



Tropical Aquaculture

Vol.: 3

No.: 1

Enero · Junio 2025



UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

ISSN: 3061-7642



DIRECTORIO

L.D. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO

Rector

DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ

Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ GOVEA

Secretario de Servicios Académicos

DR. MIGUEL ARMANDO VÉLEZ TÉLLEZ

Secretario de Finanzas

LIC. ALEJANDRINO BASTAR CORDERO

Encargado del Despacho de la Secretaría de Servicios Administrativos

Wilfrido M. Contreras-Sánchez*Editor-in-Chief***María J. Contreras-García, MSc.***Associate Editor***Lenin Arias Rodríguez, PhD.***Executive Editor***Misael Hernández Martínez***Journal manager**Section Editors****Acuicultura de tilapia, policultura e hidroponía***

Kevin. M. Fitzsimmons, PhD.

The University of Arizona, Department of Environmental Science, Tucson, AR., Estados Unidos de América.

Impacto social de la acuicultura

Hillary Egna, PhD.

College of Agricultural Sciences, Oregon State University, Corvallis, OR., Estados Unidos de América.

Fisiología

Reynaldo Patiño, PhD.

Department of Natural Resources Management, Texas Tech University, Lubbock, TX., Estados Unidos de América.

Quenton Fontenot, PhD.

Biological Sciences Department, Nicholls State University, Estados Unidos de América.

Allyse Ferrara, PhD.

Biological Sciences Department, Nicholls State University, Estados Unidos de América.

Reproducción

Carmen G. Paniagua Chávez, PhD.

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California

Nutrición

Ulises Hernández-Vidal, PhD.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Tabasco, Mexico.

Carolina Esther Melgar Valdés, PhD.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Tabasco, Mexico.

Acuicultura de peces marinos

Rodrigo Martínez Moreno PhD.

Centro Regional de investigación Acuicola y Pesquera, Colima, México.

Leonardo Ibarra Castro, PhD.

University of Florida Whitney Laboratory for Marine Bioscience, Estados Unidos de América.

Luis S. Álvarez-Lajonchère, PhD.

La Habana, Cuba

Acuicultura marina

Antonio Garza de Yta

Cultivo Biofloc

Adriana da Silva, PhD.

Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, Mexico

Shrimp culture and nutrition

Martha Gabriela Gaxiola Cortés, PhD.

Departamento de Manejo de Zonas Costeras de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Yucatán, México

*Section Editors****Nutrición y larvacultura de peces***

Maria Célia Portella, PhD.

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil.

Estrés

Carl B. Schreck, PhD.

Oregon State University, Fisheries and Wildlife Department, Corvallis, OR., Estados Unidos de América.

Histología y fisiología

Marycarmen Uribe Aranzábal PhD

Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio de Biología de la Reproducción Animal - Facultad de Ciencias, México.

Arlette A. Hernández Franyutti, MSc.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Tabasco, México.

Aarón Alejandro Torres Martínez, MSc.

Tokyo University of Marine Science and Technology, Department of Marine Biosciences, Japón.

Cultivo de alimento vivo

Leonardo Cruz Rosado, PhD.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Tabasco, México.

Calidad del agua

Martin S. Fitzpatrick, PhD.

Forest and Rangeland Ecosystem Science Center, USGS, Corvallis, OR., Estados Unidos de América.

Sistemas de producción

A. Mcdonal-Vera, MSc.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Tabasco, México.

Alfonso Castillo Domínguez, PhD.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Tabasco, México.

Salud acuática en acuicultura

Marco Linné Unzueta Bustamante, PhD.

Sonora, México

Acuicultura africana

Charles Ngugi, PhD.

Fish Biology and Tropical Aquaculture, School of Natural Resources, Karatina University, Kenia.

Julius Manyala, PhD.

Jaramogi Oginga Odinga University of Science and Technology, Kenia.

Nelly Isyagi, PhD.

African Union Inter-African Bureau of Animal Resources, Kenia.

Traducciones

S. Arriaga-Weiss, PhD.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Tabasco, Mexico.

Tropical aquaculture, Año 3, No. 1, Enero Junio 2025, es una publicación semestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Villahermosa, Centro, Tabasco, CP. 86040, Tel (993) 358 15 00, <https://revistas.ujat.mx/index.php/ta>, tropicalaquaculture@ujat.mx. Editor responsable: Wilfrido M. Contreras Sánchez. Reservas de Derechos de Uso Exclusivo No. 04-2024-062114245900-102, ISSN:3061-7642, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Wilfrido M. Contreras Sánchez, Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Villahermosa, Centro, Tabasco, México. C.P. 86040, fecha de última modificación, 01 de enero de 2025.

CONTENIDO

Editorial

- **Totoaba, una especie con gran potencial para la maricultura mexicana**

Marco Linné Unzueta Bustamente

Scientific article

- **Densidad de población, alimentación y salinidad del agua para la cría de larvas de tetra cola amarilla (*Astyanax altiparanae*)**
Rafaela Manchín-Bertolini, Nivaldo Ferreira do Nascimento, Lucía Suárez López, Gabriel Marra Schade, Juliana Dias Bastos-Xavier, Emy Yano, Jose Augusto Senhorini, Matheus Pereira dos Santos, George Shigueki Yasui
- **Evaluación de harina de yuca como sustituto del trigo en la alimentación de *Clarias gariepinus***
José Llanes – Iglesias
- **Rendimiento de siete líneas de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en jaulas flotantes y estanques convencionales**
Raquel Hernández Jiménez, Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez, María Contreras-García, Alejandro McDonal Vera
- **Control en la transmisión horizontal de el virus de la mancha blanca usando luz ultravioleta**
Pablo González-Alanis, Kevin M Fitzsimmons, Maria de la Luz Vazquez Saucedo, Flaviano Benavidez González, Ana Lucía Urbizu González, Jesus Humberto Reyna Fuentes

Totoaba, una especie con gran potencial para la maricultura mexicana

Totoaba, a species with great potential for mexican mariculture

Marco Linné Unzueta Bustamante

Autor de correspondencia:
Marco Linné Unzueta-
Bustamante.
linne.unzueta2021@gmail.com

Como citar:
Marco Linné Unzueta
Bustamante (2025). Totoaba,
una especie con gran potencial
para la maricultura mexicana.
Tropical Aquaculture 3 (1):
e5751. DOI
10.19136/ta.a3n1.5751

Fecha de recepción: 14 de
octubre de 2025

Fecha de aceptación: 24 de
octubre de 2025

Licencia creative commons:
This work is licensed under a
Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International



La Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) pertenece a la familia Scianidae, la misma a la que pertenecen las curvinas. Es la especie más grande de esta familia y actualmente se encuentra enlistada bajo el estatus de peligro de extinción. Su veda es permanente desde 1975 en México debido a la pesca ilegal impulsada por el valor de su buche en el mercado asiático. Esta condición requiere una franca evaluación por parte de las autoridades.

La especie habita en el Golfo de California, del cual es endémico. Sus individuos pueden alcanzar una talla de hasta 2 m y un peso de hasta 130 kg. Tradicionalmente, este pez ha sido capturado desde la primera mitad del siglo XX, cuando los pioneros de la pesca en esta región comenzaron a establecerse en los asentamientos que dieron lugar a Puerto Peñasco y al poblado del Golfo de Santa Clara. Desde entonces, esta pesquería se llevó a cabo sin ningún tipo de control. Algunas regulaciones oficiales se comenzaron a instrumentar, al menos en papel, desde la década de 1940; sin embargo, no fue sino hasta la década de 1980 cuando las autoridades pesqueras finalmente se ocuparon de atender el problema de esta especie.

Actualmente se realizan estudios desde varios enfoques, incluyendo el genético, acerca de la biología y las potenciales formas de producción a través de la acuicultura. Esto con el objetivo de conservar la especie bajo condiciones controladas. En este sentido, se requiere abordar la validación de técnicas y modelos de producción acuícola que, a la vez, contribuyan a la recuperación de las poblaciones silvestres y promuevan el desarrollo de actividades productivas de esta especie de alto valor comercial.

Es importante destacar que la investigación para la acuicultura no solo es fundamental para el desarrollo de actividades productivas que impulsen la

diversificación acuícola, propicien el desarrollo regional y contribuyan a mitigar el problema económico y social en las zonas rurales marginadas; sino que, además, esta investigación ayudará a solucionar el problema de la pesca tradicional, como la sobreexplotación de las especies, disminuyendo la presión pesquera sobre las poblaciones naturales. La investigación aplicada a la acuicultura de peces marinos, especialmente en aquellas especies en peligro de extinción, resulta importante para su conservación y comprende aspectos de la biología de estas, incluyendo la diversidad genómica. En su ámbito de aplicación se encuentra la repoblación de las áreas de donde son nativas dichas especies. Por lo anterior, es vital la consolidación de las biotecnologías para la maduración de reproductores y generación de crías, así como el manejo acuícola en laboratorio y campo de la totoaba y otras especies, con fines de conservación, repoblamiento y aprovechamiento sustentable. Para ello, se deberán establecer los siguientes objetivos para el desarrollo de una maricultura exitosa:

1. A corto plazo, acopio de un lote de reproductores a través de la colecta y acondicionamiento de ejemplares silvestres, para su maduración y reproducción controlada para la obtención de crías.
2. Evaluación de dietas para el manejo de los reproductores en confinamiento.
3. Generación de protocolos y manuales para los procesos de inducción a la maduración, reproducción y desove, alevinaje, crianza y desarrollo.
4. Evaluación del crecimiento en sistemas de cultivo en el medio marino.
5. Producción sistemática de crías en laboratorio para las siguientes etapas de la investigación tecnológica.
6. Transferencia biotecnológica para el manejo acuícola de la especie con fines de aprovechamiento sustentable, así como la liberación de crías al medio natural bajo un programa de repoblamiento; todo ello en estricta coordinación con las autoridades ambientales.

Stock Density, Feeding, and Water Salinity for Larval Rearing of Yellowtail Tetra (*Astyanax altiparanae*)

Densidad de población, alimentación y salinidad del agua para la cría de larvas de tetra cola amarilla (*Astyanax altiparanae*)

Rafaela Manchin Bertolini^{1,2} 
Nivaldo Ferreira do Nascimento^{1,3} 
Lucia Suárez López⁵
Gabriel Marra Schade^{1,2}
Juliana Dias Bastos Xavier^{1,4}
Emy Yano¹
Jose Augusto Senhorini^{1,2}
Matheus Pereira dos Santos^{1,4}
George Shigueki Yasui^{1,2}

¹Laboratory of Fish Biotechnology, National Center for Research and Conservation of Continental Fish, Chico Mendes Institute of Biodiversity Conservation, Rodovia Prof. Euberto Nemésio Pereira de Godoy, Pirassununga, SP 13630- 970, Brazil.

²Institute of Bioscience, São Paulo State University, Rua Prof. Doutor Antônio Celso Wagner Zanin, s/no., Botucatu, SP 18618–689, Brazil.

³Academic Unit, Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), Serra Talhada, Brazil.

⁴(UFRJ) – Federal Rural University of Rio de Janeiro. Rodovia BR 465, Km 07, s/n Zona Rural, Seropédica - RJ, 23890-000, Brazil.

⁵Scientific Research Center and of Higher Education of Ensenada (CICESE), Department of Aquaculture, Ensenada, Baja California 22860, México.

Corresponding author: Rafaela Manchin Bertolini. National Center for Research and Conservation of Continental Aquatic Biodiversity (CEPTA). Rodovia SP-201 (Prof. Euberto Nemésio Pereira de Godoy), km 6,5, Caixa Postal 64, CEP 13.641-001- Pirassununga – SP, Brazil.email: rafaelambertolini@hotmail.com

Cited:

Manchin Bertolini R, *et al.* (2025) Stock Density, Feeding, and Water Salinity for Larval Rearing of Yellowtail Tetra (*Astyanax altiparanae*). Tropical Aquaculture 3 (1): e5745. DOI 10.19136/ta.a3n1.5745

Received: 8 May 2025.

Accepted: 16 June 2025.

Licencia creative commons:

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International



Abstract

One of the critical points in fish rearing is larviculture, a phase that requires suitable food for first feeding. This study aimed to evaluate the effect of three variables on the larviculture of the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae*: 1) type of *Artemia franciscana* nauplii used for feeding (Fresh, frozen, and freeze-dried); 2) salinity (0.2%, 0.4%, and 0.6% NaCl); and 3) stocking density (50, 100, 150, and 200 larvae/L⁻¹). Growth and survival were assessed over 10 days. On day 10, larvae fed *Artemia* nauplii (fresh) had a higher length and survival rate compared to other treatments ($P < 0.05$). Water at 0.4% and 0.6% NaCl showed significantly lower survival ($P < 0.05$) and no survival, respectively. Lower density (50 larvae L⁻¹) showed the greatest length (7.73 ± 0.08 mm), and the highest density (200 larvae L⁻¹) presented the lowest length (5.86 ± 0.10 mm). These results are innovative for this species, opening up new possibilities for larviculture in both laboratory and aquaculture settings.

Keywords: *Artemia* sp, Characin, first feeding, fish, larviculture.

Resumen

Uno de los puntos críticos en la crianza de peces es la larvicultura, una fase que requiere alimento adecuado para la primera alimentación. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres variables en la larvicultura del tetra de cola amarilla *Astyanax altiparanae*: tipo de nauplios de *Artemia franciscana* utilizados para la alimentación (frescos, congelados y liofilizados); 2) salinidad (0.2%, 0.4% y 0.6% NaCl); y 3) densidad de cultivo (50, 100, 150 y 200 larvas/L⁻¹). El crecimiento y la supervivencia se evaluaron durante 10 días. Al día 10, las larvas alimentadas con nauplios de artemia frescos presentaron mayor longitud y tasa de supervivencia en comparación con los demás tratamientos ($P < 0.05$). El agua con 0.4% y 0.6% NaCl mostró una supervivencia significativamente menor ($P < 0.05$) y nula, respectivamente. La menor densidad (50 larvas L⁻¹) presentó la mayor longitud (7.73 ± 0.08 mm), mientras que la mayor densidad (200 larvas L⁻¹) presentó la menor longitud (5.86 ± 0.10 mm). Estos resultados son innovadores para esta especie, abriendo nuevas posibilidades para la larvicultura con fines de laboratorio y acuicultura.

Palabras clave: *Artemia* sp, Characin, primera alimentación, peces, larvicultura.

Introduction

The yellowtail tetra, *Astyanax altiparanae* (Garutti and Britski, 2000), is a small characin fish with potential in both aquaculture production and academic research. This species exhibits intertidal spawning, reproducing several times throughout the year (Orsi *et al.* 2004; Porto-Foresti *et al.* 2010), and tolerates environments with limiting conditions, such as low water quality and high stocking densities (Garutti & Britski 2000). As a result, *A. altiparanae* has been used as a model organism for academic research for the last several years (Yasui *et al.* 2022). In previous studies, a protocol was developed for *in vitro* fertilization (Yasui *et al.* 2015), which enables studies on chromosome and gamete manipulation (Ferreira Do Nascimento *et al.* 2017a; do Nascimento *et al.*, 2020). Such protocol was used to describe the gamete ultrastructure and the embryonic development in detail (dos Santos *et al.* 2016), induce triploid fish (Adamov *et al.* 2016; do Nascimento *et al.* 2017b), as well as for the labeling of primordial germ cells (PGCs) and transplantation of PGCs (Coelho *et al.* 2023; Rosero *et al.* 2023). However, further investigation is needed to optimize the rearing period to evaluate other parameters in adult fish.

Undoubtedly, one of the critical points in fish rearing is larviculture, which is a phase that requires suitable food for first feeding. In this scenario, several fish species require live food, such as *Artemia* sp. nauplii, primarily because formulated diets are ineffective (Aguilera *et al.* 2012). The larvae of *A. altiparanae*, on the other hand, recognize and ingest this type of food, but this feeding regime does not guarantee growth and survival (Bertolini *et al.* 2018). Despite these results, this capacity to ingest dry food could be considered as a basis for testing other types of feed, such as frozen or lyophilized *Artemia* sp. nauplii.

The *Artemia* sp. nauplii have been extensively used for several fish species, mainly due to their good acceptance and high nutritional value (Bertolini *et al.* 2018; Jomori *et al.* 2003; Luz and Portella, 2005; Madkour *et al.* 2023). However, since *Artemia* sp. nauplii originate from hypersaline environments, their survival in freshwater is limited, potentially reducing their viability and negatively impacting water quality (Beux and Zaniboni Filho, 2006; Jomori *et al.* 2012). Therefore, the use of sodium chloride (NaCl) is an interesting alternative, as saline water extends the lifetime of *Artemia* sp. nauplii, increasing food intake and growth of the fish larvae (Luz *et al.* 2008). In addition, NaCl can be used for the prevention and control of parasites, such as *Ichthyophthirius multifiliis*

(de O. Garcia *et al.* 2007), *Epistylis* sp. (Rodrigues *et al.*, 2019), and *trichodinid* sp. (Naas *et al.*, 2024).

Other key factors that have been studied in fish larviculture are the stocking density, which may affect survival (Campagnolo and Nuñez 2006; Santos *et al.* 2021), growth (Bolasina *et al.* 2006; Reis *et al.* 2021), feeding (Reis *et al.* 2021; Wendelaar Bonga 1997), and larval behavior (Andrade *et al.* 2004; Santana *et al.* 2020). Very high stocking densities reduce water quality because of increased nitrogenous waste excretion (Jobling 1994; Reis *et al.* 2021), leading to stress and illness (Gil Barcellos *et al.* 2000; Iguchi *et al.* 2003; King *et al.* 2007). On the other hand, very low stocking densities result in underutilization of the space, thereby reducing the production capacity (Baldiasserotto 2002).

Therefore, the present study was conducted to evaluate three important variables in the optimization of yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* larviculture: different types of food, salinity, and stocking density.

Materials and methods

All the procedures were performed in accordance with the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals of CEPTA (CEUA #02031.000033/2015-11).

Origin of broodstock and breeding

Adult yellowtail tetras (*A. altiparanae*) used in this study were obtained from the Mogi Guassu River (21.925706 ° S, 47.369496 ° W), São Paulo, Brazil. The fish were maintained in 1,000 m² earthen ponds and were fed twice a day with commercial pellets containing 40%–45% of crude protein. Endogenous food (plankton) was also available in the ponds. Spawning was induced in females (SL $\approx 9 \pm 0.39$ cm) and males (SL $\approx 6 \pm 1.25$ cm) using a previously developed protocol in the same laboratory (Yasui *et al.*, 2015). The fish were anesthetized in a menthol solution (100 mg L⁻¹) and then injected with a single dose of carp pituitary gland (3 mg kg⁻¹ for males and females). The fish were then separated into three couples, which resulted in three different batches of fry (replicates). For each experiment, larvae from these three different couples were used. After semi-natural spawning, the fertilized eggs were siphoned using a plastic hose.

The fertilized eggs were then incubated in a floating apparatus with a 100 μ m nylon mesh bottom. The mesh

was placed in 380L aquariums with constant aeration until hatching. Dead fish were removed at 6-h intervals.

Experiment 1: first feeding

A one-factor completely randomized design was used. Three treatments with *Artemia* sp. nauplii were used: T1 = Fresh (control); T2 = Frozen; and T3 = Freeze-dried for 10 days. After yolk absorption, larvae considered normal (dos Santos *et al.*, 2016) were distributed in circular, transparent acrylic containers (each containing 100 larvae) with a diameter of 150 mm and a water volume of 1 L. A total of 9 containers (three replicates per treatment) were used. Each container was placed in a biochemical oxygen demand (BOD) incubator with the temperature set at 26°C and 12 h of light per day. Food was provided twice a day (at 8 am and 4 pm). For maintenance of water quality, two partial daily changes of 50% of the total volume were performed, approximately one hour after feeding.

For food preparation, the *Artemia* sp. nauplii in T1 were hatched daily. For this, the cysts were incubated in 1 L of artificial seawater (30‰) in a conical container. Light and aeration were continuously provided by a fluorescent lamp and an aquarium air pump, respectively. Under those conditions, cysts hatched within approximately 24 hours.

For treatments T2 and T3, the cysts were hatched under the same conditions described above. Subsequently, the *Artemia* sp. nauplii were concentrated, transferred to 1.5 mL microtubes, and frozen at -20°C (T2). For T3, the microtubes were frozen and, subsequently, subjected to lyophilization.

Experiment 2: Salinity

Three different salinities were tested using a one-factor completely randomized design: 0.2‰, 0.4‰, and 0.6‰ NaCl (Êxodo Científica), in addition to a control at 0‰ for 10 days. After yolk absorption, larvae considered normal were distributed as described above. A total of 16 containers were used, resulting in four replicates per treatment. Each container was placed in a biochemical oxygen demand (BOD) incubator with the temperature set at 26°C and 12 h of light per day. Salinity was evaluated in the best food regime obtained in Experiment 1 (Fresh *Artemia* sp. nauplii) and was provided twice daily (at 8:00 a.m. and 5:00 p.m.). For maintenance of water quality, two partial daily changes

of 50% of the total volume were performed, approximately one hour after feeding.

Experiment 3: Stocking Density

A one-factor completely randomized design was used for testing four stocking densities: 50, 100, 150, and 200 larvae L⁻¹ for 10 days. After yolk absorption, larvae were distributed as described previously. A total of 16 containers were used, resulting in four replicates per treatment. Stocking density was evaluated using the best food regime and salinity obtained in Experiments 1 (Fresh *Artemia* sp. nauplii) and 2 (0.2‰ NaCl), respectively. The same previously standardized conditions were maintained in this experiment, such as controlled temperature, 12 hours of light per day, a feeding regime (twice a day), and partial water changes.

Growth and survival assessment

The same procedures for growth evaluation were performed in all experiments. Length (mm) was measured daily for 20 individuals randomly captured in each container. First, the fish were placed in a 50 mm Petri dish containing 29.3 mM 2-phenoxyethanol as an anesthetic to facilitate handling (Carvalho *et al.*, 2022). Subsequently, the larvae were observed under a stereomicroscope (Nikon SMZ-1500, Tokyo, Japan) with a CCD camera (Nikon DS-Fi, Tokyo, Japan). Then, digital images were taken using the NIS-Elements software (Nikon, Tokyo, Japan), and the total length was measured from these images. Growth performance was measured for 10 days, and at this moment, the survival rate from each container was also calculated.

