

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Sistema acuapónico integrado por tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como estrategia de reutilización de agua en producción a pequeña escala

Aquaponics system integrating tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) for water reuse in small-scale production

Frankling Alexander Calero Montano¹, Cristofer Antonio Oliva Hernández², Denis Joel Ruiz Hernández³, Donald Alonso Juárez Gámez⁴, Roberto Carlos Larios González⁵

¹ Profesor Adjunto, Dirección de Ciencias Ambientales y Cambio Climático, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5653-654X>, frankling.calero@ci.una.edu.ni

² Graduado de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2242-1767>, cristoferoliva28@gmail.com / Dirección de Ciencias Ambientales y Cambio Climático

³ Graduado de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7495-3370>, dinisjoelruiz@gmail.com / Dirección de Ciencias Ambientales y Cambio Climático

⁴ MSc. Plant Production Biology, Profesor Titular, Dirección de Ciencias Agrícolas, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6141-4730> / donald.juarez@ci.una.edu.ni

⁵ MSc. Agroecología y Desarrollo Sostenible, Profesor Titular, Dirección de Ciencias Agrícolas, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4290-2216> / roberto.larios@ci.una.edu.ni

Universidad Nacional Agraria

Autor de correspondencia: frankling.calero@ci.una.edu.ni



RESUMEN

La acuaponía es un sistema productivo cerrado que integra la técnica de la acuicultura con la hidroponía, es decir la producción combinada de peces y plantas sin el uso del suelo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad y reutilización de agua en cultivos acuapónicos con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en la granja acuícola de la Universidad Nacional Agraria ubicada en el km 12 Carretera Panamericana Norte, Managua, Nicaragua. La metodología utilizada se desarrolló en diversos momentos: instalación del sistema acuapónico con un tanque de 1 000 litros de capacidad de agua (1 m³) de origen

ABSTRACT

Aquaponics is a closed production system that integrates the technique of aquaculture with hydroponics, that is, the combined production of fish and plants without the use of the soil. The aim of this research was to evaluate the quality and reuse of water in aquaponic crops with tilapia (*Oreochromis niloticus*) and tomato (*Solanum lycopersicum*) in the aquaculture farm of the National Agrarian University located at km 12 of the North Pan-American Highway, Managua, Nicaragua. The methodology used was developed at various times: installation of the aquaponic system with a tank of 1,000 liters of water capacity (1 m³) of aquaculture origin,

Recibido: 14 de abril del 2025
Aceptado: 26 de noviembre del 2025



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

Copyright 2025. Universidad Nacional Agraria (UNA).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

acuícola, filtro mecánico, filtro biológico y cama de siembra con plantas de tomate. Para la determinación de la calidad se evaluaron los parámetros: concentración de iones H^+ (pH), oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), temperatura, turbidez y conductividad eléctrica. Se tomaron muestras de agua en cuatro puntos específicos del sistema. El pH, temperatura y conductividad eléctrica se midió con un equipo multiparamétrico de bolsillo, el oxígeno disuelto con un oxímetro de campo, la turbidez se midió con disco Secchi graduado cada 10 cm; y haciendo uso de soluciones colorimétricas se determinó el NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- . La demanda biológica de oxígeno en cinco días se analizó a nivel de laboratorio. Se observó que todos los parámetros no sobrepasan los valores de referencia propuestos por documentos técnicos y solamente se tuvieron fluctuaciones en las etapas de recambio de agua y alimentación de los peces. Para la demanda biológica de oxígeno en cinco días no hay referencia técnica, por tanto, es un aporte importante para verificar el buen comportamiento de los procesos de oxidación. Estos resultados permiten concluir que el agua es reutilizable, que el sistema es eficiente y que la producción de tomate y tilapia es viable con este tipo de sistema de producción.

Palabras clave: acuaponía, remoción, reciclaje, ciclo, solventes.

mechanical filter, biological filter and planting bed with tomato plants. For the determination of quality, the following parameters were evaluated: concentration of ions, H^+ (pH), dissolved oxygen, biological oxygen demand, ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), temperature, turbidity and electrical conductivity. Water samples were taken at four specific points in the system. The pH, temperature and electrical conductivity were measured with pocket multiparameter equipment, dissolved oxygen with a field oximeter, turbidity was measured with a graduated Secchi disc every 10 cm; and using colorimetric solutions, NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^- was determined. The biological oxygen demand in five days was analyzed at the laboratory level. It was observed that all the parameters do not exceed the reference values proposed by technical documents and there were only fluctuations in the stages of water exchange and fish feeding. For the biological oxygen demand in five days there is no technical reference, therefore, it is an important contribution to verify the good behavior of the oxidation processes. These results allow us to conclude that the water is reusable, that the system is efficient and that the production of tomatoes and tilapia is viable with this type of production system.

