

Guatemala, 30 de noviembre de 2017

M Sc. Gerardo L. Arroyo C.
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Maestro Arroyo:

Adjunto a la presente el informe final “**Adaptación de *Centropomus robalito* al cultivo en un sistema de recirculación de agua**” (partida presupuestal 4.8.26 .7.09), coordinado por el Licenciado Carlos Humberto Mazariegos Ortíz y avalado por el Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe fue elaborado de acuerdo a la guía de presentación de la Dirección General de Investigación y revisado su contenido en función de los objetivos planteados y productos esperados, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente. Así mismo, me comprometo a dar seguimiento a la gestión del aval y la publicación del artículo científico.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”

M Sc. Leonel Carrillo Ovalle
Director
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Anexo: lo indicado.

Ing. Carlos Salvador Gordillo
Director, Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición

INFORME FINAL
**ADAPTACIÓN DE *CENTROPROMUS ROBALITO* AL CULTIVO EN UN
SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA.**

Equipo de investigación

Coordinador: Carlos Humberto Mazariegos Ortíz

Auxiliar de Investigación II: Rita Marina Díaz Molina

Fecha: 30 de noviembre de 2017

Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Estación Experimental de Monterrico

M. Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas
Lic. Carlos Humberto Mazariegos Ortíz
Coordinador de Investigación
Rita Díaz
Auxiliar de Investigación II

Partida presupuestaria
4.8.26 .7.09
Año de ejecución: 2017

Índice

Contenido

1. Resumen	1
2. Abstract.....	2
3. Introducción.....	3
4. Marco teórico y estado del arte.....	5
4.1 Generalidades de los róbalo	5
4.2 Hábitos alimenticios.....	5
4.3 Cultivo de <i>Centropomus robalito</i>	5
4.4 Relación talla peso	6
4.5 Sistema de Recirculación de Agua	6
4.6 Remoción del nitrógeno	8
4.7 Maduración microbiana	9
5. Materiales y métodos.....	11
5.1 Características del estudio.....	11
5.2 Técnicas e instrumentos.....	11
5.2.1 Captura, traslado e identificación	11
5.2.2 Instalación del sistema de recirculación de agua y el sistema convencional..	13
5.2.3 Biometría y alimentación.....	15
5.2.4 Variables fisicoquímicas.....	15
5.2.5 Efecto del alimento.....	16
5.2.6 Diseño experimental	16
5.3 Muestra y diseño de muestreo.....	17
5.4 Operacionalización de las variables.....	18
6. Resultados.....	21

6.1	Eficiencia del SRA y SC.....	21
6.2	Crecimiento de <i>Centropomus robalito</i>	24
6.3	Efecto del alimento	31
6.4	Impacto esperado	33
7.	Análisis y discusión de resultados	34
8.	Conclusiones.....	38
9.	Referencias	39
10.	Apéndices	44

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i>	Ciclo del nitrógeno en tanques de acuicultura con un largo período hidráulico. ...	9
<i>Figura 2.</i>	Zona de captura de <i>Centropomus robalito</i> dentro del canal de Chiquimulilla.....	12
<i>Figura 3.</i>	Identificación de <i>Centropomus robalito</i> a partir de un organismo muerto.	13
<i>Figura 4.</i>	Diseño del sistema de recirculación de agua: a, bomba de 1 HP; b, filtro de arena de sílice; c, biofiltro de fibra de vidrio con grava, tela de algodón y tapas plásticas; d, tanques de 750 litros de agua; la dirección del flujo se muestra con flechas.	14
<i>Figura 5.</i>	Esquema del biofiltro utilizado en el sistema de recirculación de agua para <i>Centropomus robalito</i>	14
<i>Figura 6.</i>	Sistema convencional: a, inyector de aire de 2 HP; b, tanques de 70 L.	15
<i>Figura 7.</i>	Concentración de amonio (mg/L) en el biofiltro del SRA.	24
<i>Figura 8.</i>	Tendencia de crecimiento de <i>Centropomus robalito</i> en un sistema de recirculación de agua y un sistema convencional.....	27
<i>Figura 9.</i>	Variación del peso (g) en el sistema de recirculación de agua y en el sistema convencional para <i>Centropomus robalito</i>	28
<i>Figura 9.</i>	Diferencia de peso (g) para los robalos cultivados en un sistema de recirculación de agua y en un sistema convencional.....	29
<i>Figura 10.</i>	Relación talla y peso de <i>Centropomus robalito</i> cultivado en un sistema de recirculación de agua.	30

<i>Figura 11.</i> Relación talla y peso de <i>Centropomus robalito</i> cultivado en un sistema convencional.....	31
<i>Figura 12.</i> Efecto de la concentración de NAT en el influente del sistema de recirculación de agua.....	32
<i>Figura 13.</i> Efecto de la conversión de NAT en el efluente del sistema de recirculación de agua.....	33

Índice de tablas

Tabla 1.	
Resumen de variables físico-químicas de los tanques monitoreados del SRA y el SC.....	21
Tabla 2.	
Parámetros químicos analizados con espectrofotometría para el SRA y el SC.....	22
Tabla 3.	
Resumen de peso de <i>Centropomus robalito</i> en el sistema de recirculación de agua y el sistema convencional.....	25
Tabla 4.	
Ganancia en peso de <i>Centropomus robalito</i> en el sistema de recirculación de agua y el sistema convencional.....	26
Tabla 5.	
Valores de la regresión de peso y talla de <i>Centropomus robalito</i> cultivados en un sistema de recirculación de agua y un sistema convencional.....	30

Adaptación de *Centropomus robalito* al cultivo en un sistema de recirculación de agua

1. Resumen

Con el objeto de evaluar la adaptación al cultivo de robalo aleta amarilla *Centropomus robalito* en un sistema de recirculación de agua (SRA) y en un sistema convencional con aireación constante (SC), se capturaron especímenes de *C. robalito* en el canal de Chiquimulilla los cuales fueron trasladados a la Estación Experimental Monterrico. Posteriormente, se introdujeron 60 robalos divididos en 12 tanques (seis del SRA y seis del SC) para un total de cinco robalos por cada tanque con un peso y talla promedio de 13.37 ± 7.76 g y 10.72 ± 1.83 cm en el SRA, 10.7 ± 5.28 g y 10.03 ± 1.47 cm en el SC. El peso final alcanzado fue de 26.79 ± 11.34 g, talla de 14.12 ± 1.97 cm en el SRA y 20.27 ± 7.20 g, talla de 12.66 ± 1.66 cm en el SC. La relación talla peso en el SRA fue de 2.91 y en el SC 2.95. Temperatura, oxígeno y pH fueron monitoreados diariamente. Amonio, nitritos, nitratos, fosfatos, hierro y alcalinidad fueron monitoreados semanalmente en ambos sistemas. Los parámetros de calidad del agua estuvieron en niveles óptimos para garantizar el estado de salud y alimentación de los peces en ambos sistemas. Los resultados obtenidos sugieren que el crecimiento de *C. robalito* mejora en un SRA comparado con el SC ($p < 0.05$), de tal manera que la adaptación al cultivo es posible en ambos sistemas.

Palabras clave: robalo aleta amarilla, crecimiento, relación talla y peso, calidad del agua, sistema.

2. Abstract

In order to evaluate the yellowfin snook *Centropomus robalito* adaptation to the culture, in a Recirculating Aquaculture System (RAS) and in a Conventional System (CS) with constant aeration, specimens of *C. robalito* captured in the Chiquimulilla channel were transferred to the Monterrico Experimental Station. Subsequently, 60 snooks were separated and placed in 12 tanks (six in RAS and six in CS), for a total of five snooks in each tank with an average weight and size of 13.37 ± 7.76 g and 10.72 ± 1.83 cm in the RAS, 10.7 ± 5.28 g and 10.03 ± 1.47 cm in the CS. The final weight reached was 26.79 ± 11.34 g, size of 14.12 ± 1.97 cm in the RAS and 20.27 ± 7.20 g, size of 12.66 ± 1.66 cm in the CS. The size weight ratio was 2.91 in the RAS and 2.95 in the CS. Temperature, oxygen and pH were monitored daily. Ammonium, nitrites, nitrates, phosphates, iron and alkalinity were monitored weekly in both systems. The water quality parameters were at optimum levels to guarantee the state of health and feeding of the fish in both systems. The results suggest RAS system improves the growth of *C. robalito*, compared to CS ($p < 0.05$), in such a way that adaptation to the crop is possible in both systems.

Keywords: yellowfin snook, growth, size and weight relationship, water quality, system.

3. Introducción

El rol de la acuicultura es cada vez más importante en el aporte de carne animal de origen acuático en los países subdesarrollados. La necesidad de diversificar la producción estriba en la demanda de los mercados de nuevas especies que sean atractivas para el consumidor y a la vez rentable para el productor. No obstante, la producción de esas especies conlleva realizar estudios de biología básica como adaptación, crecimiento, sobrevivencia, para establecer patrones que puedan servir como base para establecer metodologías para la producción masiva. Para ello, es necesario que las especies sean estudiadas en el medio natural, o en el mejor de los casos, en laboratorios; estos últimos permiten obtener información más fácil dado que los organismos son monitoreados constantemente.

En Guatemala hay reportado un único estudio para la adaptabilidad del robalo aleta amarilla (Rinze, Franco & Rivas, 2012). Dada la importancia de llevar a cabo un cultivo de este tipo de organismo en condiciones de calidad del agua óptimas que asemejen a las naturales (Mendoza, Castillo-Rivera, Zárate-Hernández, & Ortiz-Burgos, 2009), los sistemas de recirculación surgen como una alternativa de gran relevancia (Badiola, Mendiola, & Bostock, 2012) tanto para la intensificación y reducción del impacto al medio ambiente (Piedrahita, 2003) y para la adaptabilidad de las especies a través del control de los parámetros como oxígeno, temperatura, amonio y nitritos (Colt, 2006). En ese sentido, surgen las preguntas de investigación: ¿Es un sistema de recirculación de agua más eficiente en el proceso de adaptación de peces respecto a un sistema convencional de cultivo con aireación continua?, ¿Cuál es el comportamiento de los nitritos, nitratos, amonio, fosfatos, alcalinidad, pH, temperatura, oxígeno, hierro y salinidad en un sistema convencional versus el sistema de recirculación de agua?, ¿Cuál es la respuesta productiva (ganancia en peso) de *Centropomus robalito* en un sistema de recirculación de agua?, y por último ¿Cuál es el efecto del alimento en la variación de los nitritos y amonio?

Por otra parte, los robalos representan un grupo de peces que viven en ambientes cuya relación entre las aguas continentales y marinas es muy estrecha, y donde ésta última juega un rol importante en las comunidades del género Centropomidae (Peregrino-Uriarte,

Pacheco-Aguilar, Varela-Romero, & Yepiz-Plascencia, 2007). La distribución del robalo aleta amarilla *C. robalito*, ha sido reportada en el Pacífico oriental desde el sur de California hasta Perú (Fischer, Krupp, Schneider, Sommer, Carpenter, & Niem, 1995; Rivas, 1986), en ambientes estuarinos y vegetación asociada al intercambio de agua dulce y salada (Mendoza et al., 2009). El tamaño máximo reportado para *C. robalito* ha sido de 35 cm (Fischer et al., 1995). Los robalos aleta amarilla tienen hábitos alimenticios de tipo generalista cuyos cambios en la dieta están relacionadas a la ontogenia y al tamaño de los organismos (Flores-Ortega et al., 2015); esta particularidad coincide con la capacidad de capturar presas más grandes conforme el crecimiento (Moreno-Sánchez, Palacios-Salgado, Abitia-Cárdenas, Nieto-Navarro, & Navia, 2015). La dieta de este organismo también es de tipo carnívoro oportunista que se alimenta principalmente de peces y crustáceos (Dutka-Gianelli, 2014).