Statistics

Data were obtained from three replicates and are presented as mean $\pm$ standard error (SE). Prior to analysis, data were tested for normality and homogeneity of variances using the Shapiro–Wilk and Levene’s tests, respectively. When assumptions were met, data were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey’s multiple range test for post hoc comparisons. Survival rates, expressed as percentages, were first subjected to arcsine square root transformation to stabilize variances and approximate normal distribution, as recommended by Zar (2000). Comparisons of survival among treatments were then conducted using one-way ANOVA, followed by Tukey’s test. All statistical

analyses were performed using STATISTICA software (version 7.0, StatSoft, USA), with a significance level of 0.05.

Results

Larval growth and survival at different feeding

At the beginning of the experiment, no difference was observed between treatments ($P > 0.05$). From day two until day five, larvae with frozen and freeze-dried feed were similar ($P > 0.05$) and had significantly lower length (mm) than the fresh *Artemia* sp. nauplii treatment ($P < 0.05$). From the sixth day onwards, the freeze-dried treatment had no survival (0%), and larvae fed fresh *Artemia* sp. nauplii were longer (6.07 ± 0.06 mm at day 10) than the frozen treatment (4.40 ± 0.15 mm at day 10). Data on length and survival are detailed in Table 1.

Larval growth and survival at different salinities

At the beginning of the experiment (day 0), no significant differences in length were observed among treatments ($P > 0.05$), with initial sizes ranging from 3.65 ± 0.03 mm to 3.83 ± 0.13 mm. From day 1 to 3, lower survival rates were observed for larvae maintained at a

salinity of 0.6‰, and there were no survivors by day 4. However, no significant difference ($P > 0.05$) was observed throughout the experiment for the control and the salinity levels of 0.2‰ and 0.4‰. Growth was similar among treatments, with final lengths of 6.63 ± 0.57 mm, 6.49 ± 0.62 mm, and 7.01 ± 0.48 mm, respectively. At day 10, the control and 0.2‰ salinity treatment showed no difference in survival rate (%). However, water at 0.4‰ salinity showed significantly lower survival ($24.33 \pm 15.96\%$) compared to the other treatments ($P > 0.01$). Data on length and survival at different salinities are detailed in Table 2.

Larval growth and survival at different densities

At the beginning of the experiment, on days 0, 1, 2, and 4, there was no difference in length among all treatments ($P > 0.05$). However, all other days of the experiment showed that the lowest density (50 larvae L⁻¹) presented the greatest length (7.73 ± 0.08 mm), and the highest density (200 larvae L⁻¹) presented the shortest length (5.86 ± 0.11 mm). No difference was observed for survival rates ($P > 0.05$), and all treatments showed high values. Data on length and survival at different densities are detailed in Table 3.

Table 1. Growth performance (mm) of yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* fed with fresh, frozen, and freeze-dried *Artemia* sp. nauplii for 10 days. At 3 days post-hatching, fish were maintained in 1-L acrylic tanks (100 fish per tank) at 26°C.

Days	Treatments			P - value
	Fresh (mm)	Frozen (mm)	Freeze-dried (mm)	
0	3.63 ± 0.05^a	3.48 ± 0.03^a	3.56 ± 0.02^a	$P > 0.05$
1	3.76 ± 0.01^a	3.59 ± 0.02^b	3.62 ± 0.01^b	$P < 0.01$
2	3.85 ± 0.03^a	3.50 ± 0.02^b	3.61 ± 0.04^b	$P < 0.05$
3	3.97 ± 0.10^a	3.71 ± 0.04^b	3.48 ± 0.06^b	$P < 0.05$
4	4.17 ± 0.08^a	3.87 ± 0.04^b	3.74 ± 0.13^b	$P < 0.05$
5	4.48 ± 0.06^a	3.81 ± 0.19^b	3.63 ± 0.03^b	$P < 0.05$
6	5.08 ± 0.12^a	3.90 ± 0.09^b	0.00 ± 0.00^c	$P < 0.05$
7	5.31 ± 0.03^a	4.20 ± 0.11^b	0.00 ± 0.00^c	$P < 0.01$
8	5.44 ± 0.04^a	4.18 ± 0.13^b	0.00 ± 0.00^c	$P < 0.01$
9	5.85 ± 0.09^a	4.25 ± 0.17^b	0.00 ± 0.00^c	$P < 0.01$
10	6.07 ± 0.06^a	4.40 ± 0.15^b	0.00 ± 0.00^c	$P < 0.01$
Survival Rate (%)	38.33 ± 4.48^a	12.67 ± 5.78^a	0.00 ± 0.00^c	$P < 0.01$

Data are shown as mean $\pm$ standard error, and each data point was generated from triplicate samples from different spawning events. The *p*-values shown in the table refer to the ANOVA analysis. Identical lowercase letters within columns denote non-significant differences as determined by the Tukey multiple range test ($p = 0.05$).

Table 2. Growth performance (mm) of yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* fed with fresh *Artemia* sp. nauplii and kept at three different saline concentrations (0, 0.2, 0.4, and 0.6% NaCl) for 10 days. At 3 days post hatching, fish were maintained in 1-L acrylic tanks (100 fish per tank) at 26°C.

Days	Treatments				P - value
	Control (mm)	0.2% NaCl (mm)	0.4% NaCl (mm)	0.6% NaCl (mm)	
0	3.80 ± 0.08 ^a	3.83 ± 0.13 ^a	3.75 ± 0.18 ^a	3.65 ± 0.03 ^a	$P > 0.05$
1	4.19 ± 0.20 ^a	4.24 ± 0.28 ^a	3.80 ± 0.28 ^a	1.19 ± 0.11 ^b	$P < 0.05$
2	4.50 ± 0.27 ^a	4.53 ± 0.40 ^a	4.05 ± 0.43 ^{ab}	1.26 ± 0.12 ^b	$P < 0.05$
3	4.95 ± 0.40 ^a	5.10 ± 0.27 ^a	4.33 ± 0.51 ^{ab}	1.20 ± 0.12 ^b	$P < 0.05$
4	5.34 ± 0.55 ^a	5.39 ± 0.31 ^a	4.65 ± 0.71 ^a	0.00 ± 0.00 ^c	$P > 0.05$
5	5.71 ± 0.29 ^a	5.54 ± 0.33 ^a	5.05 ± 0.50 ^a	0.00 ± 0.00 ^c	$P > 0.05$
6	5.75 ± 0.37 ^a	5.66 ± 0.52 ^a	5.25 ± 0.43 ^a	0.00 ± 0.00 ^c	$P > 0.05$
7	5.79 ± 0.44 ^a	5.91 ± 0.32 ^a	5.77 ± 0.25 ^a	0.00 ± 0.00 ^c	$P > 0.05$
8	6.03 ± 0.23 ^a	5.88 ± 0.46 ^a	6.15 ± 0.24 ^a	0.00 ± 0.00 ^c	$P > 0.05$
9	6.32 ± 0.64 ^a	6.25 ± 0.59 ^a	6.52 ± 0.31 ^a	0.00 ± 0.00 ^c	$P > 0.05$
10	6.63 ± 0.57 ^a	6.49 ± 0.62 ^a	7.01 ± 0.48 ^a	0.00 ± 0.00 ^c	$P > 0.05$
Survival Rate (%)	70.67 ± 6.94 ^a	70.33 ± 3.18 ^a	24.33 ± 15.96 ^b	0.00 ± 0.00 ^c	$P < 0.01$

Data are shown as mean ± standard error, and each data point was generated from triplicate samples from different spawning events. The *p*-values shown in the table refer to the ANOVA analysis. Identical lowercase letters within columns denote non-significant differences as determined by the Tukey multiple range test ($p = 0.05$).

Table 3. Growth performance (mm) of yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* fed with fresh *Artemia* sp. nauplii and kept at four different densities (50, 100, 150, and 200 L⁻¹ larvae) at 0.2% NaCl for 10 days.

Days	Treatments				P - value
	50 (mm)	100 (mm)	150 (mm)	200 (mm)	
1	3.98 ± 0.53 ^a	3.97 ± 0.56 ^a	3.96 ± 0.48 ^a	3.93 ± 0.88 ^a	$P > 0.05$
2	4.26 ± 0.86 ^a	4.19 ± 0.67 ^a	4.18 ± 0.66 ^a	4.11 ± 0.55 ^a	$P > 0.05$
3	4.68 ± 0.78 ^a	4.50 ± 0.55 ^{ab}	4.47 ± 0.44 ^{ab}	4.36 ± 0.50 ^b	$P < 0.05$
4	5.14 ± 0.28 ^a	4.81 ± 0.16 ^a	4.77 ± 0.16 ^a	4.54 ± 0.11 ^a	$P > 0.05$
5	5.49 ± 0.30 ^a	5.16 ± 0.11 ^a	4.92 ± 0.12 ^a	5.06 ± 0.36 ^a	$P > 0.05$
6	5.95 ± 0.17 ^a	5.58 ± 0.15 ^{ab}	5.19 ± 0.09 ^b	5.03 ± 0.12 ^b	$P < 0.01$
7	6.49 ± 0.04 ^a	5.84 ± 0.04 ^b	5.52 ± 0.07 ^{bc}	5.31 ± 0.12 ^c	$P < 0.01$
8	6.87 ± 0.04 ^a	6.12 ± 0.09 ^b	5.79 ± 0.13 ^{bc}	5.46 ± 0.17 ^{bc}	$P < 0.01$
9	7.35 ± 0.08 ^a	6.45 ± 0.07 ^b	6.04 ± 0.05 ^{bc}	5.78 ± 0.15 ^c	$P < 0.01$
10	7.73 ± 0.07 ^a	6.57 ± 0.08 ^b	6.20 ± 0.03 ^c	5.86 ± 0.11 ^c	$P < 0.01$
Survival Rate (%)	97.33 ± 1.33	98.67 ± 1.33	98.22 ± 0.97	95.67 ± 0.17	$P > 0.05$

Data are shown as mean ± standard error, and each data point was generated from triplicate samples from different spawning events. The *p*-values shown in the table refer to the ANOVA analysis. Identical lowercase letters within columns denote non-significant differences as determined by the Tukey multiple range test ($p = 0.05$).

Discusion

In this study, it was observed that the use of fresh *Artemia* sp. nauplii, low salinity (0.2% NaCl), and stocking densities of 50 and 100 larvae L⁻¹ provided better results in the initial feeding of *Astyanax altiparanae* larvae.

The *A. altiparanae* larvae, unlike those from other fish species (Aguilera *et al.* 2012), can ingest a formulated diet, even resulting in no survival or reduced growth (Bertolini *et al.*, 2018; Piotrowska *et al.* 2021). In this study, similar results were observed for the *A. altiparanae* larva feed, either frozen or freeze-dried *Artemia* sp. nauplii, when compared with the fresh feed treatment. Additionally, live foods provide digestive enzymes (Kolkovski, 2001) that facilitate their absorption, and these are probably reduced in frozen and freeze-dried *Artemia* sp. nauplii.

The larviculture of fish in low-salinity water had several advantages, such as disease prevention and control (e.g., the parasite *Ichthyophthirius multifiliis* and *Trichodina* sp.) (Tavares-Dias 2022), decrease of nitrogen compounds (Colt 2006), and increasing lifetime and availability of *Artemia* sp. nauplii (Jomori *et al.* 2012). In freshwater, the reduced lifetime of *Artemia* sp. nauplii can decrease ingestion, and the larvae may not consider dead nauplii as prey, which can have a rapid impact on water quality (Fernando Beux and Zaniboni-Filho, 2008; Jomori *et al.*, 2012). Thus, dead *Artemia* sp. nauplii must be removed frequently, and low salinity water is an interesting alternative. The use of NaCl in larviculture yields positive results for several species, including *Colossoma macropomum*, *Astronotus ocellatus*, *Brycon amazonicus*, and *Leporinus microcephalus* (Jomori *et al.* 2013).

However, NaCl concentration must be standardized because elevated salinity can lead to larval mortality (Fabregat *et al.* 2017; Tavares-Dias 2022). In the present study, NaCl concentration higher than 0.2‰ negatively affected the analyzed parameters. Consequently, the use of low-salinity water has been suggested to increase the survival rate and promote greater growth (Ferreira *et al.* 2023; Jomori *et al.* 2013).

Stocking density can also affect survival and growth during larviculture. Higher densities may lead to reduced growth and high mortality due to competition for space, food, and accumulation of metabolic waste. On the other hand, very low densities may not be enough to achieve the demand for larvae (Lu *et al.* 2017; Marshall *et al.* 2014). In the present study, stocking densities did not

affect the survival. However, the final growth was reduced when higher densities were used.

Conclusion

In conclusion, the larviculture of yellowtail tetra *A. altiparanae* was optimized using the following conditions: fresh *Artemia* sp. nauplii, water with 0.2% NaCl, and a stocking density of 50 to 100 L⁻¹ larvae. These results are innovative for this species, opening new possibilities for larviculture in both laboratory and aquaculture settings.

Acknowledgments

The authors are grateful to CEPTA/ICMBio for kindly providing the facilities and experimental fish.

Literature cited

- Adamov, N.S. de M., Nascimento, N.F. do, Maciel, E.C.S., Pereira-Santos, M., Senhorini, J.A., Calado, L.L., Evangelista, M.M., Nakaghi, L.S.O., Guerrero, A.H.M., Fujimoto, T., Yasui, G.S., 2017. Triploid induction in the yellowtail tetra, *Astyanax altiparanae*, using temperature shock: tools for conservation and aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society* 48, 741–750. <https://doi.org/10.1111/jwas.12390>
- Aguilera, C., Mendoza, R., Iracheta, I., Marquez, G., 2012. Digestive enzymatic activity on Tropical gar (*Atractosteus tropicus*) larvae fed different diets. *Fish Physiology and Biochemistry* 38, 679–691. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9550-8>
- Andrade, L.S. de, Hayashi, C., Souza, S.R. de, Soares, C.M., 2004. Canibalismo entre larvas de pintado, *Pseudoplatystoma corruscans*, cultivadas sob diferentes densidades de estocagem. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 26, 1543. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v26i3.1543>
- Baldisserotto, B., 2002. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura. UFSM, Santa Maria.
- Bertolini, R.M., Senhorini, J.A., Nascimento, N.F. do, Pereira-Santos, M., Nakaghi, L.S.O., Peres, W.A.M., Silva, R.C. da, Yasui, G.S., 2018. First feeding of diploid and triploid yellowtail tetra *Astyanax altiparanae*: An initial stage for application in laboratory studies. *Aquaculture*

Research 49, 68–74. <https://doi.org/10.1111/are.13433>

Beux, L.F., Zaniboni Filho, E., 2006. Influência da baixa salinidade na sobrevivência de náuplios de *Artemia* sp. Boletim do Instituto de Pesca 32, 73–77.

Bolasina, S., Tagawa, M., Yamashita, Y., Tanaka, M., 2006. Effect of stocking density on growth, digestive enzyme activity and cortisol level in larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 259, 432–443. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.021>

Campagnolo, R., Nuñez, A.P. de O., 2006. Sobrevivência e crescimento de larvas de surubim, *Pseudoplatystoma corruscans* (Pisces, Pimelodidae), em diferentes densidades de estocagem. Acta Scientiarum. Animal Sciences 28. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v28i2.653>

Carvalho, G.B., Coelho, G.C.Z., Alves, A.C., Silva, A.P.D.S., Sérgio Monzani, P., Senhorini, J.A., Castro Vianna, N., Yasui, G.S., 2022. Embryo manipulation in neotropical characiform fish: incubation system, anaesthetic, and PGC transplantation in *Prochilodus lineatus*. Zygote 30, 773–780. <https://doi.org/10.1017/S0967199422000211>

Coelho, G.C.Z., Carvalho, G.B., Monzani, P.S., Lopez, L.S., do Nascimento, N.F., Senhorini, J.A., Yasui, G.S., 2023. Conditions for transplantation of primordial germ cells in the yellowtail tetra, *Astyanax altiparanae*. The International Journal of Developmental Biology 67, 39–48. <https://doi.org/10.1387/ijdb.230009gc>

Colt, J., 2006. Water quality requirements for reuse systems. Aquacultural Engineering 34, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.011>

De O. Garcia, L., Becker, A.G., Copatti, C.E., Baldisserotto, B., Neto, J.R., 2007. Salt in the food and water as a supportive therapy for *Ichthyophthirius multifiliis* infestation on silver catfish, *Rhamdia quelen*, fingerlings. Journal of the World Aquaculture Society 38, 1–11. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00068.x>

Do Nascimento, N.F., Pereira-Santos, M., Levy-Pereira, N., Monzani, P.S., Niedzielski, D., Fujimoto, T., Senhorini, J.A., Nakaghi, L.S.O., Yasui, G.S., 2020. High percentages of larval tetraploids in the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* induced by heat-shock: The first case in Neotropical characins. Aquaculture 520, 734938. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734938>

do Nascimento, N.F., Pereira-Santos, M., Piva, L.H.,

Manzini, B., Fujimoto, T., Senhorini, J.A., Yasui, G.S., Nakaghi, L.S.O., 2017. Growth, fatty acid composition, and reproductive parameters of diploid and triploid yellowtail tetra *Astyanax altiparanae*. Aquaculture 471, 163–171.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.007>

Dos Santos, M.P., Yasui, G.S., Xavier, P.L.P., de Macedo Adamov, N.S., do Nascimento, N.F., Fujimoto, T., Senhorini, J.A., Nakaghi, L.S.O., 2016. Morphology of gametes, post-fertilization events and the effect of temperature on the embryonic development of *Astyanax altiparanae* (Teleostei, Characidae). Zygote 24, 795–807. <https://doi.org/10.1017/S0967199416000101>

Fabregat, T.E.H.P., Wosniak, B., Takata, R., Miranda-Filho, K.C., Fernandes, J.B.K., Portella, M.C., 2017. Larviculture of Siamese fighting fish, *Betta splendens*, in low-salinity water. Boletim do Instituto de Pesca 43, 164–171. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n2p164>

Fernando Beux, L., Zaniboni-Filho, E., 2008. *Artemia* sp. Proportions and Effects on Survival and Growth of Pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* Larvae. Journal of Applied Aquaculture 20, 184–199. <https://doi.org/10.1080/10454430802329705>

Ferreira, A.L., dos Santos, F.A.C., Bonifácio, C.T., Luz, R.K., 2023. Effects of live prey concentration, salinity, and weaning age on larviculture of *Piaractus brachipomus* reared in a recirculating aquaculture system. Tropical Animal Health and Production 55, 99. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03514-6>

Ferreira Do Nascimento, N., De Siqueira-Silva, D.H., Pereira-Santos, M., Fujimoto, T., Senhorini, J.A., Nakaghi, L.S.O., Yasui, G.S., 2017. Stereological analysis of gonads from diploid and triploid fish yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* (Garutti & Britski) in laboratory conditions. Zygote 25, 537–544. <https://doi.org/10.1017/S0967199417000399>

Garutti, V., Britski, H.A., 2000. Descrição de uma espécie nova de *Astyanax* (Teleostei: Characidae) da bacia do Alto rio Paraná e considerações sobre as demais espécies do gênero na bacia. Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS, Série Zoologia 65–88.

Gil Barcellos, L.J., Sousa, S.M.G. de, Woehl, V.M., 2000. Estresse em peixes: fisiologia da resposta ao estresse, causas e consequências. Boletim do Instituto de Pesca 26, 99–111.

Iguchi, K., Ogawa, K., Nagae, M., Ito, F., 2003. The influence of rearing density on stress response and disease susceptibility of ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Aquaculture* 220, 515–523. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00626-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00626-9)

Jobling, M., 1994. Respiration and metabolism, in: *Fish Bioenergetics*. pp. 121–146.

Jomori, R.K., Carneiro, D.J., Malheiros, E.B., Portella, M.C., 2003. Growth and survival of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) juveniles reared in ponds or at different initial larviculture periods indoors. *Aquaculture* 221, 277–287. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00069-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00069-3)

Jomori, R.K., Luz, R.K., Céla Portella, M., 2012. Effect of Salinity on Larval Rearing of Pacu, *Piaractus mesopotamicus*, a Freshwater Species. *Journal of the World Aquaculture Society* 43, 423–432. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00570.x>

Jomori, R.K., Luz, R.K., Takata, R., Perez Fabregat, T.E.H., Portella, M.C., 2013. Água Levemente Salinizada Aumenta a Eficiência Da Larvicultura De Peixes Neotropicals. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48, 809–815. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800001>

King, N.J., Howell, W.H., Huber, M., Bengtson, D.A., 2007. Effects of Larval Stocking Density on Laboratory-Scale and Commercial-Scale Production of Summer Flounder *Paralichthys dentatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 31, 436–445. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00893.x>

Kolkovski, S., 2001. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles—implications and applications to formulated diets. *Aquaculture* 200, 181–201. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00700-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00700-1)

Lu, X., Xiang, Y., Yang, G., Zhang, L., Wang, H., Zhong, S., 2017. Transcriptomic characterization of zebrafish larvae in response to mercury exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology* 192, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2016.12.006>

Luz, R.K., Martínez-Álvarez, R.M., De Pedro, N., Delgado, M.J., 2008. Growth, food intake regulation and metabolic adaptations in goldfish (*Carassius auratus*) exposed to different salinities. *Aquaculture* 276, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.042>

Luz, R.K., Portella, M.C., 2005. Frequência alimentar na

larvicultura do trairão (*Hoplias lacerdae*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 34, 1442–1448. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982005000500003>

Madkour, K., Dawood, M.A.O., Sewilam, H., 2023. The Use of Artemia for Aquaculture Industry: An Updated Overview. *Annals of Animal Science* 23, 3–10. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0041>

Marshall, R., Pearce, C.M., McKinley, R.S., 2014. Interactive Effects of Stocking Density and Algal Feed Ration on Growth, Survival, and Ingestion Rate of Larval Geoduck Clams. *North American Journal of Aquaculture* 76, 265–274. <https://doi.org/10.1080/15222055.2014.886645>

Naas, C., Muhammad, H., Kloas, W., Müller-Belecke, A., 2024. Sodium chloride (NaCl) as a treatment against trichodiniasis for pike perch (*Sander lucioperca*) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture International*. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01383-2>

Orsi, M.L., Carvalho, E.D., Foresti, F., 2004. Biologia populacional de *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski (Teleostei, Characidae) do médio Rio Paranapanema, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 21, 207–218. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752004000200008>

Piotrowska, I., Szczepkowska, B., Kozłowski, M., 2021. Influence of the size and form of Artemia sp. nauplii on the growth and survival of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchill) larvae. *Fisheries & Aquatic Life* 29, 69–79. <https://doi.org/10.2478/aopf-2021-0009>

Porto-Foresti, F., Castilho-Almeida, R.Yasui, Senhorini, J.A., Foresti, F., 2010. Biologia e criação do lambari do rabo amarelo (*Astyanax altiparanae*), in: Baldissertotto, B., de Carvalho Gomes, L. (Eds.), *Espécies Nativas Para Piscicultura No Brasil*. UFSM, pp. 101–115.

