

# Tropical Aquaculture

Vol.: 3

No.: 2

July · December 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 larvicultura de peces**

María 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, Kenya.

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. 2, Julio-Diciembre 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](mailto: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

**Nuevas fronteras en el uso de bióticos en la acuicultura: Hacia estrategias avanzadas más allá de los cultivos microbianos vivos**

Patricia Martínez Cruz

### Artículo Científico

**Respuesta generacional al mejoramiento genético por peso en familias de tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) bajo un esquema de selección masal y apareamiento rotativo**

Teresa Damas Pérez, Daylen Barrueta López

**Evaluación de harina de hojas de yuca en la alimentación de tilapia del Nilo GIFT**

José Llanes - Iglesias, Pedro H. Toledo - Agüero

**Eficiencia del biofiltro y luz ultravioleta en calidad del agua y mortalidad de *Litopenaeus vannamei* cultivado**


Pablo González-Alanis, Kevin M. Fitzsimmons, Sandra Elizabeth Hernández-Mendez, Liduvina Vázquez-Ruiz, Ana Lucía Urbizu-Gonzalez, Jaime Luis Rábago-Castro, Gabriela Arvizu Cruz, Mirelly Venecia Mireles-Villanueva

**Frecuencia y distribución de patógenos fúngicos que afectan a peces teleósteos de interés comercial: una revisión sistemática**

Andrea Paloma Zepeda Velázquez, Aylén Miranda Meneses, Rosario Estefanía Ayala Vázquez, Jorge Luis de la Rosa Arana, Fabian Ricardo Gómez de Anda, Víctor Johan Osvaldo Acosta Pérez

## New frontiers in the use of biotics in aquaculture: Towards advanced strategies beyond live microbial cultures

### Nuevas fronteras en el uso de bióticos en la acuicultura: Hacia estrategias avanzadas más allá de los cultivos microbianos vivos

Patricia Martínez Cruz<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Sistemas Biológicos  
Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.  
Calzada del Hueso 1100, Villa Quietud, C.P. 04960, CDMX.  
[pmartine@correo.xoc.uam.mx](mailto:pmartine@correo.xoc.uam.mx)

**Corresponding author:**

Patricia Martínez Cruz.  
[pmartine@correo.xoc.uam.mx](mailto:pmartine@correo.xoc.uam.mx)

**Cite:**

Patricia Martínez Cruz (2025).  
New frontiers in the use of  
biotics in aquaculture: Towards  
advanced strategies beyond live  
microbial cultures. *Tropical  
Aquaculture* 3 (2): e5754. DOI  
10.19136/ta.a3n2.5754

**Editorial Received:** 04  
december 2025

**Editorial Accepted:** 21  
december 2025

**Licencia creative commons:**

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



The intensification of aquaculture, driven by market demand, necessitates strategies to maintain environmental health and ensure the industry's sustainability. In this context, the success of aquaculture operations is closely linked to feed costs and quality, and profitability depends directly on feed efficiency, growth rate, and pathogen resistance (Pepi & Focardi, 2021). However, intensification increases the risk of infectious disease outbreaks, which represents a significant constraint on sustainable industry growth. Consequently, there is urgent pressure to reduce antibiotic use in intensive systems, as excessive use contributes to the emergence of resistant bacterial strains and to undesirable levels of environmental residues (Lulijwa *et al.*, 2020). Under these circumstances, probiotics have emerged as a key strategy for preventing certain bacterial diseases in fish.

Probiotics are defined as viable microbial supplements that, when administered in adequate amounts, confer beneficial effects on aquatic organisms, including improved growth, increased survival, enhanced stress tolerance, promotion of reproduction, and inhibition of pathogen proliferation (Martínez-Cruz *et al.*, 2012). Diverse mechanisms mediate these effects, such as competitive exclusion, in which the probiotic interferes with pathogens by directly competing for adhesion sites in the digestive tract and for essential nutrients. In addition, probiotics exert

antagonism by producing inhibitory compounds, such as bacteriocins, siderophores, and organic acids, thereby altering pH and creating a hostile environment for pathogens. A predominant mechanism is immunomodulation, in which probiotics stimulate the host's non-specific cellular and humoral immune responses. Probiotics also contribute nutritionally by improving feed digestibility through the production of enzymes such as amylases and proteases, or by synthesizing essential nutrients, including vitamins and fatty acids. Representative genera used in aquaculture include *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Shewanella*, and *Saccharomyces* (Newaj-Fyzul *et al.*, 2013). Given the need to maintain the viability of probiotic microorganisms throughout production, storage, and delivery to the intestinal tract, the development of "next-generation" products such as parabiotics and postbiotics has gained momentum.

Parabiotics represent an advanced strategy in aquaculture biotechnology. They are defined as the use of inactivated (non-viable) microbial cells or their subcellular fragments, administered in the diet, that confer benefits on the host without requiring viability. This characteristic is their main operational advantage, as it simplifies production, storage, and handling. Formalin or heat treatment often inactivates cells (heat-killed, HK), and the functional components may include cell-wall proteins or whole-cell proteins (Wisastra *et al.*, 2025). Evidence in aquaculture demonstrates that these stable products elicit significant beneficial responses. For example, the use of heat-killed cells improves digestive enzyme activity and promotes weight gain in particular amphibian and crustacean species. Researchers have used fragments of probiotic cell walls to enhance the immune response in freshwater fish. Likewise, the use of inactivated probiotic cells increases survival rates and improves resistance to bacterial diseases in various freshwater and marine fish species.

Postbiotics, in turn, refer to soluble factors and bioactive metabolites secreted by live microorganisms or released upon cell lysis. These molecular components include lipoteichoic acids, exopolysaccharides (EPS), bacteriocins, peptides, organic acids, short-chain fatty acids (SCFA), and cell-free extracts (Kumar *et al.*, 2024). The use of postbiotics has proven to be a powerful tool for modulating metabolism and immune responses in aquatic species. For instance, SCFA can increase antioxidant capacity in particular fish species. In contrast, organic acids and lipoteichoic acids have shown mitigating effects by alleviating enteritis and intestinal inflammation in some marine species, and bacteriocins have increased survival rates in crustaceans.

To unlock the full potential of postbiotics and parabiotics in the aquaculture industry, we must overcome several challenges. First, their application remains

limited relative to that of probiotics, underscoring the need to expand research on their use in aquaculture production systems. Furthermore, it is essential to advance the characterization and standardization of their bioactive components. The composition and functionality of postbiotics depend directly on the culture conditions of the producing microorganisms; therefore, to achieve their full industrial potential, rigorous analytical protocols are required to ensure product consistency and reproducibility.



The future of disease prevention in intensive aquaculture will depend on the capacity to isolate, characterize, and accurately apply these functional molecules to mitigate the high costs associated with feed by providing biologically efficient, stable, and scientifically substantiated health solutions.

### Literature cited

- Lulijwa R, Rupia, EJ, Alfaro AC (2020). Antibiotic use in aquaculture, policies and regulation, health and environmental risks: a review of the top 15 major producers. *Reviews in Aquaculture* 12(2), 640–663. doi: 10.1111/raq.12344
- Martínez-Cruz P, Ibáñez AL, Monroy-Hermosillo OA, Ramírez-Saad HC (2012). Use of probiotics in aquaculture. *ISRN Microbiology* 16,2012:916845. doi: 10.5402/2012/916845
- Pepi M & Focardi S (2021). Antibiotic-Resistant Bacteria in Aquaculture and Climate Change: A Challenge for Health in the Mediterranean Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18: 5723. doi: 1660-4601/18/11/5723
- Newaj-Fyzul AH, Al-Harbi B & Austin B (2013). Review: Developments in the use of probiotics for disease control. *Aquaculture*, 43: 1-11. doi: 0.1016/j.aquaculture.2013.08.026
- Wisastra SR, Wulandari D, Haryo R, Setiarto B, Budiharjo A, Soowannayan, et al. (2025). The Application of Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, and Parabiotics in Aquaculture. *Reviews in Agricultural Science*, 13(3): 15–44.

# Evaluación de harina de hojas de yuca en el alimento para tilapia del Nilo GIFT

## Evaluation of cassava leaf meal in GIFT Nile tilapia feed

José E. Llanes - Iglesias<sup>1</sup>   
Pedro H. Toledo - Agüero<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas. Carretera Central km 20 ½, Loma de Tierra. Cotorro. La Habana, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Acuicultura. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Católica del Norte. Coquimbo. Chile.

**Autor de correspondencia:** José E. Llanes – Iglesias. Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas. Carretera Central km 20 ½, Loma de Tierra. Cotorro. La Habana, Cuba. jose@edta.alinet.cu

**Como citar:** Llanes-Iglesias JE, Toledo- Agüero (2026) Evaluación de harina de hojas de yuca en el alimento para tilapia del Nilo GIFT. Tropical Aquaculture 3 (2): e57535. DOI 10.19136/ta.a3n2.5753

**Recibido:** .

**Aceptado:** .

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



### Resumen

Ante el creciente interés global en el uso de recursos de origen local para la alimentación de peces, se evaluaron diferentes niveles de inclusión de harina de hojas de yuca (HHY) (0, 6, 9 y 12 %) en el alimento para alevines de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) GIFT. Un total de 144 animales, con un peso promedio inicial de  $0.36 \pm 0.01$  g, se asignó aleatoriamente a cuatro tratamientos, con tres repeticiones, y se analizó mediante análisis de varianza de una vía y, en caso necesario, la prueba estadística de Duncan con 5% de probabilidad. Los tratamientos consistieron en cuatro dietas: la formulación del alimento de alevines de tilapias (control) y las restantes con 6, 9 y 12 % de HHY como sustituto parcial de las harinas de soya y trigo del control. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de alimento (14.01, 13.36, 12.90 y 13.52 g) y de proteína suministrada (4.32, 4.11, 3.91 y 4.02 g) por animal. También los pesos finales (6.50, 6.15, 6.13 y 5.98 g) y la conversión alimentaria (2.28, 2.30, 2.22 y 2.38) no se vieron afectados por ningún tratamiento. La supervivencia fue adecuada en todas las dietas (mayor al 91.67 %). Los costos de alimentación y los beneficios económicos favorecieron todos los tratamientos con HHY. El mayor ahorro se alcanzó con 9 % (US\$ 105,44 /t). La inclusión de hasta un 12 % de HHY no compromete el desempeño productivo de los alevines de tilapia GIFT del Nilo, con un efecto económico positivo.

**Palabras clave:** carbohidratos, economía circular, materias primas locales, peces.

### Abstract

Due to a growing interest in the use of local resources for fish feed, different inclusion levels (0, 6, 9, and 12 %) of cassava leaf meal (CLM) in the feeding of Nile tilapia GIFT (*Oreochromis niloticus*) fingerling were evaluated. A total of 144 animals, with an average initial weight of  $0.36 \pm 0.01$  g, were utilized in the study. These animals were randomly assigned to four treatments with three replicates and analyzed using one-way analysis of variance and Duncan's test at the 5% probability level, as necessary. The treatments consisted of four diets: the tilapia fingerling feed formulation (control) and the remaining diets with 6, 9, and 12 % CLM as partial replacements for the soybean and wheat meals in the control. No statistical differences were found in the amounts of feed (14.01, 13.36, 12.90, and 13.52 g) and protein supplied (4.32, 4.11, 3.91, and 4.02 g) per animal. Also, the final weights (6.50, 6.15, 6.13, and 5.98 g) and feed conversion ratio (2.28, 2.30, 2.22, and 2.38) were not affected by treatment ( $p > 0.05$ ). Survival was appropriate across all diets (greater than 91,67 %). Feed costs and economic benefits favored all CLM treatments. The most significant savings were achieved at 9% (US\$ 105.44 per ton). The inclusion of up to 12% cassava leaf meal does not compromise the productivity of GIFT Nile tilapia fingerlings and has a positive economic effect.

**Keywords:** carbohydrate, circular economy, local raw materials, fish.

## Introducción

La situación económica actual de Cuba y de otros países latinoamericanos en vías de desarrollo no garantiza la disponibilidad de materias primas necesarias para la elaboración de alimentos destinados al cultivo de tilapias. Estos balanceados incluyen altos porcentajes de soya y trigo, típicamente importados, y, dada la tendencia alcista de los precios en el mercado internacional, resulta imposible mantener la estabilidad adquisitiva, lo que provoca inseguridad en su producción (Chalaune *et al.*, 2022). Esto conlleva una disminución de los rendimientos productivos, por lo que se requiere buscar opciones nacionales como fuentes de nutrientes.

Entre las alternativas se encuentra la yuca (Manihot esculenta, Crantz), planta arbustiva muy productiva en el trópico, que se cultiva por sus tubérculos para la alimentación humana y animal y para usos industriales, como el almidón (Blanquiceth *et al.*, 2025). Por otra parte, las hojas representan un potencial importante como fuente de proteínas foliares, carotenos, vitaminas y minerales para la alimentación animal (Valdivié 2022).

La obtención de harina de hojas de yuca (HHY) para su uso en alimentos acuícolas y la posible sustitución parcial de otras harinas (soya y trigo) permitirían disminuir las importaciones, con el consiguiente beneficio económico. El nivel de proteína de las hojas de yuca puede fluctuar entre 17 y 30 %, según la edad del corte (Leguizamón *et al.*, 2021). No obstante, presentan altos contenidos de ácido cianhídrico y de fibra bruta (Mukhtar *et al.*, 2023), que podrían limitar su nivel de inclusión.

Un estudio realizado por Amare *et al.* (2024) en tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) reveló que la inclusión de 16.7 % de HHY disminuyó la digestibilidad, el crecimiento y la eficiencia alimentaria de los animales en comparación con el grupo control. Algunos autores señalan como principales limitantes su baja aportación de aminoácido metionina y su bajo valor energético (Toledo *et al.*, 2015; Valdivié, 2022).

La alta disponibilidad de hojas de yuca en todo el país y la necesidad de innovar en nuevas formulaciones con materias primas nacionales justifican el desarrollo de dietas innovadoras que consideren la inclusión de derivados de la yuca, toda vez que el alimento representa el mayor porcentaje de los costos operacionales de la piscicultura intensiva (Cala *et al.*, 2024). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes niveles

de inclusión (0, 6, 9 y 12 %) de HHY en el alimento para alevines de tilapias del Nilo (*O. niloticus*) GIFT.

## Materials and methods

El experimento se realizó en el Laboratorio de Nutrición y Alimentación 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 constante (recambio del 100 % diario).

**Preparación de la harina de hojas de yuca:** Las hojas se recolectaron de una plantación de yuca (variedad CMC-40) con seis meses de siembra. Su elaboración se realizó según la metodología de Valdivié (2022). Las hojas se recolectaron manualmente y se fraccionaron en una picadora artesanal. El producto resultante se colocó en una bandeja metálica para secado al sol durante tres días y se rotó diariamente para lograr un secado uniforme. Posteriormente, el material se pulverizó hasta 3 mm de tamaño en un molino de martillo y las partículas grandes se separaron con un tamiz de 1 mm. La composición química de la HHY se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición química de la harina de hojas de yuca experimental

Indicadores	%
Materia seca	88.36 ± 0.09
Proteína bruta	23.87 ± 0.21
Extracto etéreo	4.84 ± 0.35
Fibra bruta	16.60 ± 0.25
Cenizas	10.05 ± 0.10

## Preparación de las dietas

Todas las harinas se molieron en un molino de martillos artesanal, con cribado de aproximadamente 250 µm. La harina de trigo se mezcló con 30 % de agua caliente a 100 °C para hidratar el almidón y formar un gel que mejora la mezcla con el resto de los ingredientes, fundamentalmente con la HHY. La mezcla gradual de los ingredientes se realizó en una mezcladora (HOBART MC-600®, Canadá), donde se adicionaron el aceite de girasol, el fosfato dicálcico, la premezcla de vitaminas y minerales y 20 % de agua estéril para su

acondicionamiento. La peletización se realizó con un molino de carne (*JAVAR 32*<sup>®</sup>, Colombia) y, posteriormente, los pellets se secaron en una estufa (Selecta, España) a 60 °C durante 24 h. Los análisis químicos se realizaron en los ingredientes empleados según los métodos descritos por Latimer (2016) en el Laboratorio de Nutrición y Análisis Químico de la Universidad Católica del Norte, en Coquimbo, Chile. La energía digestible (ED) se calculó utilizando los coeficientes calóricos de Toledo *et al.* (2015).

### Bioensayo

Se utilizaron alevines de tilapia del Nilo GIFT, que se acondicionaron durante una semana en un estanque de cemento de 4.5 m<sup>2</sup>, con alimento comercial para tilapias

(30.84 % de proteína bruta y 2 707,58 kcal de energía digestible). Posteriormente, fueron pesados y seleccionados 120 animales de 1.26 ± 0.06 g de peso promedio, que se asignaron al azar a 12 tanques (10 animales por tanque). Los tratamientos consistieron en cuatro dietas: un control, correspondiente a la formulación del alimento comercial de tilapias, y las experimentales con 6, 9 y 12 % de HHY como sustituto parcial de las harinas de soya y de trigo (Tabla 2); cada formulación estuvo integrada por tres repeticiones.

**Tabla 2.** Composición porcentual y química de las dietas experimentales para la alimentación de alevines de tilapias del Nilo GIFT (%)

Ingredientes	D0	D6	D9	D12
Harina de pescado	10	10	10	10
Harina de soya	45	42.5	40	38.5
Trigo blando molido	39.5	36	35.5	34
<b>Harina de hoja yuca</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
Aceite vegetal	3	3	3	3
Fosfato dicálcico	1	1	1	1
*Mezcla Vit-mineral	1	1	1	1
Carboximetil celulosa	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Análisis calculado</b>				
Proteína bruta	30.84	30.77	30.32	30.21
Extracto etéreo	4.93	5.15	5.28	5.40
Fibra bruta	4.36	4.68	4.79	4.95
Cenizas	6.72	7.10	7.24	7.42
Fósforo disponible	0.6	0.6	0.6	0.6
Energía digestible (Kcal/kg)	2 707.58	2 685.62	2 675.58	2 664.75

\*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 B12,0.05 mg; 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.

