

Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Sobre el cultivo de tilapia: relación entre enfermedades y calidad del agua

DOI: <https://doi.org/10.38186/difcie.47.04>

Amelia Paredes-Trujillo *

Manuel Mendoza-Carranza **

RESUMEN

La tilapia, originaria de África, ha sido introducida en cientos de países con fines de cultivo, generando un importante mercado, cubriendo necesidades alimentarias de amplios sectores de la población. La introducción de la tilapia ha traído problemas de invasiones en prácticamente todos los ambientes acuáticos tropicales de América y otros continentes, afectando la biodiversidad. Su cultivo ha generado necesidad de agua en altas cantidades, por lo que frecuentemente se emplean aguas poco aptas y sin tratamiento previo; además el agua que se emplea en los cultivos comúnmente es regresada al medio sin ningún tratamiento agudizando el problema. La mala calidad del agua produce estrés en los peces, volviéndolos susceptibles a enfermedades parasitarias, produciendo bajos rendimientos y mortalidad. Otro problema que se enfrenta respecto a las enfermedades parasitarias es la falta de conocimiento de los productores para identificar, prevenir y contrarrestar estas enfermedades. La capacitación y seguimiento de las actividades acuícolas por parte de expertos, así como compartir experiencias es fundamental para reducir estos riesgos. Existen miles de artículos científicos y técnicos que abordan estas problemáticas, pero la mayoría no está al alcance de los productores que, al no estar preparados para el manejo y control de enfermedades, sufren pérdidas económicas y desmotivación. El objetivo de este ensayo es dar al lector una visión general de la relación entre el manejo, calidad del agua y diversas enfermedades parasitarias que atacan a la tilapia en las prácticas de cultivo.

PALABRAS CLAVE: Acuicultura; agua; enfermedades; pez.

*Laboratorio de Sanidad Acuícola, Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía (EPOMEX), Universidad Autónoma de Campeche, Campeche – México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2182-5987>. E-mail: amipared@uacam.mx

**Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad. El Colegio de la Frontera Sur–ECOSUR. Tabasco, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8216-2115>. E-mail: mcarranza@ecosur.mx

Recibido: 15/03/2022

Aceptado: 05/05/2022

On tilapia farming: relationship between disease and water quality

ABSTRACT

Tilapia, originally from Africa, has been introduced in hundreds of countries for farming purposes, generating an important market, covering the food needs of large sectors of the population. The introduction of tilapia has caused invasion problems in practically all tropical aquatic environments in America and other continents, affecting biodiversity. Tilapia farming has generated the need for large quantities of water, so unsuitable and untreated water is frequently used; in addition, the water used for farming is commonly returned to the environment without any treatment, thus aggravating the problem. Poor water quality causes stress in fish, making them susceptible to parasitic diseases, resulting in low yields and mortality. Another problem faced with respect to parasitic diseases is the lack of knowledge of producers to identify, prevent and counteract these diseases. Training and monitoring of aquaculture activities by experts, as well as sharing experiences, is essential to reduce these risks. There are thousands of scientific and technical articles that address these problems, but most of them are not within the reach of producers who, not being prepared for disease management and control, suffer economic losses and demotivation. The objective of this essay is to give the reader an overview of the relationship between management, water quality and various parasitic diseases that attack tilapia in farming practices.

KEY WORDS: Aquaculture; water; diseases; fish.

Introducción

Por décadas la tilapia ha sido foco de atención de la comunidad científica y es ampliamente conocida por prácticamente todas las personas del planeta. La tilapia ha ayudado a aliviar la pobreza alimentaria en una gran cantidad de países y comunidades. Sin embargo, no todas las personas conocen el reto tecnológico, científico, social y ambiental que conlleva su cultivo y lo que implica su amplia introducción en más de 100 países alrededor de mundo (Deines et al., 2016). Uno de los mayores retos del cultivo de tilapia es tratar de mantener su salud y bienestar. Mantener la buena salud de organismos bajo cultivo es imprescindible para la adecuada producción de alimentos para la sociedad, especialmente en las zonas rurales de baja renta, donde el acceso a fuentes de proteína de calidad es escaso. Aun cuando se encuentra ampliamente extendida como especie de cultivo, la mayoría de las veces los productores no tienen la capacitación adecuada, por lo que incurrir en prácticas de manejo inadecuadas que conducen a afectar negativamente

la calidad del agua, pérdida de alimento y la propagación de enfermedades, con la consecuente desmotivación por las pérdidas económicas que esto representa (Chenyambuga et al., 2012). Si bien es cierto que los programas de gobierno proporcionan apoyo con semilla de tilapia para los productores, con frecuencia no hacen un seguimiento ni brindan capacitación adecuada (Chuquizan, 2018). En este orden de ideas, el objetivo de este ensayo es presentar los principales problemas que enfrenta el cultivo de tilapia, respecto a los brotes de enfermedades con relación a factores desencadenantes asociados a la calidad del agua y el riesgo que implica su falta de control.

1. La importancia de la tilapia en el mundo

Después de la carpa (*Cyprinus* spp.), la tilapia (*Oreochromis* spp.) es la especie de pez de agua dulce más importante cultivada en todo el mundo y está presente en más de 130 países alrededor del mundo (FAO, 2020a). Entre los países con mayor producción en orden decreciente están: China, Indonesia Egipto y Filipinas; entre los mayores productores de América se encuentran Brasil y México (Figura 1a) (FAO, 2020b). La producción mundial de tilapia ha registrado un aumento sostenido, prácticamente en forma exponencial desde 1993 con 485 TM hasta 2021 con 7021 TM (Figura 1b), siendo que casi la totalidad de la producción es proveniente de la acuicultura (FAO, 2020b).