Keywords: Aquaponics, removal, recycling, cycle, solvents.

La acuaponía es una alternativa de producción especialmente adecuada en áreas donde el suelo y el agua son recursos limitados, ya que promueve la gestión eficiente del agua. Es un sistema de producción cerrado que combina la acuicultura y la hidroponía, integrando la cría de peces y el cultivo de plantas. Es una tecnología agropecuaria sostenible que se basa en principios de producción circular sin el uso de suelo (Márquez-Couturier y Vásquez-Navarrete, 2015). En este sistema, los desechos metabólicos producidos por los peces son aprovechados como nutrientes por las plantas, lo que reduce la carga química inicial del sistema, eliminando a su vez compuestos tóxicos.

En principio los peces generan amonio (NH_4^+) en sus excretas, además de materia orgánica (MO) que se expresan como sólidos en suspensión o sedimentados. El sistema promueve la depuración del agua al pasar por distintos filtros que retienen parte de los sólidos en suspensión y que trasforman el NH_4^+ en nitritos (NO_2^-) que es un producto intermedio de la oxidación en el ciclo del nitrógeno (N), hasta la forma de nitratos (NO_3^-). Luego la MO, el NO_3^- , y parte del NH_4^+ (bajas concentraciones) serán absorbidos por plantas que además de ser filtros biológicos depuradores del agua, también se desarrollan en el proceso para ser consumibles.

Este estudio integra al pez tilapia (*Oreochromis niloticus*) y al cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), variedad JL5 producida por el INTA; esta especie de tilapia es prolífica y se reproduce a temperaturas entre 20 °C y 25 °C, principalmente en áreas subtropicales, y alcanza la

madurez sexual a los dos o tres meses (Saavedra Martínez, 2006), en el caso de la variedad de tomate JL5, se adapta a temperaturas entre 20 °C y 28 °C, su floración comienza aproximadamente a los 24 días, y la cosecha puede estimarse a partir de los primeros 70 días; presenta buena tolerancia a enfermedades y al calor (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2015).

Este trabajo se utilizó la técnica de película de nutrientes, evaluando parámetros fisicoquímicos del agua durante el proceso de remoción de compuestos nitrogenados para su reutilización.

La disponibilidad de agua en algunos sistemas agrícolas representa una limitante ocasionada principalmente por actividades antropogénicas, crisis climática, uso inadecuado de los recursos hídricos y deforestación; además existe contaminación de fuentes hídricas subterráneas y superficiales por falta de conciencia ambiental y asesoramiento para mejorar su gestión. Bajo este enfoque, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018, p. 36), indica que es importante “crear capacidades en actividades relativas al agua y el saneamiento por medio del tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización”, en la que la acuaponía funciona como un sistema productivo sustentable, vinculado al uso de los recursos suelo y agua.

El objetivo de esta investigación es evaluar la calidad y reutilización del agua en un sistema acuaponico con tilapia y tomate en la granja acuícola de la Universidad Nacional Agraria como tecnologías de producción eficiente y sostenible.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio. La granja de peces de la Universidad Nacional Agraria, es una unidad dedicada principalmente a la reproducción de variedades de peces e investigación experimental. Se ubica en las coordenadas 12°08'59" de latitud Norte y 86°09'44" de longitud Oeste, con una elevación de 56 msnm. El clima predominante es de Sabana Tropical (Aw) según clasificación de Koppen. La temperatura media anual en Managua es de 31 °C y la precipitación media anual de 1 190 mm, la humedad media es del 73 % y el índice UV es igual 7. (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER], 2023).

Sistema acuapónico. En este estudio, el sistema acuapónico con técnica de película de nutriente, consta de un tanque con capacidad de 1 000 L de agua (1 m³) para uso acuícola. Este se conecta mediante tuberías a un filtro mecánico compuesto por grava (piedrin), luego se conecta a un filtro biológico compuesto por poliestireno (poroplas) y tapones de plásticos. El agua se traslada a la cama de siembra impulsada con una bomba de capacidad de 4 000 litros por hora durante 24 horas; los tubos o canales hidropónicos (espacio de siembra) se construyeron con tubos PVC con agujeros (canales de cultivo) en el que se colocan las plantas. Se utilizaron 24 plantas de tomate de la variedad INTA JL5, estableciendo una relación 1:2 (una planta por cada 2 peces). Se usaron 48 peces con un peso inicial promedio por pez de 50 g.