Las dietas se ofrecieron en dos raciones, del 8 al 6 % de la biomasa, durante 60 días. Los horarios de alimentación fueron 08:00 AM, 12.30 PM y 04:00 PM. Diariamente se registraron los valores de temperatura y de oxígeno disuelto con un oxímetro digital (*HANNA*<sup>®</sup>, Rumanía) y el pH con un potenciómetro digital (*HANNA*<sup>®</sup>, Rumanía). Cada 15 días se ajustaron las raciones y, al final del bioensayo, se realizó el pesaje

individual de todos los animales con una balanza digital (*DIGI*<sup>®</sup> modelo DB, Japón) para el cálculo de los principales indicadores productivos referidos por Chalaune *et al.* (2022).

- 1) Alimento/pez (g) = cantidad total de alimento / número final de peces.
- 2) Proteína suministrada/pez (g) = cantidad total de proteína / número final de peces.

- 3) Peso medio final (g).
- 4) Ganancia de peso diaria (g/día) = (peso final - peso inicial) / días de cultivo.
- 5) Conversión alimentaria = Alimento añadido / Ganancia de peso.
- 6) Eficiencia proteica = Ganancia en peso / Proteína suministrada
- 7) Supervivencia (%) = No. Animales finales / No. Animales iniciales x 100.

### Base de datos y análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) según el modelo de clasificación simple. Se verificaron los supuestos teóricos del ANOVA para todas las variables mediante las pruebas de Shapiro & Wilk (1965) de normalidad de los errores y de Levene (1960) de homogeneidad de varianzas. Las variables cumplieron con los supuestos teóricos del ANOVA, excepto la supervivencia, para lo cual se empleó la transformación arcoseno. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat® versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012) y los valores medios se compararon mediante la prueba de comparación múltiple de Duncan (1955) cuando correspondió.

### Análisis económico

Se realizó según el procedimiento de Toledo *et al.* (2015) y, para ello, se calcularon los costos de las raciones a partir de los precios internacionales de las materias primas correspondientes a mayo de 2025 ([www.indexmundi.com/preciosdemercados](http://www.indexmundi.com/preciosdemercados)) (Tabla 3). A los resultados se les sumó el 45 % del total de costos de materias primas, por conceptos de gastos adicionales (transportación, maquila y administrativos) para Cuba. Estos valores se multiplicaron por los FCA obtenidos en este estudio para determinar los costos de alimentación.

**Tabla 3.** Precios de las materias primas que se utilizaron en las dietas experimentales (\$ US /t)

Materias primas	Valor
Harina de pescado	1 664.00
Harina de soya	358.00
Trigo blando	237.00
Harina de hoja de yuca	51.00
Aceite vegetal	1 156.17
Fosfato dicálcico	465.00
Mezcla Vit-mineral	1 380.00

## Resultados

La temperatura del agua de los estanques osciló entre 25.7 y 26.9 °C, mientras que el oxígeno disuelto varió entre 5.1 y 6.0 mg/L. Por su parte, los registros de pH oscilaron entre 7.1 y 7.3.

La composición química de la HHY (Tabla 1) reveló que presenta un alto contenido de proteínas respecto a la harina de tubérculos (2.8 %) y un alto nivel de fibra bruta (FB). Por otro lado, se observó que los pellets con HHY presentaron una buena integración física al vertirse en el agua, aunque su captura por los animales fue rápida.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) en las cantidades de alimento y de proteína suministradas por animal (Tabla 4). También los indicadores de crecimiento y eficiencia alimentaria no difirieron ( $P > 0.05$ ) hasta el mayor nivel de inclusión evaluado (12 %) en las raciones de tilapia del Nilo GIFT (Tabla 4). Las supervivencias registradas mostraron valores elevados (superiores al 91,67 %) en todos los tratamientos.

El análisis económico del estudio mostró que el incremento de HHY favorece la reducción del costo de las raciones y de la alimentación en todos los tratamientos (Tabla 5). El mayor ahorro monetario se observó cuando se incluyó 9 % de HHY en la dieta.

## Discusión

Las condiciones generales de la evaluación experimental en el presente estudio resultaron satisfactorias. Los valores de calidad del agua registrados se consideran de confort para el buen desempeño productivo de la tilapia del Nilo (Abd El-Hack *et al.*, 2022).

La composición química de la HHY experimental reveló que el contenido de proteína bruta fue similar al reportado por Amare *et al.* (2024), de 24.6 % al secar las hojas de yuca (HY) al aire libre. Estos autores evaluaron otros métodos de procesamiento e informaron incrementos en los niveles de proteína para las fermentaciones con fluido de rumen (29.3 %), levadura – melaza (27.8 %) y fluido de rumen – levadura (30.3 %),

debido al crecimiento de bacterias y levaduras durante el proceso de fermentación, que también son fuentes de proteínas.

**Tabla 4.** Comportamiento productivo en el alevinaje de tilapias del Nilo GIFT con las dietas experimentales

Indicadores	D0	D6	D9	D12	± EE	P
Alimento/pez, g	14.01	13.36	12.90	13.52	0.30	0.689
Proteína /pez, g	4.32	4.11	3.91	4.02	0.10	0.618
Pesos finales, g	6.50 ±0.33	6.15 ±0.31	6.12 ±0.29	5.97 ±0.37	-	0.713
Ganancia peso diaria, g/día	<u>0.10</u> ±0.01	<u>0.09</u> ±0.01	<u>0.09</u> ±0.01	<u>0.09</u> ±0.01	-	0.834
Conversión alimentaria	2.28	2.30	2.24	2.38	0.06	0.855
Eficiencia proteica	1.43	1.43	1.49	1.39	0.04	0.859
Supervivencia, %	94.44 (78.81)	97.22 (84.41)	94.44 (78.81)	91.67 (76.37)	2.62	0.811

Valores entre paréntesis (arcosen<sup>1/0</sup>%)

**Tabla 5.** Análisis económico en el alevinaje de tilapia del Nilo GIFT con las dietas experimentales (US \$ / t)

Indicadores	D0	D6	D9	D12
Costo de la dieta	689.38	667.09	654.62	643.89
Costo de alimentación	1,571.79	1,534.31	1,466.35	1,532.46
Ahorro		37.48	105.44	39.37

Costo de alimentación = Costo de la dieta x conversión alimentaria

Por otra parte, Blanquiceth *et al.* (2025) reportaron niveles de PB del 25.3 % para la HHY de una variedad dulce venezolana (MCol 2215) y del 19.1 % para una variedad de yuca amarga Corpoica Tai (MTAI 8). Estos contenidos proteicos de las HHY se encuentran dentro de los valores referenciados por Leguizamón *et al.* (2021) y dependen de los factores agroclimáticos, del sistema de manejo de los cultivos, del tipo de rendimiento para el que se utilizan las variedades, de su genética y de los métodos de procesamiento en la elaboración de la harina. Los mismos autores refirieron, además, que las

HHY presentan una alta concentración de lisina, prolina y leucina.

En cuanto al nivel de FB, fue alto en comparación con el bajo requerimiento de *O. niloticus*, lo que puede limitar su nivel de inclusión. El valor encontrado fue similar a las HHY (15 % y 19 %) referidas por Blanquiceth *et al.* (2025). Sin embargo, estos autores también elaboraron harinas a partir de peciolos, y los niveles fueron de 48 % (MCol 2215) y 32 % (MTAI 8), mientras que las harinas de tallos fueron de 64 % (MCol 2215) y 37 % (MTAI 8). Esto sugiere que para la alimentación de peces es importante solo utilizar las hojas y el resto de las partes aéreas de la planta de yuca tienen un limitante por el alto contenido de FB, en comparación con las otras harinas comerciales, condicionando a estas harinas como suplemento para rumiantes, debido a que estos animales están capacitados con la microbioma funcional en el rumen y un ciego pilórico que les permite la asimilación de alimentos de tipo fibrosos y, por ende, tienen una mejor conversión alimenticia, no así los peces.

La buena aceptabilidad de las dietas con HHY puede indicar que el troceado y el secado redujeron los factores antinutricionales (FAN) y, por tanto, no comprometieron el consumo de las raciones. En las variedades de yuca dulce, los contenidos de HCN son más bajos (menos de 118 ppm) que en las amargas (300 ppm); sin embargo, en ambas, los contenidos de HCN son más bajos en las raíces que en las hojas (Valdivié 2022).

La buena integración física de los pellets se atribuye a la hidratación del almidón de yuca con agua caliente, cuyo gel contribuyó a la aglutinación final de la ración. Es importante señalar que la HHY forma parte del follaje y, cuando se seca, tiene poco peso; por tanto, el 12 % de inclusión representó un volumen casi similar al del resto de la mezcla. Esto puede desfavorecer la aglutinación de la dieta al no disponer de una materia prima con alta concentración de almidón. En este estudio, la ración D12 presentó 34 % de trigo, que aporta aproximadamente 19 % de almidón, y 0.5 % de carboximetilcelulosa, lo que pudo contribuir a la buena aglomeración de los pellets.

Los indicadores de crecimiento y eficiencia alimentaria evidenciaron que hasta 12 % de HHY no provocó ningún desbalance nutricional para la especie, en cuanto a la composición de aminoácidos esenciales (fundamentalmente metionina) y la energía; nutrientes que pueden afectar el desempeño de los animales cuando se utiliza la HHY, según los criterios de Toledo *et al.* (2015) y Valdiviá (2022). Esto sugiere que la HHY debe mezclarse con otros ingredientes proteicos para complementar los niveles de aminoácidos limitantes, y con aceite vegetal o con una fuente rica en almidón, para aportar la energía necesaria y mejorar su valor nutricional.

En la formulación de las raciones, con la inclusión de 12 % de HHY, se sustituyó el 15 % de soya, reglón de mayor costo, y el 14 % de trigo por su menor disponibilidad para su uso en la alimentación humana. De esta forma, se logró mantener las dietas isoproteicas sin afectar los requerimientos relativos (%) y absolutos (g/kg de peso vivo) de proteínas de las dietas experimentales respecto al control, y así no comprometer el comportamiento productivo de los animales.

En relación con lo anterior, Amare *et al.* (2024) sustituyeron el 37 % de soya, el 5 % de harina de pescado y el 7.52 % y el 3.75 % del trigo y del maíz, respectivamente, lo que desfavoreció en 2 % el nivel de proteína bruta (28 %) de la dieta experimental respecto al control (30 %). Esta diferencia proporciona una disminución del consumo de proteína de 240 g en los 120 días de alimentación, lo que pudo influir en el menor desempeño productivo de los animales que consumieron la HHY.

Otro trabajo consultado en la literatura respalda la efectividad de utilizar la HHY, como el informado por Bohnenberger *et al.* (2010), quienes lograron incorporar hasta un 20 % de concentrado proteico elaborado a partir de hojas de yuca para alimentar larvas de tilapias del Nilo. Este resultado y los obtenidos en este estudio pueden corroborar los valores de digestibilidad aparente de materia seca (54.8 %) y de proteína (79.8 %) en *O. niloticus* (Amare *et al.*, 2024), que pueden considerarse satisfactorios para un subproducto agrícola que, en muchas ocasiones, constituye un desecho.

Investigaciones de digestibilidad de la proteína de la HHY en ratas revelaron una digestibilidad cercana al 80 % en hojas jóvenes y al 67 % en hojas más viejas; esto sugiere que es importante determinar el tiempo de corte más conveniente para una composición nutritiva más acorde a los requerimientos de cada especie. Se encontró también que el porcentaje de utilización de la proteína fue bajo: llegó a 32 % en hojas jóvenes y 39 % en hojas más viejas, aunque mejoró a 61 % cuando se adicionó el aminoácido limitante, que en este caso fue metionina (Lancaster y Brooks 1983).

Toledo *et al.* (2015) informaron que los taninos condensados presentes en las hojas de yuca pueden ser parcialmente responsables de la baja absorción de la proteína al consumirla, debido a la formación de complejos tanino-proteína indigeribles o al efecto de los taninos sobre la actividad de las enzimas. Además, cuando los tallos se incluyen en la elaboración de la HHY, aumenta el nivel de fibra y disminuye el de proteína.

La literatura consultada describe la evaluación de numerosas harinas de follaje en la alimentación de tilapia del Nilo, con el objetivo de incrementar la disponibilidad de alimentos y disminuir los costos de alimentación. Toledo *et al.* (2016) estudiaron el efecto de 12.5 % y 25 % de harina de follaje de moringa (*Moringa oleifera* Lam., var. *Supergenius*; 25.6 % PB y 23.1 % FB) como sustituto parcial de la harina de pescado y el maíz, y no encontraron diferencias en los indicadores productivos, pero informaron de una tendencia a desfavorarse con un mayor tiempo de cultivo. Hahn *et al.* (2018) informaron que, con la harina de hojas de morera (*Morus alba*) en dietas balanceadas al 30 % de proteína, los mejores resultados se alcanzaron con la inclusión de 4 % como reemplazo de la soya. Los mismos autores comentaron que el aumento del nivel de inclusión de morera disminuyó el consumo de alimento y, por ende, el crecimiento y la eficiencia alimentaria, causados por el bajo contenido de metionina. Chalaune *et al.* (2024) evaluaron niveles de 2.8, 5.6, 8.4 y 11.2 % de harina de *Leucaena leucocephala* como sustituto parcial de la harina de soya y no encontraron diferencias en los indicadores productivos hasta el 5.6 % de inclusión, lo que representó una sustitución del 20 % de la harina de soya.

Una característica que coincide en la mayoría de los follajes referidos anteriormente es su limitado nivel de inclusión por desequilibrio de aminoácidos esenciales, factores antinutricionales y altos niveles de FB, lo cual repercute en la digestibilidad de los alimentos, ya que no pueden ser digeridos por los peces. La FB genera, además, problemas en la absorción de proteínas y minerales, entre otros (Toledo *et al.*, 2015).

Los valores de supervivencia obtenidos en este trabajo evidencian que la HHY no compromete la salud de los alevines de tilapia del Nilo. Según Valdivie (2022), el corte del follaje de la yuca puede ser manual o mecanizado, pero es importante moler y orear el forraje al aire libre durante al menos 24 h para eliminar los glucósidos cianogénicos y el ácido cianhídrico antes de hacer la harina. Según Mukhtar *et al.* (2023), esta sustancia es un potente inhibidor de la respiración celular. La afinidad por iones metálicos como el hierro de la hemoglobina y el cobre del citocromo oxidasa provoca la supresión nerviosa en los centros reguladores, lo que puede derivar en problemas respiratorios y, según la intensidad, provoca la muerte del animal.

El mayor beneficio económico se alcanzó con 9 % de HHY, influido principalmente por el menor costo del ingrediente experimental y por una mejor conversión alimentaria. La HHY, así como las harinas de otros follajes que se han evaluado en la alimentación de tilapias del Nilo (Toledo *et al.*, 2016; Hahn *et al.*, 2018; Amare *et al.*, 2024 y Chalaune *et al.*, 2024), su nivel de inclusión fue limitado, pero todas coinciden en la disminución de los costos de las raciones y si no se desfavorecen los indicadores productivos propician menores costos de alimentación respecto a los alimentos comerciales. Esto se debe a que la mayoría de las materias primas convencionales son importadas, mientras que las harinas de follajes son de producción nacional.

Considerando la situación económica del país, los precios alcistas de las harinas convencionales y de los alimentos para tilapias, y los resultados de este trabajo, se evidencia la importancia de crear la infraestructura para la elaboración de HHY y su incorporación a la producción de alimentos nacionales para tilapias. La yuca es una alternativa viable en dietas para la alimentación de peces; suple las expectativas en cuanto a

nutrición y consumo de alimento, lo que se manifestó en ganancia de peso, conversión alimenticia y rendimiento demostrado en *Clarias gariepinus* (Llanes 2025), pero genera grandes volúmenes de follaje, lo que puede generar una ganancia mínima por unidad de producto y no otorgar márgenes de ganancia al productor.

De acuerdo con lo anterior, el renglón productivo más beneficiado sería el de los pequeños y medianos productores, que manejan pequeñas poblaciones de peces, lo que facilita el aprovechamiento de la yuca producida en sus predios. Con relación a las producciones a gran escala que deben manejar volúmenes mucho mayores, este puede garantizar la competitividad y sostenibilidad agropecuaria, permitiendo a los pequeños y medianos productores competir con la demanda por parte del consumidor final, entregando un producto de adecuado valor nutricional y garantizando la eficiencia en la producción a menores costos. Si es necesario enfatizar el procesamiento, el cual consiste en el troceado de las hojas y la deshidratación, ya sea por exposición al sol o mediante nave de secado, este manejo no genera sobrecostos, disminuye su toxicidad y facilita su almacenaje, lo que podría convertirse en un ingrediente adicional para la alimentación de los peces.

## Conclusiones

La inclusión de 12 % de harina de hojas de yuca no compromete el desempeño productivo de los alevines de tilapia GIFT y tiene un efecto económico positivo durante la formulación de dietas.

## Conflicto de intereses

Los autores garantizan y declaran que no tienen conflictos de intereses ni personales que pudieran influir en la publicación de este manuscrito.

