y *cum laude*

Resumen

Los sistemas de producción animal, incluida la acuicultura, se consideran una de las principales causas de problemas como el agotamiento de los recursos (agua y tierra) y el cambio climático. Además, su intensificación representa una causa relevante de preocupación ambiental a nivel global. Como se señala en la Introducción general de esta tesis, en acuicultura, la opción de reducir la huella ambiental y mitigar muchos de los impactos asociados con las tecnologías comerciales tradicionales de cultivo de peces (jaulas, estanques, sistemas de flujo continuo) es la tecnología del Sistema de Recirculación de Aguas (SRA). Los SRA se basan en sistemas/ambientes altamente controlados. Cada sistema es diferente y la tecnología utilizada en el circuito del tratamiento del agua puede diferir dependiendo de varios factores. El presente trabajo estudia la viabilidad de utilizar los SRA para criar especies de aguas frías como el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*) y el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) en la zona costera vasca. El estudio se realiza desde cuatro perspectivas diferentes: técnica, económica, ambiental y social. La viabilidad de la tecnología se prueba junto con el entorno; se analizan los costes/beneficios de producir pescado en el mercado local; se estudia el cumplimiento ambiental y los impactos creados; y se estudia la aceptabilidad del producto final entre los consumidores locales y expertos en productos del mar. Además, se presenta una nueva evaluación ambiental y se obtiene un conocimiento detallado de los principales problemas y desafíos futuros relacionados con el uso de la energía y la tecnología de tratamiento del agua. Las contribuciones 1 y 2 muestran dos enfoques experimentales para el cultivo del bacalao y el salmón Atlánticos, respectivamente. Por un lado, la Contribución 1 presenta un estudio de viabilidad para analizar los diferentes escenarios económicos y factores biológicos que pueden influir en una posible producción de bacalao hasta tallas comerciales en SRA. Para ello, 2500 individuos de bacalao fueron criados en dos regímenes térmicos distintos (rango controlado y natural,

respectivamente) a través de 2 SRA piloto establecidos en la región vasca (norte de España). El experimento duró 430 días. Se encontraron diferencias estadísticas en la supervivencia entre diferentes regímenes térmicos, pero no se detectaron diferencias significativas dentro de las temporadas de otoño o invierno. Se detectaron diferencias significativas en las tasas de crecimiento diarias específicas durante la temporada de verano, observándose algunos patrones de crecimiento compensatorio en el régimen térmico natural establecido. Asimismo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los contenidos de grasa de ambas temperaturas después del período estival. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas a nivel sensorial entre las muestras obtenidas en el sistema piloto experimental y las muestras comerciales de origen salvaje. Se concluyó a su vez que el uso de la electricidad es uno de los costes económicos más importantes a considerar. El estudio representó el primer intento de viabilidad técnica de producción de bacalao en la acuicultura en tierra del norte de España. Se demostró la viabilidad técnica para producir bacalao en tierra en la región, la equivalencia de los patrones de crecimiento con estudios previos, la utilidad del régimen térmico propuesto como herramienta para la producción de esta especie, y los parámetros y umbrales económicos clave para una posible actividad comercial viable en la región. Por otro lado, la Contribución 2 estudió el crecimiento compensatorio del salmón del Atlántico utilizando las temperaturas locales del agua de mar, la aceptación del producto final y la intención de compra de los consumidores a través de una evaluación hedónica. Para ello, 1500 individuos de salmón se cultivaron durante 497 días en dos regímenes térmicos diferentes en dos unidades SRA a escala piloto. Las tasas de crecimiento fueron significativamente diferentes para ambos regímenes de temperatura durante la segunda temporada de verano, observándose algunos patrones de crecimiento compensatorio a lo largo del tiempo del régimen térmico natural establecido. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas a nivel sensorial entre las muestras obtenidas en este estudio y el salmón cultivado en SRA en Dinamarca. El nivel de aceptación del consumidor y la intención de compra del producto reflejaron la posibilidad de comercializar salmón cultivado en sistemas SRA en los mercados locales. Asimismo, este estudio refirió el primer intento técnico sobre la acuicultura de salmón en el norte de España.

Los SRA son sistemas intensivos de producción de peces, con un uso reducido de agua y tierra. Sin embargo, su alto requerimiento de energía es un inconveniente, lo que aumenta los costes operacionales y los posibles impactos creados por el uso de combustibles fósiles. Por lo tanto, las Contribuciones 3 y 4 tuvieron como objetivo estudiar más en detalle la importancia del uso de la energía, contribuir a su evaluación más eficiente y proporcionar medidas de ahorro. En la contribución 3 se revisaron los estudios publicados sobre el uso de energía y las eficiencias en los diseños SRA. Además, con el objetivo de estudiar la perspectiva industrial, se realizó un cuestionario a nivel mundial sobre el uso de energía a escala comercial. Así, se presentan parámetros clave para un diseño eficiente de los SRA y así, menos dependientes de energía, incluyendo procesos unitarios optimizados, integración de sistemas y selección de equipos. Las principales conclusiones fueron que los combustibles fósiles son menos rentables que las energías renovables, la energía es de poca importancia para la mayoría de la industria, y las energías renovables tienen un futuro prometedor en los SRA. De acuerdo con esto, la Contribución 4 propuso una combinación de dos métodos, los Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con las auditorías energéticas, para mejorar la actuación ambiental de los SRA, identificar el consumo de energía y sus efectos ambientales y monetarios para buscar la reducción de costes. La metodología propuesta fue probada durante el estudio del caso presentado en la Contribución 1. Aunque el sistema requirió un promedio de 29,40 kWh/kg de peces para una operación exitosa del sistema, el consumo de energía varió según la temporada, presentando períodos máximos y mínimos de 40,57 y 18,43