Reis, R.G.A., Alves, P.C.J., Abe, H.A., Costa Sousa, N., Paixão, P.E.G., Palheta, G.D.A., Melo, N.F.A.C., Fujimoto, R.Y., Luz, R.K., Takata, R., 2021. Feed management and stocking density for larviculture of the Amazon ornamental fish L333 king tiger pleco *Hypancistrus* sp. (Siluriformes: Loricariidae). *Aquaculture Research* 52, 1995–2003. <https://doi.org/10.1111/are.15047>

Rodrigues, R.A., Sanchez, M.S. dos S., Fantini, L.E., Nunes, A.L., Kasai, R.Y.D., Campos, C.M. de, 2019. Use of common salt (NaCl) in the control of *Epistylis* sp. in hybrid sorubim. *Agrarian* 12, 495–502.

<https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i46.7155>

Rosero, J., Monzani, P.S., Pessoa, G.P., Coelho, G.C.Z., Carvalho, G.B., López, L.S., Senhorini, J.A., dos Santos, S.C.A., Yasui, G.S., 2023. Traceability of primordial germ cells in three neotropical fish species aiming genetic conservation actions. *Fish Physiology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10695-023-01279-1>

Santana, T.M., Elias, A.H., da Fonseca, F.A.L., Freitas, O.R., Kojima, J.T., Gonçalves, L.U., 2020. Stocking density for arapaima larviculture. *Aquaculture* 528, 735565.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735565>

Santos, F.A.C., da Costa Julio, G.S., Luz, R.K., 2021. Stocking density in *Colossoma macropomum* larviculture, a freshwater fish, in recirculating aquaculture system. *Aquaculture Research* 52, 1185–1191. <https://doi.org/10.1111/are.14976>

Tavares-Dias, M., 2022. Toxicity, physiological, histopathological, handling, growth, and antiparasitic effects of the sodium chloride (salt) in the freshwater fish aquaculture. *Aquaculture Research* 53, 715–734. <https://doi.org/10.1111/are.15616>

Wendelaar Bonga, S.E., 1997. The stress response in fish. *Physiological reviews* 77, 591–625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>

Yasui, G.S., Ferreira do Nascimento, N., Pereira-Santos, M., Santos Silva, A.P. dos, Coelho, G.C.Z., Visintin, J.A., Porto-Foresti, F., Okada Nakaghi, L.S., Vianna, N.C., Carvalho, G.B., Monzani, P.S., López, L.S., Senhorini, J.A., 2022. Establishing a model fish for the Neotropical region: The case of the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* in advanced biotechnology. *Frontiers in Genetics* 13, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.903990>

Yasui, G.S., Senhorini, J.A., Shimoda, E., Pereira-Santos, M., Nakaghi, L.S.O., Fujimoto, T., Arias-Rodriguez, L., Silva, L.A., 2015. Improvement of gamete quality and its

short-term storage: An approach for biotechnology in laboratory fish. *Animal* 39, 464–470. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002511>

Evaluación de harina de yuca como sustituto del trigo en la alimentación de *Clarias gariepinus*

Evaluation of cassava meal as substitute for wheat in the feeding *Clarias gariepinus*

José Llanes – Iglesias¹ 

¹Empresa Desarrollo Tecnologías Acuícola. Carretera Central km 20 ½,
Loma de Tierra, Cotorro, La Habana. Cuba.

Autor de correspondencia:

José Llanes-Iglesias. Empresa
Desarrollo Tecnologías
Acuícolas (EDTA)-Cuba.
Email:
josellanes9811@gmail.com

Como citar:

Llanes-Iglesias J (2025)
Evaluación de harina de yuca
como sustituto del trigo en la
alimentación de *Clarias
gariepinus*. Tropical Aquaculture
3 (1): e5746. DOI
10.19136/ta.a3n1.5746

Fecha de recepción: 19 de
mayo de 2025

Fecha de aceptación: 13 de
junio de 2025

Licencia creative commons:

This work is licensed under a
Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International



Resumen

Se evaluó la harina de yuca integral (HYI), como sustituto parcial de la harina de trigo (HT), en el pienso comercial de *Clarias gariepinus* durante la preceba. Se utilizaron 180 animales de $10,6 \pm 0,05$ g de peso medio inicial, ubicados según diseño completamente aleatorizado en cuatro tratamientos con tres repeticiones y se analizaron con un ANOVA de un factor, seguido de la prueba estadística de Duncan con 5% de probabilidad. Los tratamientos fueron: control con formulación del pienso comercial de bagres y tres alimentos experimentales con HYI con un 25, 50 y 75 % de sustitución del trigo del control. Los pellets con HYI tuvieron buena integración física y aceptación por los animales. No se encontraron diferencias en las cantidades de alimento (87.13, 85.80, 87.56 y 85.33 g) y proteína suministrados por animal (26.80, 24.82, 26.02 y 24.89 g). Tampoco hubo diferencias en los pesos finales (62.58, 60.28, 64.85, 60.25 g) y conversión alimentaria (1.65, 1.64, 1.59 y 1.68). Sin embargo, la mejor eficiencia proteica se obtuvo al sustituir el 50 % de trigo (1.96, 2.02, 2.10 y 2.00). La supervivencia fue 100 % en todos los tratamientos. Los costos de alimentación y beneficios económicos favorecieron todos los tratamientos con HYI. El mayor ahorro se alcanzó al remplazar 50 % de la HT (US \$115.22/t de pescado). Se concluye que la harina de yuca integral puede sustituir hasta el 75% de la harina de trigo en el pienso de alevines de *C. gariepinus*, sin comprometer el comportamiento productivo de los animales y con un efecto económico positivo.

Palabras claves: almidón, bagres, cereales, dieta, nutrición.

Abstract

The present study evaluated the use of whole cassava meal (HYI) as a partial substitute for wheat meal (HT) in the commercial feed of *Clarias gariepinus* during the pre-fattening stage. A total of 180 animals, with an average initial weight of 10.6 ± 0.05 g, were utilized in the study. These animals were randomly allocated to one of four treatments, with each treatment having three replicates. A one factor ANOVA followed by a Duncan significance test at the 5% probability level were employed to analyze the results. The treatments were: a control group using a formulation of the commercial catfish feed and three experimental diets with HYI that represented the replacement of 25, 50, and 75% of the wheat meal from the control diet, respectively. The pellets containing HYI demonstrated optimal physical integration and acceptance by the animals. No differences were detected in the amounts of food (87.13, 85.80, 87.56, and 85.33 g) or protein supplied per animal (26.80, 24.82, 26.02, and 24.89 g). The final weights and feed conversion rates were comparable across the groups, with no significant differences observed ($p > 0.05$). However, the protein efficiency (1.96, 2.02, 2.10, and 2.00) was enhanced when 50% of the wheat was substituted. The survival rates were found to be 100% across all treatment groups. The economic analysis revealed that all treatment options with HYI exhibited both reduced feed costs and tangible economic benefits. The most significant cost reductions were realized through the substitution of 50% of the wheat meal (US \$115.22/t of fish). The findings of this study demonstrate that the incorporation of whole cassava meal into the commercial feed of *C. gariepinus* fingerlings can substitute for up to 75% of wheat meal, without adversely affecting the animals' productivity or exerting a favorable economic influence.

Keywords: starch, catfish, cereals, diet, nutrition.

Introducción

El sector piscícola en Cuba presenta entre sus mayores limitantes la baja disponibilidad de materias primas de alta calidad para la producción de piensos. El trigo es la fuente energética que mayoritariamente se utiliza en los piensos del cultivo intensivo del bagre africano *Clarias gariepinus*. Este cereal se importa con precio elevado, debido a que el país no produce las cantidades suficientes de maíz para cubrir la demanda del consumo animal. Se estima que la alimentación piscícola representa entre 67 y 70 % del costo operacional (Corrêa *et al.*, 2020 y Perea *et al.*, 2022).

La yuca (*Manihot esculenta*), es una importante fuente de carbohidratos considerada como el cuarto producto básico más importante después del arroz, el trigo y el maíz (Torres y Hurtado 2022). La harina elaborada con los tubérculos es una fuente de energía rica en almidón y la posible sustitución total o parcial de otras harinas (básicamente el trigo), podría suplir importaciones, con el consiguiente beneficio económico. Referente a esto, Vázquez *et al.* (2013) reportaron digestibilidades aparentes de 74.8 % de materia seca, 83.7 % de proteína y 79.9 % de energía de la harina de yuca en la cachama (*Piaractus brachypomus*) y Torres y Hurtado (2022) informaron 77.5 % de materia seca, 87.51 % de proteína y 83.14 % de energía en dietas elaboradas para tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

La yuca se produce favorablemente en condiciones que pueden resultar muy difíciles para otras plantas del trópico (caña de azúcar, maíz y arroz), debido a su elevada tolerancia a la sequía y su capacidad para cultivarse en suelos ácidos y de baja fertilidad (Celis *et al.*, 2019); ventajas que justifican su alta disponibilidad en el país. De ahí, el objetivo de este trabajo fue evaluar la harina de yuca integral (HYI), de producción nacional, como sustituto parcial del trigo de importación en el pienso balanceado de alevines de *C. gariepinus*.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Nutrición de peces de la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA) en La Habana, Cuba. La instalación cuenta con tanques circulares de cemento de 68 L de capacidad con flujo de agua regulado para un 100 % de recambio en 24 h.

Preparación de la harina de yuca integral

Se realizó según la metodología descrita por Valdivié (2022). Las raíces de yuca se limpiaron con agua a presión para quitar toda la tierra impregnada. Se trocearon en una picadora criolla, se colocaron en bandejas metálicas y se orearon 24 h al aire libre. Posteriormente, se culminaron de secar en un horno artesanal durante 24 h a 60°C. El producto resultante se molió en un molino de martillos, primero a un tamaño de 5 mm y después aproximadamente a 250 μ m. La composición química de la HYI se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la harina de yuca integral experimental

Indicadores	%
Materia seca	87.82
Proteína bruta	2.57
Extracto etéreo	0.56
Fibra bruta	5.22
Cenizas	3.61
Calcio	0.31
Fosforo	0.23

Bioensayo

Se utilizaron alevines de *C. gariepinus*, que se mantuvieron una semana de adaptación en una piscina de cemento de 4.5 m², donde recibieron el pienso comercial de preceba de bagres (30.84% de proteína bruta y 2,707.58 Kcal de energía digestible). Al cabo de este tiempo se seleccionaron

180 animales de 10.6 ± 0.05 g de peso medio inicial, los cuales se ubicaron al azar en doce tanques (15 peces por tanque). Se empleó un diseño completamente aleatorizado de un factor (dietas) con cuatro tratamientos: Un control a base de pienso de preceba de bagres y tres dietas

experimentales con diferentes niveles de HYI que representaron el 25, 50 y 75 % de sustitución de la harina de trigo en la formulación de la dieta control (tabla 2). Cada dieta tuvo tres repeticiones, donde el tanque fue la unidad experimental.

Tabla 2. Composición porcentual y química de las dietas experimentales para la alimentación de alevines de *Clarias gariepinus* (%)

Ingredientes	CONTROL	D-25 %	D-50 %	D-75 %
Harina de pescado	10.00	10.00	10.00	10.00
Harina de soya	45.00	45.50	47.00	48.00
Trigo blando molido	40.00	29.50	18.00	6.80
Harina de yuca integral	0.00	10.00	20.00	30.00
Aceite vegetal	3.00	3.00	3.00	3.00
Fosfato di cálcico	1.00	1.00	1.00	1.20
*Mezcla Vit-mineral	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado				
Materia seca	89.90	88.73	89.29	88.92
Proteína bruta	3.84	30.11	29.72	29.14
Extracto etéreo	4.93	4.82	4.70	4.58
Fibra bruta	4.36	4.69	4.96	5.29
Cenizas	6.72	6.91	7.12	7.49
Fósforo disponible	0.62	0.61	0.66	0.63
Energía digestible (Kcal/kg)	11.34	11.14	10.95	10.76

*Mezcla vitamínica-mineral (Composición por kg de dieta): Vitamina A 5500IU; Vitamina D3 1000 IU; Vitamina E 50 mg; Vitamina K3 10 mg; Vitamina B1 20 mg; Vitamina B2 20 mg; Vitamina B3 (ácido pantoténico) 25 mg; Vitamina B6 10 mg; Vitamina B12 0.05mg; Vitamina C 150 mg; Niacina 120 mg; Ácido fólico 5 mg; Biotina 0.3 mg; Colina 600 mg; Inositol 100 mg; Pantotenato de calcio 50 mg; Selenio 0.1mg; Sulfato ferroso 50 mg; Sulfato de manganeso 15 mg; Magnesio 6.75 mg; Sulfato de zinc 30 mg; Sulfato de cobre 5 mg; Cloruro de Sodio 0.2 mg; Yodo 0.5 mg; Sulfato de cobalto 0.1 mg; Hidroxitolueno butilado (BHT) 1 mg.

Preparación de las dietas

Las harinas se molieron en el molino de martillos aproximadamente a 250 μ m y las mezclas se realizaron en una mezcladora (HOBART MC-600®, Canadá), donde gradualmente se adicionaron el aceite vegetal, el fosfato dicálcico y la premezcla de vitaminas y minerales y por último el agua. La peletización se realizó en un molino de carne (JAVAR 32, Colombia), y el secado en una estufa

(Selecta, España) a 60°C por 24 h. Los análisis bromatológicos se realizaron por triplicado a los ingredientes según los métodos descritos por Latimer (2016) y la energía digestible (ED) se calculó con los coeficientes calóricos referidos por Toledo *et al.* (2015).

Desarrollo del Bioensayo

Las dietas se ofrecieron en dos raciones al 6 % de la biomasa durante 60 días. Los horarios de

alimentación fueron 09:00 am y 04:00 pm. Todos los días se registraron los valores de temperatura y oxígeno disuelto con un Oxímetro digital (HANNA, Rumania) y pH con un potenciómetro digital (HANNA, Rumania). Cada 15 días se ajustaron las raciones y al final del bioensayo se realizó un pesaje individual a todos los animales con una balanza digital (DIGI modelo DB, Japón) para el cálculo de los siguientes indicadores productivos:

Cantidad de alimento suministrado/pez (g) = Cantidad total de alimento/número final de peces.

Cantidad de proteína suministrada/pez (g) = Cantidad total de proteína/número final de peces

Peso medio final (g)

Ganancia peso diaria (g /día) = Peso final – Peso inicial/Días de cultivo

Conversión alimentaria = Alimento añadido/Ganancia peso

Eficiencia proteica = Ganancia en peso/Proteína suministrada

Sobrevivencia (%) = No. Animales finales/No. Animales iniciales x 100.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza según diseño completamente aleatorizado. Se verificaron los supuestos teóricos del ANOVA a las variables a partir de las dójimas de Shapiro & Wilk (1965) para la normalidad de los errores y la dójima de Levene (1960) para la homogeneidad de varianza. Las variables cumplieron con los supuestos teóricos del ANOVA y los valores medios se compararon mediante la dójima de Duncan (1955) en los casos donde el ANOVA indicó significancia estadística. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Análisis económico

Se realizó un análisis económico según el procedimiento de Toledo *et al.*, (2015). Se calcularon los costos de las raciones a partir de los precios internacionales de las materias primas (tabla 3) para diciembre de 2024 por Indexmundi (2025). A los resultados se le sumó el 45 % del total de costos de materias primas, por conceptos de gastos adicionales (transportación, maquila y costos administrativos) para Cuba. Estos valores se multiplicaron por los FCA que se obtuvieron en este estudio para estimar los costos de alimentación.

Tabla 3. Precios de las materias primas que se utilizaron para el análisis económico (\$ US /t)

Materias primas	Valor USD
Harina de pescado	1,600.60
Harina de soya	358.75
Trigo	253.75
Harina de yuca integral	92.00
Aceite vegetal	1,099.89
Fosfato di cálcico	491.00
Mezcla Vit-mineral	1,200.00

Resultados

Durante el periodo experimental se mantuvo la recirculación de agua durante las 24 h. La temperatura del agua de los tanques osciló entre 26.1 y 27.6°C, el oxígeno disuelto entre 4.8 y 6.2 mg/l y el pH entre 7.1 y 7.5.

Se observó que las dietas experimentales tuvieron buena integración física cuando se sumergieron en el agua y los peces la consumieron rápidamente. En cuanto los indicadores productivos, no se encontraron diferencias en los valores de cantidad de alimento y proteína suministrados por animal entre el control y las dietas con diferentes niveles de HYI (tabla 4). Por su parte, los pesos finales y las

ganancias de pesos diarios no difirieron entre los tratamientos experimentales.

En cuanto a los indicadores de eficiencia alimentaria, la conversión del alimento no se desfavoreció al sustituir hasta 75 % de la harina de trigo (HT), pero la eficiencia proteica fue mejor cuando se remplazó el 50 % de la HT. No hubo registro de mortalidades en ninguno de los tratamientos, por tanto, las supervivencias fueron del 100 % (tabla 4).

Los resultados del análisis económico (tabla 5) mostraron que la incorporación de HYI redujo los costos de las dietas experimentales en relación al alimento comercial (control). De igual forma, los costos de alimentación disminuyeron en todos tratamientos experimentales, aunque el mayor beneficio monetario se alcanzó al sustituir el 50 % de HT.

Tabla 4. Comportamiento productivo en la preceba de *Clarias gariepinus* con las dietas experimentales

Indicadores	CONTROL	D-25 %	D-50 %	D-75 %	± EE	P
Alimento /pez (g)	87.13	85.8	87.56	85.33	0.92	0.210
Proteína / pez (g)	26.8	24.82	26.02	24.89	0.33	0.065
Pesos finales (g)	62.58	60.28	64.85	60.25	1.39	0.576
Ganancia peso (g/día)	0.88	0.84	0.92	0.84	0.02	0.581
Conversión alimentaria	1.65	1.64	1.59	1.68	0.01	0.075
Eficiencia proteica	1.96 ^a	2.02 ^{ab}	2.10 ^{bc}	2.00 ^{ab}	0.02	0.036
Supervivencia (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	-	-

Letras diferentes en la misma fila difieren para $p < 0,05$ según Duncan (1955)

Tabla 5. Costo de la alimentación en la preceba de *Clarias gariepinus* con las dietas experimentales (\$ USD/t de pescado)

Indicadores	CONTROL	D-25%	D-50%	D-75%
Costo de la dieta	718.04	694.56	672.67	650.69
Costo de la alimentación	1,184.76	1,139.08	1,067.54	1,093.16
Ahorro	-	45.68	115.22	91.60

Discusión

La calidad del agua durante la etapa de experimentación fue óptima para todos los tratamientos. Los valores registrados están acordes a los rangos de tolerancia para un buen comportamiento productivo de la especie (Toledo *et al.* 2015). La composición química de la HYI fue similar a los tenores reportados por Rodríguez *et al.* (2024) y presenta menor contenido proteico que el trigo (11,4 %). Según Valdivié (2022), en la HYI

alrededor del 50 % es proteína verdadera, aminoácidos libres y compuestos no proteicos como nitritos, nitratos y glucósidos cianogénicos entre otros. También, el autor informó que posee un reducido contenido de aminoácidos, particularmente azufrados.

El nivel de lípidos de la HYI es bajo y aporta alrededor de 0.4 % de ácido linoleico (Valdivié 2022), por lo tanto, cuando se utilizan altas concentraciones de esta harina, se debe adicionar

aceite vegetal para aportar este ácido graso esencial, así como para contribuir a la reducción de la consistencia pulverulenta de la dieta. Celis *et al.*, (2019) informaron que, dependiendo del tamaño de la raíz, la cáscara constituye entre 15 y 20 % del peso del tubérculo y en ella se concentra la mayor proporción de nutrientes, mientras que en la pulpa la mayor cantidad de carbohidratos digestibles y asimilables por los animales (almidón), de ahí que puedan aprovecharse por completo los tubérculos para la elaboración de piensos.

La buena integración física de los pellets se puede relacionar con los altos contenidos de almidón de la HYI que tiene un efecto aglutinante; característica favorable para las raciones acuícolas que evita su disolución en el agua y pérdidas de nutrientes por lixiviación. Por otra parte, las raciones tuvieron buena aceptación por los animales cuando la HYI se ofrece en forma de harina. Estos resultados coinciden con los reportes en gamitas (*Colossoma macropomum*) al sustituir el maíz por harina de yuca integral (Pereira *et al.* 2013) y en tilapias rojas (*Oreochromis mossambicus* $\times$ *O. niloticus*) al remplazar hasta un 15 % del pienso comercial por igual fuente energética (Rodríguez *et al.* 2024).

La buena aceptación de las raciones con un balance adecuado del nivel de proteína bruta y energía digestible permitió no afectar el consumo de alimento y por tanto de proteína entre los tratamientos. Esto favoreció que los pesos promedio de los peces no se afectaran en los tres muestreos realizados a los 15, 30 y 45 días y en consecuencia las cantidades de alimento y proteína a suministrar fueron similares para todos los tratamientos. Además, no hubo mortalidades, aspecto que puede incrementar la disponibilidad de alimentos en determinada etapa del bioensayo e influir en los indicadores productivos y no responder a la evaluación verdadera del ingrediente experimental.

Los pesos finales y las tasas de crecimiento diario presentaron valores acordes al nivel de proteína de las raciones (30 %), la tasa de alimentación y la densidad de siembra (Toledo *et al.* 2015). De igual forma, los indicadores de eficiencia alimentaria (FCA y eficiencia proteica) fueron óptimos, lo que indica que esta especie tiene capacidad para aprovechar eficientemente el almidón de la HYI. Estos resultados productivos pueden tener relación con los buenos valores de digestibilidad aparente de la harina de yuca reportados en cachama (Vásquez *et al.*, 2013) y tilapias rojas (Torres y Hurtado 2022); especies tropicales de hábitos omnívoros.