Considerando la importancia de explorar la acuicultura marina y los sistemas de recirculación como medio para lograr la adaptación al cultivo de los peces del medio silvestre, se llevó a cabo el presente estudio con el objetivo de evaluar el crecimiento del robalo aleta amarilla en un sistema de recirculación de agua (SRA) comparado con un sistema convencional o cerrado (SC) en tanques de plástico con capacidad para 750 litros.

4. Marco teórico y estado del arte

4.1 Generalidades de los róbalo

Los róbalo representan un grupo de peces que viven en ambientes cuya relación entre las aguas continentales y marinas es muy estrecha, y donde ésta última juega un rol importante en las comunidades de peces del género Centropomidae (Peregrino-Uriarte et al., 2007). La presencia de estuarios y vegetación asociada con intercambio de agua dulce y salada, tiene además, relación entre la composición, abundancia y diversidad de róbalo (Mendoza et al., 2009). Su distribución ha sido reportada en el Atlántico occidental y el Pacífico oriental; en el caso de los róbalo del Pacífico oriental, el tamaño de los organismos varía desde 1.2 metros de longitud en las especies más grandes (*Centropomus nigrescens* y *Centropomus viridis*) y las más pequeñas no exceden 35 cm., tal es el caso de *Centropomus robalito* (Fischer et al., 1995; Rivas, 1986; Tringali, Bert, Seyoum, Bermingham, & Bartolacci, 1999). La abundancia de estas especies es de vital interés para algunas comunidades costeras donde se distribuyen los róbalo de mayor interés para la pesca (Fischer et al., 1995),

4.2 Hábitos alimenticios

Los estudios encaminados a estudiar los peces con potencial en la acuicultura, inician con la búsqueda de patrones en los hábitos alimenticios. Para el caso del róbalo aleta amarilla (*C. robalito*), se ha descrito que tiene estrategia de tipo generalista y que los cambios en la dieta están relacionados a la ontogenia y al tamaño de los organismos (Flores-Ortega et al., 2015); esta particularidad de *C. robalito*, coincide con la capacidad que tiene para capturar presas más grandes conforme el crecimiento. Moreno-Sánchez et al. (2015), encontraron que las principales presas en el ambiente natural son camarones, estomatópodos y peces; además, refieren a que la especie es depredador carnívoro carcinófago.

4.3 Cultivo de *Centropomus robalito*

Esta especie del orden de los Centropomidae ha sido poco estudiada con fines de explotación acuícola. En Guatemala, hay un único estudio asociado al cultivo en cautiverio realizado por Rinze, Franco, y Rivas (2012), cuyos resultados se limitan a la adaptación en

sistemas cerrados y suministro de concentrado como medio de adaptación al alimento. En México, se ha avanzado en el estudio de otras especies de Centropomidae como el *Centropomus nigrencens* y el *Centropomus viridis* reportado por Zarza-Meza, Berruecos-Villalobos, Vásquez-Peláez, y Álvarez-Torres (2006). Dado que se ha avanzado poco en peces que toleran cambios de salinidad, la investigación también se puede encaminar a buscar los parámetros más asociados al crecimiento del animal. Por otra parte, la densidad en el cultivo resulta ser un punto crucial debido a que se ha hecho pocos esfuerzos en características fisiológicas en cautiverio, Sanches, Oliveira, Silva, y Serralheiro (2011) recomiendan utilizar bajas densidades de cultivo para *Centropomus parallelus* para mejorar la sobrevivencia. La diversificación de la acuicultura implica el estudio de nuevas especies que estén disponibles y se distribuyan naturalmente en el territorio nacional para generar nuevas fuentes de trabajo y por tanto, diversificar los mercados, incluso cuando la información es limitada, el estudio de las especies en cautiverio brinda información que puede ser extrapolada a los estudios ecológicos de las poblaciones naturales.

4.4 Relación talla peso

La relación talla peso en los peces permite estimar otras variables de interés biológico y comercial. Haimovici y Velasco (2000), realizaron varias estimaciones para conocer la relación entre la talla y peso de varios peces marinos. La importancia estriba en conocer esa sinergia entre ambas variables morfológicas para predecir valores en otras condiciones con confianza estadística. Similares resultados refieren Santos, Gaspar, Vasconcelos, y Monteiro (2002). La estimación se basa en la regresión lineal (Ricker, 1973) cuyos parámetros se obtienen de las observaciones en campo. Para el caso de los robalos, el crecimiento es isométrico, es decir, el crecimiento en talla y peso es proporcional (Zarza-Meza et al., 2006) basado en la ecuación $W = aL^b$ (Haimovici & Velasco, 2010), donde W es el peso en gramos, L la longitud en centímetros, a y b , los parámetros de la regresión lineal.

4.5 Sistema de Recirculación de Agua

Los sistemas de recirculación de agua en acuicultura (SRA) han cobrado mayor relevancia en los últimos años en la producción de carne animal de origen acuático. El

cultivo de tilapia es la especie mayormente cultivada en este tipo de sistema. Las necesidades y la complejidad con la que funciona ha llevado a desarrollar investigación para mejorar la eficiencia en la remoción de los desechos y disminuir el costo por operación e inversión del o de los equipos para llevar a cabo este tipo de sistema (Badiola, Mendiola, & Bostock, 2012). El diseño, dimensión y rendimiento varía conforme los fines de producción intensiva o bien, en otro caso particular por su potencial para llevar a cabo experimentos con especies de agua dulce y agua salada (Terjesen et al., 2013).

Dado que los SRA tienen principios basados en el tratamiento biológico y mecánico del agua, surgen como una alternativa para la intensificación de la producción. No obstante, esa intensificación conlleva un aumento en los desechos, tanto sólidos como disueltos en el agua; el punto crucial de este tipo de sistema es entonces la reducción de esos desechos de los efluentes (Piedrahita, 2003) en el mismo sistema (Gutierrez-Wing & Malone, 2006), que a diferencia de los comunes van hacia el exterior.

Existen sistemas pensados para el tratamiento de algunos componentes específicos como en el caso de los productos derivados del nitrógeno o el fósforo, sólidos o removedores de proteína (Badiola, Mendiola, & Bostock, 2012; Van Rijn, 2013), en cuyo caso el equipo, técnica y espacio se delimita para cada uno y varía según la tecnología.

Entre los componentes principales de un sistema de recirculación se encuentran los biofiltros que realizan el proceso de degradación de los componentes del nitrógeno producto de la excreción de los organismos y de los derivados del alimento (Avnimelech, 2006). Existen diversidad de filtros biológicos que difieren en su capacidad y diseño (Guerdat, Losordo, Classen, Osborne, & DeLong, 2010) y de las especies a producir, en cuyos procesos el fin es el mismo: mejorar la calidad del agua de los tanques de producción.

Los biofiltros están compuestos de materiales que tienen un área superficial lo suficientemente grande para que en ella se depositen las bacterias que realizarán el proceso de degradación. Existen aquellos que están totalmente sumergidos y que utilizan una

mezcla de aire para fomentar la desnitrificación (Prehn, Waul, Pedersen, & Arvin, 2012), y aquellos que utilizan camas fluidizadas con sustratos de plástico para realizar el mismo proceso (Christianson, Lepine, Tsukuda, Saito, & Summerfelt, 2015; Guerdat, et al., 2010); y existen aquellos que utilizan arena como sustrato en un medio fluidizado (Summerfelt, 2006). El principio básico de los biofiltros puede ser simulado usando sustratos que permitan el buen desarrollo de las bacterias y den el área necesaria para que se den los procesos de degradación de los componentes del nitrógeno. En el presente estudio no se utilizó ningún tipo de material que refieren los autores anteriores dado el costo y la dificultad de acceder a ellos en el mercado nacional.

4.6 Remoción del nitrógeno

La adición de alimento y las heces de los peces contribuyen a la formación de residuos de nitrógeno (Figura 1) como el amonio (NH_4^+) y amoniaco (NH_3); la suma de ambos es llamada nitrógeno amoniacal total (NAT). Tanto el amonio y el amoniaco pueden ser tóxicos para los peces, pero es más tóxico el amoniaco debido a que es soluble con los lípidos y, por tanto, puede atravesar las membranas más fácilmente (Crab, Avnimelech, Defoirdt, Bossier, & Verstraete, 2007). Los valores tóxicos para peces los refieren Chen, Ling, & Blancheton (2006) cuyo valor arriba de 1.5 mg N/L puede ser letal; por otra parte, el amoniaco no ionizado en algunos sistemas de acuicultura es aceptable en valores que no superan 0.025 mg N/L.

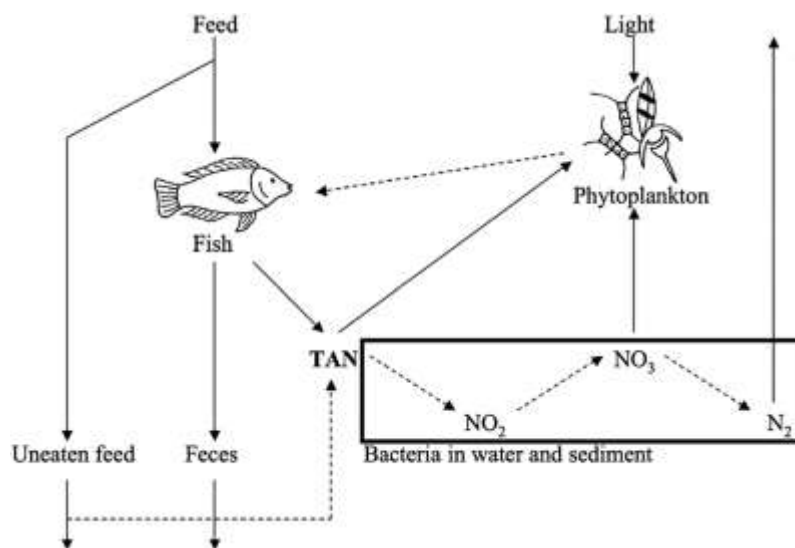


Figura 1. Ciclo del nitrógeno en tanques de acuicultura con un largo período hidráulico.

Fuente: Crab, Avnimelech, Defoirdt, Bossier, y Verstraete (2007)

La remoción del nitrógeno se realiza con diferentes tipos de tecnologías, algunos autores han utilizado bioreactores o biofiltros específicos para evaluar la eficiencia en la remoción de este metabolito. Gallego-Alarcón y García-Pulido (2017), evaluaron un filtro percolador-columna de arena para conocer la cantidad de NAT removido y encontraron que tiene una eficiencia mayor a 70% y cuyos parámetros para trucha arcoíris se mantuvieron estables con este modelo. Por otra parte, Thanakitpairin, Pungrasmi, y Powtongsook (2014), midieron la remoción de nitrógeno a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación mediante bolas de arcilla; los resultados sugieren que los niveles de los componentes nitrogenados no superan los valores tóxicos para la especie en el experimento y que el tipo de sustrato usado, contribuye en la remoción de fósforo.

La eficiencia de las técnicas o tecnologías utilizadas para el tratamiento del agua dentro de un SRA varían dependiendo de varios factores, entre ellos la disponibilidad de materiales, tipo y diseño. No obstante, hay un punto importante que no se debe descartar en el diseño de los SRA: la retención hidráulica, cuyo concepto se entiende como el tiempo que permanece el agua dentro de un medio de tratamiento (filtración) para favorecer a los microorganismos en la degradación de los metabolitos a sustancias que no sean tóxicas para los animales. La retención hidráulica juega un papel importante en la remoción de nitrógeno pero, difiere del tipo de SRA o el fin para el que se desea usar (Lepine, Christianson, Sharrer, & Summerfelt, 2016).