La tilapia es el nombre con el que se conoce a varias especies de cíclidos de origen africano y que han sido introducidos en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo (América Central, Sudamérica, parte de Norteamérica, el sudeste asiático, Medio Oriente y otras partes de África). La tilapia posee características biológicas destacadas como altas tasas de crecimiento, fácil reproducción, amplio rango alimenticio y capacidad de vivir en densidades muy altas, cualidades que la han convertido en una de las especies más populares para la acuicultura (Russell et al., 2012). Además de esto, la tilapia tiene una alta resistencia a condiciones adversas como bajos niveles de oxígeno y altos niveles de amonio, pudiendo también resistir altas concentraciones de diversos contaminantes y altas cargas de diversos parásitos (Tan et al., 2019; Salem et al., 2021). Por lo anterior, esta especie se puede adaptar prácticamente a todo tipo de acuicultura, desde la acuicultura familiar, rural, hasta industrial; siendo una fuente muy importante de proteínas de calidad para el consumo humano accesible y a un bajo costo (El-Sayed, 2019).

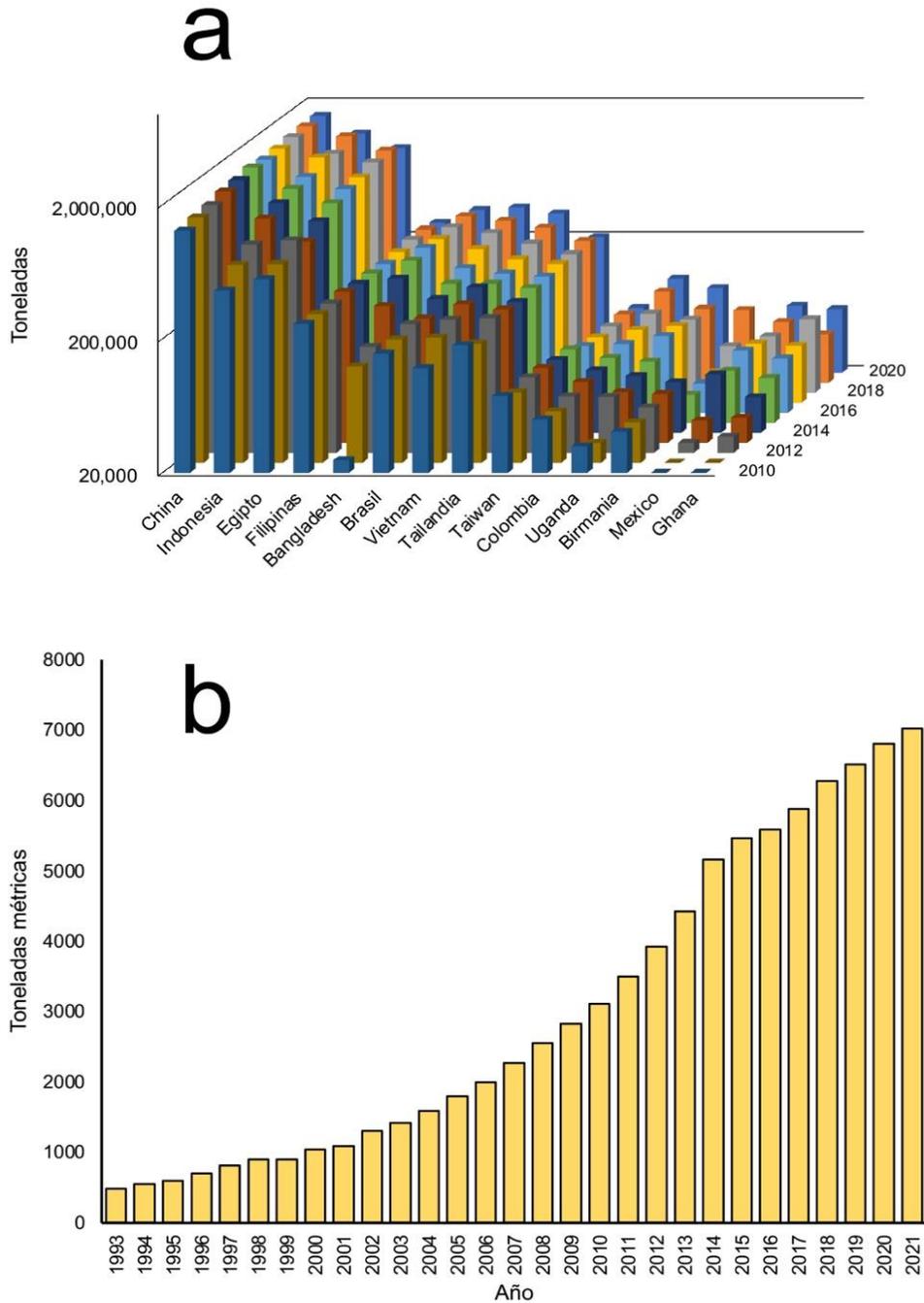


Figura 1. a) producción de tilapia del año 2010 a 2020 de los principales productores a nivel mundial, b) producción mundial de tilapia del año 1993 a 2021 (FAO, 2020b).

