

CULTIVO DE DORADO *Seriola lalandi* EN SISTEMAS ACUÍCOLAS DE RECIRCULACIÓN DE BAJO COSTO EN EL NORTE DE CHILE

Data de aceite: 02/06/2023

Roberto Ávila

Centro de Investigación Aplicada del Mar S.A., Avenida Arturo Prat 33, Iquique, Chile.

Doctorado en Acuicultura Programa Cooperativo de Universidad de Chile, Universidad Católica del Norte y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Programa de Atracción e Inserción de Capital Humano Avanzado de CONICYT.

Jorge Oliva

Centro de Investigación Aplicada del Mar S.A., Avenida Arturo Prat 33, Iquique, Chile.

María Pizarro

Centro de Investigación Aplicada del Mar S.A., Avenida Arturo Prat 33, Iquique, Chile.

Carlos Merino

Centro de Investigación Aplicada del Mar S.A., Avenida Arturo Prat 33, Iquique, Chile.

Cristián Araneda

Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. La Pintana, Chile.

Arnaldo Vilaxa

Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Centro de Estudios Marinos y Limnológicos. Universidad de Tarapacá. Arica, Chile.

RESUMEN: Chile es considerado a nivel mundial como un país acuicultor. Sin embargo, alrededor del 79% de su producción anual está vinculada a la salmonicultura (FAO, 2018). El Programa para la Diversificación de la Acuicultura Chilena (PDACH) busca contribuir a la acuicultura y comercialización de peces marinos de alto potencial exportador. El PDACH identifica en *Seriola lalandi* un recurso con potencial acuícola para la zona norte de Chile. Diversas investigaciones se han desarrollado entorno al recurso, no obstante, aún persisten desafíos y brechas importantes de abordar (i.e. tecnologías para engorda y sus costos de producción asociados). A excepción de Orellana *et al.* (2014), el conocimiento actual, se ha centrado principalmente en el acondicionamiento de reproductores y obtención de larvas y juveniles con escaso desarrollo de tecnologías para fase de

engorde. El propósito de esta investigación fue obtener una solución tecnológica transferible, que optimizara parámetros de cultivo para el engorde de *Seriola lalandi* en sistemas acuícolas de recirculación (SAR) de bajo costo cuyo precio de producción asociado fuera inferior al precio de venta (7.0 USD kg). Se diseñó y construyó Unidad Piloto de Engorda (UPE) con tecnología SAR de bajo costo. Se realizaron dos cultivos pilotos entre abril 2014 y diciembre 2016 (en total 960 días de cultivo) para evaluar el sistema propuesto. Los costos productivos asociados a la tecnología desarrollada fueron de 8.48 USD kg; sin embargo, los resultados obtenidos permitieron realizar una proyección económica cuyos costos de producción disminuyeron a 5.28 USD kg basados en la reducción de los ítems alimento y juveniles.

PALABRAS CLAVE: Yellowtail Kingfish, SAR, crecimiento

CULTURE OF *Seriola lalandi* IN AQUACULTURE RECIRCULATION SYSTEMS IN THE NORTH OF CHILE

ABSTRACT: Chile is considered a global aquaculture country. However, 95% of its annual production is linked to salmon farming. The Program for the Diversification of Chilean Aquaculture (PDACH) seeks to contribute to the aquaculture and commercialization of marine fish of high export potential. The PDACH identifies in yellowtail Kingfish (*Seriola lalandi*) a resource with aquaculture potential for the northern zone of Chile. Various research has been developed around the resource; however, important challenges and gaps still remain to be addressed (i.e., fattening technologies and their associated production costs). With the exception of Orellana (2014), the current knowledge has focused mainly on the conditioning of breeding and obtaining of larvae and juveniles with little development of technologies for fattening phase. The purpose of this research was to obtain a transferable technology solution that optimizes crop parameters for the fattening of *Seriola lalandi* in low cost recirculation aquaculture system (SAR) whose associated production price will be lower than the selling price (7 USD kg). Pilot Unit of Fattening (PUF) was designed and built with low-cost SAR. Two pilot assays were conducted between April 2014 and December 2016 (in total, 960 cultivation days) to evaluate the proposed SAR. The productive costs associated with the technology developed were 8.48 USD kg. However, analysis allowed to realize an economic projection whose costs of production decreased to 5.28 USD kg based on the reduction of the feeding and juvenile items.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una de las principales actividades económicas en Chile. Siendo el salmón la principal especie acuática de cultivo. El Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC) a través del programa para la diversificación de la acuicultura chilena (PDACH) busca la producción de peces no salmónidos, de alto potencial exportador. El PDACH identificó al pez marino dorado *Seriola lalandi* Cuvier & Valenciennes, 1833 como un recurso con potencial acuícola para la zona norte de Chile, incluida Arica.