El trigo se considera una fuente energética clave en los alimentos comerciales para peces en muchos países por su alto contenido de carbohidratos digeribles y almidón que lo hacen superior al maíz (Toledo *et al.*, 2015). Es importante resaltar que en este estudio se utilizó el trigo blando molido, por tanto, la harina contiene el tegumento externo que le proporciona determinado nivel de fibra y, además, se incluyó directo en la ración sin tratamiento térmico previo. Por su parte, la HYI se secó al calor; proceso que puede favorecer la digestión del ingrediente al degradar y solubilizar los gránulos del almidón (gelatinización) y justifica los buenos resultados de este trabajo.

Un trabajo de Pereira *et al.* (2013) reveló que el remplazo de maíz por harina de yuca en gamitas fue viable debido que no comprometió los indicadores productivos, solo la sustitución total proporcionó una deposición de grasa en la canal, que atribuyeron a una mayor inclusión de aceite de soya y harina de carne en esa ración. Por su parte, Rodríguez *et al.* (2024) incorporaron 5, 10 y 15 % de harina de yuca en un pienso comercial con 32 % de proteína bruta para alimentar alevines de tilapia roja, y no encontraron diferencias en los crecimientos, pero la conversión alimentaria se desfavoreció con 10 y 15 % de harina de yuca y que, aunque los autores no

explicaron la causa, esto pudiera relacionarse con las menores cantidades de proteína bruta que recibieron los animales, al diluir las concentraciones de proteína por la harina de yuca.

Omoike *et al.* (2019) evaluaron la sustitución de maíz por granos secos de cervecera (19.6 % de proteína y 37.89 % de CHO) en la alimentación de *C. gariepinus* y concluyeron que los subproductos de cervecera pueden remplazar razonablemente el 40 % del maíz sin variación significativa en el rendimiento productivo. Los valores más favorables se alcanzaron con el control, lo que atribuyeron a la palatabilidad del maíz, que mejora el consumo de alimento, no así los subproductos de cervecera que durante la elaboración y destilación de cerveza se elimina solo el almidón y el azúcar del grano y quedan porciones que no se fermentan como proteínas, grasas, carbohidratos insolubles, vitaminas y minerales. Además, también contiene apreciables cantidades de levaduras formada durante la fermentación.

Los valores de supervivencias indican que la HYI no fue promotora de mortalidades y no compromete la salud de los alevines de *C. gariepinus*. La yuca acumula dos glucósidos cianogénicos en las raíces y hojas: linamarina y lotaustralina en proporción de 93:7. Estos dos glucósidos son capaces de generar ácido cianhídrico (HCN), de forma que la concentración de cianuro y el uso de yuca como alimento animal están condicionados a una hidrólisis enzimática de esos dos glucósidos cianogénicos que requieren ser disminuidos o eliminados para no provocar mortalidades en los animales. Las variedades de yuca son normalmente clasificadas por el contenido de cianuro (CN) en la pulpa de la raíz, en dulces (< 100 mg HCN/Kg) y amargas (> 100 mg HCN/Kg) (Torres y Hurtado, 2022). La mayor parte de la harina para el consumo animal se hace con yuca dulce después del uso de técnicas de preparado más simples como troceado,

oreo y secado (Valdivié 2022), lo que se pudo corroborar con los buenos resultados de este trabajo donde se utilizó yuca dulce y la preparación de la harina se realizó según la metodología descrita por Valdivié (2022).

Los resultados encontrados en este trabajo evidencian que los alevines de bagres africanos también tienen buena habilidad para digerir los almidones presentes en la HYI. El efecto de incluir hasta 30 % de HYI en la dieta de alevines de *Clarias* es novedoso, ya que no se encontraron reportes sobre investigaciones con esta materia energética en alimentos comerciales, que, aunque es una especie omnívora tiene tendencia carnívora y depredadora.

Hermida (2015), evaluó la estabilidad sanitaria de piensos elaborados con 20 y 40 % de harina de yuca durante 42 días y obtuvo un aumento del conteo de moho, pero sin sobrepasar la cifra de 10^4 (valor máximo aceptable para los piensos – NC / ISO, 2007) y no se evidenció presencia de *Salmonella*. Este resultado es importante en las condiciones actuales de producción en Cuba; los piensos y materias primas se almacenan a temperatura ambiente; que unido a la alta humedad relativa favorece el desarrollo de hongos y el crecimiento bacteriano, por lo cual se requieren condiciones de almacenamiento adecuadas en lugares frescos y secos. Así, el autor demostró que la inclusión hasta 40 % de harina de yuca en los piensos no afecta su calidad microbiológica. Los costos de alimentación y los beneficios alcanzados con todos los tratamientos que incluyeron HYI están asociados a las diferencias de precios entre el trigo y la HYI (tabla 3) y no afectarse los indicadores productivos. Resultados que coinciden con los obtenidos por Pereira *et al* (2013), Torres y Hurtado (2022) y Rodríguez *et al* (2024).

Es importante señalar que la HYI tiene menor nivel de proteínas (2.57 %) que el trigo (11.6 %), por lo cual, cuando se sustituye el 75 % del trigo se hace

necesario incrementar 30 kg de harina de soya por cada tonelada de alimento o se necesita utilizar otra fuente proteica más económica que la soya para no afectar el requerimiento absoluto de proteína (g proteína/kg peso vivo), ni el comportamiento productivo de los animales; cuestión que en este trabajo se realizó con la soya y no influyó de forma negativa en los resultados económicos. Se evidencia también, que es más factible pagar la tonelada de HYI a \$92.00 USD a los productores cubanos, en lugar de comprarla a agricultores, transportistas y vendedores de otros países. Es probable, incluso, pagar a productores cubanos la tonelada de HYI a precios superiores y aun así obtener ventajas económicas.

Los resultados de este trabajo indican que es importante desarrollar proyectos agrarios que incentiven la producción eficiente y competitiva de yuca que junto a los subproductos de cereales (salvado o afrecho), estabilizarían las fuentes energéticas para la producción de piensos nacionales, al menos para peces de agua dulce. De esta forma, se disminuye la competencia con el hombre en el consumo de trigo y se enfrenta la crisis ante el elevado precio de los cereales, generada por la crisis económica mundial.

Conclusiones

La harina de yuca integral puede sustituir hasta el 75 % de la harina de trigo en el pienso balanceado de alevines de *C. gariepinus*, sin comprometer el comportamiento productivo de los animales y con efecto económico positivo.

Literatura citada

Celis W, Mathius M, Cáceres J, Aguilar J (2019). Rendimiento productivo de pollos parrilleros

alimentados con harina de yuca (*Manihotesculenta*) como reemplazo del maíz. Rev Inv Vet Perú, 30(2), 676-681.

<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16053>

Corrêa C, Da Silva T, Leonardo A, Reis-Neto R, Enke-Shoffen D (2020). Acid fish silage in the diet of pacu and tambacu reared at cold suboptimal temperature. Pesquisa Agropecuária Brasileira 55 (n. e 01653): 1-8. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01653>

Di Rienzo J A, Casanoves F, Balzarini M G, González L, Tablada M & Robledo C W (2012). Infostat versión 2012. Grupo Infostat. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available: <http://www.infostat.com.ar>. [Consulted: October 9, 2019]

Duncan D B (1955). "Multiple Range and Multiple F Tests". *Biometrics*, 11(1): 1. ISSN: 0006-341X, DOI: 10.2307/3001478

Hermida H (2015). Inclusión de harina de raíz de yuca en la dieta de pollos camperos K-53. Pastos y Forrajes, 38 (2): 207-212. ISSN 2078-8452.

Indexamundi (2023). Precios de mercado de materias primas y fertilizantes. Disponible en: www.indexmundi.com/preciosdemercados. [Consultado: 14 de julio de 2023].

Latimer GW (2016). *Official methods of analysis of AOAC International*. 20th ed., Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5, Available: <<http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: September 22, 2016].

Levene H (1960). Robust tests for the equality of variance In: Olkin, I., Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling, Stanford University Press, pp. 278–292, ISBN: 978-0-8047-0596-7.

Martínez C, Brito I (2019). Caracterización de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Rev Cie Téc Agr, 28(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207100542019000200006&lng=es&tln_g=es

Omoike A, Falaye A, Ogunyemi A (2019). Use of Agro-Industrial Waste (Brewer's Dried Grain) to Substitute Maize in the Diet of African Catfish *Clarias gariepinus*. African Journal of Resources Management Fisheries and Aquatic 4: 91-98. ISSN: 2672-4197 (Prints). www.theajfarm.com

Perea C, Garces Y, Morales Y, Jiménez M, Hoyos JL, Vivas NJ (2022). Digestibilidad de hidrolizados enzimáticos de vísceras de origen animal en *Piaractus brachyomus*, Cuvier 1818. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 20 (1): 54-67. DOI: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1606>

Pereira G, Pereira EM, Filho M, Barbosa P, Shimodas E, Brandao LV (2013). Desempenho produtivo de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818) alimentados com rações contendo farinha de cruera de mandioca (*Manihot esculenta*, CRANTZ) em substituição ao milho (*Zea mays*). ACTA AMAZONICA 43 (2): 217-226. ISSN 0044-5967.

Rodríguez JM, Burgos BA, González WR, Acosta, J (2024). Harina de yuca en la alimentación de tilapias rojas (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*). Código Científico Revista De Investigación, 5(E4): 36–52.

DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE4/460>

Shapiro SS, Wilk MB (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika, 52(3/4): 591–611, ISSN: 0006-3444, DOI: 10.2307/2333709.

Toledo J, Llanes J, Romero C (2015). Nutrición y alimentación de peces de aguas cálidas. *AcuaCUBA*, 17(1): 5-22. ISSN: 1608-0467.

Torres D, Hurtado V (2022). Digestibilidad aparente de la energía bruta y proteína de alimentos para tilapia roja (*Oreochromis sp.*). IV Congreso Internacional de Ciencias Agrarias y Ambientales. Seguridad Alimentaria (CICAA 2022), 305-309, Virtual 9, 10 y 11 de noviembre. ISSN 2745-1801.

Valdivié M (2022). Alternativas de alimentación para la producción de aves, cerdos y conejos en Cuba. Taller Producción de monogástricos. Memorias Convención Producción Animal y Agrodesarrollo. Del 10 al 14 de octubre 2022. Centro de Convenciones Plaza América. Varadero, Matanzas, Cuba. ISBN: 978-959-7171-86-7.

Vásquez W, Yossa MI, Gutiérrez MC (2013). Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. Pesq. agropec. bras. Brasília 48 (8): 920-927. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000800016

Rendimiento de siete líneas de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en jaulas flotantes y estanques convencionales

Performance of seven lines of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in cages and conventional ponds

Raquel Hernández-Jiménez¹ , Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez^{1*} , María de Jesús Contreras-García¹ , Alejandro Mcdonal-Vera¹ 

¹Laboratorio de Acuicultura Tropical, DACBiol-UJAT,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Carretera Villahermosa-Cárdenas, km 0.5, Entronque a Bosques de Saloya,
Villahermosa, Tabasco, 86039. México.

Corresponding author:

Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Email: contrerw@hotmail.com

Cite:

Hernández Jiménez R, et al. (2025) Comparación del rendimiento de siete líneas de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en jaulas flotantes y estanques convencionales. Tropical Aquaculture 3 (1): e5748. DOI 10.19136/ta.a3n1.5748

Recibido: 15 de agosto 2025

Aceptado: 27 noviembre 2025

Licencia creative commons:

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International



Resumen

Se realizaron dos experimentos para evaluar el rendimiento de siete líneas de tilapia *Oreochromis niloticus*, proveídas por diversas granjas de la región. Se compararon los rasgos productivos como: crecimiento, supervivencia, porcentaje de masculinización y estado sanitario. Para el primer experimento se utilizaron siete líneas de tilapia; los peces se colocaron al azar y por triplicado en jaulas flotantes de 2x1x1m a una densidad inicial de 1000 peces por jaula. Las densidades se fueron ajustando conforme crecieron los peces. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$) en crecimiento y sobrevivencia, así como diferencias en sus condiciones sanitarias. En el segundo experimento se evaluaron las cuatro mejores líneas del primer experimento, estas fueron sembradas al azar y por duplicado en piletas de concreto de 10x5x1m a una densidad de 1000 peces por estanque. A mitad del experimento la densidad se redujo a 500 peces por estanque. Los resultados indican que las líneas Tabasco y Chitralada fueron las que obtuvieron el mayor peso final con 301.11 y 291.30 g, respectivamente; un FCA de 1.1 para ambas, una sobrevivencia de 99.4% y con un 95% de masculinización. En los resultados sanitarios se identificó la presencia de diversas especies de bacterias y parásitos en todas las líneas evaluadas.

Palabras clave: Cultivo de Tilapia, sistemas de producción, selección de línea, crecimiento.

Abstract

Two experiments were conducted to evaluate the performance of seven lines of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, provided by various farms in the region. Performance was measured and compared among lines as: growth, survival, masculinization rate and health status. For the first experiment, we evaluated seven tilapia lines; fish were randomly allocated in triplicate 2x1x1m-floating cages at an initial density of 1000 fish per cage. Densities were adjusted as the fish grew. The results showed significant differences ($p < 0.01$) in growth and survival. Health status showed differences as well. In the second experiment, we evaluated the top four lines of the first experiment. In this case, fish were stocked in duplicate at random in 10x5x1m-concrete ponds at a density of 1000 fish per pond. The density was reduced to 500 fish per pond half time through the experiment. The results indicate that the lines Tabasco and Chitralada had the highest final weight with 301.11 and 291.30g, respectively; an FCA of 1.1 for both lines, a survival of 95%, and a masculinization rate around 99.4%. In terms of health indicators, we identified the presence of different species of bacteria and parasites in all lines tested.

Key words: Tilapia farming, production systems, line selection, growth.

Introducción

A nivel mundial la acuicultura es actualmente la actividad más importante de la producción pesquera (FAO 2024, Rahman *et al.*, 2023), ya que contribuye a la subsistencia, alimentación, empleo e ingresos de muchas familias (García *et al.*, 2002, Pardo *et al.*, 2006, FAO 2016), su crecimiento anual desde 1970 es en promedio 9.2%, comparado con la pesca de captura y el sector de productos cárnicos en los sistemas terrestres, con 1.4 y 2.8%; respectivamente (García-Medel 2022), siendo los peces de agua dulce la producción acuícola mundial predominante con un 56.4% del total (FAO 2024).

Una de las especies de mayor importancia comercial a nivel mundial es la tilapia; abarca aproximadamente el 20% del volumen total de la producción de peces, destacándose la especie *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). La cual representa aproximadamente el 80% de la producción total de tilapias en el mundo (Rana *et al.*, 2021, El-Sayed *et al.*, 2020).

La producción de tilapia a nivel global del 2002 al 2010 excedió los tres millones de toneladas métricas (Zhao *et al.*, 2022) y según las estadísticas de la FAO, los cinco principales países productores de tilapia para el año 2009 fueron: China (con una producción de 1.25 millones de T/M), Egipto, Indonesia, Filipinas y Tailandia (FAO 2010). El desarrollo del cultivo de este cíclido se debe a que posee muchas ventajas a nivel económico y presenta excelentes características de cultivo, como una elevada tasa de crecimiento, productividad y gran adaptación a diferentes ambientes (Liti *et al.*, 2020, Bentsen *et al.*, 2021), así como una aparente resistencia a virus, bacterias y enfermedades parasitarias (Rodríguez-Montes de Oca *et al.*, 2022).

Dada la importancia de este cultivo, se han creado diversas líneas procedentes de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*), con el fin de mejorar ciertas características de esta especie (Abucayo y Mair 2000). Entre estas líneas, se encuentran los llamados machos YY, Chitralada, GMT, y GIFT entre otras (Li y Li 2001). Estas líneas se han introducido al Estado de Tabasco, pero no existe ningún estudio que demuestre el rendimiento y calidad de tales líneas. El presente trabajo se enfoca en determinar la capacidad productiva en cuanto a su

crecimiento, índices de producción y sobrevivencia; así como indicadores de sanidad básicos, para ofrecer a los productores información confiable que les permita tomar decisiones que redunden en una mejor producción y así obtener beneficios económicos.

Materiales y métodos

El presente trabajo consistió en dos experimentos. El primero se llevó a cabo en jaulas flotantes, en las instalaciones de la granja “El Pucté del Usumacinta” ubicada en el Km 1 de la carretera Chablé – Boca de San Jerónimo, Villa Chablé, Emiliano Zapata, Tabasco, México. El segundo experimento se realizó en estanques de concreto de la granja “Piscigranja Blanco del Grijalva” ubicada en Cunduacán, Tabasco, México.

Obtención de alevines

Se evaluaron siete líneas de tilapia del Nilo que según los propietarios corresponden a: L1= Chitralada¹ proveniente de Brasil; L2 = Chitralada² proveniente de Brasil; L3 = Tabasco (Stirling mejorada); L4 = GMT obtenida de Gales y Costa Rica (Fishgen); L5 = Pucté (Silvestre seleccionada + Stirling + GMT); L6 = GIFT de Nicaragua y L7 = GIFT de Vietnam + Chitralada de Brasil. Los peces fueron comprados directamente de los productores, (Chitralada¹ fue obtenida de la granja “Acuaplan”, ubicada en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco; la Chitralada² de la granja “Aguasur”, ubicada en Sabancuy, Campeche, la línea Tabasco fue proporcionada por el Laboratorio de Acuicultura Tropical, “DACbiol-UJAT”, las líneas GMT y Pucté fueron obtenidos de la granja “Pucté del Usumacinta”, ubicada en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco, la línea GIFT fue obtenida de “Acuagranjas Dos Lagos”, ubicada en Ostucan, Chiapas y la línea Chitralada + GIFT, fue adquirida de la granja “Tropifauna”, ubicada en Francisco I. Madero, Macuspana, Tabasco. Para evitar sesgos, todos los peces fueron adquiridos de manera anónima y la ubicación de los peces se realizó de tal forma que el personal encargado de la alimentación y muestreos desconociera su procedencia.

Diseño experimental

Para el primer experimento se empleó un diseño completamente aleatorizado, donde el factor principal a evaluar fueron siete líneas de tilapia. Cada línea fue

asignada en jaulas flotantes al azar y por triplicado, colocadas en un estanque rústico de 100x30x1m, con un metro de distancia entre jaulas. El segundo experimento consistió en un diseño completamente aleatorizado, donde se evaluaron las cuatro mejores líneas del primer experimento. Cada línea fue asignada al azar, por duplicado en estanques de concreto.

Siembra

Las unidades experimentales inicialmente fueron 21 jaulas de malla mosquitera de 1x2x1m. En cada jaula se sembraron 1000 alevines con una talla promedio de 0.65 g (500 peces/m³). A los 60 días de cultivo se disminuyó la densidad a 600 peces/jaula (300 peces/m³) y se cambió a jaulas de malla de hilo alquitranado con abertura de 1/2 pulgada de luz de malla. A los 90 días de cultivo se disminuyó la densidad hasta 100 peces/jaula (50 peces/m³). A los 120 días de experimentación, todos los peces fueron transferidos a jaulas con las mismas dimensiones, pero con luz de malla de 1 pulgada. A los 150 días de cultivo se realizó un último ajuste a la densidad, quedando de 80 peces/jaula (40 peces/m³).

El segundo experimento consistió en evaluar las cuatro mejores líneas obtenidas del primer experimento, ponderando los criterios de crecimiento, sobrevivencia y episodios de mortalidad ocasionados por el estrés del traslado. Se realizó una nueva adquisición anónima de alevines, siendo mantenidos en observación por 15 días. Los estanques empleados, fueron previamente limpiados y encalados con la finalidad de dar tratamiento profiláctico. Inicialmente se sembraron 2000 alevines por cada línea evaluada, siendo asignados al azar 1000 alevines por estanque (20 peces/m²), con una talla promedio de 0.75 g. A los 120 días de experimentación, se realizó un desdoble, quedando 500 peces por estanque (10 peces/m²). Para ambos experimentos se tomó un lote de 100 peces por línea para determinar su sanidad, la cual fue realizada por el personal del laboratorio de sanidad acuícola de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiól) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). También se determinó el porcentaje de masculinización de cada línea, empleándose la técnica de aplastado de gónadas y tinción con azul de metileno (primer experimento) y sexado manual (segundo experimento). Para llevar a cabo esto,

los peces se anestesiaron con sobredosis de metano sulfonato de tricaina.

Alimentación

Los peces fueron alimentados 5 veces al día en los siguientes horarios: (9:00 am, 11:00 am, 1:00 pm, 3:00 pm y 5:00 pm.). Se empleó el alimento comercial para tilapia con un porcentaje de 45% de proteína y 14% de lípidos de la marca Silver cup®. Para asegurar que el alimento fuera totalmente consumido, se les proporcionó en 2 o más raciones en cada alimentación, según las exigencias de los organismos. Inicialmente se adicionó el 10% de la biomasa total, ajustándose mensualmente de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del alimento. Al final el alimento consumido equivalía a aproximadamente un 2% de la biomasa total.

Parámetros zootécnicos

Para evaluar el crecimiento en longitud y peso, se llevaron a cabo biometrías mensuales. Para lo cual, se tomó un lote de 100 peces por cada unidad experimental. Se procedió a pesar y medir de manera individual a cada organismo, utilizando una balanza analítica (Ohaus, Atlantic City, NJ, USA) con precisión de 0.001g; y para la longitud total (LT) se utilizó un ictiómetro convencional.

Parámetros fisicoquímicos

Para determinar las condiciones bajo las cuales se realizaron los experimentos, se llevaron a cabo monitoreos diarios de temperatura y oxígeno disuelto con un oxímetro marca YSI® 55 (Springer, CA, USA), también se midió el pH del agua con un potenciómetro marca Hanna Instruments HI 98311 (Rhode Island, USA). Los análisis de amonio y nitritos se realizaron una vez al mes empleando un multiparámetro marca Hanna Instruments (HI 98311, Rhode Island, USA).

Índices de crecimiento

En los dos experimentos se determinaron los siguientes índices:

Supervivencia [%] = $100 \left(\frac{\text{Número inicial} - \text{Número final de organismos}}{\text{total}} \right)$

Tasa específica de crecimiento (TEC) = $100 \left(\frac{\log \text{peso final} - \log \text{peso inicial}}{\text{tiempo}} \right)$

Factor de condición (FC)= (Peso promedio final / Longitud total final³) x 100

Factor de conversión alimenticia (FCA)= (Alimento ingerido/peso ganado)

Ganancia de peso diario (GPD)= 100 (peso final-peso inicial/tiempo)

Análisis estadísticos

Para el primer experimento se empleó un análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar las diferencias significativas entre las Líneas de tilapia evaluadas. Se empleó la longitud y el peso inicial como covariables. Posteriormente se aplicó el contraste múltiple de medias (LSD) para localizar las diferencias entre los tratamientos. Para el segundo experimento se empleó un análisis de varianza simple (ANOVA), seguido de un contraste múltiple de medias (LSD). Para los índices de crecimiento y supervivencia, se realizaron pruebas no paramétricas de contraste de medianas de Kruskal-Wallis seguida de la prueba de Bonferroni. Para determinar las diferencias en el porcentaje de masculinización, se realizó un análisis de Chi-cuadrada mediante tablas de contingencia. Todas las pruebas empleadas fueron analizadas empleando el paquete estadístico Statgraphics Centurion® v19.