## Literatura citada


Abd El-Hack M E, El-Saadony M, Nader M, Salem H, El-Tahan A, Soliman S M, Khafaga A (2022) Effect


- of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). International Journal of Biometeorology 66:2183–2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>
- Amare T A, Storebakken T, Mørkøre T, Nurfeta A, Ahlstrøm O (2024) Potency of cassava leaf as protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture International 32:10197–10214. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01657-3>
- Blanquiceth Y, Pérez K, Tavera M J, Salcedo J G (2025) Caracterización de harinas derivadas de la parte aérea de dos variedades de yuca y su potencial aprovechamiento en alimentación animal. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 26 (1) e3608. DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol26\\_num1\\_art:3608](https://doi.org/10.21930/rcta.vol26_num1_art:3608)
- Bohnenberger L, Damascno G, Machado C, Rogerio B (2010) Concentrado proteico de folhas de mandioca na alimentação de tilápias do nilo na fase de reversão sexual. Revista Brasileira de Zootecnia 39 (6): 1169-1174.
- Cala D, Da Costa J, García, F (2024). Análisis económico de la producción de tilapia roja (*Oreochromis* sp) bajo diferentes alternativas de energía solar en un sistema comercial de biofloc en Colombia. Fishes 9 (12): 505. <https://doi.org/10.3390/fishes910505>.
- Chalaune N, Gupta A K, Gurung S, Singh S K, Chaudhary A (2022) Effect of dietary inclusion of *Leucaena leucocephala* on the growth performances of Nile Tilapia. International Journal of Fisheries and Aquatic Research 7(1):25-35. ISSN: 2456-7248. [www.fishjournals.com](http://www.fishjournals.com)
- 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, <https://dx.doi.org/10.2307/3001478>.
- Hahn Von Hessberg C M, Grajales A, Grajales S (2018) Experiencia del cultivo de la morera y su utilización en la alimentación de tilapias del Nilo para programa de seguridad alimentaria. Boletín Científico Museo Historia Natural Universidad de Caldas 22(2):42-48. DOI: 10.17151/bccm.2018.22.2.4.
- Lancaster P, Brooks J E (1983). Cassava leaves as human food. The New York Botanical Garden. Economic Botany. P. 341 -348.
- Latimer G W (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].
- Leguizamón A J, Rompato K M, Hoyos R E, Audisio M C (2021) Nutritional evaluation of three varieties of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) grown in formosa, Argentina. Journal of Food Composition and Analysis 101(3): 103986. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103986>
- 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.
- Mukhtar A, Latif S, Barati Z, Müller J (2023) Valorization of Cassava By-Products: Cyanide Content and Quality Characteristics of Leaves and Peel. Applied Sciences 13, 6340. <https://doi.org/10.3390/app13106340>
- Shapiro S, Wilk M (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. Revista AcuaCUBA 17(1): 5-22. ISSN: 1608-0467.
- Toledo J, Llanes J, Romero C (2016) Evaluación de la harina de moringa (*Moringa oleifera* Lam) en tilapias del Nilo GIFT. Revista AcuaCUBA 18(1):12-15. ISSN 1608-0467. RNPS. 0373.
- Valdivié M (2022) Alternativas de alimentación para la producción animal 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.





## Biofilter efficiency and ultraviolet light on water quality and mortality in *Litopenaeus vannamei* culture


## Eficiencia del biofiltro y luz ultravioleta en calidad del agua y mortalidad de *Litopenaeus vannamei* cultivado

Pablo González-Alanis <sup>1</sup>

Kevin M. Fitzsimmons <sup>2</sup>


Sandra Elizabeth Hernández-Mendez <sup>1</sup>

Liduvina Vázquez-Ruiz <sup>1</sup>

Ana Lucía Urbizu-Gonzalez <sup>1</sup>

Mirelly Venecia Mireles-Villanueva <sup>1</sup>

Jaime Luis Rábago-Castro <sup>1</sup>

Gabriela Leticia Arvizu-Cruz <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas

<sup>2</sup>The University of Arizona

**Corresponding author:** Gabriela Leticia Arvizu Cruz. Universidad Autonoma de Tamaulipas. Email: gabrielaleticiaarvizucruz@gmail.com

**Cited:** Gonzalez-Alanis, *et al.* (2026). Biofilter efficiency and ultraviolet light on water quality and mortality in *Litopenaeus vannamei* culture. *Tropical Aquaculture* 3 (2): e5755. DOI 10.19136/ta.a3n2.5755

**Received:** 2 december 2025.

**Accepted:** 28 de enero 2026.

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



### Abstract

Water quality is the primary cause of failure for cultured shrimp projects. This research aimed to evaluate the efficiency of a biofiltration system. Parameters such as ammonium nitrogen, pH, acidity, alkalinity, and mortality were assessed. Six ponds with a water depth of 1.8 m, covered with a plastic ceiling (greenhouses), were used to house four million two hundred thousand *Litopenaeus vannamei* juveniles. Three ponds were equipped with a water pump and FINI-FALCO systems. The FINI-FALCO substrate was oyster shells, and filtration was assessed by adding 1 ppm ammonium chloride to each pond at 24 h for 20 days. Significant differences ( $P < 0.05$ ) in pH, ammonium, nitrite, and nitrate were found among tanks after 28 days. The use of FINI-FALCO reduced ammonium and nitrite levels, and pH fluctuations were observed during nitrification. Mortalities among treatments were reduced but not significantly.

**Keywords:** Biofilter, *Litopenaeus vannamei*, nitrifying bacteria, water quality. ultraviolet light

### Resumen

La calidad del agua es una de las principales causas del fracaso de los proyectos de cultivo de camarón. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de un sistema de biofiltración. Para ello, se evaluaron parámetros como el nitrógeno amónico, el pH, la acidez, la alcalinidad y la mortalidad. Se utilizaron seis estanques de 1 ha, con 1,8 m de profundidad de agua, cubiertos con techo plástico (invernaderos), en los que se sembraron cuatro millones doscientos mil juveniles de camarón de la especie *Litopenaeus vannamei*. Tres estanques fueron equipados con una bomba de agua y con sistemas FINI-FALCO. El sustrato utilizado en el FINI-FALCO fue de conchas de ostra y, en cada tanque, se añadió cloruro de amonio a una concentración de 1 ppm cada 24 hr durante 20 días. Los resultados demostraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en pH, amonio, nitrito y nitrato entre los tanques tras 28 días. El uso de FINI-FALCO reduce los niveles de amonio y nitrito, y las fluctuaciones en el pH observadas se debieron al proceso de nitrificación. Las mortalidades entre los tratamientos se redujeron, aunque no fueron significativas.

**Palabras clave:** bacterias nitrificantes, biofiltro, calidad del agua, *Litopenaeus vannamei*, luz ultravioleta

## Introduction

In shrimp farming, the determining factors for crop success are well known, without diminishing the importance of other factors. Water quality and biosecurity (maintaining and protecting healthy production) have become increasingly important in recent years and have been the subject of numerous studies, all aimed at improving and maintaining optimal cultivation conditions.

Appropriate water treatment system designs help maintain stable water quality in recirculation systems, eliminating toxic products generated by organism metabolism. If this design is incorrect, the amount of organic sediments and nutrient concentrations could increase, causing stress and poor shrimp growth. Such systems include aeration, degasification, mechanical and biological filters, and, for controlling pathogenic organisms, ozonation and ultraviolet (UV) irradiation (Sansanayuth *et al.*, 1996; FAO, 2014; Fuentes, 2015).

On the other hand, aquatic plants are also used to reduce suspended solids, ammoniacal nitrogen, organic carbon, and phosphorus (Sansanayuth *et al.*, 1996; Epp *et al.*, 2002; Carbó-Bacaicoa, 2012). Therefore, combining these two systems improves water quality but can increase crop operating costs. This problem increases when pathogenic microorganisms infect shrimp, leading to mortality.

These have led to the development of biosafety systems with closed, recirculating cycles that reduce or eliminate the introduction of pathogens (Otoshi *et al.*, 2003, Ochoa, 2004). Given the above and the need to maintain recirculation, high-quality water, and crop biosecurity, it is evident that developing technologies to address these aquaculture problems is necessary.

A system that improves water quality combines the use of nitrifying bacteria in an air substrate with an immersed substrate that helps maintain biotic balance in the water, substantially reducing toxic waste. In addition, the use of UV light lamps in the system helps disinfect water, wholly or partially eliminating harmful microorganisms that could harm the crop. Together, the biofilter and UV lamps in a shrimp-farming pond would reduce ammonia levels and disinfect the water, thereby increasing production.

Aquaculture in closed systems relies on biofilters to maintain pond water at satisfactory quality levels. To establish a biofilter, it is necessary to establish nitrifying bacterial populations using an initiator that mimics

natural processes while accelerating them in a shorter time (Moriarty 1999; TECA-FAO 2015). Several studies have shown that the activity of nitrifying bacteria can be accelerated by using ammonium chloride (NH<sub>4</sub>Cl) as a culture initiator (White *et al.*, 2002; Chun-Hung & Jiann-Chu, 2004; Melgar Valdes *et al.*, 2013). Some of the unknowns regarding nitrifying bacteria stem from the lack of techniques to accurately identify, locate, and quantify microbial populations *in situ*; determine the physicochemical microenvironment; and measure *in situ* activity (Moriarty 1999, Solórzano 2017).

This study aimed to evaluate the effects of bacterial nitrifiers on water quality in shrimp culture, as well as the effectiveness of a biofiltration system and ultraviolet lamps in greenhouse ponds for improving water quality.

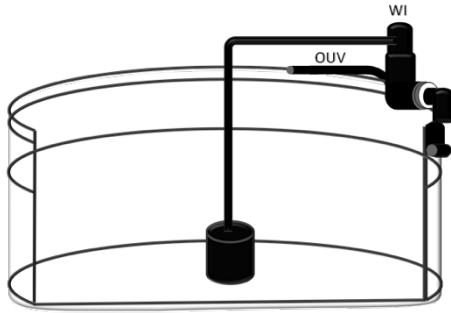
## Materials and methods

### Study site

The study was conducted at the Latimar shrimp farm in Tumbes, Peru. The ponds were stocked in an intensive system in a tropical environment with seawater (32 ppt) and discharged into an artificial, planted wetland.

### Experimental design

For the study, two treatments were implemented: the FINI-FALCO system (Figure 1) and a control treatment, each with three replicates. These treatments were maintained in six identical ponds (250 m<sup>2</sup> each), each 1.8 m deep, and were used in a 1 ha area under a greenhouse system covered externally with transparent plastic; the bottoms of each pond were lined with high-density plastic. The six ponds were aerated with blowers (28 HP per pond), underwent a 5% daily water replacement, and used commercial probiotics. At the start of this experiment, 4.2 million juvenile *Litopenaeus vannamei* shrimp, on day 70 of culture and with an average individual weight of 10–20 g, from three different commercial laboratories in Central America, were distributed among the six ponds at an approximate population density of 70 individuals m<sup>2</sup>. The shrimp were fed commercial feed (40% crude protein).



**Figure 1.** Horizontal view of a fishery designed system with UV light and a biofilter. The diagram shows the filter immersed in crushed oyster shell and FALCO (an external filter with UV light, synthetic fiber, and activated charcoal), the water intake before UV light (WI), and the water exit after UV light (OUV).

### Biofilter system

The conditioning of nitrifying bacteria was conducted in a 25,000 L fiberglass tank (White et al., 2002; Chun-Hung & Jiann-Chu, 2004; Coronado et al., 2014; Gallego-Alarcón & García-Pulido, 2017; Del'Duca et al., 2019). Marine water was used at 32 UPS of salinity (S) and 30-33°C temperature (T). Styrofoam coolers with a capacity of approximately 15 L were used to store the substrate.

### Water quality analysis

Crushed oyster shell was used as a bacterial substrate. Ten coolers with substrate were submerged in water and subjected to a sack with beach sand to provide bacteria. Each cooler was equipped with air diffusers to oxygenate the substrate. To accelerate bacterial populations, ammonium chloride (NH<sub>4</sub>Cl) (Merck) was used at a rate of 38.2 g of product per liter of distilled water, yielding a stock solution at a final concentration of 10,000 mg L<sup>-1</sup>. This solution was added twice a week in sufficient quantities to maintain a constant level of at least 1 mg L<sup>-1</sup> of ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) in the water. Ammonium and nitrite were monitored weekly for 16 weeks. For measurements of ammonium and its derivatives (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>), an SVQ118 spectrophotometer (Merck) and reagents (Hach®) were used.

### UV disinfection system

The biofiltration system, consisting of an immersed filter with crushed oyster shell and an external filter with ultraviolet light, synthetic fiber, and activated carbon (Tracy et al., 2006), was designed to be easy to assemble, disassemble, disinfect, and transport. Each of the

systems used in three ponds of this study consisted of a FINI-FALCO consisting of a plastic tank with a cover with a capacity of 100 L with a crushed and previously conditioned oyster shell substrate, with a 1½” PVC pipe fixed in the center like water intake. A water pump, (Jacuzzi® 1 HP), with an inlet and outlet diameter of 1½” and a capacity of six gallons per minute was used in the system. The non-immersed filter was also used (Tracy et al., 2006), with a conical-bottom fiberglass tank with a capacity of 250 L. The non-immersed filter used plastic fiber as a substrate to fix nitrifying bacteria, and it was equipped with a UV light system with four 40 W lamps. The study was conducted over 16 weeks.

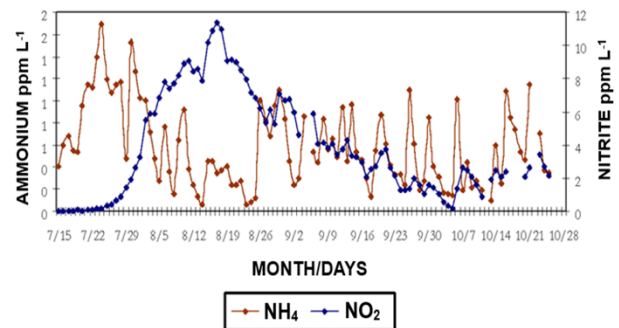
### Statistical analysis

For mortality, a two-way statistical analysis was used; for the evaluation of water physicochemical parameters, a two-way analysis of variance (Yancheva et al., 2015) with subsampling was used. Data were statistically evaluated using SPSS® for Windows V. 11. In both analyses, differences were considered significant at P < 0.05.

## Results

### Bacterial conditioning performance

The development and performance of nitrifying bacteria in assimilating NH<sub>4</sub>Cl and converting it to nitrite were observed. The results show that during the second week, nitrite formation increases exponentially, reaching a maximum in the sixth week, after which the nitrite concentration begins to decrease (Figure 2). Only ammonium, nitrite, and nitrate measurements were made in this study.



**Figure 2.** Effects of conditioning nitrifying bacteria on the ammonium (NH<sub>4</sub>) and nitrite (NO<sub>2</sub>) levels in ppm over time, using NH<sub>4</sub>Cl as an ammonium source; x-axis refers to month/day.

## Water quality parameters

After the seventh week, the concentration of ammonium and nitrites established the balance. The ammonium rebounds observed in the graph are the cause of the addition of  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . After each rebound of ammonium, one of nitrite is observed with a difference of approximately three to five days (Figure 2).

*System efficiency (FINI-FALCO).* The statistical analysis of the FINI-FALCO system study shows that, overall, the system improves water quality by removing ammonium and nitrate (Table 1).

The system's use in removing  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  showed significant differences ( $P < 0.05$ ), whereas for  $\text{NO}_2$ , no difference was found between ponds with and without the system ( $P < 0.05$ ) (Table 1).

**Table 1.** Ammonium, nitrite, and nitrate levels (mean  $\pm$  standard deviation) in ponds with the FINI-FALCO system (Treated) and the control group (Non-treated) without the system.

Tanks	Ammonium ( $\text{NH}_4$ )	Nitrite ( $\text{NO}_2$ )	Nitrate ( $\text{NO}_3$ )
Treated	0.0025 $\pm$ 0.0020	0.27 $\pm$ 0.18	7.67 $\pm$ 2.25
Non-treated	0.0036 $\pm$ 0.0016	0.39 $\pm$ 0.19	8.94 $\pm$ 2.18
	$P = 0.046$ ( $P < 0.05$ )	$P = 0.067$ ( $P > 0.05$ )	$P = 0.043$ ( $P < 0.05$ )

## Shrimp survival and biomass

Shrimp collected from the drain during each pond replacement were counted and compared. The final count indicates that there was no difference ( $P < 0.05$ ) in survival between ponds with a system and ponds without a system (Table 2).

**Table 2.** Number of shrimps stocked, recovered, and dead in the three ponds with the system and the three ponds without the system.

	Shrimp		
	Stocked	Recovered	Dead
Tanks equipped with FINI-FALCO	2,100,000	1,914,753	185,247
Non equipped	2,100,000	1,913,396	186,604
Total	4,200,000	3,828,150	371,850

## Discussion

Several studies of filtration systems using nitrifying bacteria and their products have described the problem under different types of aquatic systems and microclimates (Xie *et al.*, 1999; Mosquera-Corral *et al.*, 2003; Ong *et al.*, 2003; Schramm 2003; Burford & Lorenzen 2004; Chun-Hung & Jiann-Chu 2004; Calvachi 2015; Fuentes 2015). However, in aquaculture, most research focuses on smaller-scale systems using closed recirculation (Menasveta 2002; White *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2004; Chun-Hung y Jiann-Chu 2004).

In larger systems, biofiltration is uncommon, even though extensive and semi-extensive systems are standard and also face problems with increasing ammonium and its derivatives. To a lesser extent, ultraviolet light irradiation systems are also not widely used or reported in extensive aquaculture (Summerfelt 2003).

The results of the evaluation of nitrifying bacteria conditioning indicate that the oxidation of nitrogen products is a chain reaction in which ammonium is first transformed into nitrite and subsequently into nitrate (Burford & Lorenzen 2004, Casciotti *et al.*, 2011). Since this experiment design conditioned the nitrifying bacteria, it could be suggested that this chain reaction cannot support the natural functions described (Sansanayuth *et al.*, 1996; Epp *et al.*, 2002; Han & Boyd 2018), which involve a balance between nitrogen compounds (Gross *et al.*, 2003; Collazos-Lasso y Arias-Castellanos 2015).