Importantes investigaciones se han desarrollado en torno a *S. lalandi* (Bowyer *et al.*, 2014; Orellana *et al.*, 2014). Sin embargo, la biografía existente es exigua para

tecnologías de engorde y costos productivos asociados, en esta especie. El objetivo de la presente investigación fue obtener una solución tecnológica de bajo costo que optimizara parámetros de cultivo para el engorde de *S. lalandi* en el norte de Chile, cuyo valor de producción asociado fuera inferior 7,0 USD kg.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, demandó el emplazamiento de una Unidad Piloto de Engorda (UPE) en tierra, en la ciudad de Arica, XV región; Latitud 18°28'2"S, Longitud 70°17'52"W.

DISEÑO SISTEMA ACUÍCOLA DE RECIRCULACIÓN DE BAJO COSTO (SAR)

Se diseñó y construyó UPE, formada por 6 estanques de cultivo del tipo australiano de 9 m de diámetro y 90 m³ de volumen cada uno. Cada estanque de cultivo conto con una unidad de tratamiento con tecnología SAR de bajo costo para el agua de cultivo.

Los SAR estaban conformados por un estanque de expansión de 500 L (Bioplastic), el cual recibe por gravedad el efluente del estanque de cultivo. Desde el estanque de expansión, mediante una bomba trifásica de 2 hp (Silent, Espa), el flujo es dirigido hacia el filtro gravimétrico (Emaux Tecnology) de 50 u para terminar en el filtro biológico de 5 m³. Por gravedad el flujo de agua retorna al estanque de cultivo desde el biofiltro (Fig. 1).

CULTIVO PILOTO DE *Seriola lalandi*

Se realizaron dos cultivos pilotos de *Seriola lalandi* en dependencias de la UPE. Las actividades de cultivo se ejecutaron entre abril 2014 y diciembre 2016.

SIEMBRAS DE JUVENILES DE *S. lalandi* EN UPE

El abastecimiento de juveniles de *S. lalandi* para los cultivos pilotos realizados consideró la compra y traslado de especímenes vivos de dos orígenes: i) Tongoy (proveedor Fundación Chile, región de Coquimbo; distancia de trayecto 1.623 km, tiempo de traslado 36 horas); ii) Antofagasta (proveedor Universidad de Antofagasta, región de Antofagasta, distancia de trayecto 718 km, tiempo de traslado 15 horas). El 27 de abril 2014, arribaron a las instalaciones de la UPE, 4.819 juveniles de 17,4 ± 2.1 g, provenientes de Tongoy (grupo de peces de prueba identificado como Aric-1); posteriormente el 17 noviembre 2015 ingresaron a las instalaciones 201 peces de 204,0 ± 17,4 g, provenientes de Antofagasta (grupo de peces de prueba identificado como Aric-2).

CULTIVO PILOTO DE *Seriola lalandi* EN UPE

Durante el periodo del cultivo piloto, se midió oxígeno disuelto (OD), temperatura y

pH en el agua de cultivo utilizando un equipo YSI Pro-20. Se determinó TAN (Amonio Total como Nitrógeno) mediante método Nessler utilizando un multi-parámetro Hanna HI 83203-Aquaculture photometer.

El crecimiento de los ejemplares fue evaluado a través de tasa de crecimiento específico (*SGR*, por su sigla en inglés, Specif Growth Rates) expresado en porcentaje día (% d⁻¹), según lo descrito por Brown *et al.* (2011):

$$SGR = \frac{[\ln(W_f) - \ln(W_i)]}{t} \times 100$$

Dónde: W_f es el peso final (g); W_i es el peso inicial (g); t es el tiempo en días (d).

El Factor de conversión alimentaria (*FCR*) se calculó en base a la relación alimento consumido y ganancia en peso según lo propuesto por Zapata & Espejo (2008), Brown *et al.* (2011).

$$FCR = \frac{AL}{GP}$$

Dónde: AL es el alimento consumido (kg) y GP es la ganancia en peso ($W_f - W_i$) en kg.

La mortalidad porcentual diaria (% d⁻¹), se determinó en base a la mortalidad diaria registrada con respecto al número inicial de peces.

