



Estudios de casos sobre la invasión de la tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus)

Case studies on the invasion of Nile tilapia (Oreochromis niloticus)

Estudos de caso sobre a invasão da tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus)

Washington Alexander Carrillo-Jara ^I
wa.carrilloj@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-8380-980X>

Iván Vinicio Carrasco-Medina ^{II}
icarrasco@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-6804-9896>

Gonzalo Iván Espinosa-Ríos ^{III}
gi.esponosar@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-8399-4782>

Fabricio Napoleón González-Santamaria ^{IV}
f.gonzalezs@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-7633-553X>

Correspondencia: wa.carrilloj@uea.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 27 de septiembre de 2024 * **Aceptado:** 24 de octubre de 2024 * **Publicado:** 17 de noviembre de 2024

- I. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- II. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- III. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- IV. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.

Resumen

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es una especie subtropical y tropical que ha sido ampliamente utilizada en acuicultura debido a su tolerancia ambiental rápido crecimiento y alta fecundidad, pero su introducción en ecosistemas fuera de su hábitat ha generado desequilibrios ecológicos al competir con especies nativas por recursos y alterar las cadenas tróficas. El objetivo de este estudio fue analizar casos de invasión de la tilapia del Nilo en diversos ecosistemas acuáticos e identificar sus efectos sobre las especies nativas y proponer estrategias de manejo para mitigar sus impactos negativos. La metodología se basó en el método SALSA que incluye la búsqueda, evaluación, síntesis y análisis de literatura científica de bases de datos como Science Direct, Web of Science y otras, centrada en términos como "invasión biológica" y "*Oreochromis niloticus*". Los resultados muestran que la invasión de la tilapia ha reducido la biodiversidad en varias regiones afectando la abundancia de especies nativas y las economías pesqueras locales principalmente a través de la competencia por alimento y refugios. Es necesario implementar estrategias de manejo como barreras físicas, control biológico y regulación del comercio de especies exóticas para minimizar estos efectos. Finalmente, se concluye que la invasión de la tilapia del Nilo ha alterado significativamente los ecosistemas acuáticos y para mitigar este impacto se requieren acciones concretas como la instalación de barreras físicas, control biológico y regulación estricta del comercio de especies exóticas.

Palabras claves: biodiversidad; competencia; ecosistemas; manejo; reproducción.

Abstract

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is a subtropical and tropical species that has been widely used in aquaculture due to its environmental tolerance, rapid growth and high fecundity, but its introduction into ecosystems outside its habitat has generated ecological imbalances by competing with native species. for resources and alter food chains. The objective of this study was to analyze cases of invasion of Nile tilapia in various aquatic ecosystems and identify its effects on native species and propose management strategies to mitigate its negative impacts. The methodology was based on the SALSA method that includes the search, evaluation, synthesis and analysis of scientific literature from databases such as Science Direct, Web of Science and others, focusing on terms such as "biological invasion" and "*Oreochromis niloticus*". The results show that the tilapia invasion has reduced biodiversity in several regions, affecting the abundance of native species and

local fishing economies mainly through competition for food and shelter. It is necessary to implement management strategies such as physical barriers, biological control and regulation of the trade of exotic species to minimize these effects. Finally, it is concluded that the invasion of the Nile tilapia has significantly altered aquatic ecosystems and to mitigate this impact, concrete actions are required such as the installation of physical barriers, biological control and strict regulation of the trade in exotic species.

Keywords: biodiversity; competence; ecosystems; management; reproduction.