Selección de puntos de muestreo. Se realizó considerando el efecto de cambio en el agua de cada sección del sistema, que puede modificar los parámetros fisicoquímicos, por lo que, se seleccionaron los siguientes puntos de muestreo: a) El estanque de peces (punto 1), donde se generan desechos orgánicos derivados de la alimentación y excretas de las tilapias, b) Efluente de filtro mecánico (punto 2), donde da inicio el proceso de separación y transformación fisicoquímica de la materia orgánica procedente del estanque de peces, c) Efluente de filtro biológico (punto 3), los polímeros de este sitio crean una biopelícula que sirve para degradar (oxidación por microorganismos) y eliminar carga contaminante; está equipado con un sistema de aireación para oxigenar el agua, que acelera la oxidación de la materia orgánica, y d) Salida de agua de los canales hidropónicos y retorno al estanque (punto 4); esta tiene la capacidad de actuar como filtro natural para absorber los nutrientes presentes en el agua, que son atrapados por los tejidos de las plantas y utilizados para su crecimiento, así el agua retorna al estanque con una carga química más baja.

Variables físicas

Turbidez. La turbidez indica la presencia de materiales suspendidos coloidales y/o particulados (Cirelli, 2012). Con esta variable se desea comprobar cuanta materia orgánica

logra remover el sistema desde su carga inicial hasta el retorno de agua al tanque de peces. Este parámetro se midió al montar el experimento y en el recambio de agua, específicamente en el estanque de peces. Los sólidos totales disueltos en el agua que producen la turbidez corresponden a materiales orgánicos e inorgánicos, para la medición de la turbidez, se utilizó un medidor multiparamétrico de bolsillo Pocket Pro+ Multi 2 Tester debidamente calibrado. Para evitar errores en la medición se lavó el electrodo con agua destilada y se limpió con una toalla antes y después de cada análisis. Se tomó una alícuota (muestra) de 50 ml de agua, se introduce el electrodo y se anota el valor. En el punto 1 se registró la turbidez utilizando un disco Secchi de 100 cm, sumergiéndolo hasta una profundidad en la que no es visible y a partir de ese momento, se mantiene por 30 segundos; luego se mide la distancia de la profundidad de sumersión.

Temperatura (°C). La temperatura del estanque se registró en la etapa experimental (28 días continuos) con un multiparamétrico de campo analizador.

Conductividad eléctrica (μS cm⁻¹). Se midió en microsiemens por centímetro. Esta variable se relaciona con la corriente eléctrica del agua a causa de las especies químicas ionizadas; se midió con un analizador Pocket Pro+ Multi 2 Tester usando alícuotas (muestras de agua) de 50 ml.

Variables químicas. Se midió el pH, salinidad, NH₄⁺, NO₂⁻ y NO₃⁻, oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5).

Para la determinación del pH y salinidad, se utilizó un analizador Pocket Pro+ Multi 2 Tester usando alícuotas de 50 ml. El oxígeno disuelto, medido con un bolígrafo medidor marca Thermo Fisher Scientific previamente calibrado en el laboratorio de recursos naturales de la Universidad Nacional Agraria (LARENA-UNA) utilizando alícuotas de 50 ml.

Se midió el pH de los cuatro puntos de muestreo para determinar la acidez o alcalinidad y su comportamiento en el proceso de depuración del agua y remoción de sustancias. El pH es una medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución. Expresa las concentraciones de iones de hidrógeno, en este caso del agua, y su escala esta entre 0 y 14 (Brown *et al.*, 2002).

También se midió el pH de alto rango, amoníaco, nitrato y nitrito utilizando un kit de prueba freshwater master, que mide niveles de agua por el método colorimétrico. Cada prueba se realizó en tubos de ensayo con una alícuota de 5 ml tomada de cada punto de muestreo. Para la medición de NH₄⁺, se agregaron ocho gotas de la solución test 1 y ocho de la solución test 2. Para la medición de NO₂⁻, se utilizaron cinco gotas de solución test 1 y para NO₃⁻ se agregaron 10 gotas de la solución test 1 y 10 de la solución test 2. Los tubos se tapan y se agitan manualmente por cinco segundos, luego

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

se deja reposar por cinco minutos para desarrollar color y se comparan con la carta de colores del kit de prueba.

Se determinó el NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- para estimar la remoción de compuestos nitrogenados en el proceso de depuración del agua y su recorrido por los distintos tratamientos del sistema.

El oxígeno disuelto permite evaluar la eficiencia del sistema en base al grado de oxigenación. El oxígeno disuelto en este estudio se vincula con la demanda biológica de oxígeno en cinco días teniendo en consideración la oxidación aerobia de la materia orgánica; ambos son inversamente proporcionales. El oxígeno disuelto solo se midió en los puntos 1 y 4.

La demanda biológica de oxígeno a cinco días (DBO5) se determinó en el laboratorio del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), por el método de Winkler (Standard methods, 2012).

Todas las variables se midieron 28 veces con intervalos de cinco días, excepto la DBO5, que se midió al inicio y al final del estudio en el estanque de peces.

Análisis estadístico. La organización de datos se utilizó en el programa Excel y con el programa R estudio se realizó el cálculo de variabilidad significativa y un análisis de componentes principales (ACP) para correlacionar parámetros fisicoquímicos entre puntos de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Turbidez. El valor promedio de turbidez (54 cm) señalado en el Cuadro 1, indica que el sistema realiza remoción de materiales orgánicos e inorgánicos en el filtro mecánico y en la cámara de siembra, puesto que la claridad del agua en el estanque (punto 1) se mantiene hasta un valor profundo de visibilidad. Coral (2015) propone al menos 30 cm para que se pueda calcular la zona fótica (profundidad desde la superficie de una masa de agua que recibe luz) donde ocurre la fotosíntesis para la producción de oxígeno disuelto.

Matos *et al.* (2024), señalan que este parámetro al igual que la concentración de sedimentos en suspensión son indicadores de la calidad del agua y son utilizados para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos y la eficiencia en el tratamiento del agua. También indican que la medición de la turbidez se utiliza como un diagnóstico necesario para analizar el grado de interferencia de las partículas en suspensión en la propagación de la luz a través del agua, factor que puede ser crítico para los organismos fotosintéticos.

La turbidez es considerada por Cárdenas Chambilla *et al.* (2025), como un parámetro físico crítico y esencial para monitorear y valorar la calidad del agua y el bienestar de los peces.

Temperatura. El valor promedio fue de 28.64 °C. Krastanova *et al.* (2022), sugiere temperaturas para las plantas de aproximadamente 23 °C en sistemas acuaponicos. En climas cálidos existe mejor adaptación de los organismos en este tipo de sistema; un aumento de la temperatura en el sistema puede inducir al incremento de concentraciones tóxicas de amoniaco.

En la Figura 1, se observa que no hay diferencias estadísticas en la temperatura en los puntos de muestreo, por tanto, la incertidumbre es baja y la dispersión de los datos también, conservándose dentro de los rangos propuestos por Krastanova *et al.* (2022); Coral, (2015); Simón y Trelles, (2014).

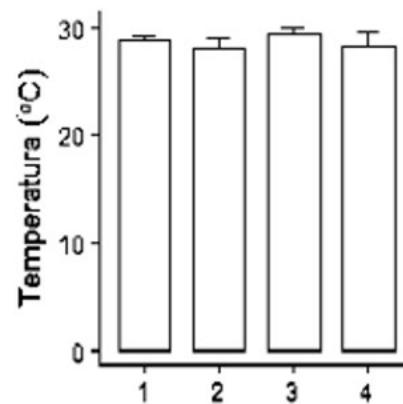


Figura 1. Temperatura (°C) por punto de muestreo.

Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica varía según Lopcham *et al.* (2025) entre 100 – 2 000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. El valor registrado (Cuadro 1) se mantiene dentro del rango de aceptación, sin embargo, este parámetro puede ser afectado por los iones disueltos en el agua que provienen de la alimentación de los peces o de la formación de iones nitrogenados; no obstante, la conductividad no especifica información sobre concentraciones de nutrientes individuales, pero es un indicador de la cantidad de nutrientes, además de relacionarse con otros parámetros como el pH y las concentraciones de nitrato, nitrito y amonio. Si el pH es alcalino en el sistema, significa que aumentó la concentración de estos iones.

pH. El valor de esta variable sobrepasa los valores de referencia (Cuadro 1), sin embargo, los peces y plantas se desarrollaron satisfactoriamente. El valor del pH puede estar influenciado por el aumento de concentraciones de NO_3^- . El NH_4^+ es una forma reducida del nitrógeno con aportes de iones hidrógenos, mientras más se oxida el NH_4^+ a NO_3^- el pH aumentará, alcalinizando el medio, debido a la disminución de iones de hidrógeno. Otro elemento importante que se relaciona al pH es la conductividad eléctrica, que puede

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

modificar los valores del pH por la presencia de iones en el agua como Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} y Na^+ , provenientes de la alimentación de los peces, y que se disuelven rápidamente.

Krastanova *et al.* (2022), proponen un rango ideal entre 6 y 8, dado que las bacterias nitrificantes pueden ejercer la oxidación satisfactoriamente. Coral (2015), propone rangos entre 7 y 9 considerando presencia de carbonatos que fomentan la alcalinidad en el agua. Simón y Trelles, (2014), registraron rangos de pH entre 7.5 y 8 que permiten el crecimiento de las plantas y la disponibilidad de nutrientes; estos valores son cercanos al obtenido en este estudio, por lo que se considera aceptable para el funcionamiento normal del sistema.

Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5). La DBO5 es un indicador de la materia orgánica en el agua (Rodríguez, 2020). En el Cuadro 1 se indican los valores de la DBO5, mostrando una reducción de 7.75 mg l⁻¹ (inicial) a 2.46 mg l⁻¹ (final). La DBO5 es la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos degraden la materia orgánica en el agua (Glynn, 1999). Esto indica que las plantas realizaron intercambio de oxígeno con el agua, que existió retención de materia orgánica en los filtros del sistema, y que la oxigenación fue suficiente para la biodegradación de la materia orgánica.

Deswati *et al.* (2020), propone un valor de referencia menor o igual a 3 mg l⁻¹ para la DBO5. En el sistema tilapia y tomate, el valor final de la DBO5 (Cuadro 1), nos indica que el sistema posee agua limpia, lo que es característico de un sistema acuaponico bien balanceado, que el filtro biológico y las plantas absorben eficientemente los nutrientes, y que los peces no generan excesos de residuos acumulables.

Cuadro 1. Parámetros físicos y químicos y valores de referencia

Parámetros	Resultado	Valores de referencia	Referencia
Amonio (NH_4^+)	1.79 mg l ⁻¹	< 0.25 mg l ⁻¹	Masabni y Sink, (2020)
Nitrito (NO_2^-)	0.38 mg l ⁻¹	$\leq 1 \text{ mg l}^{-1}$	Masabni y Sink, (2020)
Nitrito (NO_3^-)	5.33 mg l ⁻¹	> 100 mg l ⁻¹	Masabni y Sink, (2020)
DBO5 inicial	7.75 mg l ⁻¹		
DBO5 final	2.46 mg l ⁻¹	< 3 mg l ⁻¹	Deswati <i>et al.</i> (2020)
Oxígeno disuelto (OD)	3.34 mg l ⁻¹	> 5 mg l ⁻¹	Somerville <i>et al.</i> (2014)
Conductividad eléctrica (CE)	902.75 $\mu\text{S cm}^{-1}$	100-2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$	Lopcham, <i>et al.</i> (2025)
Temperatura (T)	28.64 °C	23-25 °C	
pH	8.10	6-7	Krastanova <i>et al.</i> (2022); Coral, (2015); Simón y Trelles, (2014)
Turbidez	54 cm	30 cm	Coral (2015)

DBO5: Oxígeno disuelto en agua a los cinco días, $\mu\text{S cm}^{-1}$: microsiemens por centímetro.

Amonio, nitrito y nitrato. El NH_4^+ y NH_3 presente en las aguas residuales es un producto tóxico que procede de la excreción natural por el metabolismo de los peces. Altas concentraciones frenan el crecimiento en los peces y en las plantas (Zuluaga-González y Martínez-Yáñez, 2017). En cambio, los NO_2^- y NO_3^- son formas oxidadas del nitrógeno; en este caso los nitratos se utilizan como alimento para las plantas. Este proceso es parte del ciclo del nitrógeno en el agua (Krastanova, 2022), como se indica en la Figura 2.

Masabni y Sink (2020), proponen que valores de amonio igual a 1 mg l⁻¹ y 2 mg l⁻¹ en aguas con pH de

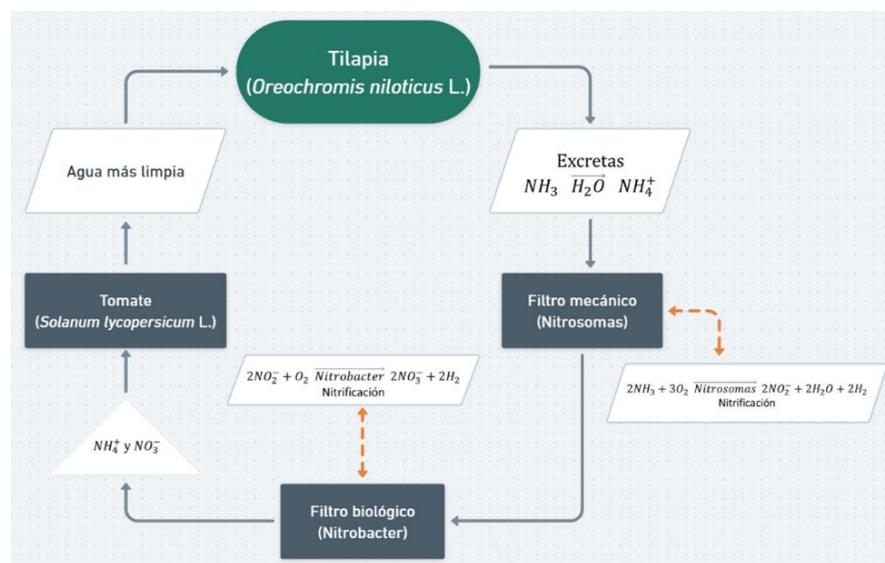


Figura 2. Ciclo del nitrógeno en el sistema acuapónico tilapia – tomate.

8 y 9 y con temperaturas entre 26 °C y 32 °C, generan concentraciones tóxicas de amoníaco con valores de 0.389 mg l⁻¹, 0.529 mg l⁻¹, 0.779 mg l⁻¹ y 1.058 mg l⁻¹. También sugieren que un sistema acuapónico seguro debe de mantener las concentraciones de amonio inferiores a 0.25 mg l⁻¹ con temperaturas inferiores a 26 °C. Esta última condición es la que prevaleció en el sistema de tilapia y tomate (Cuadro 1), lo que evitó la generación de altas concentraciones de amoniaco.

Con respecto a la variabilidad de los compuestos nitrogenados en los puntos de muestreo, el amonio muestra un comportamiento simétrico con un error casi nulo (Figura 3B). Esto indica que el sistema es alcalino siempre, se comprueba el proceso de nitrificación y que una parte del NH_4^+ no oxidado se

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

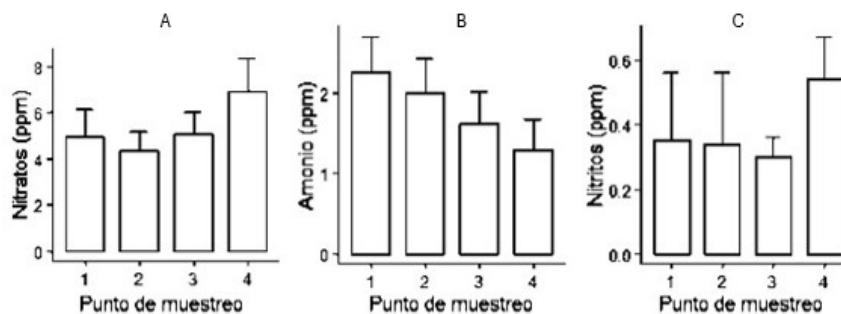


Figura 3. Variabilidad de compuestos nitrogenados en los puntos de muestreo.

absorbe por las plantas; el no absorbido que retorna al punto 1 no acidifica el sistema.

En la Figura 3B la concentración de NH_4^+ , confirma la oxidación del nitrógeno a nitrato, es descendente desde el punto 1 al 4, en cambio NO_3^- y NO_2^- (Figura 3A y 3C) se comportan similarmente y se observa variabilidad con un error muy marcado debido a las transformaciones químicas del nitrógeno en agua. Morales (2019), experimentó con albahaca obteniendo datos de concentraciones de sustancias nitrogenadas con un comportamiento parecido al de este estudio.

Oxígeno disuelto. Los mecanismos de oxidación están relacionados a la oxigenación del agua y a la actividad de microorganismos; la cantidad de oxígeno disuelto en el sistema es baja (Cuadro 1), sin embargo, fomenta el desarrollo de los organismos (peces, bacterias, plantas). La estabilidad del oxígeno disuelto se corrobora con el descenso de la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días que desciende de 7.75 mg l^{-1} hasta 2.46 mg l^{-1} . Esta oxigenación es el resultado de la oxidación de la materia orgánica, osea que el oxígeno disuelto es suficiente para la degradación de la materia orgánica en el agua y la formación de los NO_2^- y NO_3^- . La disminución de la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días también se vincula a las interacciones del filtro mecánico en la retención de materia orgánica. Las plantas también tienen su influencia en la oxigenación por intercambio de oxígeno entre la raíz y el agua.

El oxígeno disuelto es un parámetro importante en la valoración de la calidad del agua; niveles bajos pueden provocar estrés en los peces, mal funcionamiento del biofiltro nitrificante y disminución en las poblaciones de peces (Espinal y Matulić, 2020).

En Nicaragua no se tiene marco de referencia de los valores para la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días en sistemas acuapónicos sin recambio de agua; sistema que permite un uso eficiente del recurso hídrico, por lo tanto, el dato registrado en este sistema, representa un valor de referencia.

En acuaponia, se recomienda un nivel de oxígeno disuelto mayor a 5 mg l^{-1} (Somerville *et al.*, 2014).

Concentraciones de oxígeno disuelto de 3 mg l^{-1} o menos son estresantes, y por debajo de 2 mg l^{-1} pueden ser mortales. El requisito general para tilapias es que el valor no sea inferior a 3 mg l^{-1} en un período de 30 días (Masabni y Sink, 2020).

El oxígeno disuelto promedio registrados en el estanque (3.31) y en la salida de agua de los canales hidropónicos (3.55) muestra poca variabilidad, sin embargo, ambos valores son inferiores al valor de referencia, pero sin afectaciones

en los peces y las plantas, posiblemente a las poblaciones de peces y plantas, la capacidad del estanque y al flujo del agua.

Sánchez *et al.* (2024), en un estudio de sistemas acuapónicos con lechuga, obtuvo valores promedios a 7.4 mg L^{-1} de oxígeno disuelto, pero con curvas de decaimiento no especificadas en sus resultados y que solo evidencian la cantidad de oxígeno en los puntos seleccionados, en cambio, el valor obtenido en este estudio verificó el intercambio de oxígeno entre la planta y el agua para sustentar la vida en el estanque de peces y reducir los recambios de agua, evidenciando el reciclaje de agua en el sistema.

Correlación de parámetros fisicoquímicos por punto de muestreo. El análisis de componente principal (ACP) permitió correlacionar los parámetros químicos entre los puntos de muestreo, con una expresión del 80 % de las observaciones.

Este análisis demuestra que el 83.2 % de la variación en la calidad del agua del sistema acuapónico se explica por dos componentes (compuestos nitrogenados y pH), indicando que una gradiente funcional en el proceso de nitrificación es esencial para el crecimiento del tomate (Figura 4).

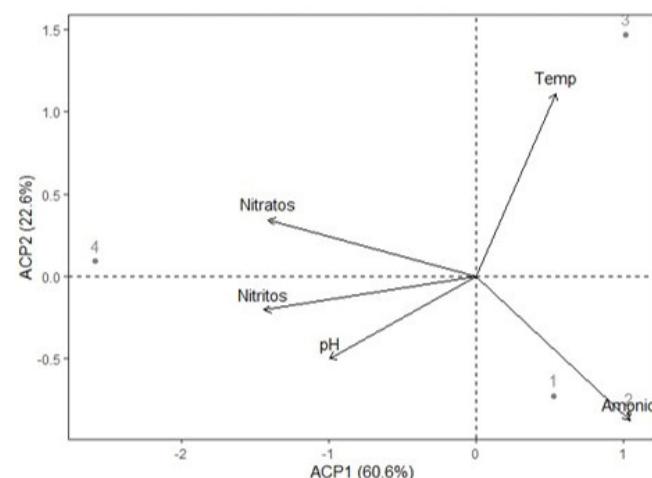


Figura 4. Relación de parámetros fisicoquímicos en el sistema acuapónico tilapia - tomate por puntos de muestreo.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

El ACP1 (60.6 %) establece un fuerte contraste entre las zonas de carga de desechos (alta concentración de amonio en los puntos 1 (estanque de peces), punto 2 (filtro mecánico) y las zonas de asimilación de nutrientes que muestra alta concentración de nitratos en el punto 4. Agronómicamente, la salida de agua de los canales hidropónicos que retornan al estanque, es el ambiente óptimo para que el cultivo tenga el nitrógeno en su forma más asimilable. Por otro lado, la temperatura no tiene correlación cercana a ningún otro parámetro, pero tiene asociación al filtro biológico.

CONCLUSIONES

La reutilización del agua es eficiente, existe oxigenación y disminución de la DBO_5 , oxidación de NH_4^+ a nitrato, y no

hay acidificación ni alcalinización extrema en el sistema. Se evidencia el ciclo del nitrógeno por la remoción de NO_3^- , NO_2^- y NH_4^+ . El sistema produce oxígeno y realiza intercambio entre plantas y agua demostrando eficiencia del sistema en las condiciones operadas.

El valor de la demanda biológica de oxígeno en 5 días (5.10 mg l⁻¹), para esta investigación es un aporte significativo ya que no existen valores de referencia para sistema acuapónico en climas tropicales del pacífico nicaragüense.

El sistema acuapónico demuestra capacidad de reúso del agua para la producción de peces y plantas. En este sentido la acuaponía, se sugiere como alternativa viable en la producción sostenible de alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, T. L., LeMay, H. E., & Bursten, B. E. (2002). *Chemistry: The central science*. Pearson.
- Cárdenas Chambilla, G. J., Alarcón Quispe, V. A. J. y Rivera Herrera, H. J. (2025). Sistema de monitoreo remoto y control automatizado del sistema acuapónico. *Ingeniería Investiga*, 7, 1-15. <https://doi.org/10.47796/ing.v7i00.1164>
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>
- Coral, D. (2015). *Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras* [Tesis de Licenciatura, Universidad Zamorano]. Biblioteca Digital. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/bedeabc1-3ec7-4bd9-aa0a-8c38a0a0e1c5/content>
- Deswati, D., Safni, S., Khairiyah, K., Elsa, Y., Yulizar, Y., & Hilfi, P. (2020). Biofloc technology: water quality (pH, temperature, DO, COD, BOD) in a flood & drain aquaponic system. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(18). <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1817428>
- Espinal, C. A., & Matulić, D. (2020). Recirculating aquaculture technologies. En S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future* (pp. 35-76). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_3
- Glynn, J. (1999). *Ingeniería ambiental* (2.ª ed.). Prentice Hall.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2023). *Meteorología*. <https://www.ineter.gob.ni/met.html>
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2015). *Variedad de Tomate INTA JL5*. <https://inta.gob.ni/wp-content/uploads/2023/11/Tomate-INTA-JL5.pdf>
- Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D. y Orozova, P. (2022). Sistemas acuapónicos: Parámetros biológicos y tecnológicos. *Biología y Equipos Biotecnológicos*, 36(1), 305-316. <https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2074892>
- Lopchan Lama, S., Marcelino, K. R., Wongkiew, S., Surendra, K. C., Hu, Z., Lee, J. W., & Khanal, S. K. (2025). Recent Advances in Aquaponic Systems: A Critical Review. *Reviews in Aquaculture*, 17(3), e70029. <https://doi.org/10.1111/raq.70029>
- Márquez-Couturier, G. y Vásquez-Navarrete, C. J. (2015). Empoderamiento de las organizaciones sociales en el cultivo de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) en el sureste de México. *Agroproductividad*, 8(3), 38-43. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/659/527>
- Masabni, J., & Sink T. (2020). *Water quality in aquaponics*. <https://extension.rwfm.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/8/2020/10/Water-Quality-In-Aquaponics-Sink-Masabni.pdf>
- Matos, T., Martins, M. S., Henriques, R., & Goncalvez, L. M. (2024). A review of methods and instruments to monitor turbidity and suspended sediment concentration. *Journal of Water Process Engineering*, 64, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105624>
- Morales, A. (2019). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico prototípico, aplicado a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*)* [Tesis de Ingeniería, Universidad de Alicante]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/4126/MORALES%20HUAMAN%20ANGEL%20HUMBERTO%20-%20TITULO%20PROFESIONAL%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, Y. (2020). *Evaluación de un filtro biológico y un sistema hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*) para el tratamiento de las aguas residuales de un sistema de recirculación acuícola para la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*)* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI-UCR. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/9277f1db-fbcb-452d-8b2d-f1b027286a92>

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- Saavedra Martínez, M. A. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. CIDEA. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Sánchez-Morales, D. J., Rubiños-Panta, J. E., Crespo-Pichardo, G., Mendoza-Pérez, C., Pérez-Ávila, M. de L., Peralta-Inga, M., & Rubiños-Hernández, C. E. (2024). Evaluación del sistema acuapónico de pequeña escala para la producción de tilapia y lechuga. *Tierra Latinoamericana*, 42. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.2020>
- Simón, E. W. M., & Trelles, A. Z. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) con efluentes de cultivo de tilapia. *REBIOL*, 34(2), 60–72. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/770>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stanku, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food productio: Integrated fish and plant farming*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i4021e>
- Zuluaga-González, N. A., & Martínez-Yáñez, R. (2017). Capacidad de absorción de amonio de plantas acuáticas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 112–116. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1685>