

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación de un sistema acuapónico con dos diseños para la
producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Kristine) y tilapia
(*Oreochromis sp.*)

Estudiantes

Guillermo A. Miranda Sarmiento

Keren A. Valladares Herrera

Asesores

Patricio E. Paz, Ph.D.

Julio López, M.Sc.

Honduras, noviembre 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra mayor gratitud al Ingeniero Jofiel Jirón, cuyo valioso apoyo fue de gran ayuda para realizar este proyecto. Su conocimiento y recomendaciones fueron vitales para llevar a cabo ese diseño. Su tiempo y sus consejos fueron de gran ayuda también para poder mejorar el diseño y hacerlo funcionar a la perfección. Además, nos gustaría agradecer a Pilonos De Oriente por su donación de lechugas, que fue fundamental para la realización del proyecto.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de Cuadros.....	6
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos.....	8
Resumen	9
Introducción.....	11
Materiales y Métodos.....	14
Ubicación del Proyecto Acuapónico	14
Sistema y Materiales.....	14
Biofiltro	15
Aireador y Difusor	16
Reservorio	16
Tanque de Cultivo	17
Área Acuapónica (<i>Lactuca sativa</i>).....	17
API® Freshwater Master Test Kit	18
Alimentación	19
Resultados y Discusión.....	20
Parámetros de Calidad.....	20
Nitrógeno Total Amoniacal (TAN).....	20
Nitritos (NO ₂ ⁻).....	21
Nitratos (NO ₃ ⁻).....	22
pH.....	22
Parámetros Productivos.....	22
Variables Productivas de Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	23

	5
Conclusiones	27
Recomendaciones	28
Referencias.....	29
Anexos.....	31

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Indicadores de Calidad del Agua en la evaluación del diseño del Sistema Acuapónico para la producción conjunta de tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.) y lechuga (<i>Lactuca sativa</i> var. Kristine).....	20
Cuadro 2. Parámetros productivos del animal, ganancia diaria de peso (GDP), e índice de conversión alimenticia en el diseño del sistema acuapónico del la Allison Bixby Stone School.....	23
Cuadro 3. Variables de desarrollo fisiológico de la lechuga analizadas en el diseño del sistema acuapónico de la Allison Bixby Stone School.....	25
Cuadro 4. Resultados de la concentración de clorofila en diversas estructuras hidropónicas (horizontal y piramidal) dentro del sistema acuapónico.....	26

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto acuapónico en la Alison Bixby Stone School.....	14
Figura 2. Diseño del proyecto	15
Figura 3. Ubicación del aireador en el sistema acuapónica de la ABSS	16
Figura 4. Geomembrana HDPE de 6 metros de diámetro	17
Figura 5. Estructuras en construcción de sistemas acuapónicos para la producción de lechuga	18
Figura 6. API® Freshwater Master Test Kit usado para la determinación de calidad de agua	19
Figura 7. Niveles de nitritos, y amonio en el diseño del sistema acuapónico de la Allison Bixby Stone School.....	21

Índice de Anexos

Anexo A. Toma de los datos de clorofila.....	31
Anexo B. Armado de la estructura.....	32
Anexo C. Armado de la estructura del sistema acuapónico vertical	33
Anexo D. Instalación de componentes del sistema	34
Anexo E. Pieza de los componentes del biofiltro.....	35
Anexo F. Perforaciones del PVC.....	36
Anexo G. Perforación de balde que alberga la bomba de distribución	37
Anexo H. Colocación de malla de balde para mejorar filtrado previo a distribución de agua	38
Anexo I. Construcción del biofiltro	39
Anexo J. Colocación de tubería de salida del biofiltro.....	40
Anexo K. Porcentaje de amoníaco (amonio no-ionizado = NH_3) del total de NH_3 y NH_4^+ en solución acuosa a diferentes valores de pH y temperatura Meyer (2004). Introducción a la acuicultura	41