4.7 Maduración microbiana

La maduración microbiana en un biofiltro está dado por la cantidad de microorganismos que han colonizado los compartimientos donde se lleva a cabo la filtración biológica y cuando se ha alcanzado la mayor degradación de los componentes del nitrógeno. Sin embargo, la colonización también se da en algunos otros compartimientos del sistema, en los tanques y en la tubería (Attramadal et al., 2014). La cantidad de colonias que se forman depende de la especie cultivada y del sustrato que se coloque para las bacterias (Rurangwa

& Verdegem, 2015). En los SRA, la maduración microbiana es fundamental para lograr la mejor filtración y proveer de un ambiente idóneo a los animales en cultivo; es conocido que los SRA tienen mejores resultados en la colonización de bacterias en los componentes de filtración (Attramadal et al., 2014) que coadyuvan a mejorar la sobrevivencia de los organismos en cultivo. El tiempo de maduración depende del diseño, Lepine, Christianson, Sharrer, y Summerfelt (2016), indican que 24 horas de retención hidráulica puede resultar en un 65% de eficiencia de remoción y tasas de remoción de al menos $18 \text{ g N m}^3/\text{día}$.

5. Materiales y métodos

5.1 Características del estudio

La presente investigación es de tipo cuantitativa debido a que busca inferir en un fenómeno que implica el análisis de variables numéricas. Por otra parte, el estudio se enmarca en la parte de diseño experimental ya que se pretende recolectar información sobre variables físico-químicas y biológicas para posteriormente ser analizadas con técnicas estadísticas dentro de sistemas controlados y previa validación interna. La investigación es de tipo explicativo, descriptivo y correlacional cuyo análisis requiere enfocarse en las propiedades del Sistema de Recirculación de Agua (SRA) comparándolo con un sistema convencional con técnicas de correlación estadística de variables químicas y biometría.

5.2 Técnicas e instrumentos

5.2.1 Captura, traslado e identificación

Se colectaron 120 robalos del canal de Chiquimulilla (Figura 2) mediante atarraya (1 m de largo, 2 m de diámetro y 2 cm luz de malla). Los organismos fueron trasladados a la Estación Experimental Monterrico donde se aclimataron a la temperatura y salinidad correspondiente al área de captura (28°C y 8 ‰ de salinidad) durante dos horas y posteriormente fueron colocados en tanques de 1000 L con los mismos parámetros de referencia. Los organismos estuvieron en este recinto durante dos semanas para observar comportamiento y sobrevivencia mientras se instalaba el SRA.

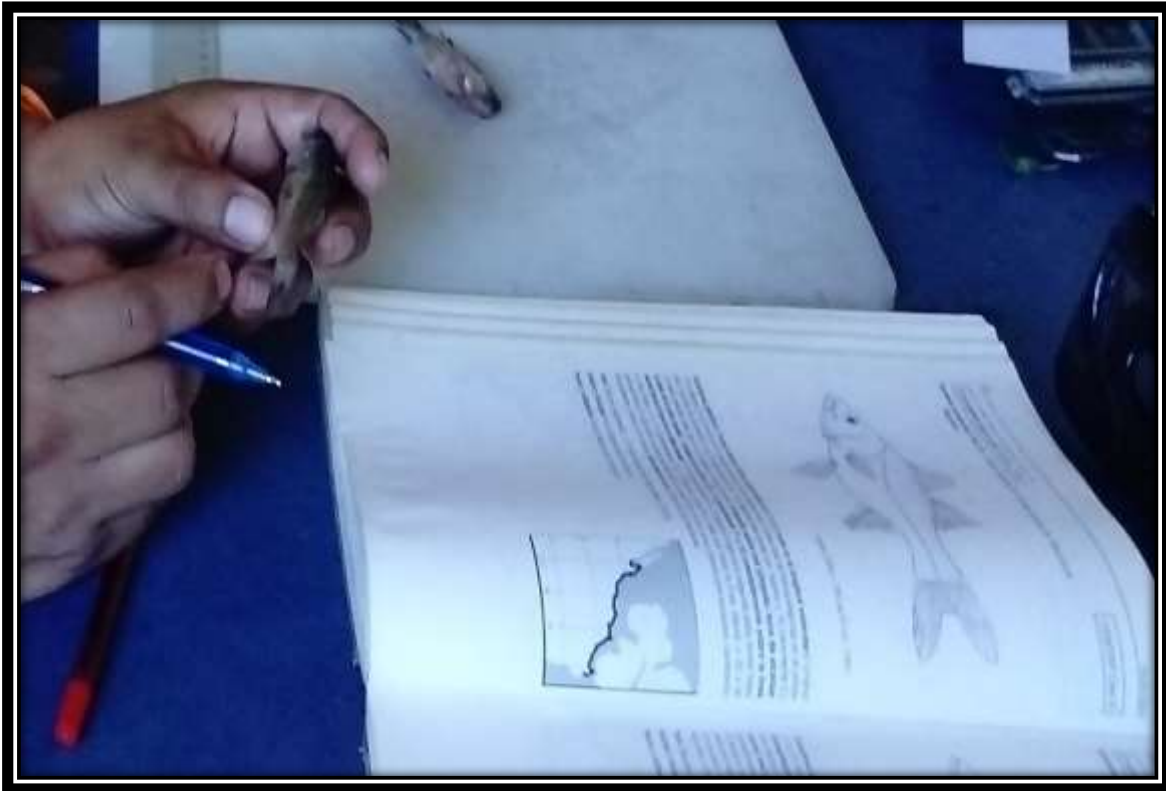


Figura 3. Identificación de *Centropomus robalito* a partir de un organismo muerto.

Fuente: elaboración propia.

5.2.2 Instalación del sistema de recirculación de agua y el sistema convencional

Se instalaron seis tanques con capacidad para 750 L dotados de drenaje central de 50 mm (diámetro nominal) y un desfogue principal de 80 mm (Figura 4). El biofiltro fue dotado de tres tinas con capacidad para 0.21 m³ y como medio de fijación para las bacterias se utilizó grava, tela de algodón y tapas plásticas (Figura 5). La filtración mecánica se realizó a través de un filtro de arena (Pentair, Tagelus TA 100D) de sílice con capacidad para filtrar hasta 100 µm. El sistema tenía capacidad para recircular 17 L/seg a través de los componentes mencionados anteriormente y mediante una bomba Superflo de 1 HP (Pentair). El sistema convencional (Figura 6) también constó de seis tanques con capacidad para 750 L y dotados de aireación mediante un *blower* de 2 HP (SinoAqua) sin recirculación de agua.

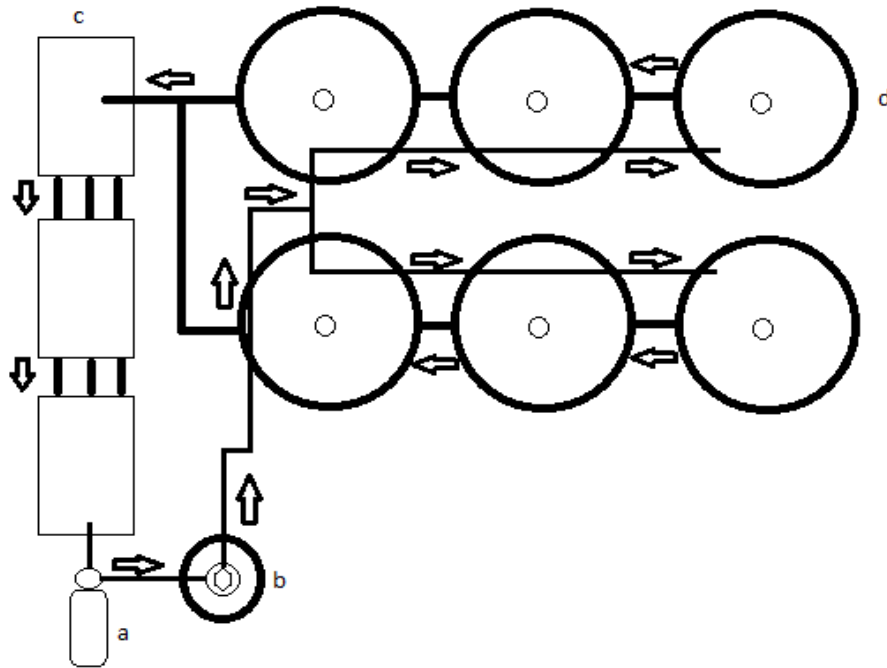


Figura 4. Diseño del sistema de recirculación de agua: a, bomba de 1 HP; b, filtro de arena de sílice; c, biofiltro de fibra de vidrio con grava, tela de algodón y tapas plásticas; d, tanques de 750 litros de agua; la dirección del flujo se muestra con flechas.

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Esquema del biofiltro utilizado en el sistema de recirculación de agua para

Centropomus robalito.

Fuente: elaboración propia.

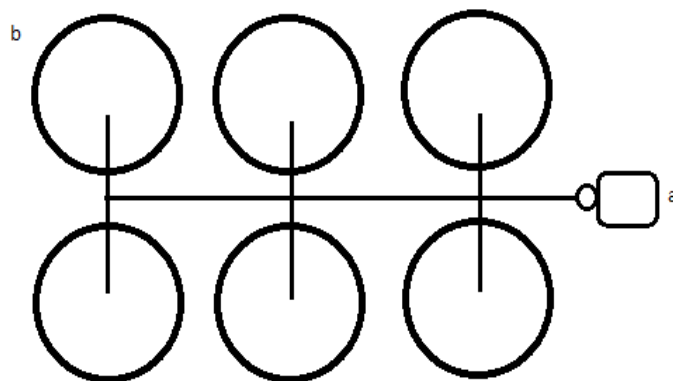


Figura 6. Sistema convencional: a, inyector de aire de 2 HP; b, tanques de 70 L.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Biometría y alimentación

Preparados los sistemas de cultivo, se introdujeron cinco robalos aleta amarilla aleatoriamente por cada tanque para el SC, con un peso de 10.7 ± 5.28 g y talla de 10.03 ± 1.47 cm. De igual manera se hizo para el SRA cuyo peso fue de 13.37 ± 7.76 g y talla de 10.72 ± 1.83 cm. Peso y talla de todos los organismos fueron obtenidos quincenalmente utilizando una balanza electrónica AND EJ 2000 (2100 g \pm 0.1 g) y un ictiómetro en centímetros, respectivamente.

La estrategia de alimentación se diseñó conforme los hábitos alimenticios descrito para esta especie (Flores-Ortega et al., 2015; Moreno-Sánchez et al., 2015; Dutka-Gianelli, 2014): la primera, tronchos de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y *Macrobrachium sp.*, durante dos meses; la segunda, tronchos de camarón más alimento concentrado con 35% de proteína cruda durante dos meses. El alimento se suministró *ad libitum* en ambos sistemas.

5.2.4 Variables fisicoquímicas

El monitoreo del SRA se llevó a cabo en los tanques, en el biofiltro y en la entrada de agua a cada recinto. La temperatura y oxígeno se midieron con una sonda multiparamétrica marca WTW Oxi 3210, la salinidad con un refractómetro Vista A366ATC y el pH con un potenciómetro marca Hanna HI 98129; todos estos parámetros fueron tomados *in situ* dos veces por día (8 am y 2 pm) durante el período experimental en ambos sistemas. Amonio,

nitritos, nitratos, hierro y fosfatos fueron analizados con un espectrofotómetro Nova 60 (Merck); alcalinidad mediante colorimetría (Mcolortest®, Merck) una vez por semana en los 6 tanques del SC y en 2 tanques del SRA, en el biofiltro y en el retorno de agua al sistema, esto durante todo el período del experimento.