EVALUACIÓN Y PROYECCIÓN ECONÓMICA

Los parámetros de producción obtenidos fueron utilizados para la evaluación económica del SAR, sobre la base de aspectos técnicos y de mercado se realizó una Evaluación de Proyecto Privado según metodología propuesta por Nassir Sapag. A partir de estos antecedentes se analizaron variables como curva de crecimiento, consumo de alimento, energía eléctrica, inversión en equipos y otros revisados en detalles. Se evaluó valores de venta de *Seriola lalandi* y la viabilidad económica del proyecto en un estudio base que considero una planta con una producción anual de 300 toneladas (escenario 1).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

La normalidad de las variables *SGR*, ganancia de peso, *FCR*, temperatura, mortalidad diaria fue corroborada con el test de Shapiro-Wilks. La asociación lineal entre las variables fue estimada con el coeficiente de correlación de Pearson (r) o de Spearman (r_s), dependiendo si presentaron o no distribución normal. La comparación entre *SGR*, ganancia de peso, *FCR* y mortalidad diaria fueron comparadas por medio de una prueba t , después de corroborar la homogeneidad de varianza con un test de Figner-Killen.

RESULTADOS

La evaluación del cultivo piloto de *Seriola lalandi* se inició con el arribo de los juveniles a la UPE en Arica. Aric-1 registró los siguientes datos durante el traslado: temperatura oscilante de 14 a 17°C, oxígeno disuelto (OD) en rango de 10 a 15 mgL⁻¹. Porcentaje de supervivencia 75%. Inicialmente los peces fueron sembrados en un estanque de 90 m³ provisto de 3 jaulas nidos de 3 m de diámetro (Fig. 2). Con esta actividad comienza el cultivo piloto de la especie *Seriola lalandi* en Arica (día 1 de cultivo en la UPE). Posteriormente el 17 de noviembre 2015 ingresan a la UPE los juveniles Aric-2, temperatura del agua de traslado en un rango de a 16,4 a 19,9°C. Oxígeno disuelto en un rango de 7,4 a 9,9 mgL⁻¹, supervivencia al transporte 100%.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACUÍCOLA DE RECIRCULACIÓN SAR DE BAJO COSTO

La temperatura de cultivo promedio registrada en el sistema propuesto fue de 21,1 ± 2,2 °C, con oscilación (máxima y mínima) en los meses cálidos a frío de 28,1 a 15,3°C mostrando un comportamiento dependiente de las estaciones climáticas (Fig. 3A). La concentración de oxígeno disuelto (OD), muestra un comportamiento estable, con un valor medio de 6,3 ± 0,8 mgL⁻¹, con una máxima de 12,7 y una mínima de 2,9 mgL⁻¹ (Fig. 3B). La variabilidad observada para el OD está ligada a las condiciones ambientales, tanto de temperatura como de capacidad de carga del sistema, las acciones correctivas realizadas se efectuaron a través de la incorporación de oxígeno (actividades de remediación), lo que permitió una estabilización de la concentración del OD en el sistema.

El TAN (Amonio Total como Nitrógeno) promedio del periodo de cultivo experimental, fue de 2,1 ± 2,4 mgL⁻¹ registrándose un máximo de 8,6 mgL⁻¹ y un mínimo de 0,2 mgL⁻¹, los máximos de concentración están relacionados con el manejo del SAR. No obstante, el TAN osciló entre 0,5 y 1,5 mgL⁻¹ hasta el día 459 de cultivo (Fig. 3C). Posteriormente se estabilizó dentro de un rango de 0,5 a 1,0 mgL⁻¹.

El pH (Fig. 3D) presentó valor promedio de 8,4 ± 0,3. Con una máxima de 9,7 y una mínima de 7,3.

CULTIVO PILOTO DE *Seriola lalandi*

Las curvas de crecimiento de Aric-1 y Aric-2, se presentan en Fig. 4. Los peces de Aric-1 (n= 4819), fueron cultivados desde 17,4 ± 2,1 g a 2510,7 ± 532,0 g en 960 días de engorda. Los peces de Aric-2 (n= 201), fueron cultivados desde 204,0 ± 17,4 g a 3409,0 ± 410,0 g en 390 días de engorda (Tabla 1). La relación entre SGR y temperatura (Fig. 5) fue positiva (R² 0,88) para los peces de Aric-2. Sin embargo, para Aric-1 no se detectó correlación entre SGR y temperatura.

La conversión del alimento (FCR) fue alta para Aric-1 (4,5); atribuible a que la alta

mortalidad que afecta en el cálculo del FCR. Esta alta mortalidad está dada por eventos relacionados con la etapa de prueba del sistema de cultivo propuesto (período de ajustes y marcha blanca). Para Aric-2, se obtuvo un FCR de 1,9 (Tabla 1).