Resultados

Experimento 1: Crecimiento en jaulas

Los resultados obtenidos en el análisis de covarianza (ANCOVA) indican que hubo diferencias altamente significativas ($p<0.001$) entre las líneas de tilapia evaluadas; sin embargo, no se encontró un efecto significativo ($p>0.05$) de las covariables (peso y longitud inicial) sobre el crecimiento de las diferentes líneas. El crecimiento en peso presentó diferencias muy marcadas a partir de los 90 días de estudio, indicando que la L1 fue mayor al resto de los tratamientos con un peso promedio de 82.79 ± 6.26 g seguido de la L3 con 73.2 ± 9.04 g, las L2 y L7 con 63.57 ± 4.00 g y 63.97 ± 4.48 g,

respectivamente, la L5 con 59.99 ± 7.16 g, y finalmente la L4 y L6 con los pesos promedio más bajos (52.42 ± 16.21 g y 52.08 ± 8.30 g, respectivamente). Este comportamiento se mantuvo así hasta el final del experimento, donde la L1 fue la que obtuvo el mayor peso final (243.88 ± 27.16 g), seguida de la L3 (196.99 ± 18.23 g), L2 (193.94 ± 9.10 g), L7 (186.94 ± 13.40 g) L6 (154.00 ± 14.79 g) y finalmente la L5 y L4 con los promedios más bajos (141.53 ± 9.52 ; 124.74 ± 6.86 g) respectivamente. El contraste múltiple de medias (LSD), mostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre la L1 y el resto de los tratamientos, mientras que las L2, L3 y L7 fueron iguales entre sí y diferentes a las L4, L5 y L6 las cuales no difirieron entre ellas (Figura 1a).

Resultados similares se obtuvieron para la variable longitud, aunque el contraste de medias indicó que no hubo diferencia significativa ($p>0.05$) entre las L1 y L3, pero estas líneas sí difieren del resto de los tratamientos los cuales son iguales entre sí. El mayor crecimiento en longitud se observó en las L1 y L3 con 22.58 ± 0.92 cm y 22.44 ± 1.47 cm, respectivamente; seguidas de las L2 (21.08 ± 0.34 cm), L7 (20.67 ± 0.62 cm), L6 (19.35 ± 0.54 cm) y finalmente las L5 y L4 (18.79 ± 0.39 cm y 18.17 ± 0.39 cm, respectivamente) siendo estas las longitudes promedio más bajas (Figura 1b).

Los índices de crecimiento mostraron algunas diferencias significativas. Las líneas L1, L2 y L3 fueron los que lograron una mejor conversión del alimento (FCA) con valores promedio de 1.5, 1.6 y 1.6, respectivamente y un crecimiento diario de 1.5, 1.2 y 1.2 g, respectivamente; mientras que el mejor factor de condición (FC) se obtuvo en las L1 y L2 con 2.1 y 2.0, respectivamente. La tasa específica de crecimiento (TEC) no mostró diferencias significativas entre las líneas evaluadas (Tabla 1).

Supervivencia

La supervivencia no mostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre las líneas, donde el mayor porcentaje fue 86% para la línea 6, seguidos de las L4 y L5 con 84% y 81%, respectivamente y el valor más bajo fue para la L3 con 72% de sobrevivencia.

Tabla 1. Índices de crecimiento de las siete líneas de tilapia *O. niloticus* evaluadas en jaulas flotantes en el primer experimento.

INDICES	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
FCA	1.5 ± 0.01 ^a	1.6 ± 0.01 ^b	1.6 ± 0.02 ^b	2.2 ± 0.01 ^d	2.1 ± 0.07 ^d	1.8 ± 0.01 ^c	2.0 ± 0.01 ^d
FC	2.1 ± 0.01 ^a	2.0 ± 0.01 ^a	1.7 ± 0.01 ^b	2.0 ± 0.01 ^a	2.1 ± 0.01 ^a	2.1 ± 0.01 ^a	2.1 ± 0.01 ^a
TEC	23.2 ± 0.1	24.7 ± 0.1	20.5 ± 0.1	25.2 ± 0.1	20.5 ± 0.1	24.6 ± 0.1	25.6 ± 0.1
GPD	1.5 ± 0.1 ^a	1.2 ± 0.1 ^b	1.2 ± 0.1 ^b	0.7 ± 0.1 ^c	0.8 ± 0.1 ^c	0.8 ± 0.1 ^c	1.2 ± 0.1 ^b

Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre columnas

Masculinización

Se detectaron diferencias significativas en el porcentaje de masculinización de las siete líneas de tilapia, donde la L6 fue la que obtuvo el mayor porcentaje de masculinización con un 98%, difiriendo de la L5 la cual mostró el porcentaje más bajo con 82%, el resto de las líneas obtuvieron un porcentaje mayor al 95%.

Sanidad

Los estudios sanitarios mostraron con frecuencia la presencia de dos tipos de bacterias *Pseudomonas fluorescens* (Migula 1895) y *Aeromonas hydrophila* (Stanier 1943), así como la constante aparición de parásitos monogéneos y tricodinas en casi la totalidad de las líneas evaluadas. Se observó una alta mortalidad en las líneas L1 y L2 al inicio del experimento (posterior al traslado a las instalaciones) siendo necesario el remplazo total de la L2. En la línea L7 se presentó el mayor número de parásitos monogéneos, tricodinas y protozoarios ciliados (Tabla 2).

Calidad del agua

Los valores promedio de los factores fisicoquímicos del agua como temperatura y oxígeno disuelto variaron considerablemente a lo largo de los meses de experimentación. La temperatura mínima fue de 24.49 °C y la más alta fue de 30.12 °C. El valor más alto de oxígeno disuelto fue de 4.60 mg/L y el más bajo de 1.20 mg/L, mientras que el pH se mantuvo con poca variación con un máximo de 7.77 y un mínimo de 6.77. Las concentraciones promedio de amonio y nitritos fueron de 0.12 ± 0.01 mg/L y 0.09 ± 0.01 mg/L, respectivamente.

Experimento 2: Crecimiento en estanques (cuatro mejores líneas)

Los resultados del crecimiento en peso y longitud del segundo experimento, mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre las líneas evaluadas. La línea L3 fue la que obtuvo el mayor peso promedio final (301.11 ± 1.30 g), seguida de la L1 (291.30 ± 0.62 g), la L7 (277.86 ± 17.39 g) y finalmente la L5 con 247.00 ± 14.12 g. El contraste múltiple de medias (LSD) indicó que el peso promedio entre la L1 y L3 no tuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), pero si difirieron del resto de los tratamientos; las cuales fueron iguales entre sí (Figura 2a). En cuanto a la longitud total, el valor más alto fue para la L1 (25.16 ± 0.29 cm), seguida de la L3 (24.82 ± 0.21 cm) y finalmente las líneas L7 y L5 (24.14 ± 0.49 cm y 23.17 ± 0.65 cm, respectivamente). El contraste múltiple de medias (LSD) indicó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre todas las líneas estudiadas (Figura 2b).

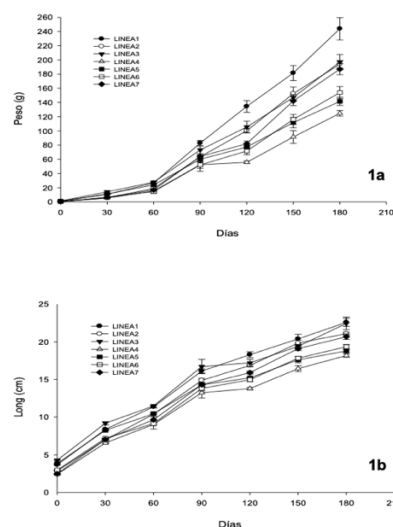


Figura 1. Valores promedio ($\pm$ EE) de crecimiento en peso (A) y longitud (B) obtenidos en jaulas flotantes en el primer experimento. El número de observaciones en cada muestreo es de 150 por línea. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

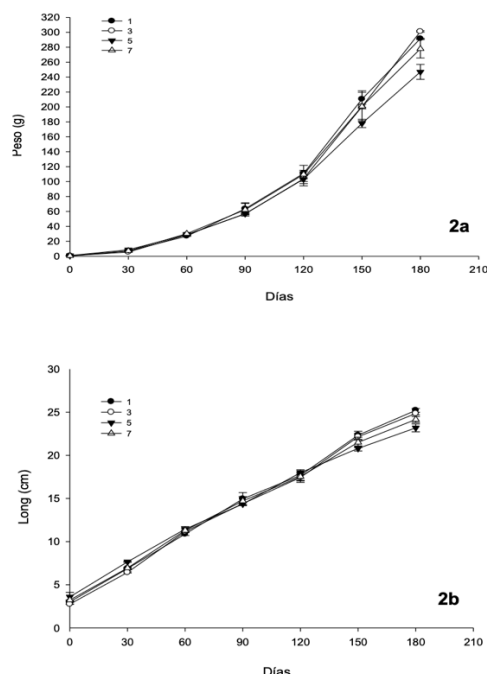


Figura 2. Valores promedio ($\pm$ EE) de crecimiento en peso (A) y longitud (B) obtenidos en estanques de concreto en el segundo experimento, a lo largo de 180 días de experimentación. El número de observaciones en cada muestreo es de 200 por línea. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Supervivencia

Los resultados de supervivencia no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre las líneas, aunque el mayor porcentaje de sobrevivencia fue para la L3 (99.4%) y el menor porcentaje para la L5 (85.3%). Los índices de crecimiento como (FCA, TEC,

FC y GP.) no mostraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre las líneas (Tabla 3).

Masculinización

Los resultados de masculinización indicaron que los mejores porcentajes fueron para la L1 y L3 de las cuales se obtuvo un 95% de machos, mientras que las líneas L5 y L7 obtuvieron los porcentajes más bajos con 85% y 70% respectivamente.

Sanidad

Los resultados sanitarios mostraron la presencia de dos tipos de bacterias: *Aeromonas hydrophila* y *Burkholderia cepacia* (Palleroni & Holmes 1981), en la totalidad de las líneas evaluadas. Así como parásitos monogéneos, excepto en la línea 3 y Trichodinas en las cuatro líneas evaluadas (Tabla 4).

Calidad del agua

Los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y pH no mostraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre líneas, pero si hubo variación a lo largo del periodo experimental, donde los promedios máximos y mínimos fueron: temperatura (29.17 °C y 25.07 °C), OD (5.24 mg/L y 3.60 mg/L) pH (9.36 y 8.13) respectivamente. Los valores promedio de amonio y nitritos fueron de 0.02 ± 0.011 mg/L y 0.10 ± 0.01 respectivamente.

Tabla 2. Resultados sanitarios de las siete líneas de tilapias *O niloticus* evaluadas en jaulas flotantes en el primer experimento.

Línea	Bacterias encontradas	Parásitos encontrados
1	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> .	Monogeno y tricodina
2	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Aeromonas sobria</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> .	Monogeno y tricodina
3	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i> , <i>Aeromonas sobria</i> , <i>Moraxella spp</i> y <i>Aeromonas hydrophila</i> .	Monogeno y tricodina
4	<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Aeromonas sobria</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i> .	Ausente
5	<i>Aeromonas sobria</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i> .	Monogeno
6	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Pseudomonas putida</i> y <i>Photobacterium damsela</i> .	Monogeno y trichodina
7	<i>Pseudomonas putida</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .	Monogeno, trichodina y Otros protozoarios ciliados parásitos, no identificados

Tabla 3. Índice de crecimiento de las cuatro líneas de *O. niloticus* evaluadas en estanques de concreto en el segundo experimento.

INDICES	L1	L3	L5	L7
FCA	1.1 ± 0.07	1.1 ± 0.14	1.4 ± 0.14	1.2 ± 0.21
FC	1.84 ± 0.04	1.89 ± 0.09	1.97 ± 0.01	2.15 ± 0.19
TEC	23.2 ± 0.14	23.2 ± 0.07	20.2 ± 0.14	23.0 ± 0.07
GPD	1.55 ± 0.07	1.65 ± 0.07	1.45 ± 0.07	1.55 ± 0.07

Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre columnas

Tabla 4. Resultados sanitarios de las cuatro líneas de tilapias *O niloticus* evaluadas en estanques de concreto en el segundo experimento.

Línea	Bacterias encontradas	Parásitos encontrados
1	<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> .	Trichodina y Monogeneo.
3	<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> .	Trichodina
5	<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i> .	Trichodina y Monogeneo.
7	<i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Plesiomonas shigelloides</i> , <i>Ralstonia picketti</i> .	Trichodina y Monogeneo.

Discusión

Las líneas de tilapia vendidas en el Sureste Mexicano; principalmente para los estados de Tabasco, Campeche y Chiapas presentan una gran variabilidad en su crecimiento, el rendimiento obtenido por alimento y la fauna parasitaria y bacteriológica presente. Estudios realizados en diversas líneas de tilapia han demostrado que algunas son más efectivas desde el punto de vista productivo que otras (Tenorio 2002). De acuerdo con esto, Orozco-Icaza (1998) logró obtener en las líneas “Nilo” y “Floridiana” crecimientos en peso de hasta un gramo durante el periodo de reversión sexual. Por otra parte, Santos-Becerra et al (2008) al comparar el crecimiento de la línea “Chitralada” durante el periodo de reversión sexual con un fotoperiodo de 24 horas, obtuvo un crecimiento de hasta 0.75 g. En nuestro trabajo es difícil hablar de líneas puras pues los administradores de los centros de producción han optado por mezclar líneas provenientes de diferentes países y hasta emplear organismos silvestres capturados en la región. En el primer experimento de las siete líneas analizadas a 120 días, los pesos promedio más altos fueron para la línea “Chitralada” seguida de la línea

“Tabasco” –una línea pura de Stirling seleccionada por más de 10 años por personal de la UJAT para el gobierno del Estado de Tabasco; las siguientes líneas corresponden a mezclas “Chitralada + GIFT” provenientes de cuba y la línea “Pucté” correspondiente a una cruce de silvestre seleccionada + Stirling + GMT. En un estudio similar, Okeke et al. (2021), evaluó el crecimiento de tres líneas de tilapia del Nilo, alcanzando a los 104 días de experimentación pesos de 319.8 g en la línea “LS” y 314.5 g en la línea “GIFT”, mientras que el menor promedio fue para la línea “NS” con 238.8 g. En otro estudio conducido por Lagos-Macías (2000), al evaluar las líneas “Jamaiquina” y la línea “Ismalia” por 160 días en estanques rústicos, obtuvo un peso promedio de 139 y 141 g, respectivamente.

Por otra parte, López (2003) comparó en jaulas las progenies de 4 líneas de tilapia, donde a los 90 días obtuvo un peso promedio de 40.15 g en una línea denominada Línea base “LK” (Largo-factor de condición) y Hernández-Vera (2003) también mostró datos semejantes al comparar 6 líneas de tilapia con un peso promedio de siembra de 70 g, donde a los 210 días de cultivo la línea Centro de Investigación y de Estudios

Avanzados “CINVESTAV” fue la que obtuvo un promedio final de 446.2 g.

Según Conte *et al.* (2008), El crecimiento de las tilapias puede ser afectado por la interacción de múltiples variables innatas al pez, como el genotipo y el sexo; y otras variables más dependientes del ambiente en el que se desenvuelven los peces como la nutrición, la densidad dentro del cuerpo de agua, la temperatura, la salinidad, el pH, algunos compuestos nitrogenados y la concentración de oxígeno disuelto en el agua. En el primer experimento, esta última variable tuvo un descenso crítico, con niveles por debajo de 1.0 mg/L. En este sentido Lagos-Macías (2000) menciona que, en sistemas lenticos, el agua acumula fertilidad y aumenta la población de algas, las cuales producen y consumen gran cantidad de oxígeno provocando un descenso de esta variable en el estanque. Este descenso de oxígeno puede explicar las mortalidades registradas durante el experimento, donde se cuantificó la pérdida de los peces de mayor tamaño. Por lo cual también la sobrevivencia fue de moderada en la mayoría de las líneas; siendo el porcentaje más alto de 86% y el más bajo de 72%. Aunque las tilapias son especies que pueden tolerar bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se ha comprobado que en menos de 2 mg/L el metabolismo y el crecimiento disminuyen (Mwangi *et al.*, 2022). Otro factor que se vio influenciado por la mala calidad del agua fue el FCA, el cual fue muy alto en la totalidad de las líneas a excepción de las líneas “GIFT” y “Tabasco” que obtuvieron un FCA de 1.5 y 1.6 respectivamente. Sin embargo, de acuerdo con los estudios de El-Sayed (2006), un buen FCA de 1.4 se puede obtener en tilapias que alcanzan más de 300 g.

En cuanto a los resultados sanitarios, los análisis mostraron la presencia de bacterias del género *Aeromonas* y *Pseudomonas*; grupos de bacterias presentes en prácticamente cualquier cuerpo de agua. Sin embargo, estas bacterias son consideradas como oportunistas, capaces de generar enfermedades bajo condiciones de estrés. En nuestro estudio, las más abundantes fueron las especies *Hydrophila* y *Fluorescens*. Mismas que en estudios previos se ha evidenciado que están asociadas con enfermedades de peces (Hayes 2003), como la septicemia hemorrágica, la cual causa grandes

mortandades en tilapias que van del 5 hasta el 100% de pérdidas (Soto 2003, Ashiru *et al.*, 2011). En este sentido cabe resaltar que, de las líneas estudiadas, las que tuvieron más presencia bacteriana fueron Tabasco, “GMT”, Pucté y GIFT. Sin embargo, la línea que mostro una afectación más severa fue “Chitralada”. La cual presentó episodios de mortalidad debido al estrés del traslado.

Otro aspecto importante fue la presencia de parásitos monogéneos y tricodinas, así como otros protozoarios ciliados, las cuales fueron encontradas en casi todas las líneas estudiadas. Esto coincide con los estudios de incidencia parasitaria practicados a cuatro granjas de tilapia en Brasil donde el 64.2% de la población estudiada estaban infectadas con estos tipos de parásitos (Wanderson 2012). Por su parte, Flores y Flores (2003), dicen que los peces afectados con reducidas cargas parasitarias pueden no presentar signos clínicos; sin embargo, el efecto de los parásitos se traduce en retardos en el crecimiento, disminución de peso, y una reducción muy marcada en la tasa de fertilidad. Esto puede deberse en parte a que, en la mayoría de las granjas de tilapia en México, no se aplican protocolos sanitarios que puedan garantizar el éxito del cultivo y por consiguiente se presentan enfermedades bacterianas y parasitarias que afectan a la misma (Soto 2003). En nuestro estudio, cabe resaltar que, aunque la mayoría de las líneas tuvieron presencia de parásitos, la línea con más carga parasitaria fue la línea “Chitralada + GIFT”, mientras que en la línea GMT no hubo presencia de vermes. Por otra parte, reiterando lo mencionado por Flores y Flores (2003) si bien, los peces no presentaron algunas señas de enfermedades y episodios de mortalidad masiva, estas fueron afectadas por un crecimiento rezagado. En relación con los otros perfiles ambientales como la temperatura y el pH estuvieron dentro del rango aceptable para el crecimiento de la tilapia (Meyer 2001).

Los resultados de la comparación en estanques evidenciaron el desempeño final de las cuatro líneas seleccionadas, donde la línea “Tabasco” (Stirling mejorada) y la línea “Chitralada” de Brasil, fueron las que obtuvieron los mejores rendimientos. En estudios similares para comparar la línea “GIFT” con una línea de tilapia roja, Nandlal *et al.* (2020) concluyeron que la

línea “GIFT” fue más eficiente en ganancia de peso con 362 g, mientras que la línea de tilapia roja solo alcanzó un peso de 268 g. Igualmente Laurindo (2003) al evaluar tres líneas: “Nilótica común”, “Vermelha” y “Chitralada”, con promedios de 50-64 g de peso inicial, evidenció que la línea “Chitralada” presentó un mejor desempeño en la ganancia de peso con 615.5 g a los 112 días que duró el experimento. En otro estudio llevado a cabo por Granados *et al.* (2002) comparando el rendimiento de las líneas “Stirling” y un híbrido (*Oreochromis mossambicus*, Peters 1852 x *O. niloticus*) con un peso inicial de 95 g, lograron obtener a los 98 días un peso final de 459.3 g y 495 g, respectivamente.

En cuanto al factor de conversión alimenticia es bien sabido que es una medida de la eficiencia nutricional de los alimentos y ésta puede variar de acuerdo al nivel de alimentación, a la calidad de los alimentos suministrados y a la calidad del agua (Granado 2000). El FCA alcanzado en este estudio fue muy favorable con 1.1 para las líneas “Tabasco” (Stirling mejorada) y “Chitralada” de Brasil, los cuales fueron mejores a los de “Chitralada + GIFT” de Cuba, con 1.2 y “Pucté” con un FCA de 1.4, siendo el más alto de las líneas evaluadas. Sin embargo, todos los valores estuvieron dentro de un rango aceptable, ya que se ha demostrado mediante experiencias de cultivo que un buen FCA es de 1.5, siendo además considerado como óptimo por Huchette y Beveridge (2003). En otras líneas de tilapia como “SL”, se ha logrado un FCA de 1.4 en peces con promedio de 320g (Mohammad 2006).

La tasa de sobrevivencia fue aceptable en las cuatro líneas evaluadas con un 99.4% para la línea “Tabasco” (Stirling mejorada) y un 85.3% para la línea “Pucté”, la cual fue la más baja. Resultados similares fueron encontrados por (Muñoz y Garduño 1994) quienes reportaron un 100% de sobrevivencia en la línea híbrida (*O. mossambicus*, x *O. niloticus*) y un 87.5% en la *O. mossambicus* en siembras con menores densidades. También Granados *et al.* (2002) mostraron resultados similares con 97 y 83% de sobrevivencia en el Híbrido rojo y Stirling, respectivamente.