2. La importancia e impacto de la tilapia en las comunidades del sur de México

La tilapia fue introducida por primera vez en México en 1964 con fines de cultivo (Zavala-Leal y Ortega, 2021). Esta introducción, como prácticamente todas las introducciones de especies, trajo como consecuencia su escape y ocupación de casi la totalidad de cuerpos de agua dulce de la zona tropical de México y Centroamérica (El-Sayed, 2019). La tilapia ha sido reportada desde el sur de Canadá hasta la porción norte de Argentina (Casseiro et al., 2017). En el sur de México especialmente en Tabasco, su presencia y alta abundancia causó sorpresa entre los pescadores y pobladores cercanos a cuerpos de agua donde había proliferado, por lo que en un principio no fue bien aceptada ni por los pescadores ni por los compradores, pues las pesquerías de cíclidos (mojarras) se concentraban en especies nativas como la tenguayaca (*Petenia splendida*), la casta rica (*Mayaheros urophthalmus*) y las paletas (*Vieja bifasciata*, *Oscura hereospila*), así como otras especies que fueron desplazadas de las pesquerías.

Sin embargo, con el tiempo la tilapia fue ganando terreno en la aceptación por parte de los pescadores y la población en general, tornándose en una nueva fuente de proteínas de fácil acceso y de ingresos económicos a través de la pesca. A pesar de que esta introducción tuvo efectos muy positivos en la economía y seguridad alimentaria de muchos pobladores, también tuvo importantes efectos adversos en la estructura de las comunidades de peces nativos, una de las más importantes fue la pérdida de la biodiversidad acuática (Canonico et al., 2005; Padial et al., 2017; El-Sayed, 2019).

Con el tiempo, la abundancia de las poblaciones de tilapia se fue estabilizando y adquiriendo una importancia pesquera permanente y aún cultural. La tilapia es tan importante en México que la FAO en 2017 registró un total de 4,634 criaderos de tilapia en todo el país, con una producción anual estimada de 117,806 toneladas (FAO, 2020a). Los estados con mayor producción son: Jalisco, Chiapas, Sinaloa, Nayarit, Michoacán, Veracruz, Tabasco, Guerrero, Hidalgo y Estado de México, pero su cultivo se extiende prácticamente a todos los estados de México. La tilapia en México se produce tanto para el mercado local, nacional como internacional.

3. El manejo, la calidad del agua y su impacto en las enfermedades de la tilapia

Si bien la producción de alimentos debe ser vista como algo positivo, también tiene un coste para el ambiente. Ante el crecimiento de la demanda y por tanto de la industria acuícola, los productores de tilapia se ven obligados a incrementar las densidades de siembra, como también a emplear las fuentes de agua a su alcance, muchas de estas de mala calidad por poseer altas cargas de materia orgánica y diversos contaminantes (Bod et al., 2012; Bhavsar et al., 2012). De la misma forma, el agua usada en los cultivos es regresada sin tratamiento (Cao et al., 2007). La falta de procesos de tratamiento de agua tanto de entrada como de salida de los sistemas acuícolas es derivada de la búsqueda de ahorros en los costos de producción y de la falta de capacitación.

Una mala calidad del agua se puede entender como cambios abruptos de temperatura, bajos niveles de oxígeno, desequilibrio en el pH (acidez del agua), acumulación de contaminantes (metales pesados, fertilizantes, pesticidas, fármacos, nitratos, fosfatos, plásticos y microplásticos) y elevadas concentraciones de materia orgánica (heces fecales, restos de alimentos y animales muertos) (Diana et al., 2017; Aly y Abouelfadl, 2020). Entre mayor sea la densidad de peces en un cultivo mayor será la cantidad de contaminantes producidos y por tanto mayor el impacto en la salud del cultivo.

Si los peces son cultivados en agua de mala calidad y con altas densidades, estos no crecen adecuadamente, se estresan, se enferman y sus probabilidades de supervivencia disminuyen (Aly y Abouelfadl, 2020). El estrés causa en los peces diversos problemas de salud, como: anemia, alteraciones en los niveles de glucosa, cortisol y colesterol (Vijayan et al., 2019; Zeitoun, 2016). Otros efectos que sufren los peces son problemas respiratorios, disminución de las funciones cardiovasculares, de las glándulas endocrinas y las funciones excretoras (Thomas et al., 2009, Kumar-Velmurugan et al., 2012). Uno de los factores ambientales más adversos es la baja concentración de oxígeno en el agua que está relacionado con incrementos de la tasa respiratoria, lo que implica un aumento de los niveles de estrés, produciendo una mayor propensión a enfermedades (Abdel-Tawwab et al., 2014; Li et al., 2018). Uno de los efectos más dramáticos que pueden ocurrir en los cultivos de tilapia son quemaduras, heridas externas en piel y branquias por la exposición a niveles extremos de pH ya sea por acidificación del agua (valores de pH menores a 7) o por alcalinización (valores de pH mayores a 7) (Ibrahim, 2020).

El ambiente estresante en que viven los peces (mala calidad del agua y altas densidades) así como su mal estado de salud, los hace más propensos a ser atacados por diversos parásitos. En la actualidad se sabe que muchas infestaciones de parásitos, en los cultivos de tilapia, son responsables de pérdidas millonarias en la acuicultura y que están directamente relacionadas con agua de mala calidad (Liu et al., 2016; Jansen et al., 2019). Entre los parásitos que infestan a la tilapia, los ectoparásitos (parásitos que viven sobre el pez) monogéneos (llamados comúnmente gusanos planos o platelmintos) son los más frecuentes (Lim et al., 2016; Paredes-Trujillo et al., 2016). Los monogéneos pueden vivir en las branquias de los peces y/o sobre la piel (Figura 2). También son comunes en los cultivos de tilapia los protozoarios (organismos unicelulares altamente especializados) y finalmente las bacterias y virus (Paredes-Trujillo et al., 2016).