Resumo

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma espécie subtropical e tropical que tem sido amplamente utilizada na aquicultura devido à sua tolerância ambiental, rápido crescimento e alta fecundidade, mas sua introdução em ecossistemas fora de seu habitat tem gerado desequilíbrios ecológicos ao competir com espécies nativas, recursos e alteram as cadeias alimentares. O objetivo deste estudo foi analisar casos de invasão da tilápia do Nilo em diversos ecossistemas aquáticos e identificar seus efeitos sobre as espécies nativas e propor estratégias de manejo para mitigar seus impactos negativos. A metodologia baseou-se no método SALSA que inclui a busca, avaliação, síntese e análise de literatura científica de bases de dados como Science Direct, Web of Science e outras, com foco em termos como “invasão biológica” e “*Oreochromis niloticus*”. Os resultados mostram que a invasão da tilápia reduziu a biodiversidade em diversas regiões, afetando a abundância de espécies nativas e as economias pesqueiras locais, principalmente através da competição por alimento e abrigo. É necessária a implementação de estratégias de manejo como barreiras físicas, controle biológico e regulação do comércio de espécies exóticas para minimizar estes efeitos. Por fim, conclui-se que a invasão da tilápia do Nilo alterou significativamente os ecossistemas aquáticos e para mitigar esse impacto são necessárias ações concretas como a instalação de barreiras físicas, o controle biológico e a regulamentação rigorosa do comércio de espécies exóticas.

Palavras-chave: biodiversidade; competência; ecossistemas; gerenciamento; reprodução.

Introducción

La tilapia perteneciente a la familia *Cichlidae* agrupa especies subtropicales y tropicales (Sunarto et al., 2022). La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es altamente valorada en acuicultura representando el 98% de su producción fuera de su área nativa debido a su tolerancia ambiental rápida tasa de crecimiento y alta fecundidad (Champneys et al., 2021). Esta especie omnívora crece bien con dietas bajas en proteínas puede filtrar fitoplancton y se adapta a condiciones subóptimas. Desde el 2000 hasta el 2019 la producción de tilapia en acuicultura ha aumentado de 1.189.844 a 6.194.663 toneladas, alcanzando un valor de más de 12.300 millones de dólares (Lutz, 2024).

La invasión biológica ocurre cuando una especie no nativa se introduce y establece en un nuevo ecosistema provocando desequilibrios ecológicos (Alonso & Castro-Díez, 2015). Aunque la tilapia del Nilo es una especie clave en la acuicultura global debido a su adaptabilidad y rápido crecimiento su introducción en ecosistemas fuera de su hábitat natural ha generado efectos negativos. En muchos casos la tilapia compite con las especies locales por recursos y altera las dinámicas ecológicas lo que lleva a una reducción en la biodiversidad (Canónico et al., 2005). Además, al modificar las relaciones tróficas y aumentar la presión sobre las especies nativas su invasión compromete la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos (Abd Hamid et al., 2023).

El estudio de la invasión de la tilapia del Nilo es fundamental debido a los graves desequilibrios que provoca en los ecosistemas acuáticos al desplazar a las especies nativas, modificar las cadenas tróficas y reducir la biodiversidad. La rápida expansión de esta especie fuera de su hábitat natural impulsada por su uso en acuicultura plantea un riesgo ambiental considerable (Harikrishnan et al., 2024). Comprender los mecanismos de invasión y sus impactos ecológicos es esencial para desarrollar estrategias de manejo y conservación que minimicen sus efectos adversos en los ecosistemas afectados (Hu et al., 2023).

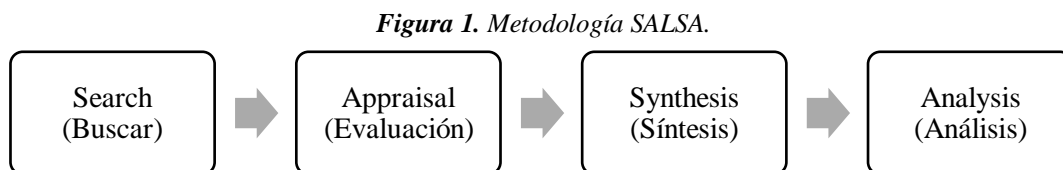
La revisión de la literatura permitió reconocer estudios como el de Albins and Hixon (2008), que analizaron el pez león invasor (*Pterois volitans*) responsable de una reducción significativa del 79% en el reclutamiento neto de peces de arrecifes de coral del Atlántico durante un experimento controlado de cinco semanas en las Bahamas. Esta reducción en el reclutamiento se observó tanto en arrecifes naturales como artificiales. Mientras Lehtonen (2002), describe la introducción de al menos 76 especies de peces de agua dulce no nativos en Europa provenientes mayoritariamente de América del Norte (34 especies) y Asia (26 especies). Entre los peces más importantes para la pesca económica destacan *Oncorhynchus mykiss*, *Salvelinus fontinalis* y *Ctenopharyngodon*

idellus. Las especies asiáticas han provocado cambios significativos en los ecosistemas como la eliminación de macrófitos y el aumento de la turbidez del agua.

Atendiendo las premisas anteriores el objetivo del trabajo fue analizar estudios de casos sobre la invasión de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en distintos ecosistemas acuáticos con el propósito de identificar los efectos sobre las especies nativas. Además, se propone estrategias de manejo que mitiguen sus impactos negativos en los ecosistemas afectados.

Metodología

La metodología utilizada en este estudio es el método SALSA (*Search, Appraisal, Synthesis, Analysis*) que consiste en buscar, evaluar, sintetizar y analizar la información (figura 1) disponible sobre la invasión de la tilapia del Nilo en diversos ecosistemas acuáticos. La búsqueda de literatura se realizó en bases de datos académicas como Science Direct, Web of Science, Redalyc, Scielo y Google Scholar, utilizando términos clave como "invasión biológica", "*Oreochromis niloticus*", "impacto en biodiversidad" y "competencia de especies".



Fuente: (Gunnarsdóttir et al., 2020).

Aplicación del Método SALSA en la revisión de la invasión de la tilapia del Nilo

Según Bolzan de Rezende and Blackwell (2019), el análisis SALSA es una búsqueda y revisión sistemáticas que consiste en un proceso de búsqueda integral y una revisión crítica que da como resultado una síntesis de la mejor evidencia. Los pasos del método SALSA permiten un sólido análisis de la literatura existente mientras se minimiza el potencial de sesgo. La tabla 1 describe cada etapa y la aplicación realizada para la elaboración del presente estudio sobre la invasión de la tilapia del Nilo.

Tabla 1. Aplicación del Método SALSA en la revisión de la invasión de la tilapia del Nilo.

Etapa	Descripción	Aplicación
Buscar	Realizar una búsqueda en la literatura en bases de datos académicas y buscadores: Science Direct, Web of Science, Redalyc, Scielo, Google Scholar.	La estrategia de búsqueda planteada se elaboró a partir de los términos comunes: "invasión biológica", " <i>Oreochromis niloticus</i> ", "biodiversidad", "ecosistemas acuáticos".
Evaluación	Implica evaluar a fondo si los resultados de la búsqueda cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión.	Se seleccionaron artículos entre el año 2002 y 2024. Se leyeron los resúmenes de los artículos para determinar la validez del documento con respecto al tema una vez determinada la validez se revisó la publicación en su totalidad.
Síntesis	Las publicaciones identificadas y evaluadas en la etapa anterior deben ser leídas con énfasis. Se debe identificar la metodología y resultados para reconocer y generar información.	Se identificaron y relacionaron los términos "invasión biológica", " <i>Oreochromis niloticus</i> ", "competencia de especies", y "biodiversidad" para incorporar conceptos clave al trabajo.
Análisis	Analizar la información sintetizada que cumpla con el objetivo de la investigación. Es necesario determinar la evaluación de indicadores.	Se analizaron los efectos ecológicos de la invasión de la tilapia del Nilo en diferentes ecosistemas acuáticos para el desarrollo de los resultados y discusión del trabajo actual.

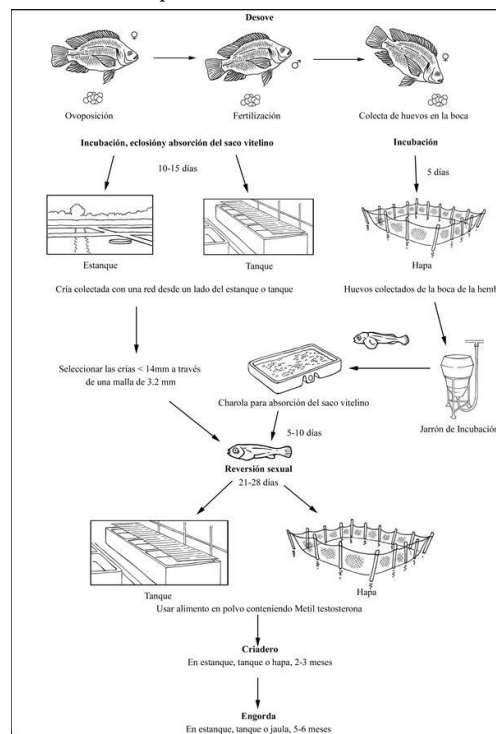
Resultados y Discusiones

Ciclo de vida de la tilapia del Nilo

El ciclo de vida de la tilapia del Nilo comienza con los adultos que alcanzan la madurez sexual a los 5-6 meses de edad. El desove ocurre cuando la temperatura del agua alcanza los 24 °C durante el cual la hembra deposita los huevos (ovoposición) y tras la fertilización por parte del macho los recoge en su boca para incubarlos (Macías-Véliz & Chicharro-López, 2023). La incubación, eclosión y absorción del saco vitelino ocurren entre 10-15 días y luego los alevines son recolectados utilizando una red en estanques o tanques. En sistemas de reproducción como los *hapas* la incubación en la boca de la hembra dura unos 5 días antes de la recolección de los huevos (Reyes-

Trigueros et al., 2023). Una vez que los alevines alcanzan un tamaño menor a 14 mm se seleccionan a través de una malla de 3,2 mm y pasan por un proceso de reversión sexual que dura entre 21-28 días mediante el uso de alimento que contiene metiltestosterona lo que favorece el desarrollo de alevines machos (Molina Toro, 2002). Estos alevines son criados en estanques, tanques o *hapas* por un período de 2-3 meses tras lo cual pasan a la fase de engorde que dura entre 5-6 meses hasta que alcanzan el tamaño comercial (FAO, 2009).

Figura 2. Ciclo de producción de *Oreochromis niloticus*.



Fuente: (FAO, 2009).

Evaluación de la invasión de la tilapia en especies nativas

Invasión en las comunidades de peces en el río de China Meridional

Autores como Shuai and Li (2022), estudiaron la invasión de la tilapia del Nilo en el río Dongjiang ubicado en el sur de China con comparación directa al río Beijiang donde la invasión es limitada. La tilapia fue introducida en 1957 con fines acuícolas en la región y desde entonces ha escapado al medio natural estableciendo poblaciones viables que han provocado graves alteraciones en los ecosistemas locales. En el río Dongjiang se estima que la tilapia del Nilo representa el 13,21% de

todos los individuos capturados en contraste con el río Beijiang donde su presencia es mucho menor alcanzando solo el 3,65%.

La invasión de *Oreochromis niloticus* ha causado una notable disminución en la diversidad trófica de las especies nativas especialmente en las categorías de piscívoros y omnívoros. Los piscívoros han visto reducida su abundancia de manera significativa pasando de representar el 3,62% en el Beijiang al 0,72% en el Dongjiang (Shuai & Li, 2022). El impacto más fuerte ha sido en los herbívoros y planktívoros nativos quienes han sido forzados a buscar nuevas fuentes de alimento debido a la competencia por recursos. Las investigaciones muestran que la invasión ha acertado las cadenas alimenticias y reducido la diversidad isotópica lo que compromete la estabilidad ecológica del río. En cuanto al control de la invasión los datos muestran que no está bajo control ya que no se ha reportado una reducción significativa de las poblaciones de tilapia y su impacto sigue aumentando.

Los resultados identificados en el río Dongjiang muestran una tendencia similar a la documentada en otros ecosistemas invadidos donde especies exóticas introducidas para fines comerciales han alterado profundamente la estructura ecológica. Autores como García-Berthou et al. (2005), observaron un impacto comparable en los ríos mediterráneos, donde la introducción de peces no nativos también provocó una competencia intensa por recursos desplazando a especies nativas y reduciendo la complejidad trófica.

Invasión en las pesquerías de los principales ríos de la provincia de Guangdong

Autores como Gu et al. (2015), analizaron el impacto de la tilapia del Nilo en las pesquerías de los principales ríos de la provincia de Guangdong, China. Esta especie invasora introducida en los años 60 para la acuicultura se ha establecido exitosamente en estos ríos debido a su capacidad de adaptarse a diversas condiciones ambientales y su alta tasa reproductiva. Entre 2011 y 2014 se realizaron encuestas y experimentos de campo para evaluar cómo la abundancia de tilapia afecta la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de las especies nativas y cómo la invasión ha influido en la economía pesquera local. Los resultados mostraron que la tilapia del Nilo reduce la CPUE de especies nativas como la carpa de barro (*Cirrhina molitorella*) cuyo crecimiento fue significativamente afectado por la presencia de tilapia especialmente cuando esta representaba una proporción significativa de la biomasa total. Además, los ingresos de los pescadores disminuyeron debido al menor valor comercial de la tilapia que se vendía a precios considerablemente más bajos que las especies nativas.

En Guangdong la competencia por recursos entre la tilapia y la carpa de barro refleja un patrón similar donde la invasión de tilapia desplaza a las especies autóctonas y reduce su crecimiento y abundancia. Tanto en el estudio de Martin et al. (2010), como en el de Gu et al. (2015), la presencia de tilapia altera la estructura de las comunidades piscícolas afectando la estabilidad ecológica y la sostenibilidad económica de las pesquerías.

Potencial invasor de la tilapia del Nilo en el Río Pearl

Autores como Shuai et al. (2015), investigaron el potencial invasivo de la tilapia del Nilo en el río Pearl el sistema fluvial más extenso del sur de China. La tilapia fue introducida en la región en 1957 para la acuicultura y desde entonces ha escapado a entornos naturales. Mediante el uso de análisis de series temporales y modelos ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average), los investigadores recopilieron datos de alta resolución sobre la abundancia de larvas de tilapia entre 2006 y 2013. Estos datos se obtuvieron a través de muestreos diarios realizados en una estación fija del río. Los análisis incluyeron variables ambientales como temperatura, precipitación y oxígeno disuelto. Se encontró que la población de larvas de tilapia era pequeña durante el período de estudio representando un promedio de solo el 0,009% del total de larvas en el río, pero con un aumento marcado en 2012 y 2013 alcanzando un máximo del 0,017%. Los modelos ARIMA predijeron un crecimiento continuo en los próximos años indicando que la tilapia podría convertirse en una especie invasora problemática en el río Pearl.

El análisis predictivo mediante ARIMA permite anticipar la expansión futura de la tilapia del Nilo, aunque su abundancia actual es baja. A diferencia de estudios que se enfocan en el impacto inmediato de la especie en otros ecosistemas como los realizados por Attayde et al. (2011), que documentan los efectos de la tilapia en pesquerías de Brasil, Shuai et al. (2015), se centra en prever su crecimiento a largo plazo. Esta predicción es crucial para implementar estrategias de manejo antes de que la especie alcance niveles invasivos problemáticos.

Competencia desigual entre la tilapia del Nilo y la tilapia nativa en Tanzania

Estudio de Champneys et al. (2021), investigaron la competencia directa entre la tilapia del Nilo y la tilapia nativa de Manyara (*Oreochromis amphimelas*) una especie amenazada en el ecosistema de agua dulce de Tanzania. A través de experimentos controlados en laboratorio se evalúa cómo la invasión de *Oreochromis niloticus* afecta la capacidad de la especie nativa para acceder a refugios esenciales para su protección y supervivencia. Los datos se obtienen a partir de interacciones agonísticas entre ambas especies donde se observó que *O. niloticus* tenía un comportamiento más

agresivo y dominante ocupando el 80% de los refugios disponibles durante las pruebas. Además, la especie invasora iniciaba el 90% de las interacciones agresivas lo que le permitía ganar ventaja en la ocupación del espacio seguro. Estos refugios son vitales para evitar la depredación especialmente durante el periodo de desove. Debido a su menor capacidad para competir por estos espacios, *O. amphimelas* se ve forzada a ocupar zonas menos seguras incrementando su vulnerabilidad ante los depredadores y reduciendo sus oportunidades de reproducción. Esta desventaja podría tener consecuencias graves para la población de *O. amphimelas* que ya está clasificada como En Peligro por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) exacerbando las amenazas que enfrenta debido a la sobrepesca y la degradación de su hábitat natural.

El estudio confirma el papel de la *O. niloticus* como una especie invasora con fuerte impacto en la biodiversidad local alineándose con estudios previos que documentan cómo esta especie desplaza a nativas en diferentes regiones. A diferencia de investigaciones que destacan la competencia por el alimento como el principal mecanismo de exclusión como el estudio de Zengeya et al. (2012) en China, Champneys et al. (2021) muestra que la competencia por refugios puede ser igualmente crítica para la supervivencia de las especies nativas.

Análisis del microbioma intestinal de la tilapia del Nilo y su competencia con el pez nativo Black Amur Bream

Estudio de Liu et al. (2023), analizaron el microbioma intestinal de la tilapia del Nilo y su relación con la especie nativa Black Amur Bream (*Megalobrama terminalis*) en el río Pearl, China. Utilizando secuenciación de alto rendimiento del gen 16S rRNA, se examinó cómo las diferencias en los microbiomas intestinales reflejan las divergencias en el comportamiento alimenticio, fisiología y adaptación de ambas especies en el ecosistema subtropical. Los datos mostraron que la tilapia del Nilo tiene un microbioma más diverso con una mayor abundancia de *Proteobacteria* y *Firmicutes* mientras que en el bream nativo predominaron *Ralstonia* y *Oceanobacillus*. La tilapia del Nilo también exhibió una mayor amplitud de nicho microbiano confiriéndole una ventaja adaptativa al competir por recursos alimenticios en un hábitat compartido, especialmente durante las primeras etapas de vida. Esta diferencia en la diversidad microbiana podría ser una clave para entender cómo la tilapia invasora supera a las especies nativas.

Los estudios previos como el de Ye et al. (2014), indicaron que el microbioma intestinal ayuda a diferenciar la fisiología y comportamiento de especies invasoras frente a nativas, Liu et al. (2023),

destaca cómo la alta diversidad microbiana y la menor competencia inter-específica en el intestino de la tilapia del Nilo favorecen su éxito invasor. La capacidad de esta especie para adaptarse y diversificar su dieta a través de un microbioma versátil la posiciona en ventaja frente al Black Amur Bream que presenta una menor amplitud de nicho y mayor especialización

Medidas de control de la invasión

Las medidas preventivas se consideran clave para evitar la introducción y propagación de especies invasoras. Estas incluyen la regulación del comercio y transporte de especies exóticas, además de la instalación de barreras físicas en cuerpos de agua para evitar su desplazamiento (Cucherousset & Olden, 2011). Los controles mediante métodos físicos como la pesca dirigida o la instalación de trampas se han empleado en diversas regiones afectadas por invasiones de peces, aunque su eficacia es limitada y requiere un esfuerzo constante para mantener los resultados (Britton et al., 2011).

El control biológico es otro enfoque que ha demostrado ser efectivo en ciertos casos. Esto implica la introducción de especies depredadoras o competidoras que puedan reducir las poblaciones de la especie invasora. No obstante, este método puede presentar riesgos si no se maneja adecuadamente, ya que puede alterar aún más los ecosistemas si las especies introducidas también se convierten en invasoras (Nwamo et al., 2024). Aun así, ha habido algunos avances en el uso de depredadores específicos, como el pez cíclido nativo (*Cichla ocellaris*) para controlar especies invasoras de tilapia en algunos ecosistemas (Gozlan et al., 2010).

Finalmente, los métodos químicos también se utilizan en la gestión de especies invasoras. Sin embargo, el uso de productos químicos como rotenona o toxinas piscicidas suele estar restringido a áreas cerradas debido a su impacto en el ecosistema completo, incluidas las especies no objetivo (Ling, 2003). A pesar de los riesgos, estas herramientas son a veces necesarias cuando otras medidas no logran controlar adecuadamente la invasión.

Conclusiones

El análisis de los casos estudiados sobre la invasión de la tilapia del Nilo evidencia su impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, principalmente a través de la reducción de la biodiversidad y la competencia por recursos con especies nativas. La alta capacidad reproductiva y adaptativa de esta especie ha facilitado su expansión en hábitats donde compite por alimento y refugios alterando las cadenas tróficas y comprometiendo la estabilidad ecológica. Para mitigar estos efectos se proponen estrategias de manejo como la instalación de barreras físicas el control biológico

mediante depredadores específicos y la regulación estricta del comercio de especies exóticas con el objetivo de reducir la propagación y estabilizar los ecosistemas afectados.

Referencias

1. Abd Hamid, M., Md Sah, A. S. R., Idris, I., Mohd Nor, S. A., & Mansor, M. (2023). Impacts of tilapia aquaculture on native fish diversity at an ecologically important reservoir. *PeerJ*, 11, e15986. <https://doi.org/10.7717/peerj.15986>
2. Albins, M., & Hixon, M. (2008). Invasive Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* reduce recruitment of Atlantic coral-reef fishes. *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER*, 367(1), 233-238. <https://doi.org/10.3354/meps07620>
3. Alonso, A., & Castro-Díez, P. (2015). Las invasiones biológicas y su impacto en los ecosistemas. *Ecosistemas*, 24(1), 1-3. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54038707001>
4. Attayde, J. L., Brasil, J., & Menescal, R. A. (2011). Impacts of introducing Nile tilapia on the fisheries of a tropical reservoir in North-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, 18, 437-443. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2011.00796.x>
5. Bolzan de Rezende, L., & Blackwell, P. (2019). Project management competency framework. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 10, 34-59. <https://www.researchgate.net/publication/333882135>
6. Britton, J. R., Gozlan, R. E., & Copp, G. H. (2011). Managing non-native fish in the environment. *Fish and Fisheries*, 12(3), 256-274. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00390.x>
7. Canonico, G. C., Arthington, A., McCrary, J. K., & 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>
8. Champneys, T., Genner, M. J., & Ioannou, C. C. (2021). Invasive Nile tilapia dominates a threatened indigenous tilapia in competition over shelter. *Hydrobiologia*, 848(16), 3747-3762. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04341-8>
9. Cucherousset, J., & Olden, J. D. (2011). Ecological Impacts of Nonnative Freshwater Fishes. *Fisheries*, 36(5), 215-230. <https://doi.org/10.1080/03632415.2011.574578>

10. FAO. (2009). *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) [Cichlidae]. Text by Rakocy, J. E. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. Retrieved 23 octubre 2024 from https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/es/es_niletilapia.htm
11. García-Berthou, E., Alcaraz, C., Rovira, Q., Zamora, L., & Quer-Feo, C. (2005). Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(2), 453-463. <https://doi.org/10.1139/f05-017>
12. Gozlan, R. E., Britton, J. R., Cowx, I., & Copp, G. H. (2010). Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. *Journal of Fish Biology*, 76(4), 751-786. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02566.x>
13. Gu, D. E., Ma, G. M., Zhu, Y. J., Xu, M., Luo, D., Li, Y. Y., Wei, H., Mu, X. D., Luo, J. R., & Hu, Y. C. (2015). The impacts of invasive Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the fisheries in the main rivers of Guangdong Province, China. *Biochemical Systematics and Ecology*, 59(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.01.004>
14. Gunnarsdóttir, I., Davidsdottir, B., Worrell, E., & Sigurgeirsdottir, S. (2020). Review of indicators for sustainable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110294. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110294>
15. Harikrishnan, M., Syanya, F. J., Khanna, A. R. N., Mumina, P., & Mathia, W. M. (2024). Ecological implications of unintentional aquaculture escapees: an overview of risks, remediation strategies and knowledge gaps in the aquaculture sector of India and riparian East African countries. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 37(4), 633-666. <https://doi.org/10.47193/mafis.3742024010709>
16. Hu, X., Meng, L.-J., Liu, H.-D., Guo, Y.-S., Liu, W.-C., Tan, H.-X., & Luo, G.-Z. (2023). Impacts of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to microplastics in bioflocs system. *Science of The Total Environment*, 901(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165921>
17. Lehtonen, H. (2002). Alien Freshwater Fishes of Europe. In E. Leppäkoski, S. Gollasch, & S. Olenin (Eds.), *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management* (pp. 153-161). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9956-6_17

18. Ling, N. (2003). Rotenone - A review of its toxicity and use for fisheries management. *Science for Conservation*, 211(1), 1-40. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20033025015>
19. Liu, Y., Kou, C., Li, Y., Li, J., & Zhu, S. (2023). Fish Gut Microbiome Analysis Provides Insight into Differences in Physiology and Behavior of Invasive Nile Tilapia and Indigenous Fish in a Large Subtropical River in China. *Animals*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ani13152413>
20. Lutz, C. G. (2024). The role of aquaculture in global seafood supplies. In M. Dikeman (Ed.), *Encyclopedia of Meat Sciences (Third Edition)* (pp. 125-136). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85125-1.00107-1>
21. Macías-Véliz, J. N., & Chicharro-López, F. I. (2023). Procesos de producción de tilapias (*Oreochromis niloticus*) con aplicación informática. In Editorial Grupo AEA. <https://www.editorialgrupo-aea.com/index.php/EditorialGrupoAEA/catalog/book/64>
22. Martin, C., Valentine, M., & Valentine, J. (2010). Competitive Interactions between Invasive Nile Tilapia and Native Fish: The Potential for Altered Trophic Exchange and Modification of Food Webs. *PloS one*, 5(1), 1-6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014395>
23. Molina Toro, K. G. (2002). Sobrevivencia y crecimiento de alevines de tilapia manejados en tres recipientes [Proyecto optar al título de Ingeniero Agrónomo]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ad6387cb-7da8-4b70-895b-4a121c55f2aa/content>
24. Nwamo, R. D., Ajonina, G. N., Kopmou, T. C. Y., Ewoukem, T. E., & Eyango, M. T. (2024). Evaluation of Growth Rate of Invasive Aquatic Macrophytes and Contribution to Its Use in Organic Fertilizer Production: A Case of *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms, 1883 in the Lobé Creek (Littoral-Cameroon). *Open Journal of Ecology*, 14(7), 1-16. <https://doi.org/10.4236/oje.2024.147034>
25. Reyes-Trigueros, L., Monroy-Dosta, M. C., Torres-Ochoa, E., Cortés-Sánchez, A. D. J., & Espinosa-Chaurand, L. D. (2023). Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia *Oreochromis niloticus*: revisión. *La Granja*, 38(2), 1-14. <https://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.09>

26. Shuai, F., & Li, J. (2022). Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) Invasion Caused Trophic Structure Disruptions of Fish Communities in the South China River-Pearl River. *Biology (Basel)*, 11(11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/biology11111665>
27. Shuai, F., Li, X., Li, Y., Li, J., Jiping, Y., & Lek, S. (2015). Forecasting the invasive potential of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a large subtropical river using a univariate approach. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie*, 187(2), 165-176. <https://doi.org/10.1127/fal/2015/0828>
28. Sunarto, A., Grimm, J., McColl, K. A., Ariel, E., Krishnankutty Nair, K., Corbeil, S., Hardaker, T., Tizard, M., Strive, T., & Holmes, B. (2022). Bioprospecting for biological control agents for invasive tilapia in Australia. *Biological Control*, 174, 105020. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105020>
29. Ye, L., Amberg, J., Chapman, D., Gaikowski, M., & Liu, W. T. (2014). Fish gut microbiota analysis differentiates physiology and behavior of invasive Asian carp and indigenous American fish. *Isme j*, 8(3), 541-551. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.181>
30. Zengeya, T., Robertson, M., Anthony, b., Booth, A., & Chimimba, C. (2012). Ecological niche modeling of the invasive potential of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in African river systems: Concerns and implications for the conservation of indigenous congeners. *Biological Invasions*, 15(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0386-7>