El aspecto sanitario, estuvo influenciado por la presencia de bacterias como *Aeromonas hydrophila*, *Pleisomonas shigelloides* y *Burkholderia cepacia*. Cabe mencionar que este

tipo de bacterias están distribuidas en cualquier ambiente acuático como: agua dulce, aguas estuarinas y marinas (Holmes *et al.*, 1996), las *Aeromonas hydrophila* y *Pleisomonas shigelloides* pueden provocar un brote epidémico (Al-Harbi y Uddin 2005) cuando las cargas superan el 5% y pueden causar enfermedades y altas mortalidades en un cultivo (Suárez y Herrera 2012). Sin embargo, la presencia de bacterias y parásitos monogéneos y tricodinas no presentó un efecto negativo aparente sobre las líneas estudiadas ya que la prevalencia fue muy baja.

Finalmente, los parámetros fisicoquímicos del agua fueron adecuados encontrándose dentro de temperaturas favorables para el crecimiento de la tilapia (Bonilla 2018), al igual que el oxígeno disuelto (Aguilera y Noriega 1985). Aunque el pH osciló entre 8.13 y 9.36, Horvath *et al.* (1992) consideran que el nivel permisible para un buen desempeño de tilapia es de 9. Los niveles de amonio y nitritos también se mantuvieron dentro del rango aceptable según lo reportado por Saavedra-Martínez (2006).

Conclusiones

En conclusión, las líneas con mejor desempeño productivo, fueron las líneas Chitralada de Brasil y Tabasco (Stirling mejorada) las cuales aún, en condiciones desfavorables, fueron las que presentaron el mejor peso final en ambos sistemas de manejo (jaulas flotantes y estanques de concreto). Finalmente, al ser comparados en estanques, la línea Tabasco alcanza el mejor peso promedio, seguida de la línea Chitralada. Sin embargo, para lograr resultados óptimos, es necesario tomar en cuenta la calidad del agua, ya que ella influye en el metabolismo y por ende en el crecimiento de los peces.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por Fondos Mixtos (FOMIX) CONACYT y Fisheries and Aquaculture Collaborative Research Support Program. El F&A CRSP es parcialmente financiado por la United States Agency for International Development (USAID).

Financiamiento No. LAG-G-0-96-90015-00 y por otras instituciones participantes. El número de acceso F&A CRSP es 1412. Las opiniones vertidas son exclusivas de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la US Agency for International Development.

Literatura citada

- Abucayo JS, Mair GC (2000) Divergent selection for growth in the development of a female line for the production of improved genetically male tilapia (GMT) in *Oreochromis niloticus* L.103p. Disponible en línea en: <http://ag.arizona.edu/oip/ista6/ista6web/pdf/090.pdf>. (Consultado el 5 abril 2025).
- Aguilera P, Noriega P (1985) La tilapia y su cultivo. Fondepesca. México
- Al-Harbi AH, Uddin N (2005) Bacterial diversity of tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in brackish water in Saudi Arabia". Aquaculture 250(3-4): 566-572.
- Ashiru AW, Uaboi-Egbeni PO, Oguntogwo JE, Idika CN (2011) Isolation and Antibiotic Profile of *Aeromonas* Species from Tilapia Fish (*Tilapia nilotica*) and Catfish (*Clarias batrachus*). Pakistan journal of Nutrition 10 (10): 982-986.
- Bonilla PBL, Montoya Bonilla B, Gómez J, Caja Álvaro (2018) Efecto de la Temperatura sobre el Crecimiento de Tilapia (*Oreochromis sp*) en Mamá Lombriz, Vereda Rio Blanco, Popayán, Colombia. Teknos Revista científica, 18(1), 24-30. <https://doi.org/10.25044/25392190.922>
- El-Sayed AF (2006) Tilapia culture in salt water: environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. Oceanography Department, Faculty of Science, Alexandria University, Egypt. En: Cruz-S LE, R-Marie, Tapia SMG, Nieto LDA, Villareal C, Puella CAC, García OA (Eds.) Avances en nutrición acuícola VIII. Simposium internacional de nutrición acuícola, 15-17 noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, pp 95-106.
- El-Sayed AFM, Kawanna M (2020) Recent advances in tilapia nutrition. Aquaculture Nutrition 26(6); 2060-2071. <https://doi.org/10.1111/anu.13101>
- FAO (2010) Estadística de pesca y acuicultura. Producción de acuicultura por países. En español: disponible en línea en: ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/CD_yearbook_2010/root/aquaculture/c1.pdf
- FAO (2016) Contribución de la pesca artesanal a la seguridad alimentaria, el empleo rural y el ingreso familiar en países de América del Sur. Santiago de Chile 2016, 96pp.
- FAO (2024) The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue transformation in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications/sofia/2024>
- Flores CJ, Flores R (2003) Monogéneos, parásitos de peces en México: Estudio recapitulativo. Técnica Pecuaria en México 41(2): 175-192.
- García MJ, Ruiz MA, Ventura FR (2002) Indicadores de gestión y estrategias empresariales de la acuicultura en España. Boletín. Instituto Español de Oceanografía 18: 259-264 p.
- García-Medel D (2022) Seguridad alimentaria: retos y desafíos de la acuicultura en México. Journal of Behavior 2(2): 9-19.
- Granado A (2000) Efecto de la densidad de cultivo sobre el crecimiento del morocoto, *Piaractus brachipomus*, cuvier, 1818, (Pisces: Characiformes), Confinado en jaulas flotantes. Universidad de Oriente, Venezuela 12 (2): 3-7.
- Granados AI, Garduño LM, Muñoz CG (2002) Comparación de crecimiento y Evaluación económica entre el genotipo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y el híbrido Rojo (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*) 1-10 p.
- Hayes J (2003) *Aeromonas Hydrophila*. Disease of fish. Spring 2000 Term Project. Oregon State University, Corvallis, pp 1-7.
- Hernández-Vera BA (2003) Comparación del crecimiento de 6 líneas de tilapia *Oreochromis niloticus*. Tesis de licenciatura. División académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, 35 p.
- Holmes P, Niccolls LM, Sartory DP (1996) The ecology of mesophilic *Aeromonas* in the Aquatic environment (1 st Edn) Jhon wiley and Sons Ltd, Chichester. 127 p.
- Horvath L, Támas G, Seagrave C (1992) Cultivo de carpa y otros peces en estanques. Extracto resumido y adaptado por la dirección de acuicultura. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. New York-Toronto. 61 p.
- Huchette SMH, Beveridge MCM (2003) Technical and economical evaluation of periphyton-based cage culture of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in tropical freshwater cages. Aquaculture 218(1-4): 219-234.
- Lagos-Macías HM (2000) Comparación de la sobrevivencia y crecimiento de dos líneas de tilapia cultivadas bajo dos sistemas de manejo. Tesis de

- Licenciatura en Ingeniero Agrónomo. Universidad Agrícola Panamericana, Honduras. 34 p.
- Laurindo JC (2003) Avaliação do crescimento de três linhagens de tilápia *Oreochromis* sp, em sistema semi-intensivo, cultivadas em viveiros. Tesis de maestría em recursos pesqueiros e aquíicultura. Departamento de Pesca. Universidad Federal Rural de Pernambuco. 53 p.
- Li JL, Li SF (2001) Introduction and research advances of *Oreochromis niloticus* Chinese Mainland. J Fisher 25: 90-95.
- López RI (2003) Comparación del crecimiento de las descendencias de cuatro líneas de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Tesis de licenciatura. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, 44 p.
- Meyer DE (2001) Technology for the successful small-scale tilapia culture, p. 97-106 in: D.E. Meyer (editor), Proceedings of the Sessions on Tilapia. 6th Central American Aquaculture Symposium, August 22-24, Tegucigalpa, Honduras. Asociación Nacional de Acuicultores de Honduras (ANDAH) and the Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program (PD/A CRSP).
- Mohammad TR (2006) Comparative study of growth performance of three strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, L. at two stocking densities. Aquaculture Research 3: 172-179.
- Mwangi BM, Opiyo MA, Ogello EO (2022) The effect of dissolved oxygen fluctuations on the performance of Nile tilapia strains in semi-intensive culture. Aquaculture Research, 53(4), 1532–1540. <https://doi.org/10.1111/are.15726>
- Nandlal S, Nguvulu A, Lal P (2020) Comparative growth performance of different tilapia strains under cage culture conditions. Fiji Journal of Aquaculture, 15, 45–53.
- Okeke MN, Eze VC, Ugwumba AA (2021) Comparative growth performance of three genetically improved Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains under varying culture densities. Aquatic Science and Technology 9(1): 23–34. <https://doi.org/10.5296/ast.v9i1.18130>
- Orozco-Icaza FE (1998) Comparación del crecimiento temprano de tres líneas de tilapia (*Oreochromis* sp.). Tesis de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo. Carrera de ciencia y Producción Agropecuaria. Departamento de Zootecnia. Universidad de Zamorano- Honduras, 25 p.
- Pardo S, Suárez H, Soriano E (2006) Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Córdoba. 11: 20-29.
- Rahman MA, Hasan MR, Salin KR (2023) Sustainable Tilapia Aquaculture: Global Trends and Prospects. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 686. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc6731en>
- Rana KJ, Ponzoni RW, Nguyen NH (2021) Global dissemination and performance of improved Nile tilapia strains: Achievements and challenges. Reviews in Aquaculture 13(2): 816–837. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
- Rodríguez-Montes de Oca GA, Paredes-Trujillo M, Dávalos-Espinosa M (2022) Incidencia de patógenos bacterianos en tilapias cultivadas en sistemas de producción intensivos en México. Revista Mexicana de Acuicultura 20(2): 33–44.
- Saavedra-Martínez MA (2006) Manejo del cultivo de tilapia. Universidad de Hawai. Centro de recursos costeros. USAID from the American People. Managua, Nicaragua. Agosto, 2006.
- Santos-Becerra K, Guerrero-Santos AJ, Leite MR, Magnun da Silva A, Ricarte de Lima M (2008) Crescimento e sobrevivência da tilápia Chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. Revista de Pesqueria Agropecuaria de Brasil, Brasília 4 (3): 737-743.
- Soto RS (2003) Calidad del agua y bacterias presentes en tilapia cultivada. Investigación en presas de Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa, A. C. SAGARPA. Gobierno del Estado de Sinaloa. 29 p.
- Suárez QW, Herrera F (2012) Determinación de factores de virulencia en cepas de *Aeromonas* spp., aisladas a partir de pescado. Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Córdoba 17(1): 2846-2851.
- Tenorio CG (2002) Caracterización isoenzimática de *Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus* introducidas en México. Instituto de Recursos, Universidad del Mar. Ciencia y Mar. 11-24 p.
- Zhao H, Chen C, Liu X (2022) Nile tilapia aquaculture in the 21st century: Production dynamics and environmental considerations. Aquaculture International 30; 415–432. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00746-2>

Control of horizontal transmission of white spot syndrome virus in *L. vanammei* by ultraviolet light

Control de la transmisión horizontal del virus del síndrome de la mancha blanca en *L. vanammei* mediante luz ultravioleta

Pablo González Alanís¹ , Kevin M. Fitzsimmons² , Maria de la Luz Vazquez Saucedá¹ , Flaviano Benavidez González¹ , Ana Lucía Urbizu González¹ , Jesus Humberto Reyna Fuentes¹ 

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas

²The University of Arizona

Corresponding author:

Maria de la Luz Vazquez Saucedá. Universidad Autónoma de Tamaulipas.
Email: mvazquez@docentes.uat.edu.mx

Cite:

González-Alanís P, et al. (2025) Control of horizontal transmission of white spot syndrome virus in *L. vanammei* by ultraviolet light. Tropical Aquaculture 3 (1): e5750. DOI 10.19136/ta.a3n1.5750

Received: 19 september 2025

Accepted: 25 october 2025

Licencia creative commons:

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International



Resumen

Bacterial and viral diseases are common problems in aquaculture. The use of flow-through systems frequently represents a risk of contamination by introducing pathogenic microorganisms, resulting in diseases that economically damage the industry. White spot syndrome virus (WSSV) causes a shrimp disease responsible for substantial economic losses in many countries. The present study was conducted to determine if the specific pathogen-free (SPF) indicator shrimp might take WSSV from infected water flow after treatment with UV light: specific pathogen-free *L. vannamei* shrimp, 2.5-g avg Wt, were acclimated to 25 UPS artificial seawater. Once acclimated, they were distributed in four pairs of tanks (20/tank). Each pair of tanks had one tank infected by *per os* and one exposed to water from the infected tank. Water flow from the *per os* infected tank was pumped to the non-infected tank and returned to the *per os* infected tank by gravity. Two pairs of tanks had UV light (G15T8) to irradiate the flow of water before passing it to the non-infected tank. The other two pairs of tanks (control group) had no UV light irradiation to the recirculating water. Moribund and dead shrimp were collected and frozen to determine if they were infected with WSSV by using PCR. After 12 days of shrimp in, the tanks exposed to water contaminated with WSSV and treated with UV did not have any mortality. The water contaminated with WSSV and not treated with UV resulted in significant numbers of WSSV-infected and dead shrimp. This study demonstrated that it is possible to eliminate the transmission of WSSV by treating the water with UV.

Palabras claves: WSSV, biosecurity, aquaculture, pathogens, Pacific shrimp.

Abstract

Las enfermedades bacterianas y virales son problemas comunes en la acuicultura. El uso de sistemas de flujo continuo suele suponer un riesgo de contaminación por la introducción de microorganismos patógenos, lo que da lugar a enfermedades que causan daños económicos al sector. El virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) provoca una enfermedad en los camarones responsable de pérdidas económicas considerables en muchos países. El presente estudio se llevó a cabo para determinar si el camarón indicador libre de patógenos específicos (SPF) podía contraer el WSSV del flujo de agua infectada tras el tratamiento con luz ultravioleta: camarones *L. vannamei* libres de patógenos específicos, con un peso medio de 2.5 g, se aclimataron a agua de mar artificial 25 UPS. Una vez aclimatados, se distribuyeron en cuatro pares de tanques (20 por tanque). Cada par de tanques tenía un tanque infectado por *per os* y otro expuesto al agua del tanque infectado. El flujo de agua del tanque infectado por *per os* se bombeaba al tanque no infectado y regresaba al tanque infectado por gravedad. Dos pares de tanques tenían luz ultravioleta (G15T8) para irradiar el flujo de agua antes de pasar al tanque no infectado. Los otros dos pares de tanques (grupo de control) no tenían irradiación de luz ultravioleta en el agua recirculada. Los camarones moribundos y muertos se recogieron y se congelaron para determinar si estaban infectados con WSSV mediante PCR. Después de 12 días con los camarones, los tanques expuestos al agua contaminada con WSSV y tratados con UV no presentaron ninguna mortalidad. El agua contaminada con WSSV y no tratada con UV dio lugar a un número significativo de camarones infectados con WSSV y muertos. Este estudio demostró que es posible eliminar la transmisión del WSSV tratando el agua con UV.

Keywords: WSSV, bioseguridad, acuicultura, patógenos, camarón del Pacífico

Introduction

The white spot syndrome virus (WSSV) is a lethal and highly contagious virus that affects penaeid shrimp aquaculture worldwide (Walker and Mohan, 2009). This enveloped virus belongs to the Nimaviridae family; it has a circular, supercoiled double-stranded DNA that comprises 305 kb and is the largest penaeid shrimp virus in size (130 x 350 nm) (OIE 2007; Lightner *et al.*, 2012). WSSV causes up to 100% cumulative mortalities within 3-10 days under farming conditions. It has been estimated that from 1992 to 2005, economic losses of US\$8 billion to several fresh and marine water species in Asia and America could be attributed to WSSV (Lightner, 1996; Walker and Mohan, 2009).

WSSV is a pathogen that is directly transmitted by cohabitation with living infected shrimp and from ingestion of an infected cadaver. It has been suggested by Soto and Lotz (2001) that WSSV is transmitted more effectively through ingestion of infected cadavers (*per os*) than through contact with infected hosts that are actively shedding viruses. Other authors confirmed that WSSV could also be effectively transmitted via contaminated water and infect the shrimp and many other crustaceans (Chou *et al.*, 1995; Kanchanaphum *et al.*, 1998; Supamattaya *et al.*, 1998).

Differences in susceptibility between species have been observed (Aguirre-Guzmán *et al.*, 2001; Tuyen *et al.*, 2014). Other authors demonstrated differences in susceptibility, depending on the size and physiological state of the organism (Pérez *et al.*, 2005; Walker and Mohan, 2009).

Some external factors can influence the susceptibility of shrimp to diseases; management practices like disinfection, the use of therapeutics, feed additives, algacides, pesticides, and fertilizers can be potential stressors and cause problems during shrimp production (Bainy 2000). However, physicochemical factors produced by the environment are more commonly involved in WSSV outbreaks (Nga *et al.*, 2005; Walker and Mohan, 2009). Water temperature is considered to be the most important of these factors since it has been demonstrated to have direct effects on all biological processes (Spanopoulos-Hernández *et al.*, 2005; Moser

et al., 2012). By increasing the water temperature (hyperthermia), it is possible to reduce the expression of WSSV and result in a decrease of viral replication (Jiravanichpaisal *et al.*, 2004; Jiravanichpaisal *et al.*, 2006; Rahman *et al.*, 2006; Reyes *et al.*, 2007; Esparza-Leal *et al.*, 2010). Previous studies demonstrated that increasing the temperature from 26 to 33 °C completely inhibited mortality of shrimp infected with WSSV (Vidal *et al.*, 2001) and that the WSSV replication was affected (Jiravanichpaisal *et al.*, 2006). Subsequent studies found that increasing temperature improves the immune response by producing an increased number of apoptotic cells and has a direct effect on WSSV by reducing the viral load (Granja *et al.*, 2003; Granja *et al.*, 2006). Reyes *et al.* (2007) demonstrated that the inhibited mortality effects of hyperthermia are due to decreased viral replication, rather than improving the immune response. Additional studies to elucidate the mechanisms of how temperature interferes with WSSV infection are needed to understand this host-virus relationship better.

Lightner *et al.* (1998) wrote that disease is the result of a complex interaction between the shrimp, its environment, and the pathogen itself (Lightner *et al.*, 1998). Salinity is a fundamental environmental factor in marine shrimp culture and is frequently found to be related to WSSV outbreaks (Tuyen *et al.*, 2014). Abrupt fluctuations in salinity are often provoked by rain and seem correlated with the increase of WSSV load within the shrimp populations (Peinado-Guevara and López-Meyer, 2006). Moreover, Bray *et al.* (1994) reported a relationship between salinity and infectious hypothermal and hematopoietic necrosis virus (IHHNV) in *L. vanammei*, in that changes in salinity can trigger disease outbreaks, as also described by Peinado-Guevara (2006) and Spanopoulos-Hernández *et al.* (2005). Bacterial infections are also correlated with mortality of shrimp because of WSSV infection (Mohan *et al.*, 2002; Selvin *et al.*, 2004), as primary infections or opportunistic infections in diseased shrimp (Lightner, 1996). The water quality affects the virulence of WSSV as described by Jiang *et al.* (2004), reporting that ammonia-N decreases the virulence of WSSV by reducing the immunocompetence in *Farfantepenaeus japonicus* without affecting the shrimp's appetite, contrasting the patterns

of the adverse effects of most of the other environmental parameters when they fluctuate in abnormal ways. The influence of environmental parameters, typically associated with disease outbreaks, needs to be investigated to understand their impact on the host's health and defense mechanisms, as well as on the virulence of WSSV.

The success of WSSV as a pathogen can be attributed to several factors: transmission mechanisms, including infected or mechanical carriers (Peng *et al.*, 1998; Walker and Mohan, 2009), and the different routes to infect the host that WSSV uses (Supamattaya *et al.*, 1998; Tuyen *et al.*, 2014). Experimental studies have demonstrated that WSSV can easily develop in shrimp culture conditions and successfully infect shrimp for long periods. However, the optimal conditions of the experimental challenges can be distant from what can really happen under farming conditions due to the complex biodiversity of organisms and organic matter that pond water has, and consequently, the influence on the mechanisms of infection. Moreover, the concentration of viral particles in a volume of water is usually greater; this raises more questions regarding how much the infection is altered by all these factors (Esparza-Leal *et al.*, 2014).

As mentioned before, there are two ways that WSSV can infect shrimp: by oral infection and waterborne routes. In experimental infections, both methods are employed, either by feeding on minced infected muscle tissue (sometimes introduced into the oral cavity using a catheter) or by inoculating the water with viral preparation (Esparza-Leal *et al.*, 2014). All the experimental shrimp must be exposed equally, at the same time, and with a uniform dosage (Gitterle *et al.*, 2006). In the present work, oral and waterborne exposure were used in a raceway-type system.

Ultraviolet irradiation is a standard disinfection method used to prevent diseases in aquaculture production systems (Bazyar-Lakeh *et al.*, 2013). There are numerous studies on pathogen inactivation by UV irradiation. Most of these studies are focused on wastewater treatment, drinking water, and human health concerns (Silva *et al.*, 2013; Calgua *et al.*, 2014; Poepping *et al.*, 2014). One

limitation of the application of UV to aquaculture disinfection is that UV irradiation cannot be applied to the cultured organisms directly. However, there are several methods widely used to inactivate fish pathogens from water and equipment successfully (Liltved *et al.*, 1995; Liltved and Landfald, 2000; Liltved *et al.*, 2006). Recent studies have demonstrated that WSSV is sensitive to UV light irradiation, making the UV disinfection method a feasible alternative to physical and chemical treatments that sometimes are time-consuming, ineffective, and develop by-products in water that result in toxic compounds (Chang *et al.*, 1998; Balasubramanian *et al.*, 2006; Oseko *et al.*, 2006).

Although WSSV can be inactivated in water by UV irradiation, some studies have shown tolerance when compared with other shrimp diseases (Momoyama, 1989; LeBlanc and Overstreet, 1991). The sensitivity of WSSV to UV light irradiation is dependent on the UV irradiation time and the dosage ($\mu\text{W s cm}^2$) (Balasubramanian *et al.*, 2006; Oseko *et al.*, 2006). Most of the experimental work with UV light and shrimp diseases has been conducted in vitro (petri dish) with direct UV irradiation using the collimated beam apparatus in a dynamic running water system type raceway. The objective of the present work was to determine if the Specific Pathogen Free indicator (SPF) shrimp may become infected with WSSV from infected water flow after treatment with UV light.