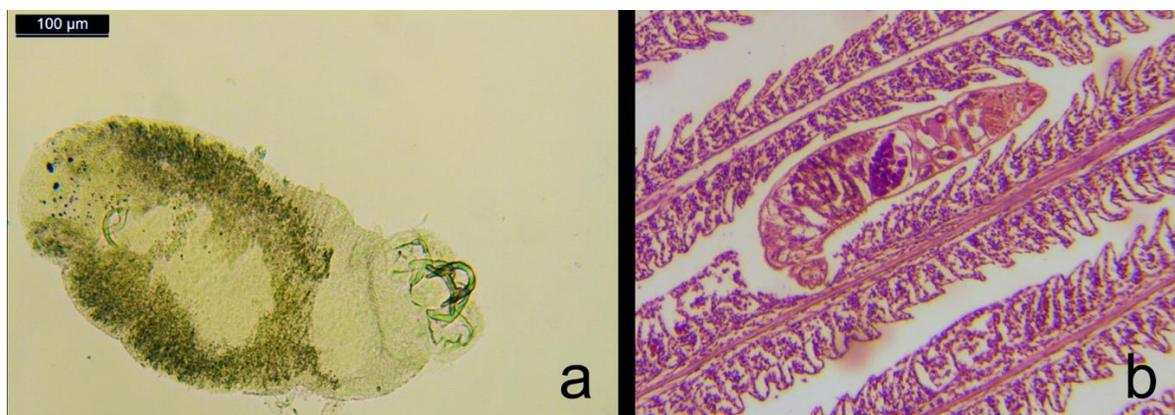


Figura 2. a) *Cichlidogyrus sclerosus*, b) *C. sclerosus* en lamela de branquia de tilapia (fotos Amelia Paredes-Trujillo).

Entre las epizootias de origen bacteriano en el cultivo de tilapia, las causadas por *Streptococcus* son frecuentes, siendo una de las bacterias más estudiada (Maulu et al., 2021; Zhang, 2021). Algunos factores ambientales estresantes que han sido asociados con los brotes de *Streptococcus* incluyen cambios abruptos de temperatura, alta salinidad y alcalinidad (pH>8), baja concentración de oxígeno y altas concentraciones de amonio, derivados de un manejo inadecuado del sistema acuícola (Amal et al., 2015). La temperatura del agua es una variable fundamental que influye en la velocidad del ciclo de vida de algunas especies de protozoos, monogéneos, trematodos y crustáceos parásitos, por lo que es de

esperar que existan fluctuaciones en la presencia, abundancia y diversidad de parásitos de acuerdo con las estaciones del año (Aguirre-Fey et al 2015; Brazenor y Hutson, 2015).

Otro problema asociado al cultivo de tilapia por su condición de especie exótica es la consecuente introducción de nuevos parásitos. Algunos de estos son los platelmintos (gusanos planos,) como *Cichlidogyrus sclerosus* (Figura 2), *Dactylogyrus extensus* y *Gyrodactylus cichlidarum*, el digéneo *Centrocestus formosanus* y el cestodo *Bothriocephalus acheilognathi* (Paredes-Trujillo et al., 2016, Soler-Jiménez et al., 2017). Esto implica dos riesgos: uno para la acuicultura en si misma por su dificultad de control y otra ambiental al existir un riesgo potencial de infestación a la fauna nativa de los lugares donde la tilapia ha sido introducida (Salgado-Maldonado y Rubio-Godoy, 2014). Ecológicamente la interacción parásito-hospedero juega un papel fundamental en la regulación del ecosistema, sus comunidades y poblaciones; por tanto, la introducción de nuevas especies de parásitos puede acarrear cambios negativos para las comunidades de hospederos (peces de importancia ecológica y comercial en este caso). Debido a que estos parásitos son especies nuevas en el ambiente, la capacidad de defensa de los hospederos nativos puede ser baja o ser inexistente, por lo que pueden producirse mortalidades masivas, causando un efecto cascada en todos los componentes del ecosistema (Sures et al., 2017; Behringer et al., 2018).

Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, especialmente en los países con bajos niveles de renta, el cultivo de tilapia representa una importante fuente alternativa de proteínas de calidad y de bajo costo y una estrategia para aminorar la pobreza alimentaria. Sin embargo, es muy común que existan grandes pérdidas económicas producidas por la mala calidad del agua y el incremento de enfermedades parasitarias (Figura 3). Como ejemplo, Shinn et al (2015) estimaron que las pérdidas a nivel mundial en 2013 por infecciones parasitarias fueron de 97 a 13.4 billones de dólares en las etapas de siembra; y de 5.8 a 8.2 billones de dólares durante la etapa de engorda. Estas pérdidas están directamente relacionadas con una falta de conocimiento de los procesos de manejo para el cultivo de tilapia, siendo uno de los más importantes el inadecuado control de la calidad del agua que a su vez está relacionado con el manejo de altas densidades de siembra y posiblemente con la falta de inversión en procesos de tratamiento de agua (Figura 3).