La mortalidad porcentual fue de 3,2 y 0,3 %d⁻¹ para Aric-1 y Aric-2 respectivamente (Tabla 1). Las causas de mortalidad para Aric-1 (Tabla 2), están relacionadas, principalmente con: (i) predación por aves al inicio del estudio (44% de la mortalidad total), (ii) errores en la operación del SAR etapa de aprendizaje e inducción (el personal no contaba con experiencia previa en acuicultura), y finalmente (iii) presencia de enfermedad del hígado verde, lo cual fue revertido a partir del día 538 de cultivo con cambios a la dieta ofertada. Las causas de mortalidad en Aric-2 están asociadas a la presencia de *Zeuxapta seriolae* y *Benedenia seriolae*. Ectoparásitos monogéneos en *Seriola lalandi* que afectan branquias y piel respectivamente causando mortalidades masivas en los organismos.

En relación al crecimiento (Tabla 1) se presentan los parámetros productivos de ambos grupos de cultivo, Aric-1 y Aric-2, para un periodo de cultivo de 960 y 390 días respectivamente. Se selecciona Aric-2, para aplicar evaluación económica por corresponder al periodo en que se estabiliza el manejo del sistema.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Costos de producción

El valor del módulo básico de producción desarrollado (estanques de cultivo más sistema de recirculación SAR) es de 16.667 USD (Fig. 2). Comparaciones realizadas señalan que el metro cúbico de agua recirculada en la solución propuesta es de 185 USD m⁻³ versus 900 a 1.200 USD m⁻³ para soluciones disponibles en el mercado (valores obtenidos a partir de cotización realizada por el proveedor).

Se evaluaron dos escenarios de costos. Escenario 1 que correspondió a los datos alcanzados a través de la evaluación productiva de la solución tecnológica obtenida, a partir del cual mediante un análisis de sensibilidad utilizando programa Crystal Ball de los factores “precio venta” y “costo alimento”, se proyecta escenario optimizado a través del desarrollo de soluciones tecnológica para ítems alimento y juvenil (Escenario 2) (Tabla 3).

DISCUSIÓN

La Unidad Piloto de Engorda (UPE), fue diseñada y operada con el objeto de generar información tecnológica para el escalamiento comercial de *Seriola lalandi* en el Norte de Chile.

La UPE, reutiliza el agua de cultivo con renovación de un 15% con una tecnología de bajo costo, en contraste a lo propuesto por Orellana *et al.* (2014), que utiliza sistema de alta tecnología y baja tasa de renovación (1%).

La bio-transformación del TAN a nitrito y luego a nitrato acción que se realiza en el biofiltro, fue satisfactoria ya que se logra estabilizar en un rango promedio de concentración

entre 0,5 a 1,0 mgL⁻¹, similar a lo establecido por Orellana *et al.* (2014) para la misma especie.

En una primera etapa del cultivo experimental (día 1 al día 459) el rango promedio oscilo entre 0,5 a 1,5 mgL⁻¹. Esto es considerado alto al comparar con los 1,0 mgL⁻¹ como límite de dimensionamiento (Merino, 2009).

El pH se mantuvo en un rango estable de 8,0 a 8,5 durante los 960 días de operación, lo que favorece a las bacterias nitrificadoras, ya que estas son sensibles a ambientes ácidos (Merino, 2009). Cabe destacar que, para la mantención de un pH básico, no se agregó al SAR solución química del tipo básica como regulador del pH. No obstante, y dado que el amonio (TAN) se encuentra en dos formas: ionizado y no ionizado, este último el más tóxico (Merino, 2009); la concentración relativa de ambas formas está en función del pH, temperatura y salinidad (Ebeling *et al.* 2006; Reddy-Lopata *et al.* 2006). Específicamente, las concentraciones del amonio no ionizado aumentaron con el pH y temperatura; y disminuye con la salinidad más alta (Huchette *et al.* 2003).

El crecimiento de los peces en cultivo, es afectado directamente por la temperatura (Abbink *et al.* 2011). En este trabajo se encontró que existe una relación positiva entre temperatura y SGR sólo en la siembra Aric-2. Esto se puede atribuir a la implementación inicial del SAR, lo que coincide con: (i) mayor concentración de TAN en el cultivo, y su consecuente depresión en el crecimiento de los peces (Guillen *et al.* 1993, Tomasso 1993, Wajsbrodt *et al.* 1993), (ii) siembra a partir de mayo con descenso de la temperatura, pero cuyo bajo SGR no se recupera al llegar el periodo primavera-verano, y por último (iii) calidad de los juveniles. El SGR sólo se incrementó, en Aric-1, a partir del cambio del alimento (incorporación de Taurina al 5%) (Bowyer *et al.* 2013), lo que mejoró la sintomatología del hígado verde disminuyendo las mortalidades, a partir del día 264 de cultivo. En cambio, los peces de Aric-2 fueron sembrados en la curva ascendente de temperatura.