5.2.5 Efecto del alimento

La adición de alimento está asociada a la producción de componentes nitrogenados dependiente de los valores de proteína que contenga el insumo. Por ello, para evaluar el efecto del alimento en la variación de amonio y nitritos, se utilizó la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total (TCV_{NAT}) la cual es definida como “la cantidad diaria de NAT convertida a nitrito por unidad de volumen de medios no expandidos” (Guerdat et al., 2010, p. 42) y la tasa volumétrica de nitritos (TCN) que es definida como “la cantidad diaria de nitrito-nitrógeno (NO_2-N) convertido a nitrato-nitrógeno (NO_3-N) por unidad de volumen de medios no expandidos” (Guerdat et al., 2010, p. 42).

$$TCV_{NAT} = Q * \frac{NAT_E - NAT_S}{V_m} \quad (1)$$

Donde la tasa conversión volumétrica es medida en g/m^3 día de remoción de nitrógeno amoniacal total (TCV_{NAT}), Q es el caudal que pasa a través del filtro en L/min; V_m , es el volumen total de medio no expandido del material de fijación del filtro (m^3); NAT_E y NAT_S es la concentración de nitrógeno amoniacal (g/m^3) en la entrada de agua al filtro y en el retorno de agua al sistema.

$$ATCN = \frac{(NO_2-N)_E - (NO_2-N)_S}{V_m} \quad (2)$$

$$TCN = VTR + VNRA$$

Donde la ATCN (aparente tasa de conversión de nitritos) y la TCN son medidas en g/m^3 día del medio no expandido del filtro, NO_2-N en la entrada y NO_2-N en la salida son las concentraciones de nitrito-nitrógeno (g/m^3).

5.2.6 Diseño experimental

Para obtener la relación talla-peso se utilizó la ecuación $W = aL^b$ ((Haimovici & Velasco, 2010), dónde: W es el peso total en g, a y b son las constantes del modelo y L la longitud total del pez en cm. La prueba de t-student ($\alpha = 0.05$) fue realizada para la

comparación del peso de los robalos del SC y SRA; prueba de homogeneidad de varianzas de Levene (Brown & Forsythe, 1974) y de datos atípicos fue realizado para ambas poblaciones de peces.

5.3 Muestra y diseño de muestreo

Se introdujeron cinco robalos por cada tinaco para un total de 30 animales por cada sistema; la población total se definió a juicio debido a la falta de información respecto a las características fisiológicas en cautiverio. No fue necesario establecer un muestreo simple aleatorio dado que se tomó el total de la población por cada sistema (30 robalos). La recopilación de peso (g) y talla (cm) se realizó quincenalmente.

La calidad del agua se registró diario para los parámetros temperatura (°C), oxígeno (mg/L) y pH para cada uno de las unidades de los dos sistemas. Los demás parámetros fueron analizados semanalmente de la siguiente forma: SRA, 100 ml de dos tanques (uno y seis), biofiltro y retorno de agua al sistema; SC, 100 ml de los seis tanques del sistema.

5.4 Operacionalización de las variables

Objetivos específicos	Variables	Técnicas	Instrumentos	Medición o cuantificación
Medir la eficiencia del sistema de recirculación de agua y el sistema convencional con aireación continua mediante el análisis de parámetros físicos-químicos como temperatura, oxígeno, amonio, nitritos, nitratos, alcalinidad, fosfatos, hierro, salinidad y pH.	Nitritos, nitratos, amonio, fosfatos, hierro, alcalinidad, salinidad, pH, temperatura y oxígeno.	Muestreo de agua en ambos sistemas y en los componentes de filtración biológica y mecánica para el caso del SRA. Muestreo de agua en los seis tanques del sistema convencional.	Recipientes para toma de muestras en el filtro de 100 ml, pipeta Boeco (0.5µm-5ml), tubos de ensayo, cubeta de cuarzo, espectrofotómetro, sonda multiparamétrica para oxígeno y temperatura, potenciómetro para pH y refractómetro para salinidad.	Niveles de nitritos (mg/L), nitratos (mg/L), amonio (mg/L), fosfatos (mg/L), hierro (mg/L), alcalinidad (mg/L) a través de espectrofotómetro y salinidad (‰), pH, temperatura (°C) y oxígeno (mg/l) a través de equipo multiparamétrico, potenciómetro y refractómetro.
Evaluar el comportamiento productivo del róbalo aleta amarilla en un sistema de recirculación de agua y en un sistema convencional	Peso (gramos). Talla (centímetros). Mortalidad (%)	Muestreo quincenal de peso (g), talla (cm) y cálculo de ganancia en peso en el tiempo dado (g/día).	Balanza electrónica AND EJ 2000 (2100 ± 0.1 g) para el registro de peso. Ictiometro para la medición de talla en centímetros.	Relación peso (g) y talla (cm) en un gráfico de dispersión para establecer la ecuación potencial y la definición del tipo de crecimiento (isométrico,

de producción con aireación continua a través del crecimiento definido como la ganancia en peso en determinado tiempo.	Ganancia en peso (g/día)	Mortalidad en % tomando como base la población inicial menos la población final dividido en cien.		isométrico positivo o negativo) en función de la constante <i>b</i> . La ganancia en peso (g/día) como variable zootécnica para establecer el potencial de crecimiento bajo dos regímenes de alimentación. La mortalidad (%) para inferir el efecto de ambos sistemas en los animales.
Analizar la relación entre el tipo de alimento y su variación en el amonio y nitritos en el SRA y el sistema convencional.	Valores de nitritos y amonio (en mg/l). TCV _{NAT} y TCN en g/m ³ /día Tipo de alimento	Análisis de calidad del agua en ambos sistemas. Suministro diario de alimento durante cada etapa así: tronchos de	Recipientes para toma de muestras según el objetivo específico 1.	Cálculo de los valores de TCV _{NAT} y TCN en g/m ³ /día con las mediciones de espectrofotómetro y de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2 del apartado Efecto del alimento.

		camarón, suministrado durante dos meses; tronchos de camarón y alimento, suministrado durante dos meses.		
--	--	--	--	--

6. Resultados

6.1 Eficiencia del SRA y SC

En este apartado se hace mención de los resultados de parámetros fisicoquímicos monitoreados durante el período experimental para el sistema de recirculación de agua y para el sistema convencional.

Tabla 1.

Resumen de variables físico-químicas de los tanques monitoreados del SRA y el SC.

Sistema	Tanque	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	pH
SC	1	27.76 ± 1.05	4.72 ± 2.39	7.31 ± 0.27
SC	2	27.75 ± 1.01	4.70 ± 2.43	7.32 ± 0.27
SC	3	27.70 ± 1.02	4.65 ± 2.35	7.33 ± 0.28
SC	4	27.79 ± 1.07	4.69 ± 2.42	7.33 ± 0.26
SC	5	27.70 ± 1.03	4.83 ± 2.55	7.36 ± 0.27
SC	6	27.95 ± 1.09	4.73 ± 2.40	7.37 ± 0.26
SRA	1	29.56 ± 1.27	4.52 ± 2.42	7.39 ± 0.23
SRA	6	29.57 ± 1.37	4.68 ± 2.55	7.39 ± 0.24
Media ± desviación estándar				

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura fue menor en todos los tanques del SC respecto a los dos tanques monitoreados en el SRA. El mayor valor reportado para el SC es el tanque seis con 27.95°C y una desviación estándar de 1.09°C. Los demás tanques no superaron 2°C de variación durante todo el período de estudio. El oxígeno presentó similar característica en ambos sistemas incluso en el SRA donde hubo mayor dinámica, los valores coinciden. La variación no superó los 3 mg/L en ambos sistemas, sin embargo, los niveles de oxígeno alcanzaron valores inferiores a los 2 mg/L en algún momento de los días monitoreados. Por otra parte, el pH se mantuvo neutro en ambos sistemas no superando una desviación estándar mayor a 1.

Tabla 2.

Parámetros químicos analizados con espectrofotometría para el SRA y el SC.

Sistema	Tanque	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	Fe (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)
SC	1	<0.05	6.42 ± 3.62	0.13 ± 0.05	0.42 ± 0.12	<0.05	28.43 ± 8.50
SC	2	<0.05	8.45 ± 4.21	0.15 ± 0.16	0.54 ± 0.15	<0.05	28.85 ± 8.11
SC	3	<0.05	9.43 ± 5.40	0.14 ± 0.07	0.62 ± 0.26	<0.05	27.69 ± 5.44
SC	4	<0.05	9.53 ± 5.07	0.16 ± 0.11	0.62 ± 0.24	<0.05	27.14 ± 3.96
SC	5	<0.05	11.96 ± 10.05	0.20 ± 0.08	0.56 ± 0.21	<0.05	30.00 ± 7.11
SC	6	<0.05	8.67 ± 3.88	0.21 ± 0.09	0.54 ± 0.21	<0.05	28.21 ± 6.51
SRA	1	<0.05	5.30 ± 3.70	0.10 ± 0.04	0.36 ± 0.11	<0.05	26.79 ± 5.82
SRA	6	<0.05	4.29 ± 2.19	0.15 ± 0.09	0.34 ± 0.12	<0.05	27.14 ± 5.44
Biofiltro		<0.05	5.26 ± 2.96	0.09 ± 0.04	0.40 ± 0.23	<0.05	27.50 ± 6.22
Retorno		<0.05	3.95 ± 2.58	0.13 ± 0.07	0.34 ± 0.06	<0.05	27.86 ± 8.91
Media ± desviación estándar							

Fuente: Elaboración propia.

La remoción de nitrógeno mediante desnitrificación o nitrificación conlleva procesos donde hay productos intermedios como los nitritos o finales como los nitratos. La Tabla 2 resume los parámetros analizados mediante la técnica de espectrofotometría. Los valores de nitritos no fueron detectados por el espectrofotómetro durante todo el período de estudio. Los nitratos en el SC fueron similares para el tanque tres y cuatro, para el dos y seis, y el valor más alto fue el tanque cinco con una media de 11.96 y desviación estándar de 10.05 mg/L. En el SRA, el biofiltro y retorno de agua al sistema, los valores no superaron los 6 mg/L. El mayor valor se alcanzó en el tanque uno del SRA con 5.30 ± 3.70 mg/L seguido del biofiltro con 5.26 ± 2.96 mg/L. El menor valor fue 3.95 ± 2.58 mg/L en el retorno. El amonio no superó los 0.25 mg/L en ambos sistemas y su variación respecto a la media fue menor a 0.15 mg/L. Los tanques 5 y 6 del SC reportan 0.20 ± 0.08 mg/L y 0.21 ± 0.09 mg/L, respectivamente. El menor valor del SC lo reporta el tanque uno con 0.13 ± 0.05 mg/L. En el SRA, el valor de amonio fue similar para el tanque uno y dos. El biofiltro reporta un valor de 0.09 ± 0.04 y el retorno 0.13 ± 0.07 mg/L.

Por otra parte, los resultados de fósforo difieren en ambos sistemas. El SC reporta dos tanques con valores de 0.62 ± 0.26 mg/L (tanque tres) y 0.62 ± 0.24 mg/L (tanque cuatro). El menor valor fue 0.42 ± 0.12 mg/L en el tanque uno y similares valores para los tanques dos, cinco y seis con 0.54 ± 0.15 , 0.56 ± 0.21 y 0.54 ± 0.21 mg/L, respectivamente. En los tanques del SRA, el uno reporta un valor de 0.36 ± 0.12 mg/L y el seis, 0.40 ± 0.23 mg/L. Respecto al biofiltro se reporta un valor medio de 0.40 ± 0.23 mg/L y el retorno de agua al sistema 0.34 ± 0.06 mg/L.

El hierro no fue detectado en ninguna de las muestras que se analizaron para ambos sistemas.