The results of the incorporation of a biofilter in the FINI-FALCO system with the oyster shell substrate previously conditioned with nitrifying bacteria using  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (Gross *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2004) accelerate the biofilter initiation process, making it possible to incorporate it into systems already in operation (Gross *et al.*, 2003).

The incorporation of crushed oysters (calcium carbonate) from FINI-FALCO provides alkalinity to the system. It helps regulate the acidity produced by the nitrification process, thereby maintaining a pH favorable to nitrifying bacteria (Antileo *et al.*, 2002). Although the pH was routinely controlled by adding lime ( $\text{CaCO}_3$ ) in these ponds, it is possible that crushed oyster shell in FINI-FALCO positively participates in the process, as mentioned earlier, as observed in studies on conditioning nitrifying bacteria.

Previous studies show that the FINI-FALCO system significantly reduces ammoniacal components in

recirculating systems, substantially improving water quality and maintaining it at optimal levels for shrimp and juvenile larvae (Luo *et al.*, 2013, Wang *et al.*, 2019). The results of the present study showed that both ammonium and nitrate concentrations decreased compared to ponds without a system.

The minimum difference can be attributed to the amount of substrate available in FINI-FALCO. As Burford (2004) and Wang (2019) point out, the area of the fixing substrate is proportional to the amount of active nitrifying bacteria, and the number of bacteria is proportional to the concentrations of ammonium, nitrites, and oxidized nitrates. It can be inferred that the number of colonies of nitrifying bacteria available in the FINI-FALCO system is not sufficient to oxidize the ammoniacal products of a pond of one hectare of shrimp at a density of 70 shrimp m<sup>-2</sup>.

FINI-FALCO is a promising system that must be studied in detail to be used effectively in aquaculture production systems. It is highly feasible that its use benefits aquaculture systems, including improved management and higher densities, reflected in higher production and, therefore, greater economic performance.

## Conclusion

The significant differences in the parameters of ammonium and nitrate indicate that the FINI-FALCO system promotes nitrification. Besides, the present study provides evidence that the scallop substrate can be used in a biofilter system and that the system can be initiated with reagent-grade ammonium chloride, which accelerates nitrification and supports the development of nitrifying bacterial populations. It is recommended to standardize the balance of nitrifying bacteria based on nitrite and nitrate production to control both parameters when starting the FINI-FALCO in the pond.

## Acknowledgements

The authors acknowledge the Rectory and ProMeP of the Autonomous University of Tamaulipas Mexico, as well as the University of Arizona and the group of shrimp farmers from Tumbes, Peru, especially the company "Latimar", for the facilities and support provided during the realization of this work.

## Data availability statement

The authors state that the Autonomous University of Tamaulipas, Mexico, does not have a repository cloud. However, raw data from the results, figures, and tables will be available for review upon previous notification by mail to the corresponding author.

## Literature cited



- Antileo, C., Aspé, E., Urrutia, H., Zaror, C. & Roeckel, M. (2002) Nitrifying biomass acclimation to high ammonia concentration. *Journal of Environmental Engineering*, 128(4): 367–375.
- Burford, M.A. & Lorenzen, K. (2004) Modeling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: the role of sediment remineralization. *Aquaculture*, 229(12): 129–145.
- Calvachi, G.L. (2015) Remoción de sólidos en aguas residuales de producción intensiva de trucha en un sistema de recirculación cerrado. *Revista UNIMAR*, 33(1): 229–236.
- Carbó Bacaicoa, Ricard. (2012) Integración de la técnica de depuración de aguas residuales mediante humedales con los sistemas de recirculación para la acuicultura. *AquaTIC*, 37(1): 25–31.
- Casciotti, K.L., Buchwald, C., Santoro, A.E. & Frame, C. (2011) Assessment of nitrogen and oxygen isotopic fractionation during nitrification and its expression in the marine environment. *Methods in Enzymology*. 486: 253–280.
- Cheng, W., Hsiao, I.S. & Chen, J.C. (2004) Effect of nitrite on immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 60(2): 157–164.
- Chun-Hung, L. & Jiann-Chu, C. (2004) Effect of ammonia on the immune response of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio alginolyticus*. *Fish and Shellfish Immunology*. 16(3): 321–334.

- Collazos-Lasso, L.F. & Arias-Castellanos, J.A. (2015) Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia: una revisión. *Orinoquia*. 19(1): 77–86.
- Coronado, G.C., Avilés, G.L., Tapia, F.J.A., Amaya, O.M., Teresa, M. & Barragán, C. (2014) Acondicionamiento de un reactor nitrificante para el tratamiento de efluentes pesqueros. 2do. Congreso nacional de tecnologías y ciencias ambientales. VI Congreso Regional de Ciencias Ambientales, México. Available from: <https://www.itson.mx/publicaciones/Documents/recnat/memoriassegundocongreso.pdf#page=14> [Accessed 27th March 2024].
- Del'Duca, A., Cesar, D.E., Freato, T.A., Azevedo, R.d.S., Rodrigues, E.M. & Abreu, P.C. (2019) Variability of the nitrifying bacteria in the biofilm and water column of a recirculating aquaculture system for tilapia (*Oreochromis niloticus*) production. *Aquaculture Research*. 50(9): 2537–2544.
- Epp, M.A., Ziemann, D.A. & Schell, D.M. (2002) Carbon and nitrogen dynamics in zero-water exchange shrimp culture as indicated by stable isotope tracers. *Aquaculture Research*. 33(11): 839–846.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2014) Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. FAO technical document in fisheries. FAO, Rome. Available from: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=90bb6bfe-1ac3-4280-857e> [Accessed 27th March 2024].
- Fuentes, V.F.I. 2015. Estudio de factibilidad técnico-económica de la implementación de un sistema de cultivo acuapónico de pequeña y mediana escala en la Octava Región. Ph.D. Thesis, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.
- Gallego-Alarcón, I., & García-Pulido, D. (2017) Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 8(1): 81–93.
- Gross, A., Nemirovsky, A., Zilberg, D., Khaimov, A., Brenner, A., Snir, E., et al. (2003) Soil nitrifying enrichments as biofilter starters in intensive recirculating saline water aquaculture. *Aquaculture*, 223(1): 51–62.
- Han, Y. & Boyd, C.E. (2018) Effect of organic matter concentration on agricultural limestone dissolution in laboratory soil–water systems. *Aquaculture Research*. 49(10): 3451–3455.
- Luo, H., Huang, G., Fu, X., Liu, X., Zheng, D., Peng, J., et al. (2013) Waste oyster shell as a kind of active filler to treat the combined wastewater at an estuary. *Journal of Environmental Science*. 25(10): 2047–2055.
- Melgar Valdés, C.E., Barba Macías, E., Álvarez-González, C.A., Tovilla Hernández, C. & Sánchez, A.J. (2013) Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*. 61(3): 1215–1228.
- Menasveta, P. (2002) Improved shrimp growout systems for disease prevention and environmental sustainability in Asia. *Reviews in Fisheries Science*. 10(4): 391–402.
- Moriarty, D.J. (1999) Disease control in shrimp aquaculture with probiotic bacteria. Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology, Halifax, Canada. [https://ag.arizona.edu/azaqua/tilapia/tilapia\\_shrimp/moriarty.PDF](https://ag.arizona.edu/azaqua/tilapia/tilapia_shrimp/moriarty.PDF) [Accessed 27th March 2024].
- Mosquera-Corral, A., Campos, J.L., Sánchez, M., Méndez, R. & Lema, J.M. (2003) Combined system for biological removal of nitrogen and carbon from a fish cannery wastewater. *International Journal of Environmental Engineering*. 129(9): 826–833.
- Ochoa, V.C.A. (2004) Programa de bioseguridad para la cría de camarón orgánico *Litopenaeus vannamei* en cautiverio. *Revista AquaTIC*. 21: 42–51.

- Otoshi, C., Arce, S. & Moss, S. (2003) Growth and reproductive performance of broodstock shrimp reared in a biosecure recirculating aquaculture system versus a flow-through pond. *Aqua Engineering*. 29(3): 93–107.
- Sansanayuth, P., Phadungchep, A., Ngammontha, S., Ngdngam, S., Sukasem, P., Hoshino, H. & Ttabucanon, M. (1996) Shrimp pond effluent: pollution problems and treatment by constructed wetlands. *Water Science and Technology*. 34(11): 93–98.
- Schramm, A. (2003) In situ analysis of structure and activity of the nitrifying community in biofilms, aggregates, and sediments. *Geomicrobiology Journal*. 20(4): 313–333.
- Solórzano, A.A.A. (2017) Cultivo intensivo de *Andinoacara rivulatus* (vieja azul) con diferenciación en la cantidad de alimentos en un sistema cerrado de recirculación de agua. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/67d2fef5-0994-4eb2-b885-c92895156c7d/content> -an introduction and examples of current applications. *Aqua Engineering*. 28(1): 21-
- Summerfelt, S.T. (2003) Ozonation and UV irradiation 36
- Technologies and Practices for Small Agricultural Producers (TECA-FAO). (2015) Management of the aquaponic systems. FAO, Rome. <https://www.fao.org/3/ca4027en/ca4027en.pdf> [Accessed 27th March 2024].
- Tracy, C.R., Nussear, K.E., Esque, T.C., Dean-Bradley, K., Tracy, C.R., DeFalco, L.A., et al. (2006) The importance of physiological ecology in conservation biology. *Integrative and Comparative Biology*. 46(6): 1191–1205.
- Wang, M., Yi, M., Lu, M., Zhu, X., Chen, G., Gao, F., et al. (2019) Effect of in situ sediment remediation combining oyster shells and bottom microporous aeration on nitrogen removal and microbiota. *Aquaculture Research*. 50(1): 331–341.
- White, B.L., Schofield, P.J., Poulos, B.T. & Lightner, D.V. (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(3): 341–348.
- Xie, Y., Biswas, N. & Bewtra, J. K. (1999) Nitrification and denitrification in water and soil environments. *International Journal of Environmental Studies*. 56(4): 451–474.
- Yancheva, V., Velcheva, I., Stoyanova, S. & Georgieva, E. (2015) Histological biomarkers in fish as a tool in ecological risk assessment and monitoring programs: a review. *Applied Ecology and Environmental Research*. 14(1): 47–75.

# Respuesta generacional al mejoramiento genético por peso en familias de tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) bajo un esquema de selección masal y apareamiento rotativo

## Generational response to genetic improvement by weight in families of GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under a mass selection and rotational mating scheme

Teresa Damas Pérez<sup>1</sup>   
Daylen Barrueta López<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas. Carretera Central km 20 ½, Loma de Tierra. Cotorro. La Habana, Cuba.

**Autor de correspondencia:** Teresa Damas Pérez. Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA). Carretera Central km 20 ½, Loma de Tierra. Cotorro. La Habana, Cuba. [mafepez@hotmail.com](mailto:mafepez@hotmail.com)

**Como citar:** Respuesta generacional al mejoramiento genético por peso en familias de tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) bajo un esquema de selección masal y apareamiento rotativo. Tropical Aquaculture 3(2):e5752. DOI10.19136/ta.a3n2.5752

**Recibido:** 06 de noviembre de 2025

**Aceptado:** 02 de febrero de 2026

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



### Resumen

Los estudios realizados en tilapia manifiestan que el peso es un rasgo con heredabilidad moderada y alta, lo que, aplicado a la mejora selectiva por peso en esta especie, ha permitido evaluar el crecimiento y el comportamiento generacional mediante el método de selección multietapa individual establecido en el Manual de Tecnología de la GIFT (WorldFish Center 2004). Los valores del peso se mantuvieron en un rango central debido a las incorporaciones escalonadas de los grupos familiares, al proceso de selección masal del carácter peso y al tamaño efectivo de la población de cada grupo familiar. El cruce rotativo permitió la variabilidad y la mejora gradual de los caracteres cuantitativos de la población. Los diferentes pesos promedio alcanzados por generación en los grupos familiares, así como su comportamiento, presentaron un aumento del peso promedio a medida que se pasaba de una generación a otra, con un rango de peso entre 500 y 700 g. Se propone una clasificación de los reproductores por peso: las hembras se agruparon en tres grupos: Altos (600 g), Medios (400-500 g) y Bajos (300 g); mientras que los machos se clasificaron en Altos (900-1000 g) y Medios (700 g). El presente trabajo tiene como objetivo determinar el comportamiento de los grupos familiares generacionales en función del peso de la tilapia nilótica GIFT, como resultado de la mejor selectiva, y aplicar un método de clasificación de las familias según peso y sexo como herramienta para el apareamiento interfamiliar.

**Palabras clave:** Crianza selectiva, ganancia genética, selección masiva, apareamiento entre familias, rendimiento fenotípico.

### Abstract

Studies on tilapia indicate that body weight has moderate to high heritability. When applied to selective breeding programs focused on weight improvement in this species, these findings have enabled evaluation of growth performance and generational behavior using the individual multi-stage selection method described in the GIFT Technology Manual (WorldFish Center, 2004). Weight values remained within a central range due to the staggered incorporation of family groups, the mass selection process for the weight trait, the effective population size of each family group, and the implementation of rotational crossing, which allowed for variability and the gradual improvement of quantitative traits around the population mean. The average weights of successive generations of family groups, along with their growth patterns, showed a consistent increase from one generation to the next, reaching a weight range of 500-700 g. A broodstock weight classification is proposed: females were grouped into three categories: High (600 g), Medium (400-500 g), and Low (300 g). Males were classified as High (900-1000 g) and Medium (700 g). The objective of this study is to determine the weight performance of generational family groups of GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) resulting from selective improvement, and to apply a classification method for families based on weight and sex as a tool for implementing inter-family mating strategies.

**Keywords:** selection, family groups, weight, generations.

## Introducción

Las tilapias (*Oreochromis niloticus*) se crían en más de 130 países, con una producción mundial de 5.5 millones de toneladas en 2018, lo que corresponde al 10% de todos los peces producidos mundialmente (Levy-Pereira *et al.*, 2020; Acosta y Gupta 2009; Mayorga-Castañeda 2012).

En México, la tilapia representa una importante expectativa pesquera y ocupa el segundo lugar, por debajo del cultivo de camarón, y constituye una actividad acuícola para investigadores y pobladores. México ocupa el lugar número 28 a nivel mundial con una producción de 143,747 t de especies de agua dulce, entre las cuales destaca la tilapia, que ha aportado el 91% de la producción nacional (Castañeda 2011, Mayorga *et al.*, 2011, FAO 2020, Ornelas *et al.*, 2017).

Investigaciones realizadas en tilapia manifiestan que el peso es un rasgo con heredabilidad moderada y alta (Ponzoni *et al.*, 2005; Rutten *et al.*, 2005; Dos Santos, 2009; Santos *et al.*, 2011; Damas *et al.*, 2016), resultados que, aplicados a la mejora selectiva por peso en esta especie, han permitido evaluar el crecimiento y el comportamiento generacional. Los programas de selección se implementan en el mundo en función de la ganancia de peso; de esta forma, la mayoría de los estudios sobre parámetros genéticos están vinculados al peso (Ponzoni *et al.*, 2005, Rutten *et al.*, 2005, Charo-Karisa *et al.*, 2006, Khaw *et al.*, 2008).

## Materials and methods

### Crecimiento, selección y reproducción

Las investigaciones se desarrollaron en la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA), en la Unidad de Desarrollo e Investigación “El Dique”, donde se estableció el núcleo élite de Tilapia nilótica GIFT en el periodo 2007-2016, por

generaciones, cultivados en piscinas de cemento con dimensiones entre 100 y 140 m<sup>2</sup>, con circulación de agua regulada pero constante, en el área de genética donde se realizó el crecimiento, la selección y la reproducción. Los grupos familiares se mantuvieron por separado para preservar la ganancia genética familiar y evitar la consanguinidad.

### Selección masal

Este estudio incluyó ocho generaciones parentales (G1 a G8) y siete filiales (G2 a G8), empleando el método de selección multietapa individual establecido en el Manual de Tecnología de la GIFT (WorldFish Center 2004). Estas selecciones de reproductores se basaron en el valor fenotípico del peso. Para evitar la consanguinidad, se empleó un cruce interespecífico entre los grupos de familias mediante el apareamiento de hembras y machos de distintos grupos de forma rotacional. Se eligieron las hembras en una proporción de un macho/m<sup>2</sup> y, en función de ello, dos hembras por macho, a una densidad de siembra de 2.5/m<sup>2</sup>.

### Conformación de familias

Se logró formar, escalonadamente, un total de 17 familias en ocho generaciones, que se constituyeron a partir de la población base, de la cual se generó el resto de las generaciones mediante cruces sucesivas, introducida en el 2007, proveniente de Brasil, de la Universidad de Maringá. Codificadas con letras del alfabeto y un número, indicando la generación en relación con la población base importada de Brasil, Vietnam y Tailandia, y la entrada a la EDTA de reproductores de III generación y de tilapia nilótica procedentes de Inglaterra, así como de tilapia nilótica Chitralada (cultivada en Pinar del Río).

### Alimentaciones

La alimentación se realizó con un alimento con 10 % de harina de pescado y de materias vegetales (maíz, trigo y salvado de trigo), con 29 – 30 % de

proteína bruta (PB), alimentado entre el 1 % y el 3 % de la biomasa, dos veces al día.

**Análisis estadístico**

Se determinaron los mejores grupos de familias a los 11 meses de edad, estableciendo los cruces interfamiliares mediante los paquetes estadísticos SAS® y MINITAB®. Para el procesamiento de los datos se empleó el programa estadístico MINITAB (2000). Una vez aplicados los análisis estadísticos, se efectuó la separación por generaciones considerando el conjunto de todas las familias.