Material and methods

Description of the system

The research design for this experiment is a joint effort of the University of Tamaulipas and the University of Arizona. The study was conducted at the Environmental Research Laboratory of the University of Arizona, Tucson, AZ. The goal of this particular trial is to determine the efficacy of UV radiation to reduce the incidence of WSSV transmission in a recirculating aquaculture system. An Integrated Water Filter System (IWFS) was used in this experiment. This system consists of a UV light unit and a biofilter in a PVC pipe frame. For this experiment, only the UV light was used. The substrate and the activated carbon shown in figures

1 to 4 were omitted for this test. Figures 5 and 6 show the distribution of the experimental tanks, including the IWFS, heaters, pumps, and biofilters to keep the water quality within predetermined conditions. The test shrimp were distributed in the tanks (20 shrimp in each tank). Each IWFS (4 in total) was set to treat waterborne and *per os* infected shrimp tanks, (three tanks in total in a line as a raceway system) a pump, heater and biofilter (Fig. 5). The water flow was pumped from the lower tanks (Row 3) to the IWFS unit situated above the upper tanks (Row 1) for each treatment system. Row 3 was exclusively for the pumps, heaters, and biofilters and contained no shrimp (Fig. 6). The system was designed to pump water to the IWFS unit, which would then flow by gravity to Row 1 and then Row 2 and back to Row 3 to recirculate.

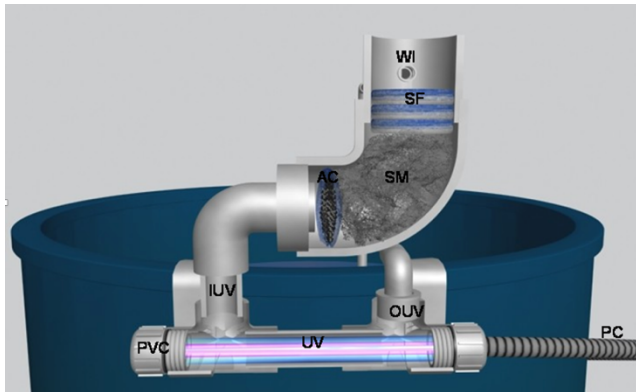


Figure 1. Frontal view of the ultraviolet light system with biofilter for aquaculture tanks. Unit water inlet (WI), Synthetic fiber substrate (SF), Synthetic Mesh substrate (SM), Activated carbon (AC), Water inlet to the ultraviolet bulb (IUV), Ultraviolet bulb enclosed by a PVC pipe (UV), Water outlet from the ultraviolet bulb (OUV), Power cord protected by aluminum conduit (PC).

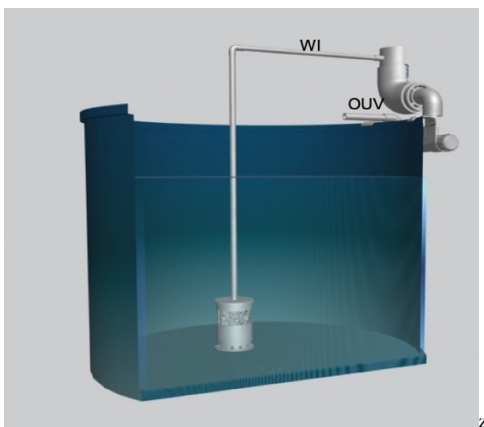


Figure 2. Horizontal view of the ultraviolet light system with biofilter for aquaculture. In this view, the unit water inlet (WI) and the water outlet from the ultraviolet bulb (OUV) are observed. The water after exposure to the ultraviolet irradiation is returned to the tank.

González-Alanís P, *et al.* (2025) Control of horizontal transmission of white spot syndrome virus in *L. vannamei* by ultraviolet light. Tropical Aquaculture 3 (1): e5750. DOI 10.19136/ta.a3n1.5750

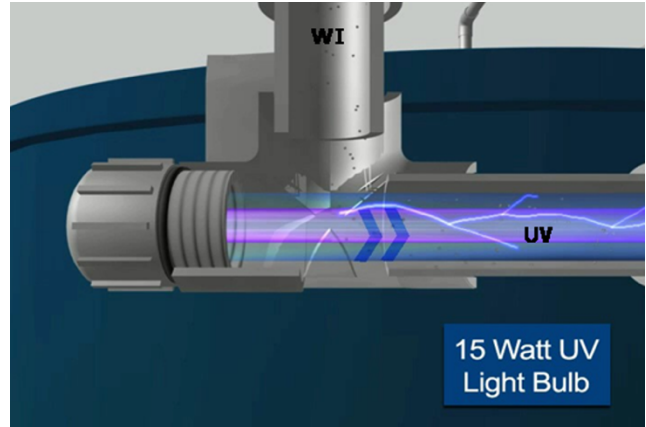


Figure 3. Frontal view of the 15-watt ultraviolet light bulb. Double arrowheads indicate the route of the water exposed to ultraviolet irradiation from the unit water inlet (WI) along the ultraviolet bulb (UV).

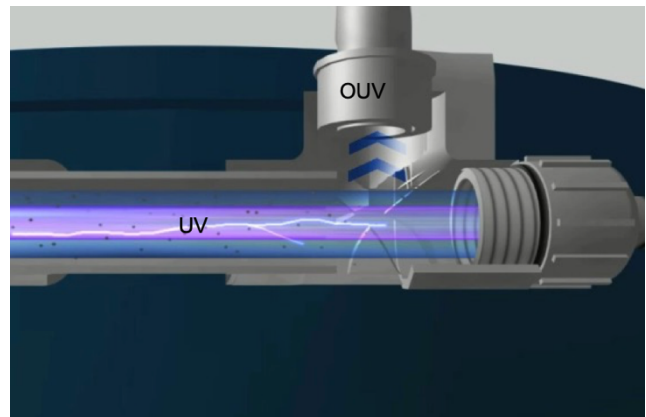


Figure 4. Frontal view of the 15-watt ultraviolet light bulb. Double arrowheads indicate the route of the water after exposure to the ultraviolet irradiation. The water, after exposure to ultraviolet irradiation, is returned to the tank through the OUV.

As shown in Figure 5, systems A and B were irradiated with UV light, and systems C and D were not. Shrimp in Row 2 were infected with WSSV by oral route (*per os*), feeding minced infected tissue at a rate of 10% of the biomass (White *et al.*, 2002). Moribund and dead shrimp were collected and frozen for analysis to determine if they were infected with WSSV.

Test shrimp

A total of 160 SPF juvenile shrimp *L. vannamei* (2.5 g mean body weight) were used in this trial. Commercial hatcheries provided shrimp, and they were randomly distributed among the tanks. Shrimp were acclimated to

a salinity of 25 ppt and 27 °C and fed twice a day with one pellet/shrimp. Each tank had individual nets and hoses for handling the moribund and dead shrimp. Each tank was stocked with 20 shrimp. Dead and moribund animals were collected and analyzed for WSSV by PCR and fixed for histopathology (Chou *et al.*, 1998).

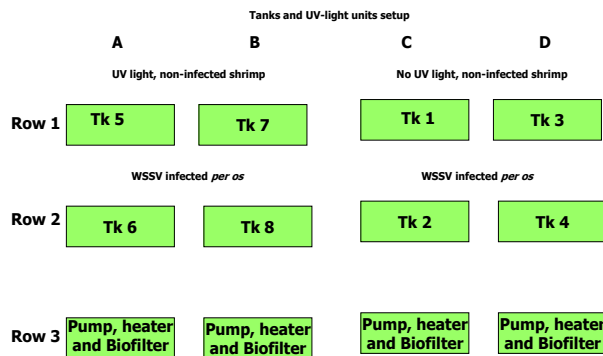


Figure 5. Water is pumped from the lower tanks (Row 3) to the upper tanks (Row 1). The water flow in Row 1 is irradiated with UV light (columns A and B) and non-irradiated with UV light (columns C and D). Water from Row 1 (tanks 5, 7, 1, and 3) overflows to tanks in Row 2 (tanks 6, 8, 2, and 4) and then to Row 3. Row 3 was not stocked with shrimp. The shrimp in Row 2 were infected with WSSV *via oral administration*. Tanks in Rows 1 and 2 were stocked with 20 shrimp each.

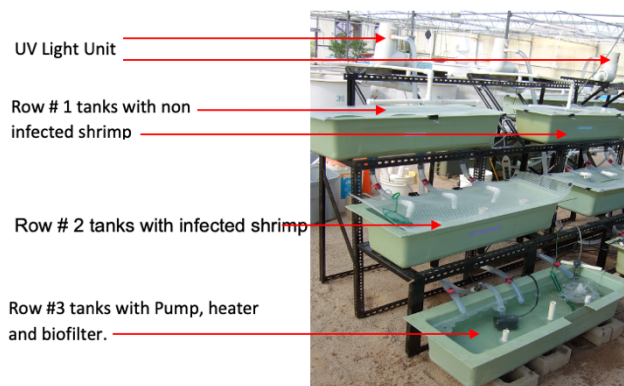


Figure 6. The water is pumped from the lower tanks (Row 3) to the UV light unit after treatment. Water overflows from the first tanks (Row 1), where the non-infected shrimp are located, and flows to Row 2, which contains the WSSV-infected shrimp.

Preparation of the tanks and UV light system

Each tank contained 60 L of 25 UPS artificial seawater. The water from the infected group of shrimp tanks (Row 2) was pumped and treated with UV light in the non-infected tanks (Row 1). A fine mesh (60 µm) screen was used to ensure that only water was pumped to the non-

infected tanks and infected tissue was excluded. For the irradiated tanks, two UV lamps (two units) were set in the recirculation line. Each lamp, 15 W, 254 nm wavelength, was previously measured with a research radiometer (International Light IL 1700, Newburyport, MA 01950) to ensure that all the lamps were in the same radiation condition. To maintain good water quality, a separate biofilter with crushed oyster shell and activated charcoal was set in each system in Row 3.

Preparation of infected tissue and induced infection

Shrimp were starved before being fed infected tissue to ensure consumption of the infected tissue and a proper infection in the consuming shrimp. Frozen WSSV-infected shrimp were prepared by removing and discarding eyestalks, carapace, and telson. Minced tissue at 2-5 mm in size was homogenized, weighed, and stored in whirl-pack bags (1, 5, and 10 grams/bag) and frozen at -70 °C. Infected tissue with WSSV was fed once to shrimp (10 % of each tank biomass). After exposure, the shrimp were kept under observation. Mortalities were recorded daily. All tanks, nets, and materials used to handle the shrimp were disinfected with chlorine, rinsed with tap water, and left to air dry.

System treatments and tanks distribution

As mentioned in table 1;

Treatment 1 (WBIUV), water borne infected and treated UV (tanks #5 and #7)

Treatment 2 (WBInotUV), water borne infected and no treated with UV (tanks #1 and #3)

Treatment 3 (WBI+POUV), water borne infected and *per os* infected and treated with UV (tanks #6 and #8)

Treatment 4 (WBI+POnotUV), water borne infected and *per os* infected and no treated with UV (tanks #2 and #4)

Data analysis

To evaluate the effects of UV irradiation on recirculation water and the virulence of WSSV for each treatment, a Survival Analysis Test was used (Kaplan and Meier, 1958). An event was defined as “time to individual mortality, with time measured in Days”. Censored

observations were survivors after all 16 days, the time that the trial ended. The number of individuals at risk remained constant at the beginning of the trials (40) and decreased as mortality occurred.

The Kaplan-Meier estimator was used to calculate and plot the survivor function of each treatment. The survival time was denoted as *d* (days) and defined as the day of each mortality or 16 in the case of survivors (censored observations). The Hazard function plot was used to depict each survival curve and compare the survival time among the groups.

The Gehan-Wilcoxon Test was used to compare the survivor curves. Differences were considered significant if the resultant *P* value was ≤ 0.05 . All survival analyses were conducted with the analytical software package STATISTIX® 8 (Statistix 8, Analytical Software, Tallahassee, FL)

Results

Overall effects

Significant differences between all the treatments were observed when recirculation water was irradiated with UV light compared to shrimp in systems without UV irradiation. Treatment 1 (WBIUV) (resulted in 100% survival at the end of the 16-day trial (Table 1). However, for the other three treatments (2 (WBInotUV), 3 (WBI+POUV), and 4 (WBI+POnotUV)), over 70% of the experimental shrimp developed characteristic symptoms of infection by WSSV, and survival was less than 30% (Table 1).

The different survival values for each of the treatments are shown in Tables 3 through 6. Survival values were: Treatment 2 = 25%, Treatment 3 = 30% and Treatment 4 = 2.4%. Although similar survival values were observed between treatments 2 and 3, they were, nevertheless, statistically significantly different (Table 2).

Differences between treatments were analyzed using Multi-Sample Survival Tests; Treatment 1 was excluded from these statistical tests as there were no mortalities. Table 2 shows the compared survival distributions for Treatments 2, 3, and 4. The calculated *p*-values were

less than 0.05 for each of the three tests (Gehan-Wilcoxon, Log-rank, and Peto-Wilcoxon), indicating significant differences between each of the three treatments.

Table 1. Distribution of treatments (Tx) and tanks (Tk) included in each treatment. The two methods of infection are indicated: waterborne (WB) and *per os*. Percent of survival (St) at 16 days after infection. Treatment (Tx), Tank (Tk).

Tx	Tk	Methods of infection	UV Irradiated	St (%)
1	5, 7	WB	Yes	100
2	1, 3	WB	No	25
3	6, 8	WB + <i>per os</i>	Yes	30
4	2, 4	WB + <i>per os</i>	No	2.4

Table 2. Multi-Sample Survival Tests. Summary of the compared survival distributions. The *p*-values for all three tests are smaller than 0.05 and indicate highly significant differences among the three treatments. The Tx 1 was excluded from this statistical comparison as there were no mortalities.

Gehan-Wilcoxon				Logrank		Peto-Wilcoxon	
Tx	N	Sum	Mean	Sum	Mean	Sum	Mean
2	40	1010.00	25.250	-9.4503	-0.2363	-8.1488	-0.2037
3	40	412.00	10.300	-7.2240	-0.1806	-3.7355	0.0934
4	41	-1422.00	-34.683	16.6740	0.4067	11.8840	0.2899
Chi-Square			16.26	14.55		16.34	
DF			2	2		2	
<i>p</i>			0.0003	0.0007		0.0003	

The onset of mortalities for treatments 2, 3, and 4 was days 5, 4, and 4, respectively, and the total number of dead shrimps on those days was 2, 1, and 6 (Table 8). This is a similar pattern when compared with the survival values, where the treatments resulted in the same numeric order (Tables 6 and 5). After the onset, mortalities were recorded daily until the end of the trial at day 16 and were statistically compared using the Kaplan-Meier Survivorship Percentiles. The survivorship was compared when each treatment reached 50% mortality (50% median survival time). We found that treatment 2 (0% of its population) survived longer compared with the 50% of tanks 6, 8, 2, and 4 (Table 7). The 50% median survival time indicates the

survivorship pattern at the midpoint between the onset and the total mortality at the end of the trial at day 16.

Table 3. Treatment 1. Kaplan-Meier Product-Limit Survival Distribution. Summary of the survivorship presented for the UV-irradiated and waterborne-infected treatment. The values in the last four columns of the table were marked as NA and excluded from the statistical comparison because there were no mortalities. Percent survival St(%), Standard Error (SE), Hazard Function (H(t)).

Day	Died	Censored	At Risk	Lower 95% C.I.	St (%)	Upper 95% C.I.	SE St	H (t)
16	0	40	40	NA	100	NA	NA	NA

Table 4. Treatment 2. Kaplan-Meier Product-Limit Survival Distribution. Summary of the survivorship presented for the waterborne-exposed treatment without UV. Percent survival St(%), Standard Error (SE), Hazard Function (H(t)).

Day	Died	Censored	At Risk	Lower 95% C.I.	St (%)	Upper 95% C.I.	SE St	H (t)
5	2	0	40	83.9	95	98.5	0.0345	0.0513
7	3	0	38	74.5	87.5	94.3	0.0523	0.1335
8	2	0	35	68.5	82.5	91.0	0.0601	0.1924
9	5	0	33	55.8	70.0	81.1	0.0725	0.3567
10	5	0	28	43.5	57.5	70.3	0.0782	0.5534
11	1	0	23	40.1	55.0	69.0	0.0787	0.5978
12	4	0	22	31.9	45.0	58.8	0.0787	0.7985
13	3	0	18	25.2	37.5	51.6	0.0765	0.9808
14	4	0	15	17.4	27.5	40.5	0.0706	1.2910
15	1	0	11	14.5	25.0	39.4	0.0685	1.3863
16	0	10	10	-	-	-	-	-

Table 5. Treatment 3. Kaplan-Meier Product-Limit Survival Distribution. Summary of the survivorship presented for the UV-treated, waterborne, and per os exposure treatment. Percent survival St(%), Standard Error (SE), Hazard Function (H(t)).

Day	Died	Censored	At Risk	Lower 95% C.I.	St %	Upper 95% C.I.	SE St	H (t)
7	1	0	40	87.3	97.0	99.5	0.0247	0.0253
5	2	0	39	80.5	92.5	97.3	0.0416	0.0780
6	2	0	37	74.3	87.5	94.4	0.0523	0.1335
7	5	0	35	61.0	75.0	85.1	0.0685	0.2877
8	5	0	30	48.3	62.5	74.7	0.0765	0.4700
9	4	0	25	38.6	52.5	65.9	0.0790	0.6444
10	2	0	21	33.5	47.5	61.8	0.0790	0.7444
11	2	0	19	29.1	42.5	57.0	0.0782	0.8557
12	2	0	17	24.9	37.5	52.0	0.0765	0.9808
15	3	0	15	19.1	30.0	43.7	0.0725	1.2040
16	0	12	12	-	-	-	-	-

Survivor curves

The Kaplan-Meier survivor curves are designed for censored data (Cox, 1984; Hine *et al.*, 2002) and were plotted for the four treatments (Figure 8), where the highest percentage survival value was tanks 5 and 7 = 100% followed by tanks 6, 8, 1, 3, 2, and 4 (Table 1). The risk of death at a point in time is depicted using the Hazard Function Plot, which indicates that the highest risk was at day 15 in tanks 2, 4, 1, 3, 6, and 8. These values correspond with the values from the Product-Limit Survival distribution, with the maximum value four and the minimum zero.

Kaplan-Meier Survivorship

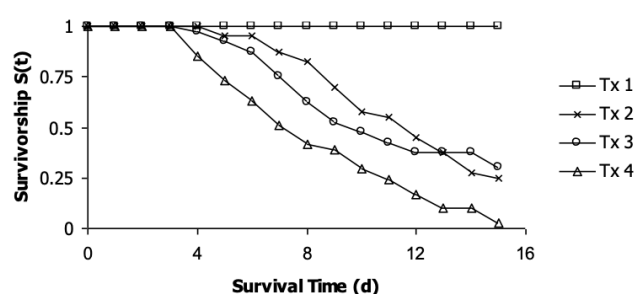


Figure 7. Kaplan-Meier survivor curves for *Litopenaeus vannamei* exposed to WSSV. Tx 1 = UV exposed and infected via WB, Tx 2 = non-exposed to UV and infected via WB, Tx 3 = UV exposed and infected via WB and per os, Tx 4 = non-exposed to UV and infected via WB and per os. Tx (treatment), WB (waterborne), per os (via oral by infected tissue), d (days).

Hazard Function Plot

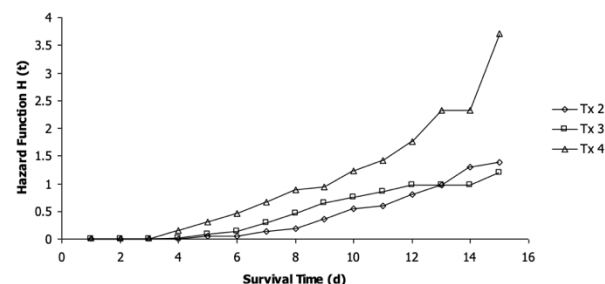


Figure 8. Kaplan-Meier hazard function curves for *Litopenaeus vannamei* exposed to WSSV. Tx 2 = no exposed to UV and infected via WB, Tx 3 = UV exposed and infected via WB and per os, Tx 4 = not exposed to UV and infected via WB and per os. Tx (treatment), WB (waterborne), per os (via oral by infected tissue), d (days). Tx 1 is omitted from this plot because no hazard function could be calculated.

Methods of exposure

Waterborne. In tanks 5 and 7, the shrimp were exposed to waterborne and treated with ultraviolet irradiation (UV irradiated), resulting in 100% survival (Tables 1, 3, and 8). Tanks 5 and 7 were distinct from tanks 1, 3, 6, 8, 2, and 4 and excluded from the statistical comparison as there were no mortalities. Tanks 5 and 7 were considered the most successful treatments regarding survivorship. Tanks 1 and 3 were also WB-infected but were not UV irradiated. The lack of UV irradiation adversely affected this treatment and resulted in mortalities. The percent survival for tanks 1 and 3 was 25%, and the Hazard function was 1.38. Tanks 6 and 8, with waterborne and *per os* exposure to WSSV and UV irradiation, resulted in higher survival (30%) and lower hazard probability (1.20) at the end of the trial. This indicates that tanks 6 and 8 had a more successful treatment outcome than tanks 1 and 3 in terms of survival and hazard over time (Table 8). Tanks 1 and 3 onset started one day after tanks 6, 8, 2, and 4, suggesting that the infection was manifest earlier in tanks 6, 8, 2, and 4. The 50% median survivor time was also better for tanks 1 and 3 compared with tanks 6, 8, 2, and 4 at 12 days, contrasted with 10 days and 7.5 for tanks 6 and 8, 2 and 4, respectively. It can be inferred that the effect of the UV irradiation on the waterborne infection method was the factor that caused the difference between these treatments.

Waterborne + *Per os*. Tanks 6 and 8, 2 and 4 were fed WSSV-infected tissue and at the same time received the WSSV-contaminated flow, so they were exposed to both methods of infection at the same time (Table 1). The onset observed for tanks 6 and 8, 2 and 4, was the same at day 4. This suggests that the contact and cohabitation with the infection started at the same time as those tanks. Tanks 6 and 8, as well as 2 and 4, had the same infection methods but different water sources. Water received from the UV-irradiated treatment (tanks 5 and 7) had different effects than the water received from the non-UV-irradiated treatment (tanks 1 and 3). Tanks 6 and 8 received flow from tanks 5 and 7, resulting in higher survival (St) compared to tanks 2 and 4, which received flow from tanks 1 and 3 (30% and 2.4%, respectively). Moreover, the onset mortalities were 1 for tanks 6 and

8, and 6 for tanks 2 and 4. The Median Survivor Time was also higher at day 10 for tanks 6 and 8. And the Hazard Function at day 7 for tanks 2 and 4. The method of infection, WB + *Per os*, had a negative impact on tanks 6 and 8, as well as tanks 2 and 4, in a shorter period than WB alone. However, the UV-irradiated water flow increased survivorship in tanks 6 and 8 compared with the non-irradiated water flow coming into tanks 2 and 4.