La alcalinidad en el SC fue similar entre tanques del mismo sistema con un valor máximo de 30 ± 7.11 mg/L en el tanque cinco y un valor mínimo de 27.14 ± 3.96 mg/L en el tanque tres. La mayor variación respecto de la media está en el tanque uno y dos con 28.43 ± 8.5 y 28.85 ± 8.11 mg/L, respectivamente; caso contrario a lo que ocurre en el tanque cuatro con 27.14 ± 3.96 mg/L. En el SRA, el menor valor medio reportado es el tanque seis con 26.14 ± 5.82 mg/L respecto a 27.14 ± 5.44 mg/L del estanque seis. En el biofiltro se reporta un valor de 27.50 ± 6.22 mg/L y en el retorno al sistema 27.86 ± 8.91 mg/L.

Dado que los parámetros se refieren a ambos sistemas, el amonio analizado en el biofiltro (Figura 7) ayuda a entender el comportamiento de este metabolito durante el período experimental en el SRA.

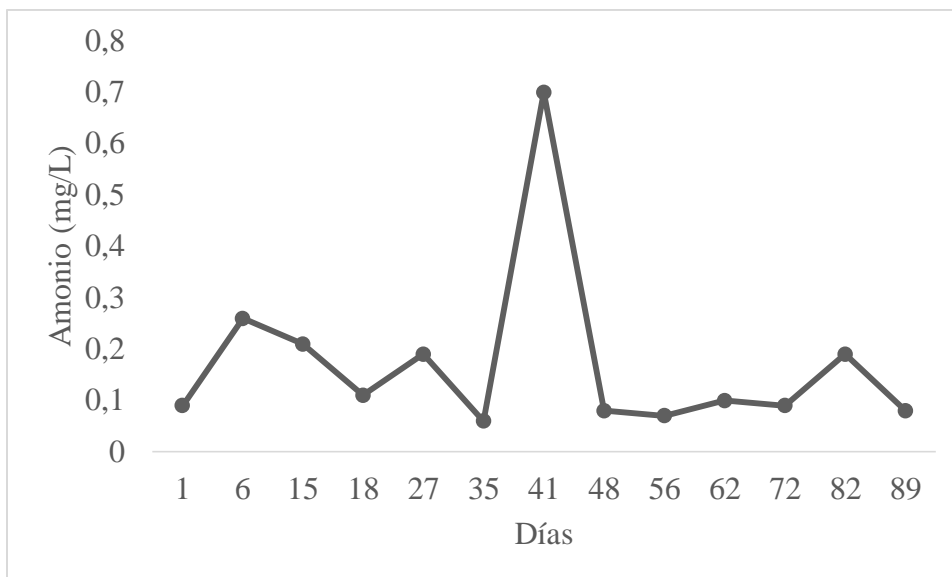


Figura 7. Concentración de amonio (mg/L) en el biofiltro del SRA.

Fuente: Elaboración propia.

La variación del amonio se observa en la Figura 7. Los valores reportados en los días 1 hasta el 35 no superaron los 0.3 mg/L; sin embargo, a los 41 días el valor de amonio fue de 0.7 mg/L. Posteriormente, del día 48 al día 72 se reportan valores por debajo de 0.2 mg/L cuyo valor se supera en el día 82 y vuelve a disminuir al día 89 con 0.1 mg/L.

6.2 Crecimiento de *Centropomus robalito*

El crecimiento de *Centropomus robalito* ha sido estudiado en condiciones naturales y la información es limitada para los ambientes en cautiverio. En la Tabla 3 se resume el peso (g) durante el período de estudio para los robalos en el SRA y SC.

Tabla 3.

Resumen de peso de *Centropomus robalito* en el sistema de recirculación de agua y el sistema convencional.

Días	SRA		SC	
	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)
0	13.38 ± 7.76	10.72 ± 1.83	10.70 ± 5.28	10.03 ± 1.47
22	19.02 ± 10.11	12.09 ± 1.90	12.26 ± 5.38	10.49 ± 1.62
34	21.05 ± 9.83	12.61 ± 1.72	14.52 ± 5.98	11.09 ± 1.65
49	23.39 ± 10.70	13.18 ± 1.94	16.62 ± 6.56	11.48 ± 1.46
62	25.02 ± 10.67	13.57 ± 1.65	18.69 ± 7.20	12.02 ± 1.48
77	27.32 ± 10.95	13.87 ± 1.59	20.31 ± 7.35	12.41 ± 1.50
92	26.79 ± 11.34	14.12 ± 1.97	20.27 ± 7.20	12.66 ± 1.66
Media ± desviación estándar				

Fuente: Elaboración propia.

El experimento inició con la asignación aleatoria de los robalos para cada tanque de cada sistema. En el día 0 se reportó el peso medio (peso de los 30 robalos) en el SRA de 13.38 ± 7.76 g y una talla media de 10.72 ± 1.83 cm. En el SC, el peso fue de 10.70 ± 5.28 g y talla de 10.03 ± 1.47 cm. A los 49 días, los robalos del SRA pesaban 23.39 ± 10.70 g con tallas que estaban en 13.18 ± 1.94 cm respecto al SC con 16.62 ± 6.56 g y 11.48 ± 1.46 cm. A los 92 días los animales alcanzaron un peso promedio de 26.79 ± 11.34 g y 14.12 ± 1.97 cm en el SRA, y 20.27 ± 7.20 g y 12.66 ± 1.66 en el SC.

Tabla 4.

Ganancia en peso de *Centropomus robalito* en el sistema de recirculación de agua y el sistema convencional.

Días	SRA		SC	
	Peso (g/día)	Talla (cm/día)	Peso (g/día)	Talla (cm/día)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.257	0.071	0.062	0.021
34	0.060	0.067	0.015	0.018
49	0.048	0.043	0.012	0.008
62	0.026	0.033	0.006	0.009
77	0.030	0.021	0.004	0.005
92	-0.006	0.000	0.003	0.003
Media \pm desviación estándar				

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de ganancia en peso se muestran en la Tabla 4. A los 22 días en el SRA se da un crecimiento de 0.257 g/día respecto a un crecimiento de 0.062 g/día en el SC.

Posteriormente, a los 34 días, el crecimiento decrece a 0.060 g/día en el SRA y aumenta a 0.015 g/día en el SC. La tendencia continúa para el día 49 en el SRA con 0.048 g/día y disminuye en el SC a 0.012 g/día. La tendencia en el SC se observa a los 62, 77 y 92 días con 0.006, 0.004 y 0.003 g/día, respectivamente. En el SRA, a los 62 y 7 días hay un cambio de 0.026 a 0.030 g/día y disminuye drásticamente a los 92 con un valor negativo de -0.006 g/día.

La talla de los robalos sigue el mismo patrón respecto al peso, a los 22 días en el SRA la talla media reportada fue de 0.071 cm/día y en el SC, 0.021 cm/día. En el SRA a partir del día 22, la talla decrece a 0.067, 0.043, 0.033 y 0.021 cm/día para los días 49, 62 y 77, respectivamente. En el SC, la talla decrece del día 34 al 49 con 0.018 y 0.008 cm/día, respectivamente; aumenta a los 62 días a 0.009 cm/día y decrece nuevamente a los días 77 y 92 con 0.005, 0.003 cm/día, respectivamente.

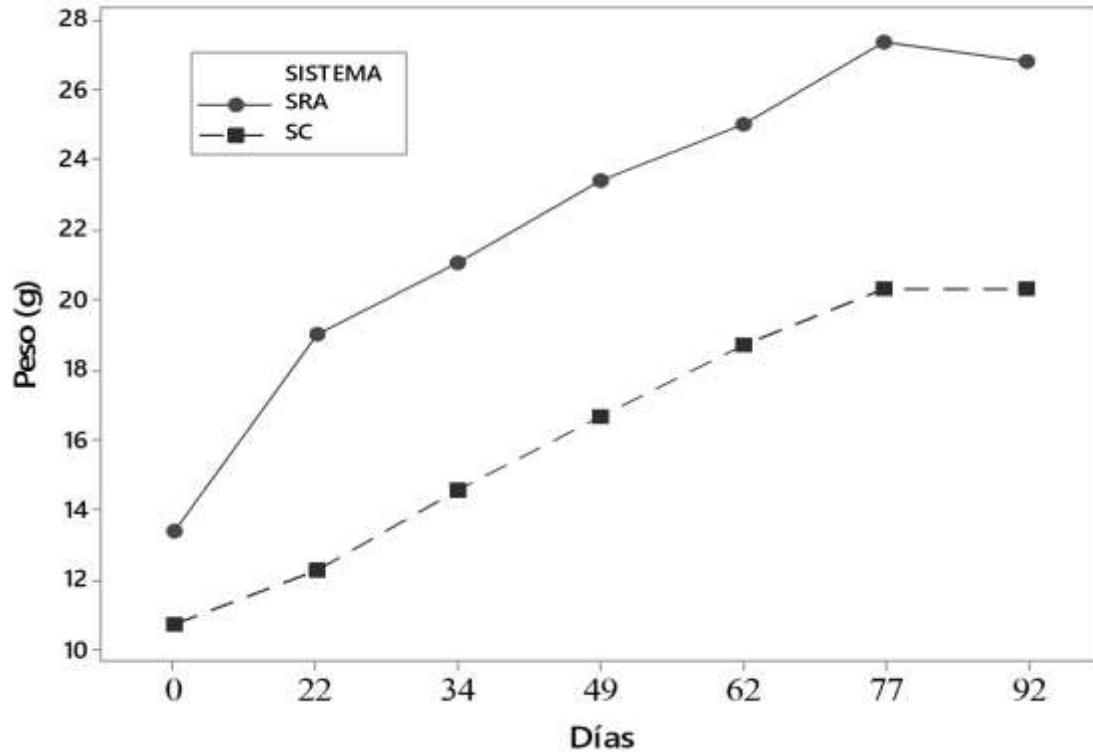


Figura 8. Tendencia de crecimiento de *Centropomus robalito* en un sistema de recirculación de agua y un sistema convencional.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 8 muestra la tendencia de crecimiento de *C. robalito* en ambos sistemas en términos de valor promedio de peso (g). De igual forma como se presenta la ganancia en peso (Tabla 4), el crecimiento es más lineal en los robalos que estuvieron en el SC respecto a los que estuvieron en el SRA. En el día 22 se observa la diferencia de peso testado que coincide con la ganancia en peso mostrada en la Tabla 4. Entre los días 77 y 92 ocurre un decrecimiento más marcado en el SRA que en el SC.