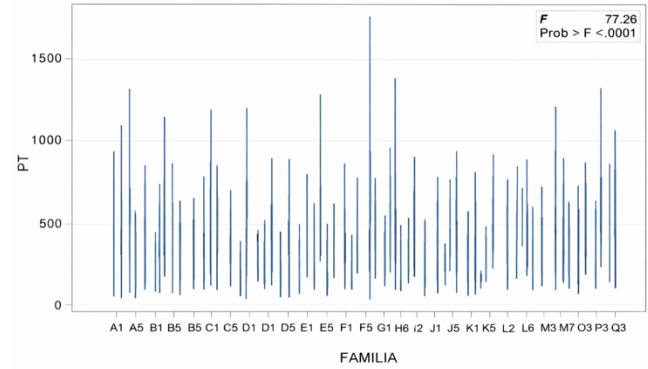
Se realizó un ANOVA multifactorial con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para determinar los efectos de las familias, las generaciones y el sexo. Se comprobó la normalidad y homogeneidad de los datos mediante un análisis de varianza de clasificación simple con el paquete STATISTICA® para Windows, versión 6.0 (2000). Con la utilización de clases representadas por sexos, familias y generaciones, con 9079 datos acumulados.

**Resultados**

Se conformaron un total de 17 grupos familiares, a lo largo de ocho generaciones del núcleo de élite de tilapia nilótica GIFT, que fueron incorporados de forma escalonada al banco genético. A lo largo del periodo de evaluación se observó un incremento progresivo del peso corporal, asociado al proceso de selección masal por peso, al tamaño efectivo de cada grupo familiar y al esquema de apareamiento rotativo implementado.

La variación generacional del peso evidenció diferencias marcadas entre familias (Figura 1), con valores máximos superiores a 1000 g en algunos grupos. Al analizar ambos sexos en conjunto, la mayor proporción de individuos se concentró en torno a 500 g y los machos presentaron pesos sistemáticamente mayores.

Los pesos promedio por familia y por generación mostraron una tendencia ascendente a lo largo de las generaciones (Tabla 1). En general, los valores oscilaron entre 500 y 700 g en generaciones intermedias y avanzadas, lo que refleja una respuesta sostenida a la selección.



**Figura 1.** Variabilidad de los valores de peso total de los grupos familiares a lo largo del tiempo. Cada grupo de datos representa generaciones por familia.

El análisis de la variación del peso por generación indicó un incremento progresivo hasta la séptima generación. Posteriormente, se registró una ligera disminución en la octava generación (Figura 2), lo que sugiere la proximidad a un posible plateau de selección o la influencia de las condiciones de manejo y cultivo.

Al agrupar los datos por generación, independientemente de la familia (Figura 3), se observó que la séptima generación presentó el mayor peso promedio y el mejor rendimiento durante el periodo de estudio.

El análisis de varianza multifactorial reveló efectos altamente significativos ( $P < 0.005$ ) de la familia y del sexo sobre el peso corporal a los 11 meses de edad (Tabla 2). Los machos presentaron sistemáticamente pesos mayores que las hembras, mientras que las diferencias entre familias reflejaron una heterogeneidad genética que puede aprovecharse mediante la selección.

A partir de los promedios de peso por sexo, se estableció una clasificación práctica de los



reproductores para orientar los cruzamientos interfamiliares (Tabla 3). Las hembras se agruparon en categorías de alto, medio y bajo peso, mientras que los machos se clasificaron en alto y medio peso. Esta clasificación permitió diseñar esquemas para combinar hembras de menor desempeño con machos de mayor desempeño.

En conjunto, los resultados demuestran que la selección masal por peso y el apareamiento rotativo entre familias mantuvieron la variabilidad genética y promovieron aumentos graduales en el crecimiento a lo largo de las generaciones. Esta estrategia se considera efectiva para mejorar el peso corporal en tilapia nilótica GIFT.

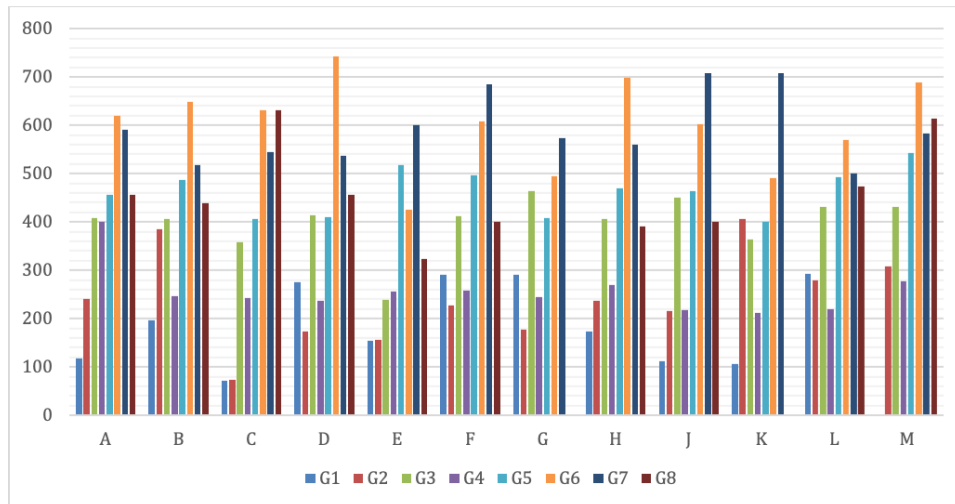
**Tabla 1.** Peso promedio de los grupos familiares por generación.

FAMILIA	$\bar{x} \pm ES$	FAMILIA	$\bar{x} \pm ES$	FAMILIA	$\bar{x} \pm ES$	FAMILIA	$\bar{x} \pm ES$	FAMILIA	$\bar{x} \pm ES$
A1	118.8 ± 22.4 a	D1	276.4 ± 22.4 b	G1	290.0 ± 18.9 b	K1	107.5 ± 22.9 a	O1	-
A2	241.6 ± 19.4 b	D2	174.4 ± 22.4 a	G2	178.4 ± 22.2 a	K2	406.5 ± 17.4 c	O2	467.8 ± 26.4 d
A3	408.8 ± 6.4 c	D3	414.8 ± 16.0 c	G3	463.8 ± 17.6 d	K3	363.7 ± 13.5 h	O3	607.1 ± 34.6 e
A4	400.5 ± 3.5 c	D4	236.8 ± 13.5 b	G4	244.9 ± 12.8 b	K4	211.7 ± 13.1 b	O4	630.5 ± 24.2e
A5	457.0 ± 5.9 d	D5	410.9 ± 24.8 c	G5	408.7 ± 34.6 c	K5	400.9 ± 25.7 c	O5	-
A6	620.9 ± 7.6 e	D6	742.8 ± 35.5 g	G6	494.9 ± 35.5 d	K6	490.2 ± 50.2 d	O6	-
A7	590.3 ± 6.8 f	D7	236.8 ± 13.5 b	G7	574.9 ± 25.4 f	K7	709.0 ± 29.0 g	O7	-
A8	456.7 ± 14.8 d	D8	456.6 ± 30.5 d	G8	-	K8	700.0 ± 29.0 g	O8	-
B1	197.2 ± 22.9 g	E1	155.5 ± 22.7 a	H1	173.3 ± 14.7 a	L1	292.0 ± 22.4 b	P1	197.7 ± 33.8 a
B2	385.2 ± 22.4 h	E2	155.5 ± 22.7 a	H2	236.4 ± 25.7 e	L2	279.8 ± 22.4 b	P2	547.3 ± 23.9 f
B3	406.9 ± 16.4 c	E3	238.4 ± 8.4 b	H3	406.3 ± 9.6 c	L3	431.3 ± 16.0 d	P3	646.6 ± 31.7 e
B4	246.0 ± 25.7 b	E4	256.0 ± 13.4 b	H4	269.1 ± 16.5 b	L4	220.1 ± 11.6 b	P4	844.8 ± 26.4 j
B5	485.7 ± 27.2 d	E5	517.0 ± 27.7 f	H5	470.3 ± 18.2 d	L5	492.4 ± 25.1 d	P5	-
B6	647.8 ± 26.1 e	E6	425.2 ± 34.6 d	H6	699.4 ± 20.1 e	L6	569.3 ± 31.7 f	P6	-
B7	517.4 ± 29.5 i	E7	600.0 ± 25.7 e	H7	560.6 ± 16.9 f	L7	500.7 ± 29.0 f	P7	-
B8	438.6 ± 29.5 d	E8	323.9 ± 14.4 h	H8	391.2 ± 24.5 h	L8	474.8 ± 30.5 d	P8	-
C1	72.8 ± 22.4 j	F1	290.0 ± 18.9 b	J1	111.2 ± 22.4 a	M1	-	Q1	395.7 ± 15.8 h
C2	74.4 ± 22.4 j	F2	828.9 ± 12.8 k	J2	216.6 ± 14.9 b	M2	308.1 ± 19.4 h	Q2	687.2 ± 35.4 e
C3	359.0 ± 12.8 h	F3	412.3 ± 13.4 c	J3	451.1 ± 16.5 d	M3	431.3 ± 16.0 d	Q3	560.4 ± 26.4 f
C4	242.7 ± 26.1 b	F4	259.7 ± 13.1 b	J4	217.5 ± 11.5 b	M4	278.0 ± 13.2 b	Q4	465.5 ± 25.4 d
C5	407.1 ± 35.5 c	F5	496.7 ± 25.7 d	J5	463.9 ± 25.4 d	M5	543.1 ± 25.7 i	Q5	-
C6	632.9 ± 18.7 e	F6	608.0 ± 35.5 e	J6	603.2 ± 33.1 e	M6	688.5 ± 35.5 e	Q6	-
C7	545.7 ± 12.6 f	F7	685.1 ± 27.2 e	J7	709.0 ± 29.0 g	M7	584.1 ± 25.7 f	Q7	-
C8	632.9 ± 35.5 e	F8	401.5 ± 24.8 c	J8	401.5 ± 24.8 c	M8	613.8 ± 25.7 e	Q8	-

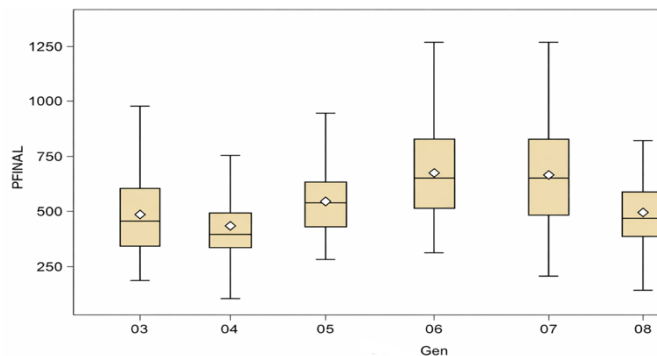
Las familias se caracterizan por una letra y un número: X#. La letra se refiere al grupo familiar de referencia: A, B, C, etc. Mientras tanto, el número indica la generación de la que se trata: 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup>, 3.<sup>a</sup>, etc.

**Tabla 2.** Resultados del ANOVA para evaluar el efecto de la familia y el sexo en el peso promedio a los 11 meses de edad de la tilapia nilótica GIFT

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor de F	Probabilidad
Familia	16	56136641	370196	13.94	0.0001
Sexo	1	26747109	267447109	1007.4	0.0001
Error	1116	29630231			
Total	1133				



**Figura 2.** Comportamiento del peso de los grupos familiares de la Tilapia nilótica GIFT por generaciones.



**Figura 3.** Diagrama de caja del peso de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) GIFT en las generaciones G3, G4, G5, G6, G7 y G8.

**Tabla 3.** Clasificación de los pesos promedios y de la categoría para realizar los cruces generaciones.

c			MACHOS		
Familias	Medias $\pm$ ES	Clasificación	Familias	Medias $\pm$ ES	Clasificación
H4	661.3 $\pm$ 25.0	Altos ▲	H7	905.0 $\pm$ 58.0	Altos ▲
J7	627.0 $\pm$ 35.7		P4	1028.0 $\pm$ 58.0	
K7	627.0 $\pm$ 35.7		J7	802.0 $\pm$ 22.6	
A7	590.3 $\pm$ 6.8	Medios ►	K7	802.0 $\pm$ 22.9	
O4	526.0 $\pm$ 38.0		D7	935.0 $\pm$ 38.1	
E7	512.0 $\pm$ 19.7		E7	932.0 $\pm$ 57.6	
D7	506.0 $\pm$ 33.0		F7	709.0 $\pm$ 9.0	
G7	447.0 $\pm$ 30.0		L7	781.4 $\pm$ 53.9	
M7	473.0 $\pm$ 32.9	Bajos ▼	Q3	735.0 $\pm$ 38.1	Medios ►
A7	590.3 $\pm$ 8.9		K7	770.0 $\pm$ 26.0	
B7	383.0 $\pm$ 25.9		O7	729.0 $\pm$ 30.0	
C7	343.0 $\pm$ 16.8		Q4	735.7 $\pm$ 53.2	
H7	343.0 $\pm$ 8.0		C7	735.0 $\pm$ 34.9	
L7	360.0 $\pm$ 18.3				

## Discusión

El incremento progresivo del peso corporal observado a lo largo de las generaciones confirma la efectividad de la selección masal por peso en poblaciones de tilapia nilótica GIFT, en concordancia con estudios que reportan heredabilidades moderadas a altas para este carácter y respuestas sostenidas a la selección (Ponzoni *et al.*, 2005; Rutten *et al.*, 2005; Charo-Karisa *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2011). Estos resultados coinciden con experiencias de programas de mejoramiento genético en diferentes regiones, donde el crecimiento ha sido el principal criterio de selección debido a su impacto directo en la productividad acuícola (Khaw *et al.*, 2008; Ponzoni *et al.*, 2009).

La incorporación escalonada de grupos familiares y el empleo de apareamiento rotativo contribuyeron al mantenimiento de la variabilidad genética y a la mejora gradual del peso promedio. Diversos autores han señalado que el control de la consanguinidad y el manejo del tamaño efectivo de la población son factores clave para mantener la respuesta a la selección y evitar pérdidas de desempeño productivo (Ponzoni *et al.*, 2010). En este sentido, revisiones recientes sobre programas de mejoramiento genético en peces y moluscos confirman que las respuestas generacionales positivas pueden mantenerse durante largos periodos cuando se aplican esquemas adecuados de selección y manejo poblacional (Gjedrem y Rye, 2018).

La ligera disminución del peso observada en generaciones avanzadas sugiere la posible aproximación a un plateau de selección, fenómeno ampliamente documentado en poblaciones sometidas a presión selectiva prolongada, donde la variabilidad genética aditiva disponible se reduce progresivamente a medida que avanzan las generaciones de selección (Ponzoni *et al.*, 2005; Khaw *et al.*, 2008). Sin embargo, estudios de síntesis indican que este estancamiento no es necesariamente permanente y puede mitigarse mediante estrategias como la incorporación de nuevas líneas, el aumento del tamaño efectivo de la población y la optimización de los esquemas de cruzamiento (Gjedrem y Rye 2018; Nguyen 2021). Por tanto, la disminución observada en este estudio también podría reflejar la influencia de factores ambientales y de manejo, como la densidad de cultivo y la calidad del alimento, que interactúan con el genotipo para determinar el crecimiento de la tilapia (Rutten *et al.* 2005; Ponzoni *et al.* 2010).

El marcado dimorfismo sexual observado, con machos consistentemente superiores en peso a las hembras, concuerda con lo reportado en poblaciones GIFT y en otras líneas mejoradas de tilapia nilótica (Damas *et al.* 2014; Damas *et al.*, 2016; Damas y Berovides 2017). Este patrón ha sido atribuido a diferencias fisiológicas en las tasas de crecimiento, el metabolismo energético y la asignación de recursos reproductivos, así como a respuestas diferenciales al proceso de selección entre sexos (Santos *et al.*, 2011; Vehviläinen *et al.* 2008). Revisiones recientes sobre el mejoramiento genético en tilapia destacan que la expresión del dimorfismo sexual puede variar entre poblaciones y generaciones, lo que influye directamente en la eficiencia productiva y en las estrategias de selección (Nguyen, 2021).

La clasificación práctica de reproductores por rangos de peso y sexo propuesta en este estudio constituye una herramienta operativa útil para

orientar los cruzamientos interfamiliares en sistemas productivos con recursos limitados. El uso de criterios fenotípicos simples ha demostrado ser efectivo para obtener ganancias genéticas sostenidas cuando se acompaña de un manejo poblacional adecuado (Ponzoni *et al.*, 2005; Damas *et al.*, 2013; Damas *et al.*, 2016). No obstante, revisiones recientes señalan que la integración de evaluaciones genéticas más precisas, como los modelos animales (BLUP), permite maximizar el progreso genético y mejorar la estabilidad de la respuesta a la selección en poblaciones comerciales (Gjedrem y Rye 2018; Nguyen 2021).

En conjunto, los resultados confirman que la selección masal por peso, combinada con estrategias de manejo poblacional adecuadas, constituye una vía eficaz para el mejoramiento genético del crecimiento de la tilapia nilótica GIFT, contribuyendo al incremento del rendimiento productivo y al fortalecimiento de la acuicultura tropical (FAO, 2020).

## Conclusiones

Con el presente estudio se logró la mejora gradual del carácter cuantitativo del peso de la media poblacional de los grupos familiares, mediante la incorporación escalonada de nuevos grupos familiares (aumentando así el tamaño efectivo de la población) y el empleo de la clasificación de hembras y machos según su rango de peso. Por este motivo, los aportes de esta investigación constituyen una herramienta de trabajo para el apareamiento de cruces intrafamiliares con el fin de mejorar las características genéticas.