kWh/kg, respectivamente. Los principales consumidores de los sistemas fueron la bomba de calor, seguida de las bombas principal y secundaria, respectivamente. Los resultados de la auditoría energética mostraron el éxito en la identificación de los dispositivos que consumieron la mayor cantidad de energía, y los datos registrados sirvieron para alimentar el inventario del ACV realizando así un estudio completo y preciso. Se demostró que el combustible fósil usado para la generación de la electricidad fue el factor más dañino para el medio ambiente; fue la principal causa en todas las categorías evaluadas. El uso eléctrico mostró una variabilidad temporal en función de la temperatura del agua, que resultó ser el factor principal relacionado con el uso de energía. Esto ayudó a realizar una evaluación más precisa incluyendo escenarios específicos del sistema. La combinación de ACV y auditorías energéticas representó una herramienta útil para asegurar una evaluación más completa con una evaluación periódica para diseñar un sistema menos energético (en términos de uso), más rentable y sostenible. Asimismo, esta metodología combinada aumenta la velocidad y la transparencia de la gobernanza y la toma de decisiones, teniendo en cuenta la fluctuación en el tiempo del consumo de energía a lo largo del ciclo de producción.

Consiguiente con esto, en la Contribución 5 se analizaron las principales cuestiones y/o problemas para los SRA a fin de conducir hacia mejores soluciones para futuros productores, identificando posibles áreas de mejoras y desafíos futuros para la industria. Empresas con SRA, investigadores, proveedores/diseñadores de sistemas y consultores se entrevistaron por separado, con el fin de obtener una comprensión general y qué novedades podrían ayudar de manera positiva. Respuestas y análisis subsiguientes identificados como barreras importantes fueron: participación deficiente de los productores; desincentivo para compartir información; y falta de comunicación entre diferentes partes. Los principales problemas identificados fueron: diseños deficientes y su mala gestión. Las prioridades clave resaltadas fueron la necesidad de mejorar los rendimientos y buscar combinaciones más eficientes de los dispositivos para cada situación particular. Las recomendaciones adicionales fueron la creación de una plataforma especializada junto con un programa de educación más profundo y distintivo. Finalmente, en la discusión general, se analizan los resultados obtenidos en las diferentes Contribuciones desde un punto de vista integrador en relación con el objetivo establecido para la tesis. La discusión se divide en las cuatro perspectivas diferentes estudiadas y las preguntas planteadas se responden desde diferentes puntos de vista. En general, el enfoque escalonado propuesto puede ser útil para establecer una empresa SRA en la región. Comprende los aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales de una posible producción de bacalao o salmón. Técnicamente, una estrategia de temperatura modulada se prueba a escala experimental. Sin embargo, se deben desarrollar investigaciones antes de proponer cualquier iniciativa a escala comercial con respecto al equilibrio requerido entre la estrategia de trabajo, las especies criadas y el perfil de temperatura del agua de mar. La importancia de esta tecnología en todo el mundo y la conciencia del consumidor hacia el bienestar del medio ambiente hace que sea necesario mejorar cada aspecto de los SRA para aumentar el número de empresas que apuntan hacia una industria más sostenible.

Palabras clave: sistemas de recirculación de aguas, sostenibilidad, estudios de viabilidad.

Publicaciones de la Tesis

Enlace al documento completo: <http://hdl.handle.net/10810/22626>

Badiola M., Piedrahita R., Hundley P., Basurko O. C. Energy use in Recirculating Aquaculture Systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 81: 57-70.

Badiola M., Basurko O. C., Gabiña G., Mendiola D. (2017). Integration of energy audits in Life Cycle Assessment (LCA) methodology to improve the environmental performance assessment of Recirculating Aquaculture Systems (RAS). *Journal of Cleaner Production*, 157: 155-166.

Badiola M., Gartzia I., Basurko O. C., Mendiola D. (2017). Land-based growth and sensory evaluation of Atlantic salmon (*Salmo salar*): assessing consumers acceptance. *Aquaculture Research*, 1: 18.

Badiola M., Albaum B., Mendiola D. (2016). Land based on-growing of Atlantic cod (*Gadus morhua*) using Recirculating Aquaculture System (RAS); a case study from the Basque region (northern Spain). *Aquaculture*, 468: 428-441.

Badiola M., Mendiola D., Bostock J. (2012). Recirculation Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*. 51: 26-35.