Table 6. Treatment 4. Kaplan-Meier Product-Limit Survival Distribution. Summary of the survivorship presented for the WB and *per os* exposed treatment without UV. Percent survival St(%), Standard Error (SE), Hazard Function (H(t)).

Day	Died	Censored	At Risk	Lower 95% C.I.	St(%)	Upper 95% C.I.	SE St	H (t)
4	6	0	40	72.7	85.3	92.7	0.0552	0.1582
5	5	0	35	59.2	73.1	83.6	0.0692	0.3124
6	4	0	30	49.1	63.4	75.6	0.0752	0.4555
7	5	0	26	37.8	51.2	64.3	0.0781	0.6690
8	4	0	21	28.9	41.4	55.1	0.0769	0.8804
9	1	0	17	26.0	39.0	53.8	0.0762	0.9410
10	4	0	16	18.8	29.2	42.3	0.0711	1.2287
11	2	0	12	14.5	24.3	37.9	0.0671	1.4110
12	3	0	10	09.5	17.0	28.6	0.0588	1.7677
13	3	0	7	04.8	09.7	18.8	0.0463	2.3273
15	3	0	4	00.9	02.4	06.1	0.0241	3.7136
16	0	1	1	-	-	-	-	-

Discussion

WSSV causes a highly contagious, lethal disease characterized by massive mortalities during the first 10 days post-infection (Lightner, 1996; Lightner *et al.*, 1998). Throughout the present study, the characteristics observed for the disease were similar to those previously described, as massive mortalities were observed from day 3 to day 15 post-infection, confirming that the protocol followed for infection is well standardized and proper for this study. Given the suggestion that both temperature and salinity have direct effects on WSSV infection, we sought a uniform infection with constant mortalities across all tanks, which were monitored and controlled to ensure a proper infection for this experimental transmission.

Table 7. Kaplan-Meier Survivorship Percentiles. Summary of the survival time for treatments 2, 3, and 4. The Tx 1 was excluded from this statistical comparison as there were no mortalities. The highest 50% Median Survival time is Tx 2 (12 days), then Tx 3 (8 days), and the lowest is Tx 4 (7.5 days).

Treatment	Percentile	Lower 95% C.I.	Time	Upper 95% C.I.
2	90	5.000	7.000	9.000
2	75	7.000	9.000	10.000
2	50	10.000	12.000	14.000
2	25	13.000	15.000	NA
2	10	NA	NA	NA
3	90	4.000	6.000	7.000
3	75	6.000	7.000	9.000
3	50	8.000	10.000	15.000
3	25	NA	NA	NA
3	10	NA	NA	NA
4	90	4.000	4.000	5.000
4	75	4.000	5.000	7.000
4	50	6.000	7.500	10.000
4	25	10.000	11.000	13.000
4	10	12.000	13.000	NA

Table 8. Summary of the survival results for treatments 1, 2, 3, and 4. The four treatment results are compared using the Product-Limit Survival distribution for Percent survival, Onset, and Hazard function. To calculate the Median survival time, the test Survivorship Percentiles were utilized. Note that Tx 1 had St = 100% and was not applicable (NA) for the other measures. The mortality for Tx 2 started later and reached the 50% Median survival time later than Tx 3 and Tx 4. In contrast, Tx 3 resulted in higher St and lower H (t) compared with Tx 2 and Tx 4. In all measures, Tx 4 had the weakest results. Treatment (Tx), Percent survival St (%), Hazard Function (H(t)).

Treatment	Percent survival	Onset	50%Median survival time	Hazard function
Tx	St (%)	Day	Day	Day
1	100	NA	NA	NA
2	25	5	12	15
3	30	4	10	15
4	2.4	4	7.5	15

The mortality of WSSV-infected shrimp can be reduced by increasing the water temperature to approximately 32 °C (Vidal *et al.*, 2001). This is described as a result of the reduction of the virus expression and replication (Jiravanichpaisal *et al.*, 2004/9; Rahman *et al.*, 2006; Jiravanichpaisal *et al.*, 2006; Reyes *et al.*, 2007) or the enhanced immune response as a consequence of an increased number of apoptotic cells that reduces the viral load (Granja *et al.*, 2003; Granja *et al.*, 2006). To avoid the reduction of infection from increased temperature, the experiment was conducted during a temperate

climate season in March, when the ambient temperatures are low and the water temperature can be easily controlled indoors with immersed heaters.

Salinity was monitored using a refractometer and controlled by replenishing evaporated water, avoiding the salinity fluctuations that have been suggested to increase WSSV load in a shrimp population (Peinado-Guevara and López-Meyer, 2006). In contrast to salinity, the ammonia-N decreases the virulence of WSSV (Jiang *et al.*, 2004). Ammonia-N was controlled by means of a biofilter system using crushed oyster shell as substrate. In the present study, the potential effects of environmental parameters, such as temperature, salinity, and ammonia, were mechanically controlled to safe levels, and none of these parameters interfered with the susceptibility of the tested shrimp or the pathogenesis of the WSSV disease.

Cohabitation with living infected shrimp and ingestion of infected cadaver tissue (*per os*) are the successful means of transmission of WSSV (Supamattaya *et al.*, 1998; Soto and Lotz, 2001). Transmission of WSSV via water (waterborne) has been confirmed with shrimp and many other crustaceans as well (Kanchanaphum *et al.*, 1998).

Differences between these two methods of infection were observed in the present study. It was evident in this experiment that the dosage can be better controlled using the *per os* method than the waterborne infection method, as other authors previously described (Gitterle *et al.*, 2006). By using *per os*, it can be guaranteed that all the treatments (tanks) are fed with the same amount of infected minced tissue. However, this does not guarantee that all individuals in each tank will consume the same amount of tissue, as it may depend on differences in size and feeding patterns between individual shrimp.

In the present study, the *per os* treatment replicates were observed to have a similar onset of white spot disease between them. The onset for both treatments started at day 4 and was constant throughout day 6, when the non-UV-treated tanks increased the shrimp mortality. This suggests that the UV light was the factor that caused the

difference between them and not the method of infection.

Using the waterborne infection method, it is unclear whether all shrimp will receive the same amount of virus at the same time in the tank. These gaps in the method leave room to question whether the method could establish a WSSV infection homogeneously distributed between the experimental populations (Gitterle *et al.*, 2006). A proportion of waterborne infected shrimp (non-UV light irradiated) resulted in cumulative mortalities of 70%. This suggests that waterborne infection is possible and represents a potential hazard for shrimp culture, as previously suggested by several authors (Kanchanaphum *et al.*, 1998; Supamattaya *et al.*, 1998).

Disregarding the method used in this experiment, we conclude that a complete WSSV infection was achieved as needed to test the effect of UV light irradiation on WSSV-contaminated water. The results were confirmed by a routine diagnosis using polymerase chain reaction (PCR) for white spot syndrome virus. The system was designed to maintain water recirculation and a constant flow from Row 1 to Row 2 and then to Row 3 (Figure 5), ensuring Row 1 remained exposed to WSSV waterborne and Row 2 to *per os*. Since infected shrimp were actively shedding virus in the water system, we can assume that Row 2 was exposed to both *per os* and waterborne effects due to the recirculation. However, as mentioned before, Row 2 (*per os* + waterborne) resulted in the lowest survival compared with Row 1 (only waterborne), which was also treated with ultraviolet irradiation. In summary, the shrimp infected by *per os* + waterborne had the lowest survival (30% and 2.4%), followed by those infected only with waterborne (25%), and the highest survival (100%) was observed in those exposed to waterborne and treated with ultraviolet irradiation.

The use of ultraviolet irradiation has been increasing in aquaculture activities. Potential uses against different aquatic diseases have been described to elucidate the time of exposure to ultraviolet irradiation, the dose, and wavelength (LeBlanc and Overstreet, 1991; Liltved *et al.*, 1995; Chang *et al.*, 1998; Liltved and Landfald 2000/2,

Liltved *et al.*, 2006; Balasubramanian *et al.*, 2006). However, these studies have been carried out in still water using Petri dishes and a collimated beam apparatus (Qualls and Johnson, 1983), which protocol can provide specific information on the inactivation rate of the pathogen and reduction in viability at specific doses. Using this protocol (Qualls and Johnson, 1983) for aquatic diseases research can result in misleading information from the point of view of functioning systems, since all the ultraviolet systems are applied to running water. The information generated in this study provides clear insights into the inactivation of WSSV in running water.

Previous studies (Chang *et al.*, 1998) have shown that WSSV can be inactivated entirely after 60 minutes of UV irradiation using a 15 W, 254 nm wavelength UV lamp in flat dishes and static water. The results of the present study show that WSSV had no lethal effects on test shrimp when the recirculation water was irradiated with UV light. In contrast to Chang *et al.* (1998), the present experiment utilized a recirculation system that exposed running water to UV irradiation, resulting in a lower UV dose to the pathogens. The UV dose has been defined as the product of the average intensity across the Petri dish and the exposure time (Liltved *et al.*, 2006). In the present experiment, the exposure time was defined as the duration during which water was exposed to the ultraviolet bulb enclosed by the PVC pipe (Figure 1). Apparently, the dose calculated for this study was 25 mW/cm² sec and seems to be sufficient to inactivate the virus, attenuate its effects, and increase the survivorship of the test shrimp to 100%.

Significant differences between the treatments were observed after using UV light. The combination of waterborne and *per os* methods used in treatments 3 and 4 (Row 2) was considered the most efficient for inducing infection in this experiment. In contrast, the use of ultraviolet between treatments resulted in a considerable difference in survivorship. Treatment 4, which was not irradiated with UV light, resulted in 2.4% survival. This treatment was exposed to the maximum WSSV viral load, as it was fed with infected minced tissue and also exposed to recirculation waterborne infected water. Treatment 3 had the same exposure to infection as

treatment four but was treated with UV light irradiation and resulted in higher survival (30%). Moreover, treatment three also resulted in better survival than treatment 2. Treatment 2 was exposed only to waterborne infection corresponding to a minor WSSV viral load without UV. This supports the notion that UV light was the difference between treatments, even when treatment three was infected by the *per os* method.

Treatments 1 and 3 resulted in the highest survival percentages, presumably due to the ultraviolet irradiation, regardless of whether shrimp were exposed to WSSV by waterborne or *per os* + waterborne. Hence, the dose used in this study appears to be sufficient to reduce the lethal effects of WSSV on shrimp. Further studies on ultraviolet irradiation on waterborne WSSV-contaminated flow are necessary to elucidate, in a dynamic system, the dose required to inactivate WSSV successfully. It would be beneficial to establish a standardized method for validating the WSSV concentration required for a uniform infection, ensuring all tested shrimp receive the same viral challenge. Based on our results, ultraviolet irradiation appears to be a feasible alternative for controlling WSSV in water flows by interfering with virus replication and reducing viral load, thereby minimizing the opportunity for shrimp infection.

Conclusion

Controlling WSSV in water flows is possible through ultraviolet irradiation, which hinders viral replication and decreases concentration. This reduces the likelihood of shrimp infection. The findings of the present study form the basis for future studies on ultraviolet irradiation of water flows contaminated with WSSV. However, it would be beneficial to establish a standardized method for validating the WSSV concentration required for uniform infection to guarantee that all tested shrimp receive the same viral challenge.

Literature cited

Aguirre-Guzmán G, Vázquez-Juárez R, Ascencio F (2001) Differences in the Susceptibility of American White Shrimp Larval Substages (*Litopenaeus vannamei*)

to Four *Vibrio* Species. Journal Invertebrate Pathology 78: 215-219.

Dias-Bainy, A. C. (2000). Biochemical responses in penaeids caused by contaminants. Aquaculture 191: 163-168.

Balasubramanian G, Sudhakaran R, Syed Musthaq S, Sarathi M, Sahul Hameed AS (2006) Studies on the inactivation of white spot syndrome virus of shrimp by physical and chemical treatments, and seaweed extracts tested in marine and freshwater animal models. The Journal of Fish Disease 29: 569-572.

Bazyar-Lakeh AA, Kloas W, Jung R, Ariav RA, Knopf K (2013) Low frequency ultrasound and UV-C for elimination of pathogens in recirculating aquaculture systems. Ultrasonics sonochemistry 20(5): 1211-1216.

Bray WA, Lawrence A, Leung-Trujillo JR (1994) The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. Aquaculture 122: 133-146.

Calgua B, Carratalà A, Guerrero-Latorre L, de Abreu Corrêa A, Kohn T, Sommer R, Girones R (2014) UVC inactivation of dsDNA and ssRNA viruses in water: UV fluences and a qPCR-based approach to evaluate decay on viral infectivity. Food and environmental virology 6(4): 260-268.

Chang P, Chen L, Wang Y (1998) The effect of ultraviolet irradiation, heat, pH, ozone, salinity and chemical disinfectants on the infectivity of white spot syndrome baculovirus. Aquaculture 166: 1-17.

Chou HY, Huang CY, Wang CH, Chiang HC, Lo CF (1995) Pathogenicity of a baculovirus infection causing white spot syndrome in cultured penaeid shrimp in Taiwan. Diseases of Aquatic Organisms 23: 165-173.

Chou HY, Huang CY, Lo CF, Kou GH (1998) Studies on transmission of white spot syndrome associated baculovirus (WSBV) in *Penaeus monodon* and *P. japonicus* via waterborne contact and oral ingestion. Aquaculture 164: 263-276.

Esparza-Leal HM, Magallón-Barajas FJ, Portillo-Clark G, Perez-Enriquez R, Álvarez-Ruiz, et al. (2010) Infection of WSSV-negative Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Cultivated under Fluctuating Temperature

- Conditions. Journal of the World Aquaculture Society 41(6): 912-922.
- Gitterle T, Gjerde B, Cock J, Salazar M, Rye M, et al. (2006) Optimization of experimental infection protocols for the estimation of genetic parameters of resistance to White Spot Syndrome Virus (WSSV) in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. Aquaculture 261: 501-509.
- Granja CB, Vidal OM, Parra G, Salazar M (2006) Hyperthermia reduces viral load of white spot syndrome virus in *Penaeus vannamei*. Disease Aquatic Organisms 68: 175-180.
- Granja CB, Aranguren LF, Vidal OM, Aragon L, Salazar M (2003) Does hyperthermia increase apoptosis in white spot syndrome virus (WSSV)-infected *Litopenaeus vannamei*?. Fish Shellfish Immunology 54: 73-78.
- Jiang G, Yu R, Zhou M (2004) Modulatory effects of ammonia-N on the immune system of *Penaeus japonicus* to virulence of white spot syndrome virus. Aquaculture 241(1): 61-75.
- Jiravanichpaisal P, Soderhall K, Soderhall I (2006) Characterization of white spot syndrome virus replication in in vitro-cultured haematopoietic stem cells of freshwater crayfish, *Pacifastacus leniusculus*. Journal of General Virology 87: 847-854.
- Jiravanichpaisal P, Söderhäll K, Söderhäll I (2004) Effect of water temperature on the immune response and infectivity pattern of white spot syndrome virus (WSSV) in freshwater crayfish. Fish Shellfish Immunology 17: 265-275.
- Kanchanaphum P, Wongteerasupaya C, Sitidilokratana N, Boonsaeng V, Panyim S, et al. (1998) Experimental transmission of White Spot Syndrome Virus (WSSV) from crabs to shrimp *Penaeus monodon*. Diseases of Aquatic Organisms 11;34(1):1-7. doi: 10.3354/dao034001.
- Kaplan EL, Meier P (1958) Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. Journal of the American Statistical Association. 53: 457-481. <https://doi.org/10.2307/2281868>.
- LeBlanc B, Overstreet R (1991) Effect of dedication, pH, heat, and ultraviolet irradiation on viability of *Baculovirus penaei*. Journal Invertebrate Pathology 57: 277-286.
- Lightner DV (1996) A handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures for diseases of cultured penaeid shrimp. World Aquaculture Society Baton Rouge, LA.
- Lightner DV, Hasson KW, White BL, Redman RM (1998) Experimental Infection of Western Hemisphere Penaeid Shrimp with Asian White Spot Syndrome Virus and Asian Yellow Head Virus. Journal Aquatic Animal Health 10: 271-281.
- Lightner DV, Redman RM, Pantoja CR, Tang KFJ, Noble BL, Schofield P, Navarro SA (2012). Historic emergence, impact and status of shrimp pathogens in the Americas. Journal of Invertebrate Pathology 110(2): 174-183.
- Lilved H, Landfald B (2000) Effects of high intensity light on ultraviolet-irradiated and non-irradiated fish pathogenic bacteria. Water Research 34: 481-486.
- Lilved H, Vogelsang C, Modahl I, Dannevig BH (2006) High resistance of fish pathogenic viruses to UV irradiation and ozonated seawater. Aquaculture Engineering 34: 72-82.
- Lilved H, Hektoen H, Efraimsen H (1995) Inactivation of bacterial and viral fish pathogens by ozonation or UV irradiation in water of different salinity. Aquaculture Engineering 14: 107-122.
- Mohan CV, Corsin F, Thakur PC, Padiyar PA, Madhusudan M, Turnbull JF et al. (2002) Usefulness of dead shrimp specimens in studying the epidemiology of white spot syndrome virus (WSSV) and chronic bacterial infection. Diseases of Aquatic Organisms 50(1):1-8. doi: 10.3354/dao050001.
- Momoyama K (1989) Inactivation of baculoviral midgut gland necrosis (BMN) virus by ultraviolet irradiation, sunlight exposure, heating and drying. Fish Pathology 24 (2): 115-118.
- Moser JR, Álvarez DAG, Cano FM, Garcia TE, Molina DEC, et al. (2012) Water temperature influences viral load and detection of white spot syndrome virus (WSSV) in *Litopenaeus vannamei* and wild crustaceans. Aquaculture, 326, 9-14.
- Nga BT, Lüring M, Peeters ETHM, Roijackers R, Scheffer M, Nghia TT (2005) Chemical and physical effects of crowding on growth and survival of *Penaeus monodon* Fabricius post-larvae. Aquaculture 246: 455-465.

- OIE (2007) Diseases of crustaceans-chapter 2.3. In the Aquatic Animal Health Code. Office International des Épidémiologies. Paris.
- Oseko N, Chuah TT, Maeno Y, Kua BC, Palanisamy V (2006) Examination for viral Inactivation of WSSV (White Spot Syndrome Virus) isolated in Malaysia using Black Tiger Prawn (*Penaeus monodon*). Japan Agricultural Research Quarterly 40: 93-97. 10.6090/jarq.40.93.
- Peinado-Guevara LI, López-Meyer M (2006) Detailed monitoring of white spot syndrome virus (WSSV) in shrimp commercial ponds in Sinaloa, Mexico by nested PCR. Aquaculture 251: 33-45.
- Peng SE, Lo CF, Ho, CH, Chang CF, Kou GH (1998) Detection of white spot baculovirus (WSBV) in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, using polymerase chain reaction. Aquaculture, 164: 253-262.
- Pérez F, Volckaert FAM, Calderón J (2005) Pathogenicity of white spot syndrome virus on postlarvae and juveniles of *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. Aquaculture 250: 586-591.
- Poepping C, Beck SE, Wright H, Linden KG (2014) Evaluation of DNA damage reversal during medium-pressure UV disinfection. Water research 56, 181-189.
- Qualls RG, Johnson JD (1983) Bioassay and dose measurement in UV disinfection. Applied and environmental microbiology 45(3): 872-877.
- Rahman MM, Escobedo-Bonilla CM, Corteel M, Dantas-Lima JJ, Wille M, Sanz VA. et al. (2006) Effect of high-water temperature (33 °C) on the clinical and virological outcome of experimental infections with white spot syndrome virus (WSSV) in specific pathogen-free (SPF) *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 261: 842-849.
- Reyes A, Salazar M, Granja C (2007) Temperature modifies gene expression in subcuticular epithelial cells of white spot syndrome virus-infected *Litopenaeus vannamei*. Developmental and Comparative Immunology. 31: 23-29.
- Selvin J, Huxley AJ, Lipton AP (2004) Immunomodulatory potential of marine secondary metabolites against bacterial diseases of shrimp. Aquaculture 230: 241-248.
- Silva AB, Lima-Filho NM, Palha MA, Sarmento SM (2013) Kinetics of water disinfection using UV-C radiation. FUEL 110: 114-123.
- Soto MA, Lotz JM (2001) Epidemiological Parameters of White Spot Syndrome Virus Infections in *Litopenaeus vannamei* and *L. setiferus*. Journal Invertebrate Pathology 78: 9-15.
- Spanopoulos-Hernández M, Martínez-Palacios CA, Vanegas-Pérez RC, Rosas C, Ross LG (2005) The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874). Aquaculture 244: 341-348.
- Supamattaya K, Hoffmann RW, Boonyaratpalin S, PK (1998) Experimental transmission of white spot syndrome virus (WSSV) from black tiger shrimp *Penaeus monodon* to the sand crab *Portunus pelagicus*, mud crab *Scylla serrata* and krill *Acetes* sp. Diseases of Aquatic Organisms 32(2):79-85. 10.3354/dao032079.
- Tuyen NX, Verreth J, Vlak JM, de Jong M CM (2014) Horizontal transmission dynamics of White spot syndrome virus by cohabitation trials in juvenile *Penaeus monodon* and *P. vannamei*. Preventive veterinary medicine 117(1): 286-294.
- Vidal OM, Granja CB, Aranguren F, Brock JA, Salazar M (2001) A profound effect of hyperthermia upon the survival of *L. vannamei* juveniles infected with the WSSV. Journal of the World Aquaculture Society 32: 364-372.
- Walker PJ, and Mohan CV (2009) Viral disease emergence in shrimp aquaculture: origins, impact and the effectiveness of health management strategies. Reviews in Aquaculture 1(2): 125-154.
- White BL, Schofield PJ, Poulos BT, Lightner DV (2002) A Laboratory Challenge Method for Estimating Taura Syndrome Virus Resistance in Selected Lines of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. Journal of the World Aquaculture Society 33: 341-348.