## Literatura citada

Acosta BO, Gupta MV (2009) Success Stories in Asian Aquaculture. S.S. De Silva and F.B. Davy (eds.). Springer Science + Business


- Media B.V. Aquaculture Department,  
Southeast Asian Fisheries Development  
Centre Manila Office,  
Philippines. *Aquacult. Asia*, 10(1):7-1216.
- Charo-Karisa H, Komen H, Rezk MA, Ponzoni RW, van Arendonk JAM, Bovenhuis H (2006) Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L) in low-input earthen ponds. *Aquaculture* 261: 479-486.
- Castañeda, F., Corral-Ávila, R., Gutiérrez-Ahumada, H., Arriaga-Haro, V., & Pérez-Hernández, J. A. (2011). Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de la tilapia (mojarra). México D. F. URL: <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/dgof/publicaciones/Guia-EmpresarialTilapia.pdf>.
- Damas T, Portales A, Díaz G, Cobas L, Vicente B (2013) Valoración fenotípica del peso entre la primera, segunda y tercera generaciones de la Tilapia nilótica GIFT. *Acuacuba* 13(2): 9-10.
- Damas, T, Portales A, Díaz G, Cobas L, Berovides V (2014) Tecnología para el mejoramiento genético de La Tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) en Cuba. *Rev. Cubana de Investigaciones Pesqueras* 31(2): 30-34.
- Damas T, Portales A, Diaz G, Millares N, Garcia MT, Vinjoy M (2016) Mejoramiento genético de La Tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*). *AcuaCuba* 18 1(20-16): 5-30.
- Damas T, Berovides V (2017) Heredabilidad realizada por carácter morfológico de La Tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*). *Acuacuba* 19(1): 11-20.
- Dos Santos AI, Pereira R, Vargas L, Mora F, Filho LA, Fornari DC, et al. (2011) Bayesian genetic parameters for body weight and survival of Nile tilapia farmed in Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.* 46(1): 3.
- Khaw HL, Ponzoni RW, Danting MJC (2008) Estimation of genetic change in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by comparing contemporary progeny produced by males born in 1991 or in 2003. *Aquaculture* 275: 64-69
- FAO (2020) The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustainability in action. Rome: FAO. 244 p.
- Levy-Pereira NL, de Sousa RL, Sebastião F, Urbinati E, Pilarski F (2020) Dietary mannan-oligosaccharide increases reactive oxygen species production but decreases serum lysozyme in high levels of inclusion for Nile tilapia. *Boletim do Instituto de Pesca*, 46(3) e551.
- Mayorga-Castañeda FJ (2012) Carta nacional pesquera. *Diario Oficial*. [pesca/documentos/industria/SAGARPA %20Actualizacion%20Carta%20Nacional %20Acuicola%202012.pdf](https://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/documentos/industria/SAGARPA%20Actualizacion%20Carta%20Nacional%20Acuicola%202012.pdf)
- Montoya AM (2018) Caracterización genética fenotípica y productiva de la tilapia en Antioquia. Colombia. Universidad de Antioquia. pp133.
- Ornelas LR, Aguilar B, Hernández A, Hinojosa JL, Godínez DE (2017) Un enfoque sustentable de cultivo de la Tilapia. *Multidisciplinary Scientific Journal*. Vol. 27 No. 5 Septiembre-Octubre 2017. pp-19-25.
- Ponzoni RW, Hamzab A, Tana S, Kamaruzzamana N (2005). Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, L). *Aquaculture* 247:203-210.


- Ponzoni RW, Nguyen NH, Khaw HL (2009) Genetic improvement programs for aquaculture species in developing countries: prospects and challenges. Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet. 18: 342-349.
- Ponzoni RW, Khaw HL, Nguyen HN, Hamzah A (2010) Inbreeding and effective population size in the Malaysian nucleus of the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L). Aquaculture 302: 42-48.
- Rutten MJM, Komen H, Bovenhuis H (2005) Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) body weight using a random regression model. Aquaculture 246:101.
- Pereira R (2015) Programa para Criação de um Satélite de Seleção da Linhagem no Brasil. Genetic. Sele. Evol. 1-7.
- Rodríguez E, Alarcón GVF (2012) Comparación de parámetros reproductivos en hembras de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) de alto y bajo valor genético. Universidad de ciencias aplicadas y ambientales U.D.C.A Facultad de ciencias pecuarias carrera zootecnia Bogotá 2(t12).
- Santos AI, Ribeiro RP, Vargas L, Mora F, Alexandre Filho L, Fornari DC, et al. (2011) Bayesian genetic parameters for body weight and survival of Nile tilapia farmed in Brazil. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46: 33-43.
- Vehviläinen H, Kauser A, Quinton C, Koskinen H, Paananen T (2008) Survival of the currently fittest: genetics of rainbow trout survival across time and space. Genetics 180: 507-516.
- WorldFish Center (2004) GIFT Technology Manual: An aid to Tilapia Selective Breeding. WorldFish Center, Penang, Malaysia, 56 p.


## Frequency and distribution of fungal pathogens affecting teleost fish of commercial interest: a systematic review

### Frecuencia y distribución de patógenos fúngicos que afectan a peces teleósteos de interés comercial: una revisión sistemática

Zepeda-Velázquez Andrea-Paloma<sup>1</sup> 

Aylen Miranda-Meneses<sup>1</sup> 

Rosario-Estefanía Ayala-Vázquez<sup>1</sup> 

Jorge-Luis de-la-Rosa-Arana<sup>2</sup> 

Fabián-Ricardo Gómez-De-Anda<sup>1</sup> 

Víctor Johan Acosta-Pérez<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Ciencias Agropecuarias, 43600 Tulancingo de Bravo, Hgo, México.

<sup>2</sup> Microbiología en Salud Humana, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Primero de Mayo S/N, Campo Uno, 54743 Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

**Corresponding author:** Acosta Pérez Víctor Johan Osvaldo. Instituto de Ciencias Agropecuarias, Tulancingo de Bravo, Hgo, México.  
<[victor\\_acosta@uaeh.edu.mx](mailto:victor_acosta@uaeh.edu.mx)>

**Cited:** Zepeda Velázquez, *et al.* (2026) Frequency and distribution of fungal pathogens affecting teleost fish of commercial interest: a systematic review. Tropical Aquaculture 3(2):e5759.  
DOI10.19136/ta.a3n2.5759

**Received:** 13 january 2026

**Accepted:** 31 january 2026

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



#### Abstract

Activities such as aquaculture and fishing provide employment and food for different populations around the world; however, teleost fish are susceptible to fungal infections that compromise their utilization. The objective of this work was to analyse the frequency of fungal infection in commercial teleost fish through a systematic review. A total of 26 articles were included in the data analysis; from these, 1 409 fish were identified as positive for fungi. This interaction involved 25 teleost species and 24 fungal species. The main host species were *Oreochromis niloticus* and *Salmo salar*, with 574 (40.73 %) and 539 (38.25 %) positive fish, respectively, while the most frequent fungus was *Saprolegnia* spp. (882 positive fish and 62.59 %) at the genus level and *Saprolegnia parasitica* (463 positive fish and 32.86 %) at the species level. In general, the positive fish were from aquaculture (1,265 positive fish, 89.77 %). The fungi were identified mainly by molecular techniques (837 positive fish, 59.40 %), where the class *Oomycota* was the most frequent (1,372 positive fish, 97.37 %). The profile of the fungal infection, as well as the analysis of the relationship between teleost fish and pathogenic fungi, are essential for establishing health monitoring strategies for these high-impact infections in fish populations.

**Keywords:** Fungi, Parasite, *Ascomycota*, *Oomycota*, *Saprolegnia* spp.

#### Resumen

Actividades como la acuicultura y la pesca brindan empleo y alimento a diferentes poblaciones alrededor del mundo; sin embargo, los peces teleósteos son susceptibles a infecciones fúngicas que comprometen su utilización. El objetivo de este trabajo fue analizar la frecuencia de infección fúngica en peces teleósteos comerciales, a través de una revisión sistemática. Se incluyeron un total de 26 artículos en el análisis de datos; de estos, 1 409 peces fueron identificados como positivos para hongos. Esta interacción incluyó 25 especies de peces teleósteos y 24 especies de hongos. Las principales especies hospedadoras fueron *Oreochromis niloticus* y *Salmo salar* con 574 (40,73 %) y 539 (38,25 %) peces positivos, mientras que el hongo más frecuente fue *Saprolegnia* spp. (882 peces positivos y 62,59 %) a nivel de género y *Saprolegnia parasitica* (463 peces positivos y 32,86 %) a nivel de especie. En general, los peces positivos fueron de acuicultura (1 265 peces positivos, 89,77 %). Los hongos se identificaron principalmente mediante técnicas moleculares (837 peces positivos, 59,40 %), donde la clase *Oomycota* fue la más frecuente (1 372 peces positivos, 97,37 %). El perfil de la infección fúngica, así como el análisis de la relación entre peces teleósteos y hongos patógenos, son esenciales para establecer estrategias de monitoreo sanitario para estas infecciones de alto impacto en las poblaciones de peces.

**Keywords:** Hongo, Parásito, *Ascomycota*, *Oomycota*, *Saprolegnia* spp



## Introduction

Fish are a large group of organisms distributed in almost all aquatic environments. Fish play an important ecological role in food webs because they provide highly digestible protein to the human diet; teleost fish are the most frequently consumed. Currently, 34 000 species of teleost fish have been described, representing 96 % of extant fish species (Bone y Moore 2007, Mayer y Pšenička 2024).

Worldwide, cyprinids (*Cyprinus carpio*, *Hypophthalmichthys nobilis* and *H. molitrix*), cichlids (*Oreochromis niloticus*, *O. aureus* and *O. mossambicus*), and salmonids (*Salmo salar* and *Oncorhynchus mykiss*) represent the main taxonomic groups of fish that are used for production and consumption (FAO 2021; Savaya *et al.*, 2020). The three previous groups, together with a great diversity of ray-finned fishes such as tuna (*Thunnus orientalis*), sardine (*Sardina pilchardus*), and cod (*Gadus morhua*), maintain a close relationship with humans through aquaculture, mariculture and fishing (Dávila-Camacho *et al.*, 2019, Mayer y Pšenička 2024), activities that play a fundamental role in nutrition and food security, in addition to contributing to the economic growth of various countries around the world.

It is estimated that nearly 100 million people worldwide depend economically on the aquaculture and fishing industry (González Razo *et al.*, 2017); in addition, teleost fish have also played an important role as ornamental organisms and as pets, including in the production of species that are used as models for scientific research, e.g., *Danio rerio*, known as the zebrafish (*Danio rerio*) (Astell & Sieger 2020; Saengsitthisak *et al.*, 2021; Silva Brito *et al.*, 2022). Given the dynamism of the sector, particular challenges arise; among them, monitoring the

sanitary conditions in which teleost fish populations thrive (Oidtmann *et al.*, 2011), since various pathogens can affect both production systems and wild populations, causing low weight gain, developmental disorders, poor growth and mortality rates that can reach up to 100 % in cases that are not adequately treated (Zulbainarni y Megawati 2019).

Among infectious diseases, fungal diseases generate a significant ecological impact, affecting biodiversity and food security aspects (Liu *et al.*, 2015). Fungal infections in fish tend to recur when the host suffers immunosuppression, or failing that, when there are variations in the quality of the culture water, mainly due to temperature decreases, increases in corticosteroids, and the presence of cytotoxic factors, including those secreted by fungi (Singh *et al.*, 2018). In the case of infection, symptoms vary widely; for example, infection by *Aphanomyces invadans* (Oomycota) causes epizootic ulcerative syndrome, characterized by focal hemorrhages that progress to necrotizing dermatitis and ultimately death (Majeed *et al.*, 2017). This pathogen can infect various tropical fish, including *Trichopodus pectoralis*, *Cyprinus carpio*, and *Clarias macrocephalus* (Afzali *et al.*, 2015). Other fungi, belonging to the class *Oomycota*, which are recurrent in fish populations, are included in the genus *Saprolegnia*. These host-nonspecific fungi that can infect fish, amphibians, and crustaceans in various aquatic environments (Saraiva *et al.*, 2014), likewise, have been reported in populations of salmonids such as *Salmo marmoratus*, *S. trutta*, *S. salar*, and *Oncorhynchus mykiss* (Tedesco *et al.*, 2022), in cichlids (*Oreochromis niloticus*) and cyprinids (*Ctenopharyngodon idella*) (Ali *et al.*, 2019; de Freitas Souza *et al.*, 2019). Other fungi that tend to cause problems in teleost fish include *Exophiala angulospora*, the causative agent of systemic mycoses, where the formation of

black nodules on the skin and gills tends to be present during the disease, as well as *Veronaea botryosa*. This fungus causes systemic phaeohyphomycosis, known as “liquid belly” disease (Overy et al., 2015; Saraiva et al., 2019; Soto et al., 2022).

In view of the health risks, efforts have been made to treat mycoses, including the evaluation of plant extracts of garlic (*Allium sativum*), cinnamon (*Cinnamomum verum*), and buttonwood (*Eclipta alba*) as antifungals (Kumar et al., 2023); some molecules such as boric acid, copper nanoparticles, and miconazole nitrate have also been used (Ali et al., 2019; Kalatehjari et al., 2015; Singh et al., 2018). Even the use of  $\beta$ -defensins isolated from the mucus of *Cyprinus carpio* during infection has been explored (Shabir et al., 2022), and biological control of bacteria such as *Pseudomonas* spp. has been evaluated (Liu et al., 2015). The analysis of these strategies has shown promising results; however, the diversity and dynamics of infections represent a constant challenge for the aquaculture and fishing industries. This highlights the importance of understanding host-pathogen interactions. Therefore, the objective of this study was to conduct a systematic review of the specialized literature on fungal infections in commercially important teleost fish to contribute to understanding their ecological relationships and the characteristics associated with infection. This information can be key to developing sanitary management strategies against these pathogens.

## Materials and methods

### Search strategy.

The search for bibliographic resources was conducted in accordance with the PRISMA guidelines for systematic reviews (Hutton et al., 2015). The search for bibliographic resources was carried out during August 2025 based on the keywords "Fish", "Teleostean", "Fungal infection", "Fungal disease", "Mycotic infection", "Mycotic disease", "Aquaculture", and "Fish farm", which were used to form the general search entries (Table 1). Similarly,

the words: "Prevalence", "Saprolegnia", "Branchiomyces", "Aphanomyces", "Achlya", "Aspergillus", "Paecilomyces", "Sphaerothecum", and "Pythium" were used to establish the specific search entries for fungal genera that can affect teleost fish (Table 1). The search engines selected to perform the resource search were PubMed® (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), ScienceDirect® (<https://www.sciencedirect.com/>), and Wiley Online Library (<https://onlinelibrary.wiley.com/>).

### Inclusion and exclusion criteria

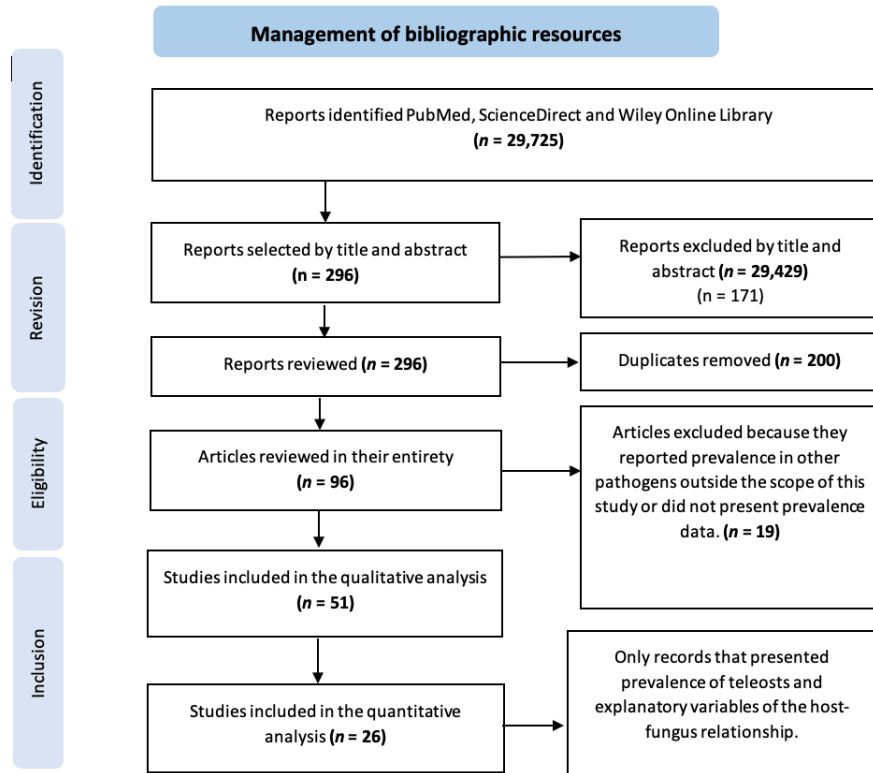
The bibliographic resources used in this study were managed according to the PRISMA guidelines, following the stages of identification, review, eligibility and inclusion (Figure 1) (Moher et al., 2009), once the four stages of bibliographic management were completed, 26 bibliographic resources were included, selected from the following inclusion criteria: 1) scientific articles, 2) English language, 3) temporality within the last 10 years, 4) data content on prevalence, sample number and number of positive fish in the pathogenic fungus-teleost fish relationship, and 5) the reported fish must be of commercial importance in fishing or aquaculture. In addition, the management of bibliographic resources allowed the exclusion of bibliographic resources with the following characteristics: 1) reviews, systemic reviews, bibliometric analyses and meta-analyses, 2) reports in languages other than English, 3) articles published before 2015, 4) resources that do not report the prevalence or data to calculate the prevalence (sample size and number of positive fish for the pathogenic fungus), and 5) the reported fish represents a fortuitous find and does not represent a commercial interest for fishing or aquaculture.

### Data extraction

For each bibliographic source, compliance with the inclusion and exclusion criteria established for the analysis was verified. From the 26 articles selected

in this systematic review (Appendix 1), data were collected and labeled with the following categories: author, year, country, continent, activity, animal husbandry, analysis method, fish species, fungus

species and class, sample size, number of positive fish, and prevalence. All authors validated data extraction before analysis.



**Figure 1.** Flowchart of bibliographic resources according to the PRISMA guidelines for preparing systemic reviews.

**Table 1.** Search entries used to identify bibliographic resources related to fungal diseases affecting teleost fish.

Entry type	Search entry
<b>General</b>	<i>(Fish OR Teleosts) AND ("Fungal infection" OR "Fungal disease") AND (Aquaculture OR "Fish farm")</i> <i>(Fish OR Teleosts) AND ("Mycotic infection" OR "Mycotic disease") AND (Aquaculture OR "Fish farm")</i>
<b>Specific</b>	<i>(Prevalence OR Determination) AND (Saprolegnia) AND (Fish OR Teleosts)</i> <i>(Prevalence OR Determination) AND (Branchiomyces) AND (Fish OR Teleosts)</i> <i>(Prevalence OR Determination) AND (Aphanomyces) AND (Fish OR Teleosts)</i> <i>(Prevalence OR Determination) AND (Achlya) AND (Fish OR Teleosts)</i> <i>(Prevalence OR Determination) AND (Aspergillus) AND (Fish OR Teleosts)</i> <i>(Prevalence OR Determination) AND (Paecilomyces) AND (Fish OR Teleosts)</i> <i>(Prevalence OR Determination) AND (Sphaerothecum) AND (Fish OR Teleosts)</i> <i>(Prevalence OR Determination) AND (Pythium) AND (Fish OR Teleosts)</i>



## Data analysis

The data was tabulated in a Microsoft® Excel® spreadsheet for analysis of the relationship between teleost fish and pathogenic fungi. The total number of sampled fish ("sample  $n$ ") and the total number of positive fish (" $n$ " positive fish) reported in the 26 articles included in the analysis were obtained. Using the " $n$ " of positive fish for each fungus, the frequencies and percentages related to each explanatory variable were calculated. Subsequently, the graphic expression was presented as a Sankey plot created in VisualParadigm® software, in which the categorical variables were linked by the frequency of positive fish. Finally, the frequency distribution map of fungal classes was created using the TomTom® Map Chart tool in Microsoft® Excel®.

## Results

### Relationship between pathogenic fungi and teleost fish

The quantitative analysis was performed on 26 articles selected for this study; the extracted data included 29 332 fish, of which 1 409 cases of fungal infection were reported, representing an overall prevalence of 4.80%. The authors reported 25 fish species and one population at the genus level (*Pseudanthias* sp.) affected by 18 fungal genera, indicating multiple interactions between taxonomic groups (Figure 2). Among the reported genera, eight were identified to the species level, bringing the total to 24 fungal species. The fish *Oreochromis niloticus* and *Salmo salar* presented the highest number of positive samples for fungal infection, with 574 (40.73 %) and 539 (38.25 %), respectively, and presented infection by three and four fungal genera, followed with less frequency by the species

*Oncorhynchus mykiss*, with 108 (7.66 %) positive fish, and infection by five fungal genera. Among the pathogenic fungi reported at the genus level, *Branchiomyces* sp. stood out with a high frequency of positive fish in relation to the fish species *Oreochromis niloticus*. At the same time, *Saprolegnia* sp. (391 [27.75 %]) and *Pythium* sp. (134 [9.51 %]) were more related to *Salmo salar*; however, other genera showed lower occurrence, with a maximum of 19 positive fish for *Aphanomyces* sp. (1.34 %). In contrast, genera such as *Alternaria* sp., *Cephalotheca* sp., *Didymella* sp., *Emmia* sp., *Mucor* sp. and *Phoma* sp. reported one positive fish for per fungus, representing only 0.07 %. On the other hand, the fungi that were reported at the species level corresponded to eight fungal genera, among which four species for the genus *Exophiala* spp., five for the genus *Pythium* spp. and up to 10 species for the genus *Saprolegnia* spp., being this the one that presented the highest frequency with 822 (62.59 %) positive fish, in particular the species of *Saprolegnia parasitica*, *S. diclina*, *S. ferax* and *S. australis*, were the most prevalent with 463 (32.86 %), 58 (4.11 %), 40 (2.83 %) and 30 (2.12 %) positive fish respectively.

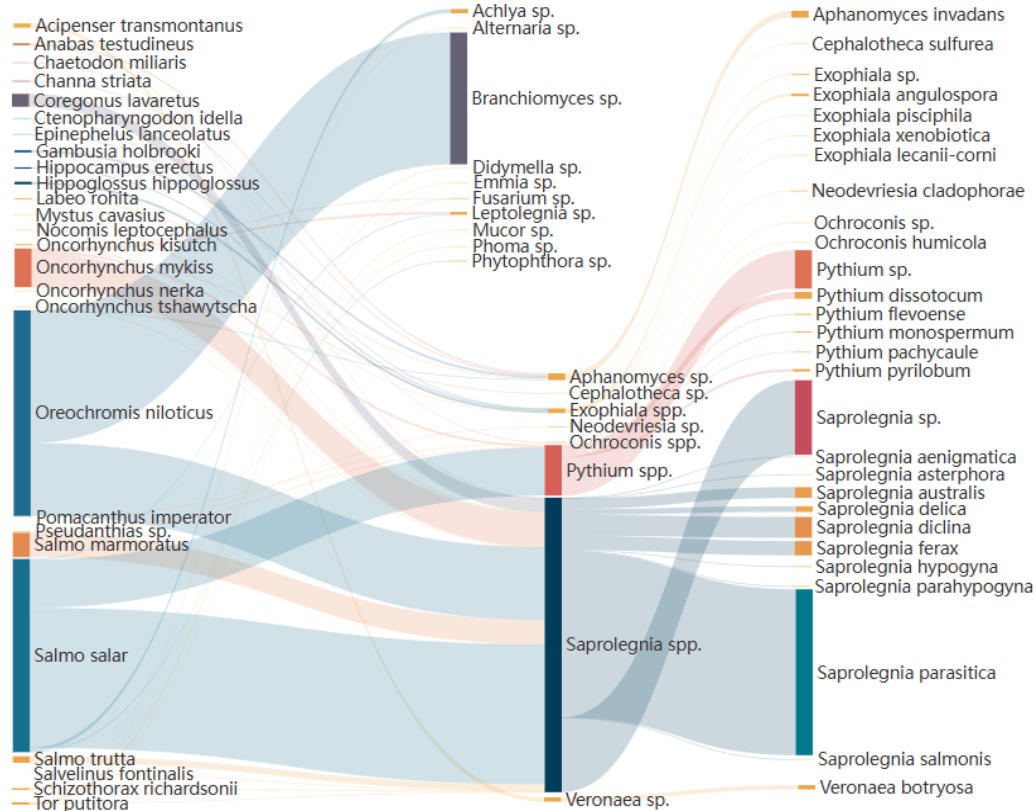
### Variables related to fungal infection

Reported fungal infections are associated with study variables that enable characterization of trends in the host-fungal relationship (Figure 3). Among the 1 409 fish positive for fungal infection, the majority were classified as fish used in meat production, with 1,255 positive fish (89.07%), complemented by just 10 positive fish (0.70%) sampled from ornamental fish populations. On the other hand, 144 positive fish (10.22%) for fungal pathogens were sampled from fishing activities, all of them from fish caught for meat production.

For diagnosis, molecular techniques were identified as the most frequently used; the authors used

molecular techniques to identify the fungus in 837 (59.40 %) positive cases. Histopathological studies were performed on 572 (40.59 %) samples. However, the frequency of diagnosis is roughly similar; molecular techniques identified a total of 13 genera and 24 species of fungi, while

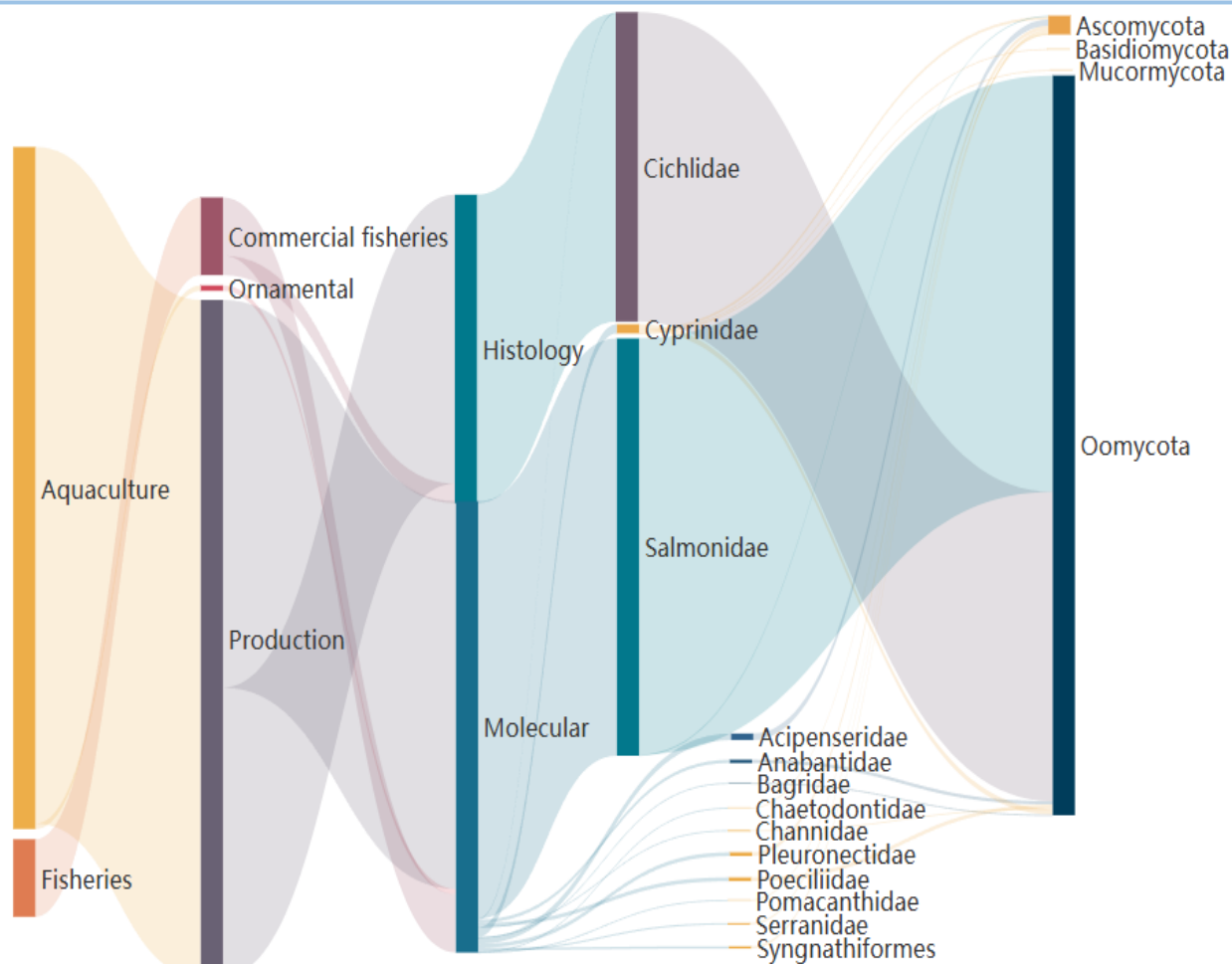
histopathological techniques identified only two pathogenic fungi at the genus level (*Branchiomyces sp.* and *Saprolegnia sp.*); it is noteworthy that, in both cases, the initial isolation was performed using fungal culture techniques.



**Figure 2.** The Sankey diagram indicates the relationship between teleost fish species and the pathogenic fungi that infect each species. The thickness of the lines indicates the reporting frequency (number of fish positive for each pathogenic fungus). In the nomenclature of the biological groups analyzed, "sp." refers to the singular and "spp." to the plural of related species.

In addition, up to 13 families of fish were reported with at least one individual positive for infection by pathogenic fungi; however, only salmonids and cichlids presented 1,348 cases of positive fish (99.67%), far below were cyprinids, with 17 (1.20%) positive fish. In contrast, the ten remaining families of fish had a maximum of 12 (0.11 %) positive fish (*Acipenseridae*) and a minimum of one positive fish for the families Bagridae, Chaetodontidae, and Pomacanthidae, representing only 0.07 % of the fish positive for mycosis in the reports analyzed.

Likewise, pathogenic fungi corresponding to four classes of fungi were reported, among them the studies focused on the determination of *Oomycota* fungi with 1 372 positive fish (97.37 %). In isolation, the occurrence of a fish positive for the *Mucormycota* fungus class (0.07 %) stood out, which corresponded to *Mucor sp.* infection in the cyprinid *Schizothorax richardsonii* and what was reported for the *Basidiomycota* (0.07 %) *Emmia sp.* in a cyprinid of the *Tor putitora* species (Figure 3).



**Figure 3.** Sankey diagram, showing the explanatory variables related to the samples analyzed for the detection of pathogenic fungi; the thickness of the lines indicates the reporting frequency (number of positive fish for each variable analyzed).

### Geographic distribution of pathogenic fungi reported in teleost fish

Teleost fish positive for fungal infection were distributed across 16 countries, with presence on four of the five continents (Figure 4). Fungi in the classes *Ascomycota* and *Oomycota* have been reported in North America, Canada, and the United States. Meanwhile, five European countries reported *Oomycota* fungi, and only the Czech Republic and Georgia reported *Ascomycota* fungi. In Asia, India was particularly notable, with up to four distinct

classes of fungi identified: *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Mucorales*, and *Oomycota*. In contrast, only Egypt was reported to have *Oomycota* fungi. Notably, Europe and Africa had the highest numbers of reported positive fish, with 745 (52.87 %) and 572 (40.59 %) records, respectively. On the other hand, although Egypt was the only country with reports in Africa, it had the highest number of infected fish per country (572 positive fish, 40.59 %), while only one positive fish was documented in China, the Czech Republic, and South Korea (0.07 %).



**Figure 4.** Geographic distribution of the classes of fungi detected in teleost fish, in parentheses, the number of positive fish reported by country is shown.

## Discussion

Teleost fishes make up a group of organisms with a high richness of described species, a situation that represents difficulties for their ecological and health monitoring given the different environments they colonize (Mayer y Pšenička 2024), correspondingly, the biological diversity of pathogens related to fish is high, different pathogens have been associated with infections in teleost fish, including a wide diversity of fungi (Austin 2011, Bricknell 2017, Choudhury *et al.*, 2014, Crane y Hyatt 2011). In this context, the present study analyzed 1,409 fish positives for fungal infection, present in 25 species of teleost fish that are susceptible to fungal infection and used commercially for food production, fishing, and ornamental production. Aquaculture and fishing alone account for the production and consumption of 182 million tons of food (FAO 2023), while the aquarium industry

markets nearly 30 billion dollars in ornamental specimens (Peh y Azra 2025). However, high production is threatened by outbreaks of fungal infections. These pathogens are commonly aquatic saprophytes associated with the decomposition of organic matter. However, they establish themselves as secondary infections due to immune suppression or mechanical damage to fish (Choudhury *et al.*, 2014, Singh *et al.*, 2018).

In this study, the fish most frequently infected with fungal infection were *O. niloticus* and *S. salar*, two species with a long history of farming. *O. niloticus* tilapia has been introduced in up to 90 countries around the world and are frequently farmed due to the species' biological attributes, which include high disease resistance and a good production profile (Gjedrem *et al.*, 2012, Gu *et al.*, 2019), however, this study identified that *O. niloticus* populations are primarily affected by fungi of the genus *Branchiomyces*, an infection characterized by gill

disease. Infected fish exhibited respiratory disorders, lethargy, and surface swimming accompanied by rapid movements of the mouth and gill cover in search of improved oxygenation. Infected fish populations usually have high prevalence rates (26.67-100.00 %) and postmortem examination usually shows necrotic lesions at the gill level (El-Bouhy *et al.*, 2014, Khalil *et al.*, 2015); similarly, the species *O. niloticus* is affected by *Saprolegnia* spp., an *Oomycota* fungus that presents outbreaks associated with low temperatures. Its infection results in focal lesions at the cutaneous level, associated with the development of cottony patches of filamentous hyphae (Mahboub y Shaheen 2021).

*Saprolegnia* spp. was highly prevalent in its relationship with *S. salar* (391 positive fish and 27.75 %); in particular, the species *Saprolegnia parasitica* was the most frequent, a highly relevant relationship, given that this pathogen has been reported to cause economic losses in salmonid production of nearly 10 % annually (Sandoval-Sierra *et al.*, 2014). The virulence of this species of fungal is related to factors such as kinases, the lectin ricin B, disintegrins and proteases (Srivastava *et al.*, 2018). Furthermore, this study analyzed 10 fungi within the genus *Saprolegnia* spp. at the species level, indicating high diversity and infection potential across teleost species. It is worth noting that the profile of the reports primarily covered aquaculture fish, which underscores the importance and growth of this industry. Between 2020 and 2022, the FAO reported a 6.6 % growth in aquaculture production, which allowed for 130.9 million tons of products to be reported worldwide (FAO 2024). However, farmed fish, unlike wild fish, are under stressors that can trigger disease outbreaks, due to an increase in culture densities, stress caused by management and the high dynamics of mobility of organisms in the development of aquaculture practices, which can be related to the high frequency of aquaculture fish

that tested positive for fungi (Sharmin *et al.*, 2020, Wanja *et al.*, 2020).