A temperatura de 23°C los peces alcanzan su mayor tasa de crecimiento 1,58 %d⁻¹ (observado en Aric-2), antecedentes concordantes con lo establecido por otros autores (Bowyer *et al.* 2014), D'Antignana & Bubner 2012, Pirozzi & Booth 2009). A diferencia de lo establecido por Abbink *et al.* (2011) para la temperatura de máximo crecimiento (26,5°C), se encontró que a mayor temperatura (24,7°C) disminuye el SGR a 1,53 % d⁻¹ y no se vuelve a recuperar cuando desciende la temperatura nuevamente a 23°C.

El tiempo de cultivo para alcanzar el peso de cosecha se considera clave para lograr la viabilidad económica del escalamiento comercial. Este trabajo proyecta un peso final de cosecha de 3,5 kg, en 13 meses de cultivo, con un peso inicial de 0,2 kg en un centro de engorda con tecnología SAR de bajo costo, resultado similar a lo planteado por Kolkovski (2005).

La conversión alimenticia (FCR), asociada al ítem de mayor incidencia en el costo de producción de *S. lalandi*, es de 1,9 para Aric-2, considerado alto para un escalamiento comercial. Se proyecta bajar el FCR, a través de la producción local de alimento especie

específico que favorezca la conversión.

La densidad de cultivo utilizada es baja con respecto a lo planteado por Orellana *et al.* (2014), parámetro que incide principalmente en la inversión inicial en un escalamiento comercial.

ESCENARIOS ECONÓMICOS

El escenario base arroja un costo de producción (no incluye costos de comercialización) de 8.48 USD kg comparado con los 8.24 USD kg señalados por Orellana *et al.* 2014. Los ítems de más impacto fueron alimento (52,9%) y juveniles (19,7%). Para proponer un escenario optimizado se trabajó en estos ítems en un punto común que es el ahorro en flete si ambos ítems son producidos en Arica (ambos insumos son transportados entre 718 a 3066 Km). También contribuye a bajar los costos del alimento la utilización de materias primas regionales, formulando un alimento especie específico que favorezca el aumento de SGR y FCR. Al producir juveniles en Arica, se economiza el flete. En este escenario, el costo de producción por kilo proyectado es de € 4,46 kg. Orellana *et al.* (2014) proyecta un mejor escenario, a un costo de € 5,69 kg. Futuras optimizaciones a la tecnología desarrollada se enfocarían en el uso de energías no convencionales, recurso encontrado ampliamente en la zona norte de Chile.

En conclusión, los resultados del presente trabajo indican que el costo de producción piloto de *Seriola lalandi* con la tecnología desarrollada es de 8.48 USD kg. No obstante, los resultados permiten realizar una proyección económica cuyo costo de producción disminuye a 5.28 USD kg basados en la reducción de los ítems alimentación y juveniles, proponiendo que la producción de ambos ítems se realice en la zona norte de Chile.

El valor del módulo básico de producción de la tecnología desarrollada (estanques de cultivo más unidad de tratamiento SAR) es notoriamente más económico que un sistema de recirculación disponibles en el mercado (70% menos).

Sin embargo, y en opinión de los autores, para una decisión de escalamiento comercial de la especie con la tecnología propuesta, se hace necesario un estudio de producción del alimento y juveniles localmente, además de pruebas de mercado.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a la colaboración de Innova Corfo, proyecto código 12IDL2-16258, título “Desarrollo de una unidad piloto de I+D como solución tecnológica para la engorda de *Seriola lalandi* en Arica, herramienta de decisión para incentivar la inversión industrial”.

REFERENCIAS

Abbink W, A García, J Roques, G Patridge, K Kloet & O Schneider. 2011. The effect of temperature and pH on the growth and physiological response of juvenile yellowtail kingfish *Seriola lalandi* in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 330-333:130-135.

Brown E, M Bruce, S Pether & N Herbert. 2011. Do swimming fish always grow fast. Investigating the magnitude and physiological basis of exercise-induced growth in juvenile New Zealand yellowtail kingfish, *Seriola lalandi*. *Fish Physiology and Biochemistry* 37:327-336.

Bowyer J, J Qin, R Smullen, L Adams, M Thomson & D Stone. 2013. The use of a soy product in juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) feeds at different water temperatures: 2. Soy protein concentrate. *Aquaculture* 410-411: 1-10.