Otro factor fundamental es la falta de conocimientos de los productores para identificar, prevenir y contrarrestar estas enfermedades. En Bangladesh, país que en 2014 alcanzó el lugar ocho entre los principales productores de tilapia a nivel mundial, los productores enfrentan diversos problemas, entre ellos falta de financiamiento, pero también falta de información respecto a manejo de la especie y acceso limitado a servicios de asesoría, lo que se combina con bajos niveles de escolaridad (Uddin et al., 2021). Con respecto a los brotes de infecciones por *Streptococcus*, Maulu et al (2021) mencionan que el manejo deficiente que incluye mala nutrición derivado de alimento de baja calidad, altas densidades de siembra y exceso en las cantidades de alimento pueden afectar la calidad del agua y esto inducir estrés en los peces, lo que los hace más vulnerables a las infecciones. Relacionado a esta falta de conocimiento en el manejo acuícola de la tilapia, el uso excesivo y descontrolado de antibióticos genera, además de gastos económicos, mayores problemas con la aparición de cepas resistentes a los antibióticos (Preena et al., 2020).

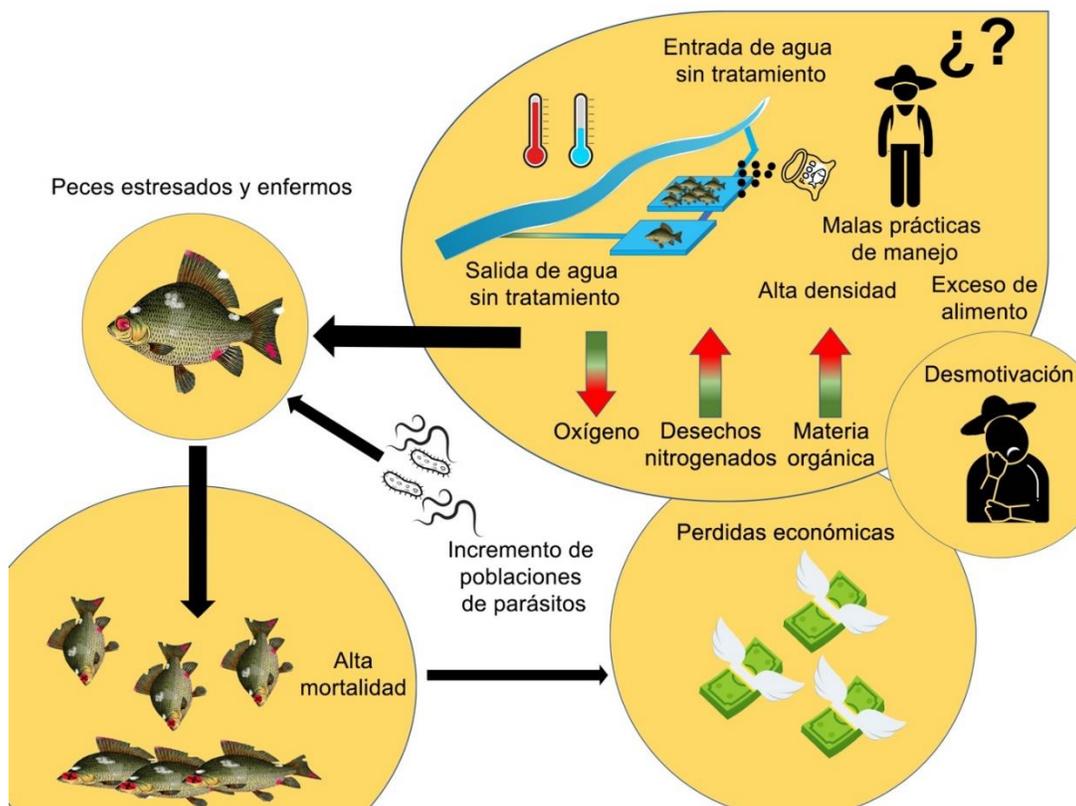


Figura 3. Causas y consecuencias del manejo inadecuado del cultivo de tilapia.

Una de las claves para reducir las pérdidas económicas producto de enfermedades parasitarias es brindar capacitación a los productores para el control tanto de la calidad del agua, como para la identificación, prevención y tratamiento adecuado de diversas enfermedades que afectan el cultivo de tilapia. Isla-Esquivel et al (2011) identifican a través de entrevistas que los acuicultores rurales de la península de Yucatán en México mencionan dos factores fundamentales para el éxito del cultivo de tilapia: a) satisfacción en el trabajo, “aprender haciendo” como estrategia de capacitación; y b) sustentabilidad económica y organizativa de los proyectos.

Desafortunadamente, en la mayoría de los países donde se cultiva tilapia y especialmente en Latinoamérica, los gobiernos no han hecho esfuerzos para capacitar a los productores en esos aspectos y la inversión en investigación científica es y ha sido limitada (Isla-Esquivel et al., 2011). Este factor, pone a los productores en general, pero especialmente a los productores rurales, en una situación de alta vulnerabilidad ante las consecuencias del surgimiento de enfermedades parasitarias, lo cual en muchas ocasiones ha sido motivo del cierre de granjas con las consiguientes pérdidas económicas y la desmotivación de los productores (Figura 3).