In this review, the organisms analyzed most frequently corresponded to fish focused on obtaining food, given that up to 89 % of all products generated by the industry are destined for human consumption (FAO 2024). Furthermore, the reports showed that mycological diagnosis was carried out almost equally by molecular and histological methods; however, molecular methods allowed the determination of up to 24 fungi at the species level. In this study it was identified that the genera *Exophiala* spp., *Pythium* spp. and *Saprolegnia* spp. presented a greater number of fungi identified at the species level, with four, five and ten respectively; for the first case, internal transcribed spacer (ITS) sequencing, D1/D2 gene of the large ribosomal subunit (60S) and the *RPB2* gene were used (Armwood *et al.*, 2021), likewise, for the determination of *Pythium* spp. and *Saprolegnia* spp., the sequencing of the internal transcribed spacer rDNA ITS was used (Elameen *et al.*, 2021, Tedesco *et al.*, 2021).

Regarding fungal distribution, it was observed that the most significant proportion of pathogenic fungi associated with teleost fish belonged to the *Oomycota* group, which were found in 14 of the 16 countries that submitted reports. Southeast Asia was particularly prominent, with up to five countries reporting the presence of *Oomycota* fungi. This is likely related to the region's long tradition of fish farming and consumption (Jia, *et al.*, 2017). India, in particular, showed the highest number of positive fish and the greatest diversity of fungal agents in the region. As the world's second-largest aquaculture producer, second only to China, its high demand and the mobility of organisms may be contributing factors to the occurrence and distribution of pathogens, including fungi (Koteshwar Rao, 2023). Furthermore, the frequency of *Oomycota* fungi is

closely related to the frequency of reports of infection by *Saprolegnia* spp., while the high frequency of reports of *Saprolegnia* spp. may be due to the low host specificity it presents and the presence of flagellated zoospores in its life cycle, a developmental stage that allows it to disperse in the aquatic environment (Derome *et al.*, 2016). In contrast, only the Czech Republic and Georgia did not report infections by *Oomycota* fungi, in both cases their reports concerned *Ascomycota* fungi affecting the analyzed fish. These fungi are classified as thick-walled and rigid fungi that lack motile spores, although they are normally opportunistic parasites with low host specificity (Gozlan *et al.*, 2014). On the other hand, northern European countries showed a high frequency of pathogenic fungi; the United Kingdom, with 336 positive fish, ranks first in our study. However, the high frequency may be associated with greater and more exhaustive sampling efforts related to the prevention and control of pathogens (Minor *et al.*, 2014). The generalist nature of fungi leads to the need for specific study of the different etiological agents that affect crops and wild fish populations that are relevant to their use by humans (Pavić *et al.*, 2022, Sandoval-Sierra *et al.*, 2014). Furthermore, the removal or elimination of fungi in production and environmental water is an unviable task, so the development of prophylactic and treatment strategies appear to be the way forward for the control of fungal infections, such as the development of vaccines (Minor *et al.*, 2014) as well as the characterization of biosynthesis pathways for the generation of specialized antifungal drugs (Rzeszutek *et al.*, 2019, Saraiva *et al.*, 2014). This is aimed at better health management of outbreaks of pathogenic fungi in teleost fish populations.

## Conclusion

Quantitative analysis of the relationship between teleost fish and pathogenic fungi identified 25

species and one fish genus affected by 24 genera of fungi with a dynamic interaction. The presence of fungi from the *Oomycota* group was more frequent and had a heterogeneous distribution, mainly including countries in Southeast Asia and Northern Europe. Particularly the genus *Saprolegnia*, which infects fish species such as *O. niloticus* and *S. salar*, stands out. Furthermore, the reports showed that the diagnosis of fungal infections is primarily performed in fish of value in aquaculture and socioeconomic relevance in food production. This diagnosis is carried out using molecular and histological techniques to identify pathogenic fungi. However, due to their parasitic, opportunistic behavior and their role as decomposers in aquatic ecosystems, fungi exhibit low host specificity. Therefore, monitoring the health of this interaction is essential for developing effective management and control strategies for mycoses affecting teleost fish in diverse environments. These findings can contribute to a better understanding of fungal infections in the aquaculture industry and assist in sanitary management.

## Acknowledgments

APZV, JLRA, FRGA and VJAP are recipients of the SNII grants from CONAHCYT, Mexico.

## Literature cited

- Afzali SF, Mohd Daud HH, Sharifpour I, Afsharnasab M, Shankar S (2015) Experimental infection of *Aphanomyces* invadans and susceptibility in seven species of tropical fish. *Veterinary World* 8: 1038–1044. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.1038-1044>
- Ali SE, Gamil AAA, Skaar I, Evensen Ø, Charo-Karisa H (2019) Efficacy and safety of boric acid as a preventive treatment against *Saprolegnia* infection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports* 9: 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54534-y>
- Armwood AR, Cañete-Gibas CF, Dill-Okubo JA,

- Wiederhold NP, Camus AC (2021) Retrospective study of phaeohyphomycosis in aquarium-housed fish, with first descriptions of *Exophiala lecanii-corni* and *Neodevriesia cladophorae* in fish. *Journal of Fish Diseases* 44: 1563–1577.  
<https://doi.org/10.1111/jfd.13477>
- Astell KR, Sieger D (2020) Zebrafish in vivo models of cancer and metastasis. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine* 10: 1–17.  
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a037077>
- Austin B (2011) Taxonomy of bacterial fish pathogens. *Veterinary Research* 42: 1–13.  
<https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-20>
- Bone Q, Moore R (2007) *Biology of Fishes*. Third Edit. Taylor and Francis. New York, USA.
- Bricknell I (2017) Types of pathogens in fish, waterborne diseases. In *Fish Diseases: Prevention and Control Strategies*. Academic Press. London, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00003-X>
- Choudhury TG, Singh SK, Parhi J, Barman D, Das BS (2014) Common fungal diseases of fish: A review. *Environment & Ecology* 32: 450–456.
- Crane M, Hyatt A (2011) Viruses of fish: An overview of significant pathogens. *Viruses* 3: 2025–2046.  
<https://doi.org/10.3390/v3112025>
- Dávila-Camacho CA, Galaviz-Villa I, Lango-Reynoso F, Castañeda-Chávez MR, Quiroga-Brahms C, Montoya-Mendoza J (2019) Cultivation of native fish in Mexico: cases of success. *Reviews in Aquaculture* 11: 816–829.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12259>
- De Freitas Souza C, Baldissera MD, Abbad LB, Da Rocha MIUM, Da Veiga ML, Da Silva AS, *et al.* (2019). Purinergic signaling creates an anti-inflammatory profile in spleens of grass carp *Ctenopharyngodon idella* naturally infected by *Saprolegnia parasitica*: An attempt to prevent ATP pro-inflammatory effects. *Microbial Pathogenesis* 135: 103649.
- <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103649>
- Derome N, Gauthier J, Boutin S, Llewellyn M (2016) Fungal Secondary Invaders of Fish. In *The Rasputin Effect: When Commensals and Symbionts Become Parasitic*. Springer International Publishing. Switzerland.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-28170-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28170-4_5)
- El-Bouhy Z, Shaheen A, Hassanin M, Mahboub H (2014) *Branchiomyces* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Behiera Governorate with Trials for Treatment. *Zagazig Veterinary Journal* 42: 29–42.  
<https://doi.org/10.21608/zvzj.2014.60039>
- Elameen A, Stueland S, Kristensen R, Fristad RF, Vrålstad T, Skaar I (2021) Genetic analyses of saprolegnia strains isolated from salmonid fish of different geographic origin document the connection between pathogenicity and molecular diversity. *Journal of Fungi* 7: 1-13.  
<https://doi.org/10.3390/jof7090713>
- FAO. (2021). *Top 10 species groups in global aquaculture 2021* (Issue June).  
[www.fao.org/3/%0Ahttps://www.fao.org/3/ca9383en/ca9383en.pdf](http://www.fao.org/3/%0Ahttps://www.fao.org/3/ca9383en/ca9383en.pdf). Fecha de consulta 12 de diciembre de 2025.
- FAO. (2023). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023. In *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*.  
<https://doi.org/10.4060/cc8166en> Fecha de consulta 12 de diciembre de 2025.
- FAO. (2024). The state of world fisheries and aquaculture. In *Nature and Resources* (Vol. 35, Issue 3).  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a10e81b3-3fbd-4393-b7b6-6a926915a19a/content> Fecha de consulta 12 de diciembre de 2025.
- Gjedrem T, Robinson N, Rye M (2012) The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture* 350:

117–129.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.008>

González Razo FDJ, Sangerman-Jarquín DM, Omaña Silvestre JM, Rebollar Rebollar S, Hernández Martínez J, Ayllón Benítez JC (2017) La comercialización de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 1985.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.131>

Gozlan RE, Marshall WL, Lilje O, Jessop CN, Gleason FH, Andreou D (2014) Current ecological understanding of fungal-like pathogens of fish: What lies beneath? *Frontiers in Microbiology* 5: 1–16.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00062>

Gu DE, Yu FD, Yang YX, Xu M, Wei H, Luo D, *et al.* (2019) Tilapia fisheries in Guangdong Province, China: Socio-economic benefits, and threats on native ecosystems and economics. *Fisheries Management and Ecology* 26: 97–107.  
<https://doi.org/10.1111/fme.12330>

Hutton B, Salanti G, Caldwell DM, Chaimani A, Schmid CH, Cameron C, *et al.* (2015) The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews incorporating network meta-analyses of health care interventions: Checklist and explanations. *Annals of Internal Medicine* 162: 777–784.  
<https://doi.org/10.7326/M14-2385>

Jia B, St-Hilaire S, Singh K, Gardner IA (2017) Biosecurity knowledge, attitudes and practices of farmers culturing yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) in Guangdong and Zhejiang provinces, China. *Aquaculture* 471: 146–156.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.016>

Kalatehajari P, Yousefian M, Khalilzadeh MA (2015) Assessment of antifungal effects of copper nanoparticles on the growth of the fungus *Saprolegnia* sp. on white fish (*Rutilus*

*frisii kutum*) eggs. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 41: 303–306.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.07.004>

Khalil RH, Saad TT, Selema TAM, Abdel-Latif HMR (2015) *Branchiomyces demigrans* Infection in Farm-Reared Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) and Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) at Different Localities in Egypt, With Special Emphasis to the Role of Environmental Stress Factors. *International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries* 1: 15–23.  
[www.arcjournals.org](http://www.arcjournals.org)

Koteswar Rao P (2023) Economically important freshwater fishes infected with fungi causes EUS. *World Journal of Advanced Research and Reviews* 17: 605–609.  
<https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.17.1.0397>

Kumar V, Das BK, Swain HS, Chowdhury H, Roy S, Bera AK, *et al.* (2023) Immunomodulatory Potency of *Eclipta alba* (Bhringaraj) Leaf Extract in *Heteropneustes fossilis* against *Oomycete* Pathogen, *Aphanomyces invadans*. *Journal of Fungi* 9: 1–17.  
<https://doi.org/10.3390/jof9020142>

Liu Y, Rzeszutek E, Van Der Voort M, Wu CH, Thoen E, Skaar I, *et al.* (2015) Diversity of aquatic *Pseudomonas* species and their activity against the fish pathogenic oomycete *Saprolegnia*. *PLoS ONE* 10: 1–17.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136241>

Mahboub HH, Shaheen AA (2021) Mycological and histopathological identification of potential fish pathogens in Nile tilapia. *Aquaculture* 530: 735849.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735849>

Majeed M, Kumar G, Schlosser S, El-Matbouli M, Saleh M (2017) In vitro investigations on extracellular proteins secreted by *Aphanomyces invadans*, the causative agent of epizootic ulcerative syndrome. *Acta Veterinaria*

- Scandinavica 59: 1–9.  
<https://doi.org/10.1186/s13028-017-0347-3>
- Mayer I, Pšenička M (2024) Conservation of teleost fishes: Application of reproductive technologies. *Theriogenology Wild* 4: 100078.  
<https://doi.org/10.1016/j.therwi.2024.100078>
- Minor KL, Anderson VL, Davis KS, Van Den Berg AH, Christie JS, Löbach L, *et al.* (2014) A putative serine protease, SpSsp1, from *Saprolegnia parasitica* is recognised by sera of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Fungal Biology* 118: 630–639.  
<https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.04.008>
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG (2009) Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ (Online)* 339: 332–336. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Oidtmann BC, Thrush MA, Denham KL, Peeler EJ (2011) International and national biosecurity strategies in aquatic animal health. *Aquaculture* 320: 22–33.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.032>
- Overy DP, Overy DP, Groman D, Giles J, Duffy S, Rommens M, *et al.* (2015) *Exophiala angulospora* causes systemic mycosis in atlantic halibut: A case report. *Journal of Aquatic Animal Health* 27: 12–19.  
<https://doi.org/10.1080/08997659.2014.953266>
- Pavić D, Grbin D, Hudina S, Prosenec Zmrzljak U, Miljanović A, Košir R, Varga F, *et al.* (2022). Tracing the oomycete pathogen *Saprolegnia parasitica* in aquaculture and the environment. *Scientific Reports* 12: 1–11.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-16553-0>
- Peh JH, Azra MN (2025) A global review of ornamental fish and shellfish research. *Aquaculture*, 596: 741719.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741719>
- Rzeszutek E, Díaz-Moreno SM, Bulone V (2019) Identification and Characterization of the Chitin Synthase Genes From the Fish Pathogen *Saprolegnia parasitica*. *Frontiers in Microbiology* 10: 1–12.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02873>
- Saengsitthisak B, Punyapornwithaya V, Chaisri W, Mektrirat R, Bernard JK, *et al.* (2021) The current state of biosecurity and welfare of ornamental fish population in pet fish stores in Chiang Mai province, Thailand. *Veterinary Integrative Sciences* 19: 277–294.
- Sandoval-Sierra JV, Latif-Eugenin F, Martín MP, Zaror L, Diéguez-Uribeondo J (2014) *Saprolegnia* species affecting the salmonid aquaculture in Chile and their associations with fish developmental stage. *Aquaculture* 434: 462–469.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.005>
- Saraiva M, Beckmann MJ, Pflaum S, Pearson M, Carcajona D, Treasurer JW, *et al.* (2019) *Exophiala angulospora* infection in hatchery-reared lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) broodstock. *Journal of Fish Diseases* 42: 335–343. <https://doi.org/10.1111/jfd.12940>
- Saraiva M, De Bruijn I, Grenville-Briggs L, McLaggan D, Willems A, Bulone V, *et al.* (2014) Functional characterization of a tyrosinase gene from the oomycete *Saprolegnia parasitica* by RNAi silencing. *Fungal Biology* 118: 621–629.  
<https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.01.011>
- Sarowar MN, Hossain MJ, Nasrin T, Naznin T, Hossain Z, Rahman MM (2019) Molecular identification of oomycete species affecting aquaculture in Bangladesh. *Aquaculture and Fisheries* 4: 105–113.  
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.12.003>
- Savaya A, Glassner H, Livne-Luzon S, Chishinski

- R, Molcho J, Aflalo ED, *et al.* (2020) Prawn monosex populations as biocontrol agents for snail vectors of fish parasites. *Aquaculture* 520: 1–36.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735016>
- Shabir U, Dar JS, Bhat AH, Ganai BA, Khan IA (2022) Isolation and characterization of  $\beta$ -defensin-like protein 1 from epidermal mucus of fungal infected fish (*Cyprinus carpio*) and assessment of its antimicrobial potencies. *Aquaculture Reports* 23: 101056.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101056>
- Sharmin F, Rahman M, Shahjahan M, Chowdhury P (2020) Study of growth and productions of tilapia (*Oreochromis niloticus*) on different population densities in monoculture. *International Journal of Agricultural Research* 9: 76–83.  
<https://doi.org/10.3329/ijarit.v9i2.45414>
- Silva Brito R, Canedo A, Farias D, Rocha TL (2022) Transgenic zebrafish (*Danio rerio*) as an emerging model system in ecotoxicology and toxicology: Historical review, recent advances, and trends. *Science of the Total Environment*, 848: 157665.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157665>
- Singh M, Saha RK, Saha H, Parhi J (2018) Effect of miconazole nitrate on immunological response and its preventive efficacy in *Labeo rohita* fingerlings against oomycetes *Saprolegnia parasitica*. *Journal of Fish Diseases* 41: 1539–1548. <https://doi.org/10.1111/jfd.12862>
- Soto E, Fast MD, Purcell SL, Denver Coleman D, Yazdi Z, Kenelty K, *et al.* (2022) Expression of immune markers of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) during *Veronaea botryosa* infection at different temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part D: Genomics and Proteomics* 41: 100950.  
<https://doi.org/10.1016/j.cbd.2021.100950>
- Srivastava V, Rezinciuc S, Bulone V (2018) Quantitative proteomic analysis of four developmental stages of *Saprolegnia parasitica*. *Frontiers in Microbiology* 8: 1–13.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02658>
- Tedesco P, Saraiva M, Sandoval-Sierra JV, Alves MT, Galuppi R, Dieguez-Uribeondo J, *et al.* (2022) Impact of abiotic factors and husbandry on saprolegniosis in salmonid farms. *Aquaculture* 561: 738679.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738679>
- Tedesco P, Saraiva M, Sandoval-Sierra JV, Fioravanti ML, Morandi B, Dieguez-Uribeondo J, *et al.* (2021) Evaluation of potential transfer of the pathogen *Saprolegnia parasitica* between farmed salmonids and wild fish. *Pathogens* 10: 1–16.  
<https://doi.org/10.3390/pathogens10080926>
- Wanja DW, Mbuthia PG, Waruiru RM, Mwadime JM, Bebor LC, Nyaga PN, *et al.* (2020) Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Veterinary Medicine International* 2020: 1–10.  
<https://doi.org/10.1155/2020/6839354>
- Zulbainarni N, Megawati L (2019) Cost of Biosecurity Application: Comparing Aquaculture System and fish health in Traditional Fish Farm. *Advances in Health Sciences Research* 19: 98–99.  
<https://doi.org/10.2991/isessah-19.2019.27>
- Srivastava V, Rezinciuc S, Bulone V (2018)