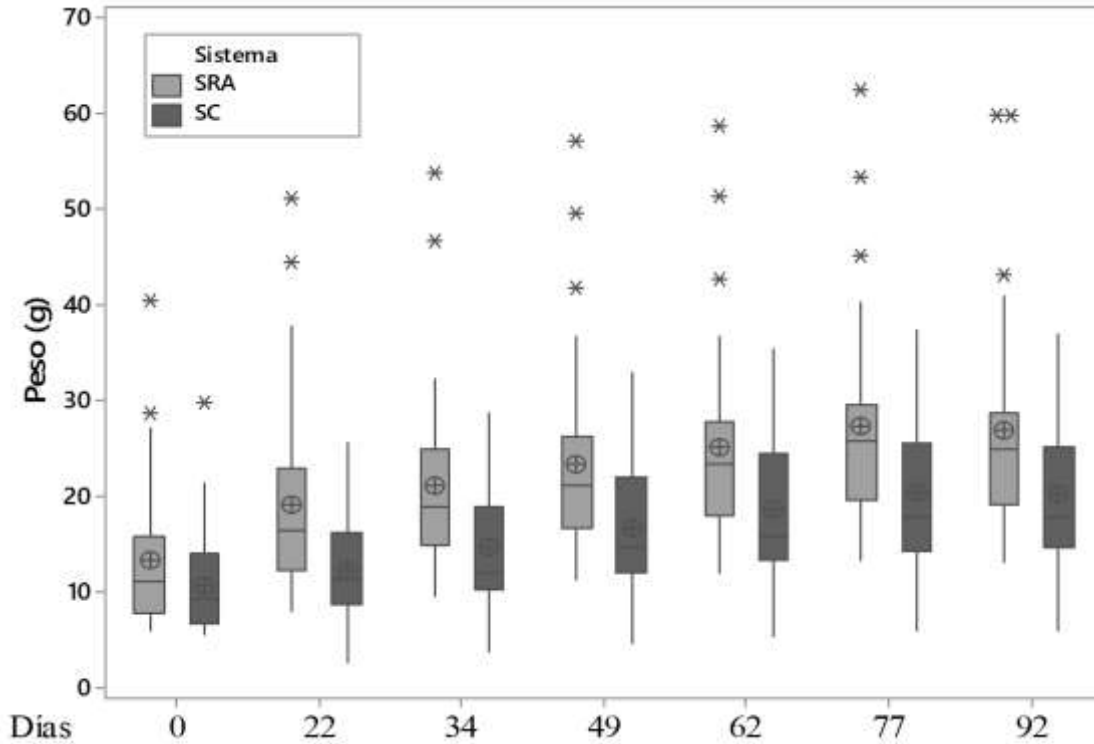


Figura 9. Variación del peso (g) en el sistema de recirculación de agua y en el sistema convencional para *Centropomus robalito*.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el crecimiento difiere en ambos sistemas, en la Figura 9 se analiza la dispersión del peso en ambos sistemas. En el día 0, se presentan dos datos atípicos entre 29 y 41 g para el SRA, y 30 g en el SC. Al día 22, ese dato atípico desaparece en el SC y se mantienen los dos en el SRA. Al día 49, en el SRA se observa otro valor de peso que supera los límites respecto de la media y se mantiene hasta el día 92. En el SC, no aparecen valores fuera de los límites en los días posteriores al día 0.

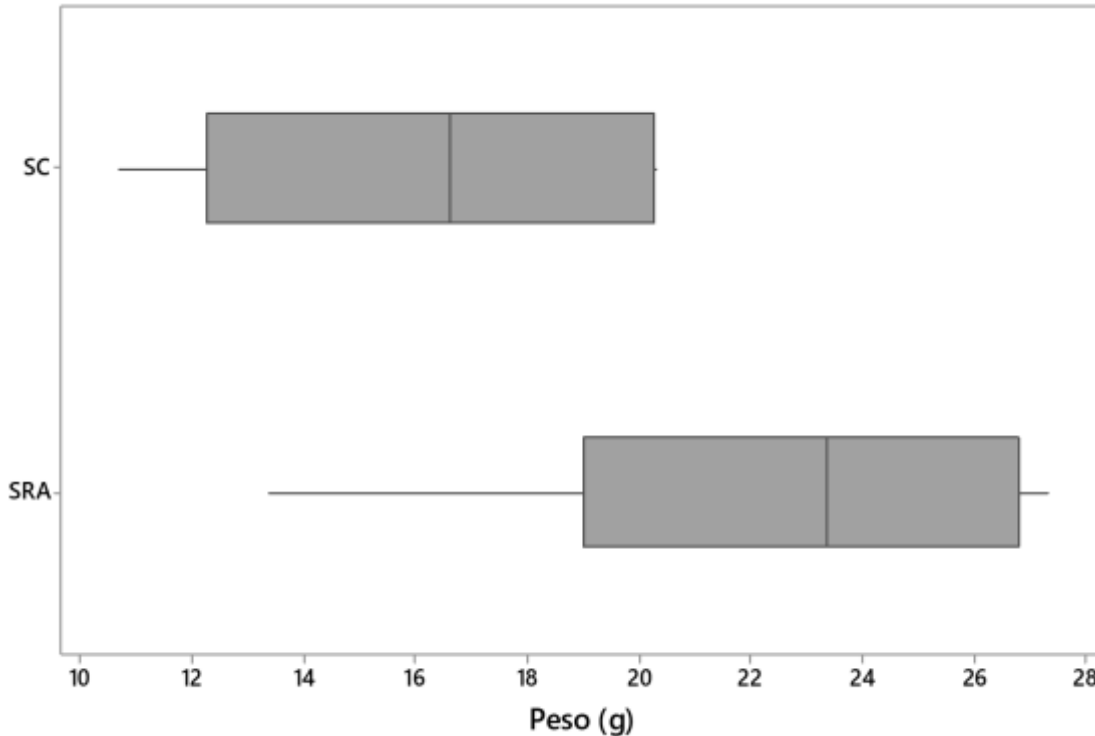


Figura 9. Diferencia de peso (g) para los robalos cultivados en un sistema de recirculación de agua y en un sistema convencional.

Fuente: Elaboración propia.

Dada la necesidad de comparar las diferencias entre el peso de los robalos cultivados en ambos sistemas, la prueba t-student ($\alpha = 0.05$) indica que existe diferencia entre el peso final de los robalos cultivados en el SRA respecto a aquellos cultivados en el SC ($p < 0.05$) cuya interpretación gráfica se muestra en la Figura 9. La prueba de Levene (Apéndice 1) para varianzas fue realizada para corroborar si la aleatoriedad favoreció al SRA al inicio del experimento cuyos resultados indican que las varianzas en ambos sistemas son idénticas ($p > 0.05$). Por otra parte, dado que en el SRA se presentan datos atípicos durante todo el período de estudio, la prueba de Grubbs (Apéndice 2) fue realizada y cuyo resultado indica que los valores máximos y mínimos se catalogan como valores atípicos ($p < 0.05$).

Tabla 5.

Valores de la regresión de peso y talla de *Centropomus robalito* cultivados en un sistema de recirculación de agua y un sistema convencional.

Sistema	Peso (g)	R^2	p-valor
SRA	$y = 0.0123L^{2.9074}$	0.975	<0.01
SC	$y = 0.0112L^{2.9558}$	0.949	<0.01

Fuente: Elaboración propia.

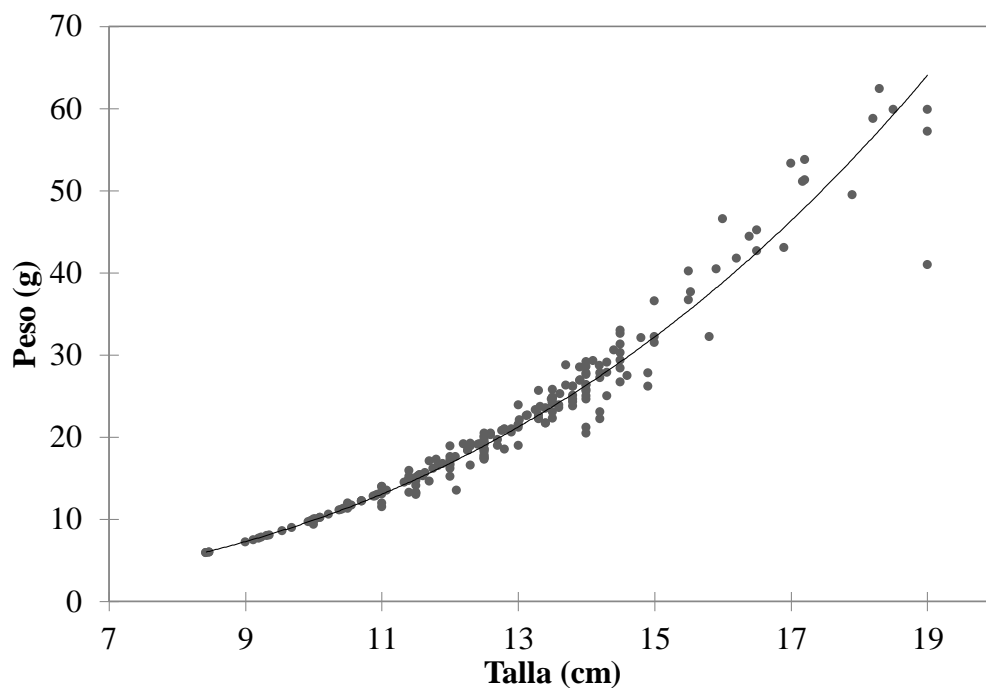


Figura 10. Relación talla y peso de *Centropomus robalito* cultivado en un sistema de recirculación de agua.

Fuente: elaboración propia.

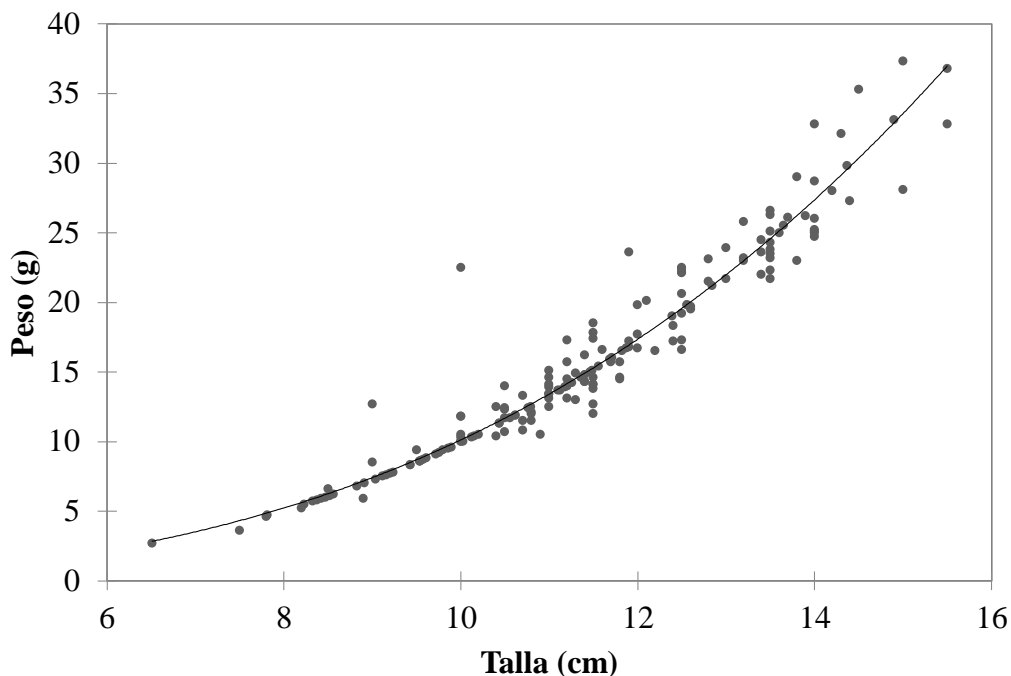


Figura 11. Relación talla y peso de *Centropomus robalito* cultivado en un sistema convencional.

Fuente: elaboración propia.

La relación talla y peso es importante para conocer el tipo de crecimiento de los robalos tanto en el medio natural, como en cautiverio. En el presente estudio, los resultados sugieren que el crecimiento de *C. robalito* presenta un tipo de crecimiento isométrico dado que la constante b se aproxima a 3 (Tabla 5). Los robalos cultivados en un SRA, tienen un valor de b igual a 2.9074 y en aquellos cultivados en el SC un valor de 2.9558, con coeficientes de 0.97 y 0.94 para el SRA y el SC, respectivamente. Los coeficientes indican que la variación del peso puede explicarse con 97% ($p < 0.01$) y 94% ($p < 0.01$) en el SRA y en el SC, respectivamente, con los valores de talla (cm) como predictores.