Bowyer J, M Booth, J Qin, T D'Antignana M Thomson & D Stone. 2014. Temperature and dissolved oxygen influence growth and digestive enzyme activities of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* (Valenciennes, 1833). *Aquaculture Research*, 45: 2010–2020 doi:10.1111/are.12146.

D'Antignana T & E Bubner. 2012. A temperature dependent model for YTK growth (Subproject 3). Understanding yellowtail Kingfish Overall. Flinders University. Project N° 2008/903-21-23.

Ebeling J, M Timmons & J Bisogni. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture system. *Aquaculture* 257: 346-358.

FAO. FishStatJ 2018. Universal Software for Fishery Statistical Time Series. FAO, Statistics and Information Service, FAO Fisheries Department, Fishery Information, Data and statistics Unit, Rome, Italy. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en> (accessed Agosto 2018).

Guillen J, M Endo, J Turnbull, K Hiroshi, R Richards & T Aoki. 1993. Depressed growth rate and damage to cartilage of red sea bream associated with exposure to ammonia. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 59: 1231-1234.

Huchette S, C Koh & R Day. 2003. Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aquaculture tanks: effects of density and ammonia. *Aquaculture* 219: 457-470.

Kolkovski S. 2005. Evaluation of Yellowtail Kingfish (*Seriola lalandi*) grow out in land-based systems and broodstock management. Published by the Department of Fisheries – Research Division, Western Australian Fisheries and Marine. Research Laboratories, PO Box 20 NORTH BEACH, Western Australia 6920. Aquaculture Development Council and the Department of Fisheries Western Australia. 64 pp.

Merino G. 2009. Curso: Tecnología de recirculación de agua aplicada al cultivo de moluscos. Universidad Católica del Norte, Coquimbo. 212 pp.

Orellana J, U Waller & B Wecker. 2014. Culture of yellowtail Kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater. *Aquacultural Engineering* 58: 20-28.

Pirozzi I & M. Booth 2009. The routine metabolic rate of mulloway (*Argyrosomus japonicus*: *Sciaenidae*) and yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*: *Caragidae*) acclimated to six different temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology* 152(4): 586-592.

Reddy-Lopata, K, L Auerswald & P Cook. 2006. Ammonia toxicity and its effect on the growth of the South African abalone *Haliotis midae* Linnaeus. *Aquaculture* 261: 678-687.

Tomasso J. 1993. Toxicity of nitrogenous waste to aquaculture animals. *Journal of Aquatic Animal Health* 5: 64-72.

Wajsbrodt N, A Gasith, A Diamant & D Popper. 1993. Chronic toxicity of ammonia to juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata*, and related histopathological effects. **Journal of Fish Biology**, 42: 321-328.

Zapata D, J Gil & C Espejo. 2008. Prueba de crecimiento en tilapia roja (*Oreochromis sp*) con niveles crecientes de inclusión de harina de yuca en la dieta. Boletín Electrónico del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al desarrollo de la Yuca. Clayuca: 1-7; <http://www.clayuca.org>.

Aric-1 Fecha	Días de cultivo	Peso promedio (g)	SGR (%d ⁻¹)	Densidad cultivo (kg m ⁻³)	Mortalidad (%d ⁻¹)	FCR
27-abr-14	1	17,41 ±2,90		0,9		
27-may-14	31	19,90± 6,90	0,4	1,1	0,1	1,3
27-jun-14	62	27,40 ±6,10	1,0	1,4	0,1	1,5
29-jul-14	94	41,10±9,60	1,3	2,0	0,1	1,3
30-ago-14	126	59,80± 14,10	1,2	2,9	0,3	0,6
23-sep-14	150	61,60 ±13,20	0,1	2,7	1,5	-25,3
24-oct-14	181	70,60 ±13,80	0,3	1,9	0,2	-2,1
25-nov-14	213	99,80 ±31,50	1,1	2,4	0,2	1,5
31-dic-14	249	162,10 ±70,70	1,3	3,7	0,5	0,6
2-feb-15	282	190,70 ±62,70	0,5	3,4	0,2	55,6
30-mar-15	338	261,10 ±110,00	0,6	4,3	0,2	1,2
06-may-15	375	279,30 ±101,00	0,2	4,1	0,2	0,7
24-jun-15	424	318,40 ±112,50	0,3	2,9	0,5	-0,6
16-oct-15	538	421,90 ±163,80	0,2	2,5	0,2	1,2
28-dic-15	611	673,50 ±320,40	0,6	2,5	0,3	0,5
26-ene-16	640	775,80 ±401,00	0,5	2,0	0,1	1,6
12-feb-16	657	850,00 ±462,00	0,5	2,1	0,1	4,0
24-mar-16	698	951,20 ±561,40	0,3	2,3	0,3	0,7
02-may-16	737	1417,20 ±569,90	1,0	3,0	0,2	0,6
08-ago-16	835	1847,10±601,00	0,3	3,6	0,1	0,4
11-dic-16	960	2510,70 ±532,00	0,2	4,5	0,0	1,0
Total			0,50		3,2	4,5

Aric-2 Fecha	Días de cultivo	Peso promedio (g)	SGR (%d ⁻¹)	Densidad cultivo (kg m ⁻³)	Mortalidad (%d ⁻¹)	FCR
17-nov-15	1	204,00 ±17,4		0,5		
28-dic-15	42	343,00± 20,90	1,3	0,8	0,1	1,3
25-ene-16	70	534,00 ±21,80	1,6	1,2	0,3	1,2
16-feb-16	92	750,00±23,60	1,5	1,5	0,3	1,4
24-mar-16	129	1122,00± 266,80	1,1	2,1	0,2	1,7
02-may-16	168	1567,0 0 ±386,90	0,9	2,7	0,7	0,7
08-ago-16	266	2360,20 ±418,90	0,4	2,8	0,1	0,6
11-dic-16	391	3409,00 ±410,00	1,3	3,7	0,1	1,8
Total			0,7		0,3	1,9

d = días

g = gramos

SGR = tasa de crecimiento diaria porcentual

FCR = tasa de conversión del alimento

Tabla 1 - Comparación de parámetros productivos

Día de ocurrencia del evento	Mortalidad (% diario)	Causa atribuible
101	0,70	Ajuste operación SAR
175	9,81	Predación de aves
249	0,80	Predación de aves
342	6,73	Error operación SAR
424	0,89	Predación de aves
Del 264 al 538	0,15 a 0,58	Incremento sostenido de la mortalidad diaria debido a enfermedad de hígado verde

Tabla 2. Causa atribuible a mortalidades experiencia Aric-1

Ítem	Escenario 1		Escenario 2	
	%	USD/Kg	%	USD/Kg
Alimento	52,9	4,48	47,3	2,5
Juveniles	19,7	1,67	8,9	0,47
Energía eléctrica	11,8	1,00	19,0	1,00
Personal variable	5,7	0,48	9,1	0,48
Energía térmica	2,4	0,20	3,8	0,20
Oxígeno	2,2	0,19	3,1	0,17
Servicios sanitarios	0,5	0,04	0,8	0,04
Subtotal	95,2	8,06	92,0	4,86
Personal Fijo	4,8	0,42	8,0	0,42
Costos Producción Kilo	100,0	8,48	100,0	5,28

Tabla 3. Costo de producción por kilo de pez

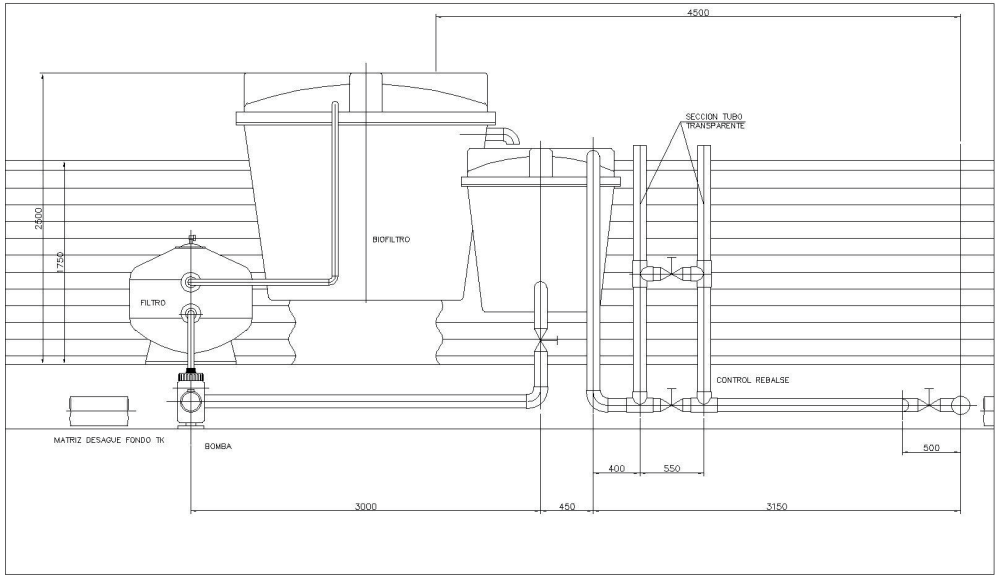


Figura 1: Diseño general del sistema de recirculación acuícola SAR de bajo costo



Figura 2. Estanque de cultivo con sistema de recirculación de bajo costo (SAR) para *Seriola lalandi* provisto de jaulas nidos para siembra de juveniles.