Como respuesta a las problemáticas expuestas respecto al cultivo de tilapia y sus enfermedades es fundamental minimizar y prevenir la contaminación de los cuerpos de agua circundantes o donde se realizan actividades acuícolas, mediante la aplicación de sistemas de tratamientos de agua, ya sean mecánicos, químicos, biológicos o una combinación de ellos. La aplicación de métodos de control de la calidad del agua debe incluir tanto la entrada y la salida de esta en las instalaciones de cultivo. En caso del cultivo en grandes embalses o en jaulas (Figura 4), procesos de manejo de densidades de siembra, calidad y cantidad de alimento, así como un estricto control de uso de antibióticos y otros aditivos es fundamental para minimizar los impactos sobre la calidad del agua (Roriz et al., 2017).

Conjuntamente a las medidas de manejo es necesario monitorear y controlar los parámetros fisicoquímicos para tener indicadores precisos del estado del sistema de producción, reduciendo así el riesgo de establecimiento y propagación de enfermedades parasitarias. Es claro que el sistema parásito-hospedero es fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas y este no puede ser deshabilitado, pero en los sistemas de producción debe ser controlado a través del manejo de la calidad del agua, las

densidades de siembra y el suministro de insumos de calidad. Una comprensión más clara de los vínculos entre las variables ambientales, los brotes de enfermedades y la capacidad de identificarlos podría ayudar a predecir el momento, tipo y duración de los brotes. Identificar patrones epidemiológicos de los patógenos permitirá aplicar estrategias de prevención y mitigación ante estas enfermedades. Todo esto deberá estar basado en la capacitación, asistencia y acompañamiento a los diversos tipos de productores acuícolas.



Figura 4. a) cultivo de tilapia en jaulas en la presa Nezahualcóyotl (Raudales de Malpaso), Chiapas b) detalle de las jaulas sembradas con tilapia roja (fotos Manuel Mendoza-Carranza).

El panorama actual para la producción de alimentos sanos es cada vez más difícil y la producción acuícola no es la excepción. Además de la creciente contaminación de las fuentes de agua, uno de los problemas más serios a los que se encuentra expuesta la acuicultura son los efectos del cambio climático (Ziska et al., 2011; Lebel et al., 2015). Entre los factores relacionados al cambio climático que más pueden afectar esta actividad están el estrés hídrico producto de sequías extremas, el incremento de la temperatura global y la salinización y agotamiento de los mantos freáticos (Bennets et al., 2006; Rahman et al., 2021); a mediano plazo la pérdida de extensas áreas de cultivo, producto del incremento del nivel medio del mar.

A nivel mundial se reporta una disminución muy aguda de los productos derivados de la pesca marina y dulceacuícola, lo que justifica a la acuicultura como alternativa para incrementar la producción acuícola y garantizar una fuente de proteínas de alta calidad. Por

otro lado, el incremento de la presión sobre los recursos hídricos del planeta producto del crecimiento de la acuicultura exige grandes cantidades de agua, por lo que una gestión responsable del agua es fundamental para una acuicultura sana y sustentable.

Conclusión

A pesar de los retos a los que se enfrenta el cultivo de tilapia, este sigue siendo una de las actividades productivas más importantes y rentables del mundo. Desde el punto de vista de seguridad alimentaria, contribuye en gran medida al aporte de proteínas de calidad a bajo costo, especialmente en países emergentes. En zonas con alta marginación, la combinación de sus características con sistemas de producción de bajo impacto son una posible respuesta para enfrentar la pobreza alimentaria de las familias y comunidades. Estos sistemas y proyectos deberán estar sustentados por programas de capacitación de seguimiento constante y por un intenso intercambio de información entre los productores (Iriarte-Rodríguez et al., 2017).

Desde el punto de vista científico y tecnológico, se han publicado decenas de miles de investigaciones y manuales; desafortunadamente muchos de ellos no son accesibles a los productores, por lo que es necesario hacer mayores esfuerzos en la difusión de estos documentos a través de cursos y manuales que faciliten el manejo cultivo de tilapia, lo que permitirá una disminución de enfermedades y, por tanto, de pérdidas económicas, aspecto especialmente importante en zonas rurales alejadas de grandes centros urbanos donde el acceso a información, capacitación y recursos económicos es limitado.

El conocimiento preciso de las relaciones entre el manejo adecuado de los sistemas acuícolas y la calidad del agua, la salud de los peces y las enfermedades es fundamental para minimizar pérdidas económicas e incrementar la seguridad alimentaria. El cuidado y tratamiento del agua tanto de entrada como salida de los sistemas acuícolas es fundamental para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos de los que depende el cultivo de tilapia, y parte de la seguridad alimentaria de grandes sectores de la población humana.

Referencias

Abdel-Tawwab, M., Hagrass, A. E., Elbaghdady, H. A. M., y Monier, M. N. (2014). Dissolved oxygen level and stocking density effects on growth, feed utilization, physiology, and innate immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Aquaculture*, 26(4), 340-355.

Aguirre-Fey, D., Benítez-Villa, G. E., de Leon, G. P. P., y Rubio-Godoy, M. (2015). Population dynamics of *Cichlidogyrus* spp. and *Scutogyrus* sp. (Monogenea) infecting farmed tilapia in Veracruz, México. *Aquaculture*, 443, 11-15.

Aly, W., y Abouelfadl, K. Y. (2020). Impact of low-level water pollution on some biological aspects of redbelly tilapia (*Coptodon zillii*) in River Nile, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(3), 273-279.