6.3 Efecto del alimento

La adición de alimento a los tanques del SRA y el SC influye en el aumento de los componentes nitrogenados. Para el caso del SRA, el biofiltro juega un papel importante en la reducción del nitrógeno a componentes menos tóxicos como el nitrato. Para establecer la capacidad de remoción del biofiltro se utilizó la tasa de conversión volumétrica del

nitrógeno amoniacal total (TCV_{NAT}). Dado que los nitritos no fueron detectados, no se hizo ningún análisis relacionado a este parámetro.

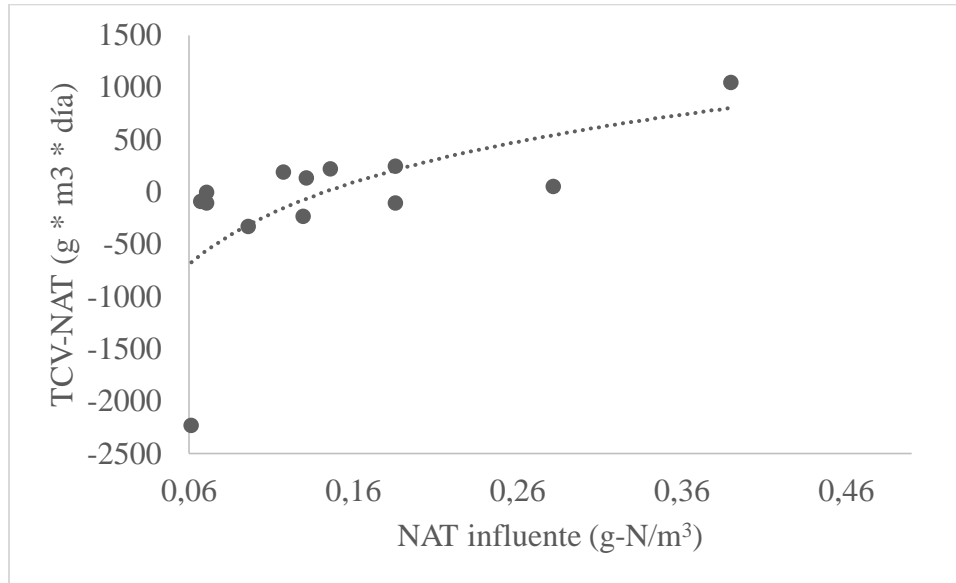


Figura 12. Efecto de la concentración de NAT en el influente del sistema de recirculación de agua.

Fuente: Elaboración propia.

La tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total presenta valores negativos que corresponden a una nula conversión o remoción de nitrógeno en el biofiltro.

Posteriormente los valores son positivos y se mantiene una tasa de remoción estable incluso habiendo pocos animales en el sistema (Figura 12).

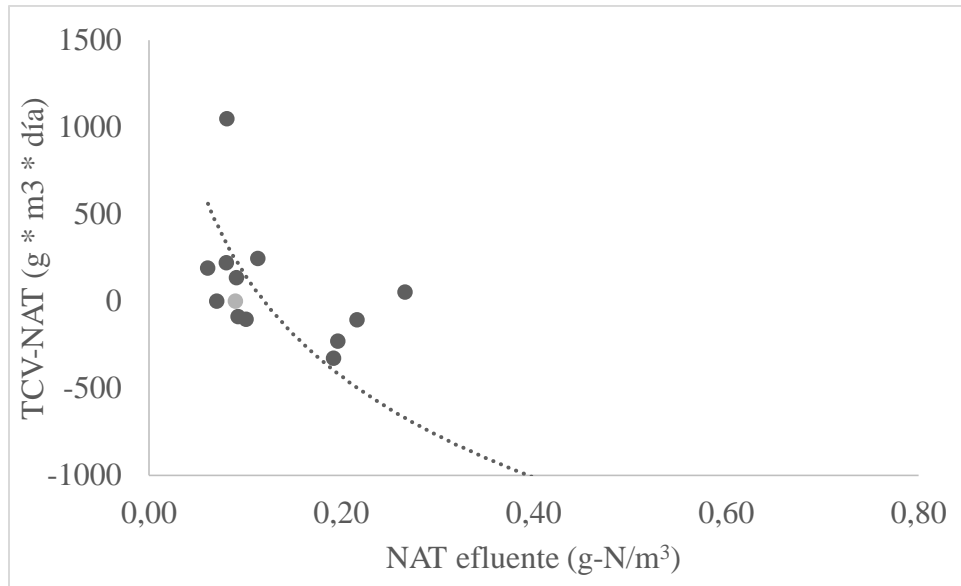


Figura 13. Efecto de la conversión de NAT en el efluente del sistema de recirculación de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el efluente arrastra los desechos que se producen en el sistema, la producción de nitrógeno amoniacal es común; sin embargo, la Figura 13 muestra valores positivos en la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal; estos valores están asociados a una corta retención hidráulica en el biofiltro.

6.4 Impacto esperado

Los resultados del presente estudio aportan información sobre *Centropomus robalito* respecto a la capacidad de adaptación en dos sistemas de cultivo. La ecuación que relaciona talla y peso permite inferir en la máxima talla reportada por Tringali, Bert, Seyoum, Bermingham, & Bartolacci (1999) que puede ser utilizada para evaluar las poblaciones naturales. Por otra parte, el proyecto permitió establecer conceptos, análisis y demostraciones para incluir los sistemas de recirculación de agua como herramienta para adaptar especies silvestres a escala de laboratorio. Extrapolar los sistemas de recirculación a pequeños productores aún es un tema con poco avance, pero en términos prácticos para la academia, es de suma importancia.

7. Análisis y discusión de resultados

La importancia de los sistemas de recirculación estriba en la reducción de los componentes nitrogenados a través de bacterias que coadyuvan a dar un ambiente idóneo para el cultivo de especies tanto de agua dulce, como de agua salada. Los materiales para la fijación de bacterias han sido ampliamente estudiados y son la base para el diseño de los biofiltros; su uso depende del rendimiento, la disponibilidad y el costo. Para efectos del presente estudio, se utilizó tela de algodón, grava y tapas plásticas como medio de fijación para las bacterias.

Guerdat et al., (2010) hacen referencia a tres tipos de biofiltros utilizados comúnmente en los sistemas de recirculación y que difieren en la capacidad de remoción de los componentes del nitrógeno. El diseño del prototipo de biofiltro para el estudio se basó en el concepto de desnitrificación (Avnimelech, 2006) y dada la necesidad de comparar el sistema de recirculación con otro tipo de sistema que pudiese ser un parámetro de referencia, se utilizó el convencional con aireación constante y recambios de agua mecánicos.

Los parámetros de calidad del agua influyen en las reacciones químicas dentro de un RAS (Chen et al., 2006), por ello se hicieron mediciones diariamente dos veces por día en ambos sistemas. La temperatura fue mayor en el SRA debido a la ubicación dentro del área de experimentos de la Estación Experimental Monterrico. Zhu y Chen (2002), modelaron el efecto de la temperatura en la nitrificación en un biofiltro y no encontraron diferencias significativas entre 14 y 27°C, este último valor predominó en los tanques del SC y fue mayor en los tanques del SRA.

Las reacciones químicas de desnitrificación o nitrificación conllevan un alto consumo de oxígeno que debe mantenerse estable para garantizar la eficiencia en la remoción de nitrógeno. Los niveles de oxígeno tienden a disminuir conforme aumenta la biomasa de los peces y conforme aumentan los desechos producto de la excreción alimentación (Zhang et al., 2011). Los niveles de oxígeno en ambos sistemas fueron similares y no se vieron afectados por ninguno de los factores anteriores.

En lo que respecta al pH, la variación de este parámetro influye en la variación de la alcalinidad (Boyd & Crag, 2012). Por otra parte, el diseño del sistema de recirculación permitió la desgasificación del CO₂ mediante la caída de agua a los tanques del sistema y, por ende, los valores de pH no fluctuaron en todo el período de estudio evitando la acidificación del sistema.

Los nitritos estuvieron por debajo de la capacidad de medición del espectrofotómetro. El efecto del oxígeno y el pH no tuvo mayor variación, incluso siendo estos parámetros importantes en desnitrificación, no hubo acumulación de nitritos (Van Rijn, Tal, & Schreier, 2006). El pH estuvo entre 7 y 7.5, el proceso de nitrificación pudo verse afectado (Boyd, & Craig, 2012; Bovendeur, Zwaga, Lobee, & Blom, 1990) lo cual coincide con la concentración de nitratos que es relativamente no tóxica para organismos acuáticos (van Rijn et al., 2006) pero valores altos pueden estar asociados a un proceso incompleto en la reducción del mismo ((Tsukuda, Christianson, Kolb, Saito, & Summerfelt, 2015); sin embargo, los valores más bajos de nitratos aparecen en los componentes del SRA con una mínima variación respecto al SC. Por otra parte, los valores de amonio estuvieron por debajo de 0.7 mg/L (Figura 7) valor que refieren algunos autores como indicativo de la maduración de un biofiltro (Gallego-Alarcón, & García-Pulido, 2017; Terjesen et al., 2013). No obstante, para el presente estudio, la maduración del biofiltro pudo verse afectada por la biomasa en el sistema y la retención hidráulica del mismo.

La no acumulación de materia orgánica y sedimentación influyeron en los valores de fósforo (Barak & Van Rijn, 2000) y la no detección de hierro en el sistema de recirculación. Aunado a ello, el aporte de las dietas húmedas (tronchos de camarón) no aportó mayor cantidad de fósforo comparado a un alimento concentrado durante el período experimental.

Los datos derivados de este experimento muestran la posibilidad de adaptar al cultivo a *Centropomus robalito* al cultivo y la capacidad de desarrollarse en un sistema en cautiverio, sea convencional o de recirculación de agua. Cabe mencionar que en Guatemala se ha hecho pocos esfuerzos en la investigación de especies que se encuentran distribuidas geográficamente en el territorio nacional. En ese sentido, no ha sido posible hacer

comparaciones entre estudios similares a este. No obstante, Zarza-Meza, Berruecos-Villalobos, Vásquez-Peláez, y Álvarez-Torres (2006), realizaron un estudio con *Centropomus parallelus* y *Centropomus undecimalis* en estanques rústicos de tierra encontrando similar tasa específica de crecimiento a la de *C. robalito*. Sanches, Oliveira, Silva, y Serralheiro (2011) también realizaron un estudio en un sistema de recirculación con resultados que refieren al manejo de densidades bajas para el mejor rendimiento. Por otra parte, la relación talla y peso muestra que los robalos aleta amarilla tienen crecimiento isométrico, es decir, el incremento en talla y peso son proporcionales entre sí (Santos, Gaspar, Vasconcelos, & Monteiro, 2002; Zarza-Meza, Berruecos-Villalobos, Vásquez-Peláez, & Álvarez-Torres, 2006).

Dado que los robalos aleta amarilla tienen la capacidad de adaptarse a diferentes salinidades (eurihalinos), se trabajó con salinidad de 4 ‰. En algunas especies de robalo, la salinidad ha sido estudiada para evaluar el efecto en diferentes etapas del crecimiento (Rhody, Nassif, & Main, 2010), sin embargo, la migración de *C. robalito* dentro del área de captura parece estar influenciada más por agua dulce que salada.

La aparente tasa de conversión de nitritos no fue posible establecerla debido a que no se detectaron en los análisis de agua. La tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total presenta valores negativos debido a que en el retorno de agua al sistema los análisis fueron relativamente mayores; esto puede deberse a la frecuencia de limpieza del filtro de arena y a un período muy corto de retención hidráulica. Sin embargo, los niveles de amonio ionizado y no ionizado, no alcanzaron niveles tóxicos que pudiesen poner en riesgo la salud de los robalos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio brindan información relacionada a la adaptación en cautiverio de *C. robalito* enfocado al cultivo con dietas húmedas y concentrado; sin embargo, es necesario ahondar más en el estudio de las especies de robalo que se distribuyen naturalmente en el canal de Chiquimulilla y que tienen potencial de cultivo, principalmente porque son fuente de proteína animal de alto valor para las comunidades pobres aledañas a la zona de estudio.

La tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal en un sistema de recirculación puede variar según los objetivos del mismo (Guerdat, et al., 2010). Para el presente estudio, esta tasa tuvo valores negativos, tanto en el efluente como en el influente. La limitada remoción de nitrógeno amoniacal puede ser atribuida a la biomasa de bacterias en el biofiltro y a los cortes de energía durante las noches que hicieron perder flujo y, en algunos casos, vaciado total del agua del biofiltro. Por otra parte, la TCV-NAT se ve afectada por cambios en algunos parámetros, uno de ellos las cargas de nitrógeno y fósforo (Gallego-Alarcón, & García-Pulido, 2017) que en este estudio se vieron limitados por el poco aporte y por el tipo de alimento. Sin embargo, el nivel de nitrógeno amoniacal no llegó a niveles que pusiesen en peligro la salud y vida de los animales.

8. Conclusiones

La eficiencia del sistema de recirculación se vio afectada por factores no previstos. No obstante, la población utilizada en el experimento, el tamaño final y la adición de alimento no influyeron en el aumento de los derivados del nitrógeno en el agua.

Los sistemas evaluados para adaptar a *Centropomus robalito* no difieren entre sí en la adaptación de la especie. Sin embargo, el sistema de recirculación de agua parece generar mejores condiciones para el crecimiento y la ganancia en peso de los robalos respecto a un sistema convencional con aireación continua.

No se evidenció un efecto evidente en la generación de componentes nitrogenados con la adición de alimento fresco y concentrado.

9. Referencias

- Attramadal, K. J. K., Truong, T. M. H., Bakke, I., Skjermo, J., Olsen, Y., & Vadstein, O. (2014). RAS and microbial maturation as tools for K-selection of microbial communities improve survival in cod larvae. *Aquaculture*, *432*, 483–490. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2014.05.052
- Avnimelech, Y. (2006). Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, *34*(3), 172–178. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.04.001
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, *51*, 26–35. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.07.004
- Barak, Y., & Van Rijn, J. (2000). Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system. *Aquacultural Engineering*, *22*, 121–136. Doi: 10.1016/S0144-8609(00)00036-4
- Bovendeur, J., Zwaga, A. B., Lobee, B. G. J., & Blom, J. H. (1990). Fixed-biofilm reactors in aquacultural water recycle systems: effect of organic matter elimination on nitrification kinetics. *Water Research*, *24*(2), 207–213. Doi: 10.1016/0043-1354(90)90104-E
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, *69*(346), 364–367. Doi: 10.1080/01621459.1974.10482955
- Boyd, C.E. & Craig, S. T. (2012). *Pond aquaculture water quality management*. New York: Springer.
- Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J. P. (2006). Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*, *34*(3), 179–197. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.09.004
- Christianson, L., Lepine, C., Tsukuda, S., Saito, K., & Summerfelt, S. (2015). Nitrate removal effectiveness of fluidized sulfur-based autotrophic denitrification biofilters for recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, *68*, 10–18. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2015.07.002
- Colt, J. (2006). Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*, *34*(3), 143–156. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.08.011

- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270(1-4), 1-14. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.006
- Dutka-Gianelli, J. (2014). Feeding Habits of the Smallscale Fat Snook from East-Central Florida. *Transactions of the American Fisheries Society*, 143(5), 1199-1203. Doi: 10.1080/00028487.2014.918056
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., Niem, V. H. (1995). *Guía FAO para identificación de especies para los fines de la pesca, Volumen II. Vertebrados-parte 1*. Roma, Italia.
- Flores-Ortega, J. R., González-Sansón, G., Aguilar-Betancourt, C., Kosonoy-Aceves, D., Venegas-Muñoz, A., Lucano-Ramírez, G., & Ruiz-Ramírez, S. (2015). Hábitos alimentarios de los jóvenes de *Centropomus robalito* (Centropomidae: Actinopterygii) en la laguna de Barra de Navidad, Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(4), 1071–1081. Doi: 10.15517/rbt.v63i4.17264
- Gallego-Alarcón, I., & García-Pulido, D. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1), 83-95.
- Guerdat, T. C., Losordo, T. M., Classen, J. J., Osborne, J. A., & DeLong, D. P. (2010). An evaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 42(1), 38-49. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2009.10.002
- Gutierrez-Wing, M. T., & Malone, R. F. (2006). Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 163–171. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.08.003
- Haimovici, M., & Velasco, G. (2010). Length-weight relationship of marine fishes from southern Brazil. *Advanced Materials Deerfield Beach Fla*, 22(13), 1430-1449. Doi: 10.1002/adma.200903592
- Lepine, C., Christianson, L., Sharrer, K., & Summerfelt, S. (2016). Optimizing Hydraulic Retention Times in Denitrifying Woodchip Bioreactors Treating Recirculating Aquaculture System Wastewater. *Journal of Environment Quality*, 45(3), 813. Doi: 10.2134/jeq2015.05.0242
- Mendoza, E., Castillo-Rivera, M., Zárate-Hernández, R., & Ortiz-Burgos, S. (2009).

- Seasonal variations in the diversity, abundance, and composition of species in an estuarine fish community in the Tropical Eastern Pacific, Mexico. *Ichthyological Research*, 56(4), 330–339. Doi: 10.1007/s10228-009-0102-5
- Moreno-Sánchez, X. G., Palacios-Salgado, D. S., Abitia-Cárdenas, L. A., Nieto-Navarro, J. T., & Navia, A. F. (2015). Diet of the yellowfin snook, *Centropomus robalito* (Actinopterygii: Perciformes: Centropomidae), in the southwestern Gulf of California. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 45(1), 21–29. Doi: 10.3750/AIP2015.45.1.03
- Peregrino-Uriarte, A. B., Pacheco-Aguilar, R., Varela-Romero, A., & Yepiz-Plascencia, G. (2007). Diferencias en los genes 16SrRNA y citocromo c oxidasa subunidad I de las lisas *Mugil cephalus* y *Mugil curema* y los robalos *Centropomus viridis* y *Centropomus robalito*. *Ciencias Marinas*, 33(1), 95–104.
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), 35–44. Doi: 10.1016/S0044-8486(03)00465-4
- Prehn, J., Waul, C. K., Pedersen, L. F., & Arvin, E. (2012). Impact of water boundary layer diffusion on the nitrification rate of submerged biofilter elements from a recirculating aquaculture system. *Water Research*, 46(11), 3516–3524. Doi: 10.1016/j.watres.2012.03.053
- Rhody, N. R., Nassif, N. A., & Main, K. L. (2010). Effects of salinity on growth and survival of common snook *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) larvae. *Aquaculture Research*, 41(9). Doi: 10.1111/j.1365-2109.2010.02511.x
- Ricker, W. E. (1973). Linear regressions in fisheries research. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 30(3), 409–434. Doi: 10.1139/f73-072
- Rinze, V. M. Franco, I., & Rivas, G. A. (2012). Adaptabilidad de la especie de róbalo (*Centropomus robalito*) a condiciones controladas de cultivo (Inf-2012). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación y Centro de Estudios del Mar y Acuicultura.
- Rivas, L. R. (1986). Systematic Review of the Perciform Fishes of the Genus *Centropomus*. *Copeia*, 1986(3), 579–611. Doi: 10.2307/1444940
- Rurangwa, E., & Verdegem, M. C. J. (2015). Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in Aquaculture*, 7(2), 117–130. Doi: 10.11-

11/raq.12057

- Sanches, E. G., Oliveira, I. da R., Silva, P. C. da, & Serralheiro, S. O. (2011). Cultivo do robalo-peva , *Centropomus parallelus*, em sistema de recirculação marinho. *Arquivos de Ciência Do Mar*, 44(1), 40–46.
- Santos, M. N., Gaspar, M. B., Vasconcelos, P., & Monteiro, C. C. (2002). Weight-length relationships for 50 selected fish species of the Algarve coast (southern Portugal). *Fisheries Research*, 59(1–2), 289–295. Doi: 10.1016/S0165-7836(01)00401-5
- Summerfelt, S. T. (2006). Design and management of conventional fluidized-sand biofilters. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 275–302. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.08.010
- Terjesen, B. F., Summerfelt, S. T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjæra, S. O., Megård Reiten, B. K., ... Åsgård, T. (2013). Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering*, 54, 49–63. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.11.002
- Thanakitpairin, A., Pungrasmi, W., & Powtongsook, S. (2014). Nitrogen and phosphorus removal in the recirculating aquaculture system with water treatment tank containing baked clay beads and chinese cabbage. *EnvironmentAsia*, 7(1), 81–88. Doi: 10.144-56/ea.2014.11
- Tringali, M. D., Bert, T. M., Seyoum, S., Bermingham, E., & Bartolacci, D. (1999). Molecular phylogenetics and ecological diversification of the transisthmian fish genus *Centropomus* (Perciformes: Centropomidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 13(1), 193–207. Doi: 10.1006/mpev.1999.0624
- Tsukuda, S., Christianson, L., Kolb, A., Saito, K., & Summerfelt, S. (2015). Heterotrophic denitrification of aquaculture effluent using fluidized sand biofilters. *Aquacultural Engineering*, 64, 49–59. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2014.10.010
- Van Rijn, J. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49-52. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.11.010
- Van Rijn, J., Tal, Y., & Schreier, H. J. (2006). Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 364–376. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.04.004
- Zarza-Meza, E. A., Berruecos-Villalobos, J. M., Vásquez-Peláez, C., & Álvarez-Torres, P.

(2006). Cultivo experimental de robalo *Centropomus undecimalis* y chucumite *Centropomus parallelus* (Perciformes: Centropomidae) en estanques rústicos de tierra. *Ciencias Marinas*, 32(2), 219–227.

Zhang, S.-Y., Li, G., Wu, H.-B., Liu, X.-G., Yao, Y.-H., Tao, L., & Liu, H. (2011). An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. *Aquacultural Engineering*, 45(3), 93–102. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2011.08.001

Zhu, S., & Chen, S. (2002). The impact of temperature on nitrification rate in fixed film biofilters. *Aquacultural Engineering*, 26(4), 221–237. Doi: 10.1016/S0144-8609(02)00022-5

10. Apéndices

Apéndice 1. Prueba de Levene para igualdad de varianzas

Estadístico	Valor
F (valor observado)	0.2928
F (valor crítico)	4.7472
DF1	1
DF2	12
p-valor	0.5983
Alfa	0.05

Apéndice 2. Prueba de Grubbs para valores atípicos

Estadístico	Valor
G (valor observado)	4.2993
G (valor crítico)	3.7964
p-valor	0.0053
Alfa	0.05

Intervalo de confianza al 99% para el p-valor (0.0051, 0.0055)

Apéndice 3. Biofiltro diseñado para la remoción de los componentes del nitrógeno.



Apéndice 4. Análisis de calidad del agua a través del método de espectrofotometría



Apéndice 5. Preparación de dietas húmedas más concentrado para *Centropomus robalito*.



Apéndice 6. Espécimen de *Centropomus robalito* en el Ictiometro para establecer talla.



Listado de todos los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores	

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro personal	Pago	
			SI	NO
Rita Díaz	Auxiliar II		X	
Víctor Vidal Ramos	Jornal		X	

Nombre	Firma
Rita Díaz Molina	
Víctor Vidal Ramos	

Lic. Carlos H. Mazariegos

Coordinador

Inga. Liuba Cabrera

Coordinadora Programa –PRUNIAN-

Ing. Agr. Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas