



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2024; 15:1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2024.17>
Artículo Original. Recibido: 15/12/2023. Aceptado:01/05/2024. Publicado: 09/12/2024. Clave: e2023-47.
<https://www.youtube.com/watch?v=yGMOBYala9E>

Efecto de la oxitetraciclina sobre la nitrificación en sistemas acuapónicos

Effect of oxytetracycline on nitrification processes in aquaponic systems



Corbalá-Bermejo Juan^{1*}ID, Martínez-Gómez Daniel²ID, López-Téllez Norma³ID, Vargas-Magaña Juan⁴ID, Ventura-Cordero Javier⁴ID, Méndez-Ortíz Francisco⁴ID

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Doctorado en Ciencias Agropecuarias, México. ²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, México. ³Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera de Lerma. México. ⁴Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Agropecuarias. México. *Autor de correspondencia y responsable: Juan Corbalá-Bermejo. Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Calle 53 S/N entre 20 y 18, Colonia Unidad, Esfuerzo y Trabajo No.2. C.P: 24350, Escárcega, Campeche, México. E-mail: jacorbal@uacam.mx, dmartinez@correo.xoc.uam.mx, norma.lopez@inapesca.gob.mx, jjvargas@uacam.mx, jventura@uacam.mx, famendez@uacam.mx

RESUMEN

Este estudio determinó el efecto de la oxitetraciclina sobre la circulación de amoníaco (NH_3^+), amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de recirculación acuapónica, durante un período de 13 semanas. Cada tratamiento consistió en tres unidades acuapónicas con tanques de cría de 100 L de capacidad, con 7 peces cada uno, una bobina hidropónica y un flujo laminar continuo. La circulación de amoníaco (NH_3^+), amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-) se midió a la entrada y salida de cada subsistema de filtración. En el tratamiento 1 (T1), se proporcionó polvo soluble de oxitetraciclina (400 mg/kg de biomasa), mezclado con el alimento. En el tratamiento 2 (T2) se suministró una alimentación libre de oxitetraciclina. El peso de los peces y el flujo de nutrientes fue analizado mediante la prueba *t*. Al final del experimento, no se detectaron diferencias estadísticas en el peso de la tilapia [T1 (14.01 g) vs. T2 (13.71 g); $P > 0.05$]. El flujo iónico permaneció constante ($P > 0.05$) y no tóxico en ambos tratamientos. El uso de oxitetraciclina aparentemente no comprometió el paquete bacteriológico nitrificante en los biofiltros.

Palabras clave: amonio, nitrito, nitrato, antibiótico, bacterias.

ABSTRACT

This study determined the effect of oxytetracycline on the circulation of ammonia (NH_3^+), ammonium (NH_4^+), nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-) and the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in an aquaponic recirculation system, over a period of 13 weeks. Each treatment consisted of three aquaponic units with 100 L capacity rearing tanks, with seven fish each, a hydroponic coil and continuous laminar flow. The circulation of ammonia (NH_3^+), ammonium (NH_4^+), nitrite (NO_2^-) and nitrate (NO_3^-), was measured at the inlet and outlet of each filtration subsystem. In treatment 1 (T1), soluble oxytetracycline powder (400 mg/kg of biomass) was provided with the feed. In treatment 2 (T2) an oxytetracycline-free diet was provided. Fish weight and nutrient flow were analyzed using the *t*-test. At the end of the experiment, we detected no statistical differences in tilapia weight [T1 (14.01 g) vs. T2 (13.71 g); $P > 0.05$]. The ionic flux remained



constant ($P > 0.05$) and non-toxic in both treatments. The use of oxytetracycline apparently did not compromise the nitrifying bacteriological package in the biofilters.

Keywords: ammonium, nitrite, nitrate, antibiotic, bacteria.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha crecido en los últimos 30 años a una tasa anual del 6% (FAO, 2016). Sin embargo, las técnicas de producción que prevalecen en estos sistemas de producción tienen limitaciones (Tartarotti *et al.*, 2004; Pardo *et al.*, 2006; Urakawa *et al.*, 2006; Wiber *et al.*, 2012). Uno de los problemas más comunes en los sistemas abiertos, es el asociado al cambio de agua para mantener su calidad (Kestemont, 1995). El efecto más documentado de este problema, es el flujo de aguas residuales a los cuerpos de agua (Stokstad, 2010; Konnenrup *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011) además del escape de organismos cultivados (López-Luna *et al.*, 2013), que pueden causar la propagación de plagas y enfermedades (Hameed *et al.*, 2001) y la consecuente contaminación genética de peces silvestres (Mc Ginnity *et al.*, 1997; Naylor *et al.*, 2000; Cognetti *et al.*, 2006; Glover *et al.*, 2011). Además, las comunidades de invertebrados y microorganismos se ven afectados por desinfectantes, residuos antiparasitarios (Burrige *et al.*, 2010) y antibióticos (Rigos *et al.*, 2004) descargados con los efluentes.

En contraste, los sistemas cerrados con descarga mínima de agua (recirculación, acuaponía y biofloc) son bioseguros, ambientalmente sostenibles y altamente productivos (Gutiérrez-Wing & Malone, 2006; Timons & Eveling, 2007; López-Luna *et al.*, 2013). Sin embargo, la rentabilidad de los sistemas de descarga mínima depende de la densidad de reproducción en sistemas de alta densidad, y el estrés asociado a estos sistemas, se relaciona con la aparición de enfermedades (Iguchi *et al.*, 2003), que se controlan mediante el uso de medicamentos terapéuticos, como en cualquier sistema de cría de animales (Chitmanat *et al.*, 2015). Los métodos más comunes para tratar enfermedades bacterianas son los baños de inmersión y la medicación oral (Love *et al.*, 2015). El fármaco más utilizado en la acuicultura es la oxitetraciclina, considerada un antibiótico de amplio espectro para tratar infecciones por *Haemophilus picipuum*, *Aeromonas salmonicida*, *Yersinia ruckeri*, *Vibrio ssp* y *Flexibacter columnaris*. Sin embargo, Brown (2000) sugirió que la oxitetraciclina no se puede utilizar en sistemas de producción que mantienen la calidad del agua utilizando filtros biológicos. Este razonamiento se basa en el hecho de que los biofiltros funcionan a través de una comunidad de bacterias Gram⁻ (Gross *et al.*, 2003), que realizan el proceso de nitrificación (Zehr & Ward, 2002; Wang *et al.*, 2014). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la oxitetraciclina sobre la circulación de amoníaco (NH_3^+), amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de recirculación acuapónica.



MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

El experimento se llevó a cabo, en el Laboratorio Acuícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad de Campeche, ubicado en Escárcega, Campeche, México, en las siguientes coordenadas geográficas: 18°36.021' Latitud N y 90° 44.750' Longitud O. El clima es cálido sub-húmedo con lluvias en verano, subtipo humedad media (Aw1), con una temperatura promedio anual de 26 a 28°C y una precipitación anual de 1200 a 1500 mm al año (INEGI, 2017).

Unidad acuaponía experimental

Cada unidad acuaponía experimental (Figura, 1) se integró por:

- Subsistema de producción de organismos acuáticos (tanque cilíndrico de 100 L);
- Subsistema filtrante (filtro o clarificador de sólidos de 15 L con grava para retención mecánica de sólidos, biofiltro de 20 L con 120 bolas de bio-pin de 144 pines (13/8 pulgadas de diámetro), y desgasificación de 15 L; y
- Subsistema hidropónico (canales de crecimiento en espiral para plantas elaborado de cloruro de polivinilo de 2.5 pulgadas de diámetro con bomba de 14W para devolver el agua, y aireador genérico de 1/8hp con líneas de conducción.

Organismo cultivado

Un total de 42 tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con un peso promedio de 2.9 g y una longitud total de 5.6 cm fueron utilizadas. Cada pez fue seleccionado al azar de un lote de 300 de la misma cohorte. Las tilapias fueron pesadas utilizando una balanza electrónica (VE-1000; Científica Vela Quin®, Iztapalapa, Ciudad de México), con ictiómetro, y colocadas en 6 tanques de cría a una densidad de 7 peces/100 L. El material vegetativo utilizado fue albahaca (*Ocimum basilicum*) a razón de 1.9 plantas/tilapia.

Esquema de alimentación

La alimentación se basó en formulado comercial con 35% de Proteína Cruda (PC). Suministrado 2 veces/día a razón de 13, 10 y 8% de biomasa total (con período de 1 a 4 semanas, 5 a 8 semanas y 9 a 13 semanas, respectivamente).

Aplicación del fármaco

El fármaco utilizado fue terramicina (clorhidrato de oxitetraciclina 5.5 g) en polvo soluble (400 mg/kg de biomasa). Se determinó aleatoriamente que unidades acuaponías experimentales recibirían el medicamento con el alimento comercial (Figura, 1). Se utilizaron tres réplicas por tratamiento de acuerdo con Ridha (2006). Las tilapias del tratamiento 1 (T1) recibieron alimento medicado con oxitetraciclina (400 mg/kg de biomasa), y las tilapias del tratamiento 2 (T2) recibieron alimento libre de oxitetraciclina.

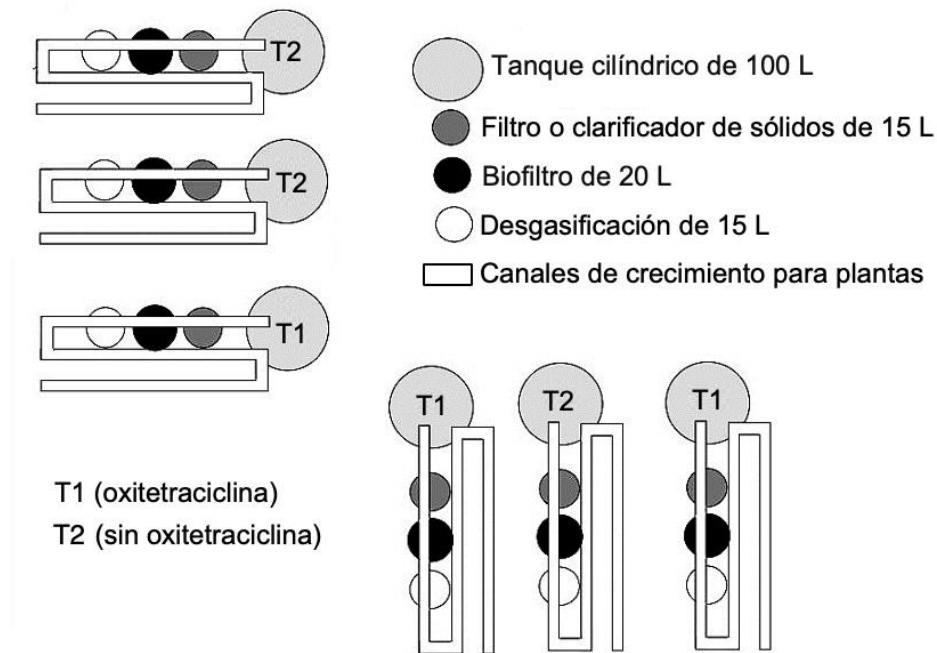


Figura 1. Disposición de unidades acuaponías experimentales

Parámetros fisicoquímicos del agua

Los factores fisicoquímicos (oxígeno, temperatura y pH) fueron monitoreados diariamente para asegurar la calidad del agua. El oxígeno disuelto y la temperatura se midieron utilizando un oxímetro (HI 9146; HANNA Instruments®, Guadalajara, Jalisco). El pH se cuantificó mediante un potenciómetro (HI 98130; HANNA Instruments., Guadalajara, Jalisco).

Flujo de iones

Una vez por semana, se tomaron muestras de agua a la entrada y salida del subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental y se midieron los iones NH_3^+ , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- mediante un espectrofotómetro (HI 83099; HANNA Instruments®, Guadalajara, Jalisco).

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados con el programa estadístico SPSS 18.0 (SPSS Inc., 2009). La homocedasticidad se verificó mediante la prueba de Bartlett y Cochran. La normalidad se comprobó mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Para determinar diferencias en la circulación de NH_3^+ , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- entre los dos tratamientos, una prueba de t para muestras independientes fue utilizada. Se realizaron regresiones logarítmicas utilizando como variable respuesta: el peso corporal de las tilapias.

RESULTADOS

Durante el experimento, las tilapias mostraron un aumento constante en su peso corporal, con una tasa de crecimiento similar entre los grupos. El peso promedio de las tilapias fue en T1 (14.01 g) vs. T2 (13.71 g); $P > 0.05$. Se obtuvieron las siguientes ecuaciones T1 [$y = 3.422e^{1.1158x}$ ($r^2 = 0.8108$)] y para T2 [$y = 3.3088e^{0.113x}$ ($r^2 = 0.8076$)]. Esto indica que la adición de oxitetraciclina no influyó sobre el peso corporal. Los valores fisicoquímicos en ambos tratamientos mostraron valores promedio de pH cercanos a 8.9 (intervalo 7.6 - 9.6). En cuanto a la temperatura, ambos tratamientos presentaron un valor promedio cercano a 23.6°C (intervalo, 20 - 27.1°C). Los valores medios de oxígeno disuelto (Figura, 2) fueron [T1: 7.2 ppm (5.4 - 8.5 ppm) vs. T2: 7.1 ppm (5.0 - 8.8 ppm)].

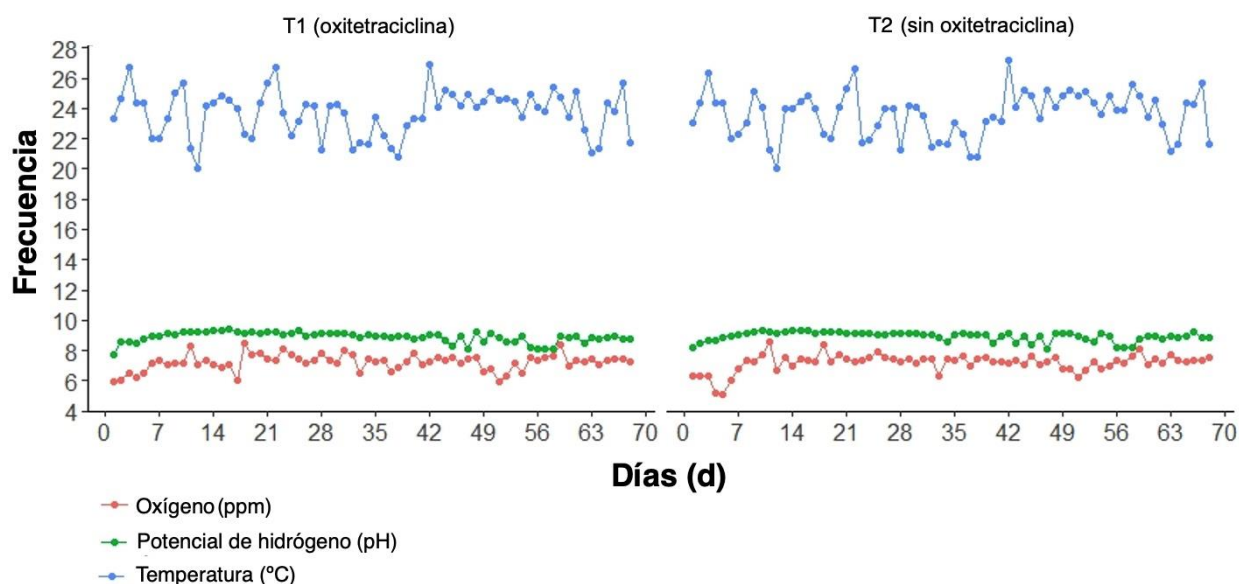


Figura 2. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en las unidades acuaponías experimentales

Los valores de NH_3^+ , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- en agua, registrados a la entrada y salida del subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental, mostraron ligeras variaciones entre T1 y T2 (Figuras, 3 y 4, respectivamente). Para la entrada del subsistema, los valores más altos de NH_3^+ se registraron en el T1 (oxitetraciclina) con un valor de 1.3 mg/L, mientras que el T2 (sin oxitetraciclina) tuvo valores de <1.1 mg/L. Las concentraciones promedio de NH_3^+ en cada una de las semanas fueron 0.64 y 0.56 mg/L para el T1 y T2, respectivamente. La concentración de NH_4^+ , más alta se registró para el T1, con un valor promedio de 1.3 mg/L vs. 1.1 mg/L para el T2. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de NO_2^- y NO_3^- al comparar los dos tratamientos.

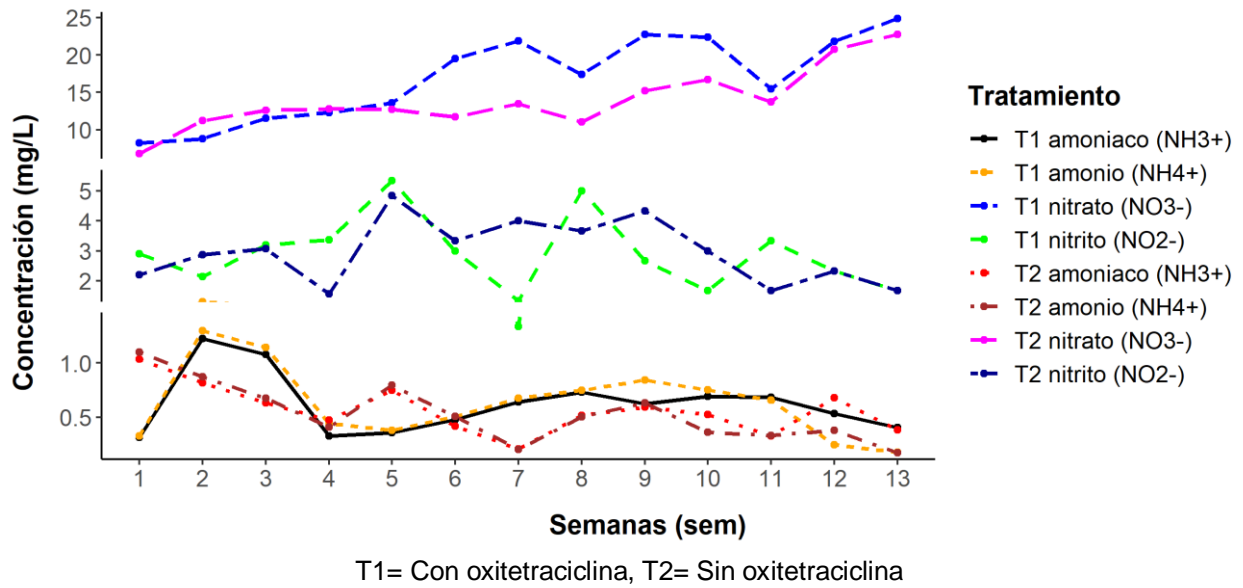


Figura. 3. Circulación iónica de entrada al subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental

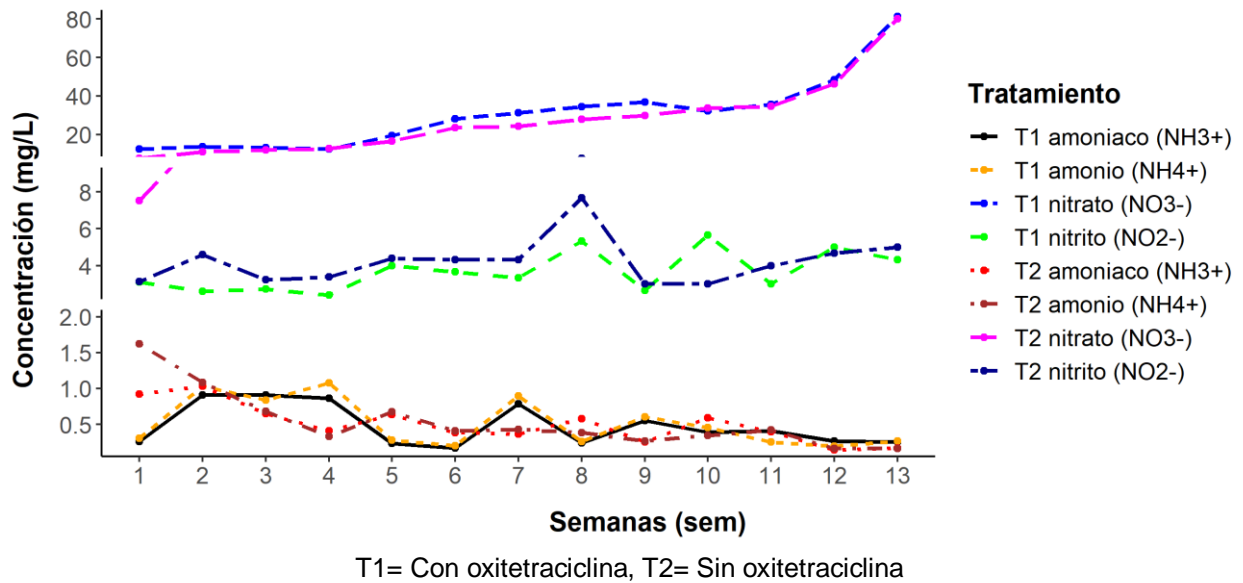


Figura. 4. Circulación iónica de salida del subsistema filtrante de cada unidad acuaponía experimental



DISCUSIÓN

La tilapia del Nilo es un pez omnívoro ampliamente utilizado en sistemas acuapónicos debido a su tolerancia a factores ambientales y su alta tasa de crecimiento, lo que la hace económicamente rentable (Guerrero-Zepeda, 2014). Sin embargo, su producción no está libre de infecciones, que son controladas principalmente por antibióticos como la oxitetraciclina, que pueden alterar la nitrificación y la productividad del sistema de cultivo de peces. Aquí, se evaluó el uso de oxitetraciclina en el proceso de nitrificación y el cambio de peso vivo de los peces en unidades acuaponías experimentales.

Crecimiento de los peces

El crecimiento de la tilapia del Nilo es multifactorial, incluyendo la densidad de los peces, la calidad del agua (oxígeno disuelto, pH y temperatura) y los alimentos ofrecidos (FAO 2013). En este estudio, todas las variables mencionadas anteriormente fueron similares para los dos grupos. Además, ambos tratamientos tenían una densidad de albahaca similar. Sin embargo, el crecimiento de tilapias fue bajo en comparación con otros estudios (Rakocy *et al.*, 2006), lo que podría deberse a que la temperatura promedio estaba cerca del límite inferior (23°C) reportado para esta especie. Otro factor crítico que afecta la supervivencia de los peces es el oxígeno disuelto; para la producción de tilapia, tres ppm se consideran como el límite inferior: a concentraciones más bajas, el metabolismo y el crecimiento de los peces disminuyen y la mortalidad aumenta (Guirado-Flores, 2022). En este estudio, los valores de oxígeno disuelto tuvieron un promedio superior al considerado como un límite inferior (siete ppm). Por lo tanto, se podría suponer que la adición de oxitetraciclina no afectó los niveles de oxígeno disuelto o la tasa de crecimiento de los peces.

Parámetros fisicoquímicos del agua

Los valores máximos y mínimos registrados de pH, temperatura y oxígeno disuelto para ambos tratamientos se mantuvieron dentro de los rangos considerados óptimos para sostener el proceso de nitrificación. EPA (2002) mencionaron como óptimo para el desarrollo de bacterias oxidantes de NH_4^+ un pH entre 7.0 y 8.0 y para bacterias oxidantes de NO_2^- un pH entre 7.5 y 8.0. Según Zornoza-Zornoza *et al.* (2014), la tasa máxima de nitrificación ocurre a pH entre 7.2 y 9.0, y a valores inferiores a 6.5 la velocidad de nitrificación se reduce considerablemente. La temperatura también es un factor determinante para la nitrificación. En condiciones aeróbicas por debajo de 20°C, la actividad enzimática de la oxidación del NO_3^- disminuye (Van Rijn, 1996; Gujer, 2010). Para este estudio, la temperatura en promedio se mantuvo por encima de 23°C durante el experimento. La nitrificación es parte del ciclo del nitrógeno (**N**), la disponibilidad de NH_4^+ y oxígeno son indispensables (Fenchel & Glud, 2000). En este estudio, el nivel de oxígeno disuelto se mantuvo por encima de los valores mínimos requeridos, que se determinaron de acuerdo con la altitud, la temperatura y el flujo de agua. Asimismo, los



valores medios de oxígeno disuelto se mantuvieron por encima de los valores reportados en estudios similares ([Sfetcu et al., 2008](#)), de modo que, el oxígeno fue suficiente para sostener el proceso de nitrificación y mantener las tilapias sin causar anoxia.

Flujo de nutrientes

El flujo de nutrientes no fue diferente entre los tratamientos, sugiriendo la formación de una biopelícula estructural y funcional, incluso con la presencia de oxitetraciclina. En los biofiltros, las bacterias nitrificantes se sumergen en una biopelícula, que es un conjunto de células bacterianas asociadas irreversiblemente a una superficie, rodeadas por una matriz de polisacáridos ([Pandey et al., 2021](#)). La funcionalidad de la comunidad bacteriana en los dos grupos se demostró mediante el análisis de los iones en presencia y ausencia de oxitetraciclina, cuyo efecto antibiótico de amplio espectro aparentemente sólo afectó a las bacterias exógenas a la biopelícula. El proceso de nitrificación no mostró diferencias entre los tratamientos. Este efecto se ha reportado anteriormente por [Johnson \(2008\)](#), quien observó que el desarrollo bacteriano en biopelícula funciona como una estrategia de protección; aumentando la resistencia a los antibióticos, el estrés térmico y la depredación. Las biopelículas microbianas están asociadas con una variedad de infecciones persistentes que responden mal al tratamiento antibiótico convencional. Al aumentar las tasas de mutación por intercambio de genes, las biopelículas en presencia de antibióticos pueden ser un factor en la propagación de rasgos de resistencia a los antibióticos en patógenos ([Fatima et al., 2015](#)). Se requieren más estudios para identificar si existen alteraciones en la comunidad bacteria por la adición de antibióticos.

CONCLUSIÓN

No se observó efecto de la oxitetraciclina sobre el proceso de nitrificación (paquete bacteriológico en biofiltros) en sistemas acuapónicos utilizando tilapia (*Oreochromis niloticus*).

AGRADECIMIENTOS

El proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) en su programa becas de posgrado. Se agradece a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Campeche por las facilidades otorgadas.

LITERATURA CITADA

BROWN L. 2000. Acuicultura para veterinarios: producción y clínica de peces. Editorial Acribia. España. Pp. 460. ISBN: 8420009245.



BURRIDGE L, Weis, JS, Cabello F, Pizarro J, Bostick K. 2010. Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*. 306(1-4):7–23. ISSN: 1873-5622.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>

CHITMANAT C, Pimpimol T, Chaibu P. 2015. Investigation of bacteria and fish pathogenic bacteria found in freshwater aquaponic system. *Journal of Agricultural Science* 7. 11: 254-259. ISSN: 1916-9760. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n11p254>

COGNETTI G, Malatagliati F, Saroglia M. 2006. The risk of “genetic pollution in Mediterranean Fish populations related to aquaculture activities. *Marine pollution bulletin*. 52 (11): 1321-1323. ISSN: 1879-3363. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.09.016>

EPA 2002. National primary drinking water regulations: long term 1 enhanced surface water treatment rule. Final rule. *Federal Register*. 67(9):1811-1844.

http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=2002_register&docid=02-409-filed.pdf

FAO. 2013. Agro-acuicultura integrada manual básico. Roma. Pp. 172. ISBN: 925304599X <http://www.fao.org/3/a-y1187s.pdf>

FAO 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. Pp. 224. ISBN 978-92-5-309185-0. <http://naval582.com/pesca/pdf/informe.pesca.fao.pdf>

FATIMA S, Prasanthi K, Nagamani K. 2015. Comparative evaluation of biofilm production in Multidrug resistant and sensitive Gram-negative clinical isolates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 4(6):918-926. ISSN: 2319-7706. <https://www.ijcmas.com/vol-4-6/Sabina%20Fatima,%20et%20al.pdf>

FENCHEL T, Glud RN. 2000. Benthic primary production and O₂-CO₂ dynamics in a shallow-water sediment: spatial and temporal heterogeneity. *Ophelia*. 53(2):159-171. ISSN: 1745-1019. <https://doi.org/10.1080/00785236.2000.10409446>

GLOVER KA, Dahle G, Jorstad KE. 2011. Genetic identification of farmed and wild Atlantic cod, *Gadus morhua*, in costal Norway. *ICES Journal of Marine Science*. 68(5): 901-910. ISSN 1095-9289. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr048>

GUERRERO-ZEPEDA R. 2014. Proyecto acuapónico para comunidades ejidales de Quintana Roo bajo la tutela del estado con directrices de sustentabilidad y productividad. Tesis de Maestría. Universidad de Quintana Roo.

<http://rasisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/63/SH135.G93.2014-1964.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



GUIRADO-FLORES JS. 2022. Efecto de la temperatura de aclimatación en el crecimiento, perfil sanguíneo y composición de ácidos grasos de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis de Maestría en Ciencias de Acuicultura. Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). México. [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3729/1/tesis_Jes%
%20Salvador%20Olivier%20Guirado%20Flores_18%20de%20julio%202022.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3729/1/tesis_Jes%c3%bas%20Salvador%20Olivier%20Guirado%20Flores_18%20de%20julio%202022.pdf)

GROSS A, Nemirovsky A, Zilberg D, Khaimov A, Brenner A, Snir E, Ronen Z, Nejdat A. 2003. Soil nitrifying enrichments as biofilter starters in intensive recirculating saline water aquaculture. *Aquaculture*. 223 (1-4): 51–62. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00067-X)

GUJER W. 2010. Nitrification and me - pandeyA subjective review. *Water Research*. 44:1-19. ISSN: 1879-2448. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.08.038>

GUTIÉRREZ-WING MT, Malone FM. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering*. 34 (3):163–171. ISSN: 1873-5614. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.003>

HAMEED AS, Yoganandhan K, Sathish S, Rasheed M, Murugan V, Jayaraman K. 2001. White spot syndrome virus (WSSV) in two species of freshwater crabs (*Paratelphusa hydrodomous* and *P. pulvinata*). *Aquaculture*. 201(3-4):179–186. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00525-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00525-7)

IGUCHI K, Ogawa K, Nagae M, Ito F. 2003. The influence of rearing density on stress response and disease susceptibility of ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Aquaculture*. 220:515–523. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00626-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00626-9)

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2017. Anuario Estadístico y Geográfico de Campeche. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/
productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095109.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095109.pdf)

JOHNSON LR. 2008 Microcolony and biofilm formation as a survival strategy for bacteria. *Journal of theoretical biology*. 251 (1): 24-34. ISSN: 0022-5193. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.10.039>

KESTEMONT P. 1995. Different systems of carp production and their impacts on the environment. *Aquaculture* 129:47-372. ISSN: 1873-5622. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00292-V](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00292-V)

KONNENRUP D, Trang NTD, Brix H. 2011. Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*. 313(1-4):57-64. ISSN: 1873-5622. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.026>



LÓPEZ-LUNA J, Ibáñez MA, Villarroel M. 2013. Using multivariate analysis of water quality in RAS Nile tilapia (*Oreochromis niloticus niloticus*) to model the evolution of macronutrients. *Aquacultural Engineering*. 54(1): 22-28. ISSN: 1873-5614.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.10.005>

LOVE D, Fry J, Li X, Hill E, Genello L, Semmens K, Thompson R. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*. 435:67-74. ISSN: 1873-5622.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>

MC GINNITY P, Stone C, Taggart JB, Cooke D, Cotter D, Hynes R, McCamley C, Cross T, Ferguson A. 1997. Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) on native populations: use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed, and hybrid progeny in a natural river environment. *ICES Journal of Marine Science*. 54(6):998-1008. ISSN: 1095-9289.

[https://doi.org/10.1016/S1054-3139\(97\)80004-5](https://doi.org/10.1016/S1054-3139(97)80004-5)

NAYLOR RL, Goldberg RJ, Primavera JH, Kutsky N, Beveridge MC, Clay J, Folke C, Lubchenco J, Mooney H, Troell M. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 405(6790):1017- 1024. ISSN: 1476-4687. <https://doi.org/10.1038/35016500>

PANDEY PK, Bharti V. Kumar K. 2021. Biofilm in Aquaculture Production. In: Pandey, P.K., Parhi, J. (eds) *Advances in Fisheries Biotechnology*. Springer, Singapore. ISBN: 978-981-16-3215-0 https://doi.org/10.1007/978-981-16-3215-0_23

PARDO S, Suárez H, Soriano E. 2006. Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba*. 11:20-29. ISSN: 0122-0268. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1041>

RAKOCY JE, Masser MP, Losordo TM. 2006. Recirculating Aquaculture Production System: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication No. 454. Southern Regional Aquaculture Center. USA.

<https://fisheries.tamu.edu/files/2013/10/SRAC-Publication-No.-454-Recirculating-Aquaculture-Tank-Production-Systems-Aquaponics-Integrating-Fish-and-Plant-Culture.pdf>

RIDHA MT. 2006. Comparative study of growth performance of three strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, L. at two stocking densities. *Aquaculture Research*. 37(2):172-179. ISSN: 1365-2109. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01415.x>

RIGOS G, Nengas I, Alexis M, Troisi G.M. 2004. Potential drug (oxytetracycline and oxolinic acid) pollution from Mediterranean sparid fish farms. *Aquatic Toxicology*. 69(3): 281–288. ISSN: 1879-1514. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.05.009>



SFETCU L, Cristea V, Oprea L. 2008. Nutrients dynamic in an aquaponic recirculating system for sturgeon and lettuce (*Lactuca sativa*) production. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*. 41(2):137-137. ISSN: 2344-4576.

https://spasb.ro/index.php/public_html/article/view/2031/1944

SPSS INC. 2009. PASW Statistics for Windows, version 18.0. Chicago:SPSS Inc.

https://www.ibm.com/mx-es/products/spss-statistics?utm_content=SRCWW&p1=Search&p4=43700077515785537&p5=e&clid=CjwKCAiAvJarBhA1EiwAGgZI0PINp-x8fLaRUtAGObhkOtzPUpN6JOeqwTY8mvp32BDUpmF0rGr5-RoCw1gQAvD_BwE&gclid=aw.ds

STOKSTAD E. 2010. Down on the Shrimp Farm. *Science*. 328: 1504-1505. ISSN: 1095-9203. <https://doi.org/10.1126/science.328.5985.1504>

TARTAROTTI B, Baffico G, Temporetti P, Zagarese H. 2004. Mycosporine-like amino acids in planktonic organisms living under different UV exposure conditions in Patagonian lakes. *Journal of Plankton Research*. Oxford Univ. 26(7):753-762. ISSN: 1464-3774.

<https://doi.org/10.1093/plankt/fbh073>

TIMONS, M. Eveling, J. 2007. Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. *Ithaca* New York. Pp. 975. ISBN 10: 0971264627.

<https://archive.org/download/recirculatingaquaculture/Recirculating%20Aquaculture.pdf>

URAKAWA H, Murata SH, Fujiwara T, Kuroiwa D, Maki H, Kawabata S, Hiwatari T, Ando H, Kawai T, Watanabe M, Kohata K. 2006. Characterization and quantification of ammonia oxidizing bacteria in eutrophic coastal marine sediments using polyphasic molecular approaches and immunofluorescence staining. *Environmental microbiology*. 8 (5):787–803. ISSN:1462-2920. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00962.x>

VAN RIJN J. 1996. The potential for integrated biological treatment in recirculating fish culture - A review. *Aquaculture*. 139 (3-4):181-201. ISSN: 1873-5622.

[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01151-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01151-X)

WANG J, Zhang C. Rong H. 2014. Analysis and succession of nitrifying bacteria community structure in sequencing biofilm batch reactor. *Applied Microbiology Biotechnology*. 98:4581–4587. ISSN: 0044-8486. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5537-6>

WIBER M. Young S. Wilson L. 2012. Impact of Aquaculture on Commercial Fisheries: Fishermen's Local Ecological Knowledge. *Human Ecology*. 40:29–40. ISSN: 1572-9915.

<https://doi.org/10.1007/s10745-011-9450-7>



ZEHR J, Ward B. 2002. Nitrogen Cycling. In the Ocean: New perspectives on Process and Paradigms. *Applied and environmental microbiology*. 68(3):1015-1024. ISSN: 1098-5336. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.3.1015-1024.2002>

ZHANG S, Li G. Wu H, Liu X, Yao, Y, Tao L, Liu H. 2011. An integrated recirculating aquaculture system, (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. *Aquacultural Engineering*. 45(3):93-102. ISSN: 0144-8609. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.08.001>

ZORNOZA-ZORNOZA A, Avendaño-Villafranca, LM, Borrás-Falomir L, Aguado-García D, Alonso-Molina JL. 2014 Análisis de las correlaciones entre la abundancia de bacterias nitrificantes y los parámetros operacionales y fisicoquímicos relacionados con el proceso biológico de nitrificación en fangos activos. *Tecnoaqua*. 5:2-12. ISSN: 2340-2091. <http://hdl.handle.net/10251/98062>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>