Amal, M. N. A., Saad, M. Z., Zahrah, A. S., y Zulkafli, A. R. (2015). Water quality influences the presence of *Streptococcus agalactiae* in cage cultured red hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture Research*, 46(2), 313–323. <https://doi.org/10.1111/are.12180>

Behringer, D. C., Karvonen, A., y Bojko, J. (2018). Parasite avoidance behaviours in aquatic environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1751), 20170202.

Bennetts DA, Webb JA, Stone DJM, Hill DM. (2006). Understanding the salinisation process for groundwater in an area of south-eastern Australia, using hydrochemical and isotopic evidence. *J Hydrol.* 323(1–4):178–192. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.08.023

Bhavsar, D. O., Pandya, H. A., y Jasrai, Y. T. (2016). Aquaculture and environmental pollution: A review work. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 2(1), 40-45.

Boyd, C. E., y Tucker, C. S. (2012). *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science y Business Media.

Brazenor, A. K., y Hutson, K. S. (2015). Effects of temperature and salinity on the life cycle of *Neobenedenia* sp. (Monogenea: Capsalidae) infecting farmed barramundi (*Lates calcarifer*). *Parasitology research*, 114(5), 1875-1886.

Canonico, G. C., Arthington, A., McCrary, J. K., y Thieme, M. L. (2005). The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(5), 463–483. <https://doi.org/10.1002/aqc.699>

Cao, L., Wang, W., Yang, Y., Yang, C., Yuan, Z., Xiong, S., y Diana, J. (2007). Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. *Environmental Science and Pollution Research-International*, 14(7), 452-462.

Cassemiro, F. A., Bailly, D., da Graca, W. J., y Agostinho, A. A. (2018). The invasive potential of tilapias (Osteichthyes, Cichlidae) in the Americas. *Hydrobiologia*, 817(1), 133-154.

Chenyambuga, S. W., Madalla, N., y Mnembuka, B. (2012). Management and value chain of Nile Tilapia cultured in ponds of small-scale farmers in Morogoro Region, Tanzania. *International Institute of Fisheries Economics and Trade*.

Chuquizan Castro, M. P. (2018). La capacitación como factor de desarrollo: el caso las

unidades productivas familiares (UPF) de Lita (Tesis de licenciatura).

Deines, A. M., Wittmann, M. E., Deines, J. M., y Lodge, D. M. (2016). Tradeoffs among ecosystem services associated with global tilapia introductions. *Reviews in Fisheries Science y Aquaculture*, 24(2), 178-191.

Diana, J. S., Szyper, J. P., Batterson, T. R., Boyd, C. E., y Piedrahita, R. H. (2017). Water quality in ponds. *Dynamics of pond aquaculture*, 53-71.

El-Sayed, A. F. M. (2019). *Tilapia culture*. Academic Press. London

FAO. (2020a). *The State of World Fisheries and Aquaculture, Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome.

FAO. (2020b). *FishStat Plus - Universal software for fishery statistical time series*. <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstat/en>

Ibrahim, T. (2020). Diseases of Nile tilapia with special emphasis on water pollution. *Journal of Environmental Science and Technology*, 13(1), 29–56. <https://doi.org/10.3923/jest.2020.29.56>

Iriarte-Rodríguez, F. V., Mendoza-Carranza, M., Gómez-Álvarez, R., Wal, J. C., y Perera-García, M. A. (2017). Viabilidad técnica-financiera de un Sistema Acuapónico de Baja Intensidad (SABI) para la seguridad alimentaria familiar. *Academia Journals. Aplicación del Saber: Casos y Experiencias*, 3, 1429-1434.

Isla-Esquivel, M. L., Cuevas-Jiménez, A., y Romero-Yam, L. A. (2011) Factores sociales que afectan el cultivo de tilapia en la Península de Yucatán. *Ambiente y Desarrollo* 15(29): 113-136.

Jansen, M. D., Dong, H. T., y Mohan, C. V. (2019). Tilapia lake virus: a threat to the global tilapia industry?. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 725-739.

Kumar-Velmurugan, B., Jiang, F., Shih, H. Y., Lee, D. N., y Weng, C. F. (2012). Respiratory burst activity in head kidney and spleen leukocytes of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) under acute osmotic stress. *Zoological Studies*, 51(8), 1290-1297.

Lebel, P., Whangchai, N., Chitmanat, C., y Lebel, L. (2015). Climate risk management in river-based Tilapia cage culture in northern Thailand. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*.

Li, M., Wang, X., Qi, C., Li, E., Du, Z., Qin, J. G., y Chen, L. (2018). Metabolic response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute and chronic hypoxia stress. *Aquaculture*, 495, 187-195.

Lim, S. Y., Ooi, A. L., y Wong, W. L. (2016). Gill monogeneans of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red hybrid tilapia (*Oreochromis* spp.) from the wild and fish farms in Perak, Malaysia: infection dynamics and spatial distribution. *SpringerPlus*, 5(1), 1-10.

Liu, G., Zhu, J., Chen, K., Gao, T., Yao, H., Liu, Y., Wei, Z. y Lu, C. (2016). Development of *Streptococcus agalactiae* vaccines for tilapia. *Diseases of aquatic organisms*, 122(2), 163-170.

Maulu, S., Hasimuna, O. J., Mphande, J., y Munang'andu, H. M. (2021). Prevention and Control of Streptococcosis in Tilapia Culture: A Systematic Review. *Journal of Aquatic Animal Health*, 33(3), 162-177.