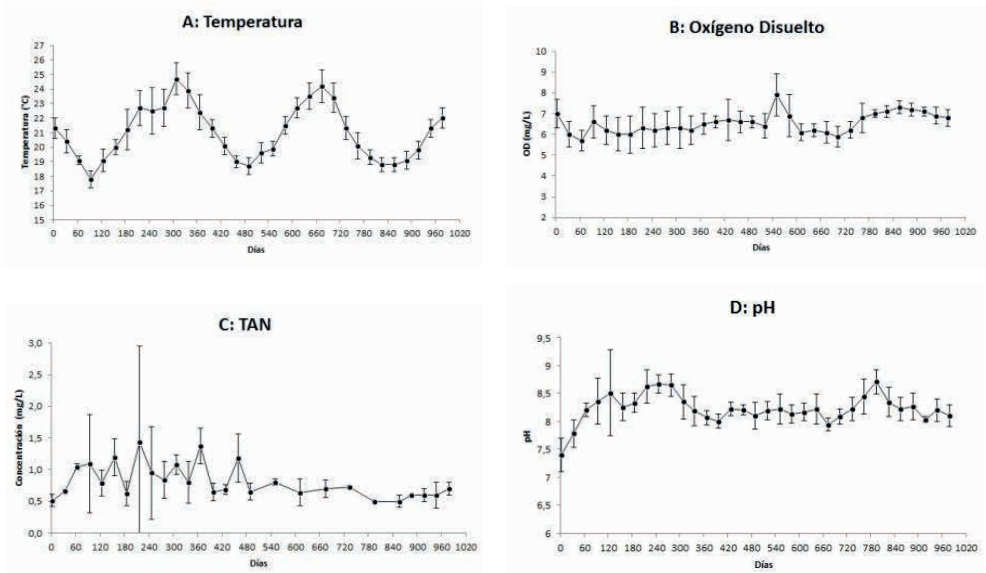


Figura 3. Variación de parámetros: A) temperatura (°C); B) oxígeno disuelto (mgL⁻¹); C) TAN (mgL⁻¹) y D) pH en el sistema de cultivo de *Seriola lalandi*. Media y desviación estándar.

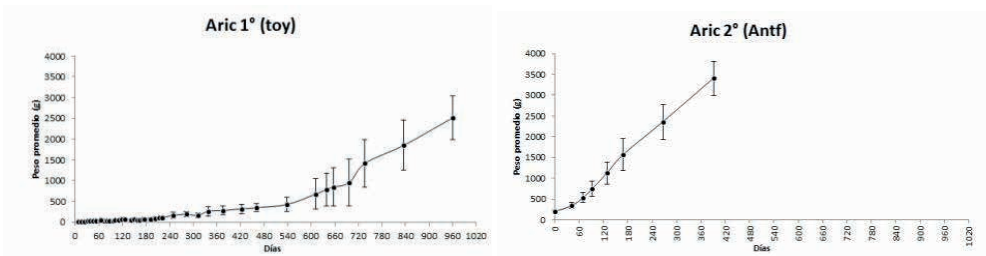


Figura 4: Peso promedios (g) y desviación estándar de Aric-1 y Aric-2 en 960 y 390 días de cultivo respectivamente.

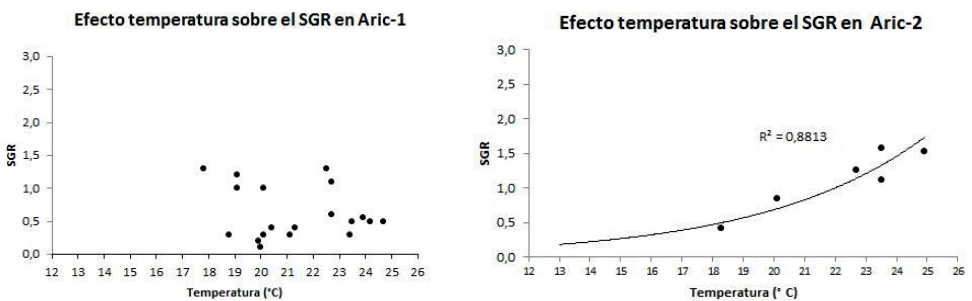


Figura 5. Efecto de la temperatura sobre el SGR.