Padial, A. A., Agostinho, Â. A., Azevedo-Santos, V. M., Frehse, F. A., Lima-Junior, D. P., Magalhães, A. L., R. P. Mormul • F. M. Pelicice, L. A. V. Bezerra, M. L. Orsi, M. Petrere-Junior y Vitule, J. R. (2017). The “Tilapia Law” encouraging non-native fish threatens Amazonian River basins. *Biodiversity and Conservation*, 26(1), 243-246.

Paredes-Trujillo, A., Velázquez-Abunader, I., Torres-Irinea, E., Romero, D., y Vidal-Martínez, V. M. (2016). Geographical distribution of protozoan and metazoan parasites of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) (Perciformes: Cichlidae) in Yucatán, México. *Parasites and Vectors*, 9(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1332-9>

Preena, P. G., Dharmaratnam, A., y Swaminathan, T. R. (2020). Antimicrobial Resistance analysis of Pathogenic Bacteria Isolated from Freshwater Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Cultured in Kerala, India. *Current Microbiology*, 77(11), 3278–3287. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02158-1>

Rahman, M. L., Shahjahan, M., y Ahmed, N. (2021). Tilapia farming in Bangladesh: adaptation to climate change. *Sustainability*, 13(14), 7657.

Rose, K. A., Cowan Jr, J. H., Winemiller, K. O., Myers, R. A., y Hilborn, R. (2001). Compensatory density dependence in fish populations: importance, controversy, understanding and prognosis. *Fish and Fisheries*, 2(4), 293-327.

Roriz, G. D., Delphino, M. K. D. V. C., Gardner, I. A., y Gonçalves, V. S. P. (2017). Characterization of tilapia farming in net cages at a tropical reservoir in Brazil. *Aquaculture Reports*, 6, 43-48.

Russell, D. J., Thuesen, P. A., y Thomson, F. E. (2012). A review of the biology, ecology, distribution and control of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters 1852) (Pisces: Cichlidae) with particular emphasis on invasive Australian populations. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22(3), 533-554.

Salem, M. E. S., Abdel-Ghany, H. M., y Almisherfi, H. M. (2021). Role of dietary *Laurencia obtusa* in enhancing growth, blood indices, and hypoxia resistance of red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). *Journal of Applied Phycology*, 33(4), 2617-2628.

Salgado-Maldonado, G., y Rubio-Godoy, M. (2014). Helmintos parásitos de peces de agua dulce introducidos. *Especies acuáticas invasoras en México*, 269-285.

Shinn A, Pratoomyot J, Bron J, Paladini G, Brooker E, Brooker A. (2015). Economic impacts of aquatic parasites on global finfish production. *Global Aquaculture Advocate*. 201558–61.

Soler-Jiménez, L. C., Paredes-Trujillo, A. I., y Vidal-Martínez, V. M. (2017). Helminth parasites of finfish commercial aquaculture in Latin America. *Journal of helminthology*, 91(2), 110-136.

Sures, B., Nachev, M., Pahl, M., Grabner, D., y Selbach, C. (2017). Parasites as drivers of key processes in aquatic ecosystems: Facts and future directions. *Experimental Parasitology*, 180, 141-147.

Tan, H. Y., Chen, S. W., y Hu, S. Y. (2019). Improvements in the growth performance, immunity, disease resistance, and gut microbiota by the probiotic *Rummeliibacillus stabekisii* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish y Shellfish Immunology*, 92, 265-275.

Thomaz, J. M., Martins, N. D., Monteiro, D. A., Rantin, F. T., y Kalinin, A. L. (2009). Cardio-respiratory function and oxidative stress biomarkers in Nile tilapia exposed to the organophosphate insecticide trichlorfon (NEGUVON®). *Ecotoxicology and environmental safety*, 72(5), 1413-1424.

Uddin, M. N., Kabir, K. H., Roy, D., Hasan, M. T., Sarker, M. A., y Dunn, E. S. (2021). Understanding the constraints and its related factors in tilapia (*Oreochromis* sp.) fish culture at farm level: A case from Bangladesh. *Aquaculture*, 530, 735927.

Vijayan, M. M., Pereira, C., Grau, E. G., y Iwama, G. K. (1997). Metabolic responses associated with confinement stress in tilapia: the role of cortisol. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 116(1), 89-95.

Yu, J., Xia, M., Zhen, W., Shen, R., He, H., Guan, B., Elzer, J., y Liu, Z. (2020). Density-dependent effects of omnivorous bitterling (*Acheilognathus macropterus*) on nutrient and plankton communities: implications for lake management and restoration. *Hydrobiologia*, 847(15), 3309-3319.

Zavala-Leal, O. I., y Ortega, J. R. F. (2021). Tilapias: de la introducción a la producción, desarrollo económico de su cultivo en México. *Acta Pesquera*, 7(14).

Zeitoun, M. M., EL-Azrak, K. E. D. M., Zaki, M. A., Nemat-Allah, B. R., y Mehana, E. S. E. (2016). Effects of ammonia toxicity on growth performance, cortisol, glucose and hematological response of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aceh Journal of Animal Science*, 1(1), 21-28.

Zhang, Z. (2021). Research advances on Tilapia streptococcosis. *Pathogens*, 10(5), 558.

Ziska, L. H., Blumenthal, D. M., Runion, G. B., Hunt, E. R., y Diaz-Soltero, H. (2011). Invasive species and climate change: An agronomic perspective. *Climatic Change*, 105(1), 13–42. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9879-5>