Resumen

La investigación tuvo como objetivo diseñar y validar un sistema acuapónico para la producción de tilapia (*Oreochromis sp.*) y lechuga (*Lactuca sativa* var. Kristine) en la Alison Bixby Stone School, con el fin de promover un modelo de producción agrícola sostenible y eficiente en el uso de recursos, en respuesta al desafío de la seguridad alimentaria global. El sistema se implementó utilizando una geomembrana de 34.49 m³ para la cría de tilapia, combinada con un sistema de fluido constante de nutrientes (NFT) para el cultivo de lechuga en configuración horizontal y piramidal. Se integró un biofiltro para promover la nitrificación y recircular el agua entre el tanque de peces y los sistemas hidropónicos. Los resultados mostraron que los parámetros de pH, oxígeno disuelto y temperatura se mantuvieron dentro de los rangos óptimos para las tilapias, aunque los niveles de amonio y nitritos se elevaron, indicando la necesidad de mejorar el biofiltro y la recirculación. En la comparación hidropónica se encontró que el sistema piramidal presentó mejores resultados en términos de altura foliar (118.65 mm), grosor de tallo (6.32 mm) y peso total (46 g), en comparación con el sistema horizontal.

Palabras clave: Acuaponía, lechuga, nitrificación, sostenibilidad, tilapia

Abstract

This study aimed to design and validated an aquaponic system for the joint production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and lettuce (*Lactuca sativa* var. Kristine) at the Alison Bixby School, with the goal of promoting a sustainable agricultural model that efficiently uses resources in response to global food security challenges. The system was implemented using a 34.49 m³ geomembrane for tilapia farming and a Nutrient Film Technique (NFT) system for lettuce cultivation. A biofilter was integrated to promote nitrification and ensure water recirculation between the fish tanks and the hydroponic system. Results showed that pH, dissolved oxygen, and temperature remained within optimal ranges for tilapia, though elevated ammonia and nitrite levels suggested the need for improvements in the biofilter and recirculation processes. In the hydroponic section, two systems (pyramid and horizontal) were compared, with the pyramidal system yielding better results in terms of leaf height (118.65 mm), stem thickness (6.32 mm), and total weight (46 g), compared to the horizontal system.

Keywords: Aquaponics, lettuce, nitrification, sustainability, tilapia.

Introducción

Debido al aumento de la población mundial y los diferentes cambios en la dieta de la población, especialmente en los países en desarrollo, la demanda de alimentos está en constante cambio. La producción mundial de alimentos necesitará aumentar en un 60% para satisfacer las necesidades de una población proyectada de 9.7 mil millones de personas (FAO, 2022). Por lo tanto, los sistemas de producción sufrirán un cambio para poder satisfacer la demanda creciente de alimentos. Esto creará la necesidad de producir más alimento utilizando la misma o menos cantidad de recursos.

La seguridad alimentaria y nutricional ha pasado a tomar un lugar de mayor importancia en los gobiernos y políticas de distintos países, ya que diferentes crisis ya sea económicas, ambientales o alimentarias han frenado los esfuerzos mundiales por reducir la pobreza y el hambre. Por otro lado, la disminución de la seguridad alimentaria tiene origen en la falta de inversión pública en el sector agropecuario en países en desarrollo (International Fund for Agricultural Development, 2012). La agricultura a pequeña escala es fundamental en la promoción de la producción sostenible, especialmente en países menos desarrollados. Los pequeños agricultores producen alrededor del 35% del suministro mundial de alimentos, mientras explotando solo el 12% de todas las tierras agrícolas (Chang, 2022).

La agricultura es la actividad que mayor requerimiento de agua tiene con un 70% del consumo mundial, el uso doméstico un 10% y los usos industriales un 20% (FAO, 2012). El agua y el suelo son sin duda la base de la agricultura convencional, sin embargo, en los últimos años se han implementado mejoras como fertilizantes, pesticidas, semillas mejoradas, lo cual ha tenido un impacto positivo sobre la cantidad de alimento producido, por otra parte, ha tenido un impacto negativo sobre los recursos naturales (Paulet Iturri, 1999).

La degradación y disminución de la disponibilidad de los recursos naturales tendrá un impacto negativo sobre la producción de alimentos. Por lo tanto, es necesario encontrar formas de satisfacer

la demanda alimentaria y al mismo tiempo, garantizar la seguridad alimentaria en países en vía de desarrollo.

La acuicultura se ha convertido en una fuente importante de proteína a nivel mundial, representando casi la mitad del pescado consumido a nivel global. Puede reducir la presión sobre las pesquerías a nivel mundial y reducir substantivamente el impacto de otros sistemas que crían animales terrestres con mayor impacto ecológico en el medio ambiente. El mayor problema de la acuicultura sostenible es el tratamiento de agua rica en nutrientes, ya que no se puede liberar sin antes tratar ya que tendrá un impacto sobre el ecosistema. Una manera de reducir la carga de nutrientes del agua es estableciendo y produciendo plantas, de esta manera también se consigue obtener una subproducción y por lo tanto teniendo un beneficio económico extra (Somerville, 2014).

La acuaponía es una nueva técnica agrícola que combina la acuicultura con la hidroponía en un sistema cerrado. En esta técnica, los peces y las plantas crean una sinergia, las plantas aprovechan los desechos de la crianza de los organismos acuáticos como nutrientes para poder crecer, mientras que las plantas limpian el agua y ayudan a eliminar los desechos tóxicos para los peces. De esta manera, se reduce la frecuencia en la cual se tiene que hacer un recambio de agua (Intagri, 2017). Existen varios sistemas hidropónicos, entre los más utilizados en producciones acuapónicas son: el sistema de fluido constante de nutrientes (NFT, por sus siglas en inglés), sistemas ebb and flow (llenado y vacío), y cama flotante (raíz flotante) (Coral, 2015).

Es necesario integrar un biofiltro, ya que las plantas y los peces no son los únicos en sinergia, dentro de este sistema intervienen microorganismos, como las bacterias nitrificantes (Gallego-Alarcón y García-Pulido, 2017). Este biofiltro sirve de doble propósito, el primero es remover desechos sólidos del agua y segundo proporcionar un lugar donde se llevará a cabo el proceso de nitrificación.

El objetivo general de la presente investigación consistió en proponer un modelo de sistema acuapónico urbano que se ajuste al modelo de producción de agricultura orgánica y a las condiciones climáticas de Zamorano, Honduras. Como objetivos específicos se tuvieron los siguientes: Diseñar un

sistema de acuicultura que permita el cultivo de peces y la recirculación de agua al sistema hidropónico. Diseñar dos sistemas de producción hidropónico que se ajusten al sistema de recirculación de agua del sistema de acuicultura.

Materiales y Métodos

Ubicación del Proyecto Acuapónico

El sistema acuapónico fue diseñado para su implementación en la Alison Bixby Stone School (ABSS), situada en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, en el valle del río Yegüare, a 30 km al sureste de Tegucigalpa, Honduras. La ABSS se encuentra a una altitud de 800 msnm, con una temperatura ambiente promedio de 26 °C y una precipitación anual de 1100 mm. El sistema acuapónico se instaló en una casa malla de dimensiones 7.51 m × 8.75 m.

Figura 1

Ubicación del proyecto acuapónico en la Alison Bixby Stone School



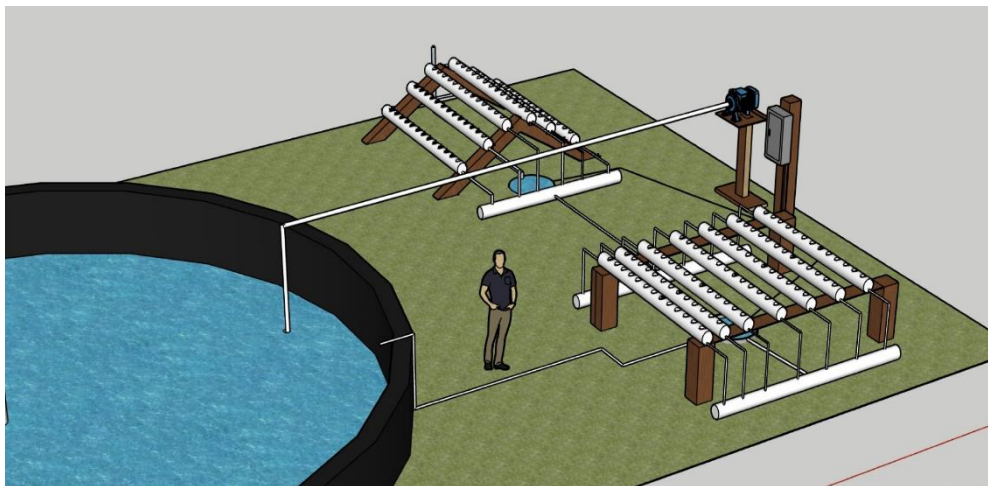
Sistema y Materiales

Existen muchos tipos de sistemas, entre los principales está el “nutrient film technique” (NFT) que se caracteriza por siempre mantener las raíces de las hortalizas en contacto permanente con una solución nutricional, en este caso, el agua proveniente del tanque de peces. El sistema NFT fue utilizado para el diseño. Se utilizó una geomembrana (Figura 2) con una capacidad de 34.49 m³, sin

embargo, no se utilizó la máxima capacidad para evitar rebalse y se llenó a una altura de 0.8 metros y una densidad de siembra de 9.51 peces/m³. La geomembrana se conectó a un biofiltro con una capacidad de 450 L, el agua fue luego distribuida mediante tubería PVC y una manguera de polietileno (tubin) de 16 mm a la siguiente parte de producción. El sistema hidropónico consto de dos diseños, en cama y en piramidal (Figura 5). Cada diseño consto de siete tuberías de 10.16 cm de diámetro y tres metros de longitud. Luego, mediante el tubin y por el efecto de la gravedad, el agua sale y se recibe otro tanque de 450 L, cuya función solo era recibir el agua para luego ser impulsada mediante bomba a la geomembrana, desarrollándose sí la recirculación completa.

Figura 2

Diseño del proyecto acuapónico instalado en la Alison Bixby Stone School



Biofiltro

El biofiltro consistió en una bomba sumergible de 0.5 hp de la marca Truper. La bomba fue colocada dentro de un balde de 37.85 L, y este fue perforado y se le colocó una malla para asegurar un filtrado correcto. La bomba se conectó a tuberías de Un tanque Rotoplas® de 1 metro de altura con capacidad de 450 L fue llenado de diferentes materiales. Se utilizó grava, teja quebrada, malla sarán, esponja y PVC. Estos materiales ayudan al desarrollo de bacterias nitrificantes *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* (Carcamo y Betancourth, 2023). El biofiltro ayuda a remover los desechos sólidos y se promueve el proceso de nitrificación para la reducción de niveles tóxicos de amonio y nitritos. Las

bacterias nitrificantes son lentas para reproducirse y tardan en establecerse en colonias, y puede requerir días e incluso semanas. Se puede inocular las bacterias nitrificadoras para acortar los días de activación del biofiltro. Según Moreno y Arambulo (2020), se puede ver resultados de proceso de nitrificación de cuatro a ocho días, en comparación no inocularse que llega a tardar de 15 a 18 días.

Aireador y Difusor

Se instaló un soplador regenerativo de aire de 1 hp de la marca Hyperspin® Blowers. Se conectaron tuberías PVC de 3.81 cm de diámetro y luego a una sola manguera difusora distribuida por todo el tanque. Se instaló una válvula de PVC para poder regular la dispersión de aire

Figura 3

Ubicación del aireador en el sistema acuapónica de la Alison Bixby Stone School



Reservorio

El reservorio utilizado con capacidad de 450 L sirvió para el recibimiento del agua que circula a través de ambos sistemas hidropónicos y posteriormente devolverla al tanque de los peces para la recirculación completa. Este consta solamente de un Rotoplas de 450 L y una bomba sumergible de 0.5 hp de la marca Truper®.

Tanque de Cultivo

Para el cultivo de la tilapia (*Oreochromis sp.*) se utilizó una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de seis metros de diámetro y una altura de 1.22 metros, con una capacidad volumétrica de 34.49 m³. Sin embargo, el volumen operativo fue de 22.61 m³. Se sembraron 215 peces para una densidad de 9.51 peces/m³.

Figura 4

*Geomembrana HDPE de seis metros de diámetro para el cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*)*



Área Acuapónica (*Lactuca sativa*)

El área de siembra de lechuga se dividió en dos sistemas; piramidal y horizontal. Se utilizaron siete tuberías de PVC de 10.16 cm de ancho y tres metros de longitud para cada sistema (Figura 5). A cada tubería se le realizó una perforación de 5.08 cm de diámetro, cada 15 cm, dando como resultado 15 perforaciones por tubo y 105 perforaciones por sistema. En total, combinando ambos sistemas se tuvo un total de 210 perforaciones que equivalía a una capacidad de siembra de 210.

Figura 5

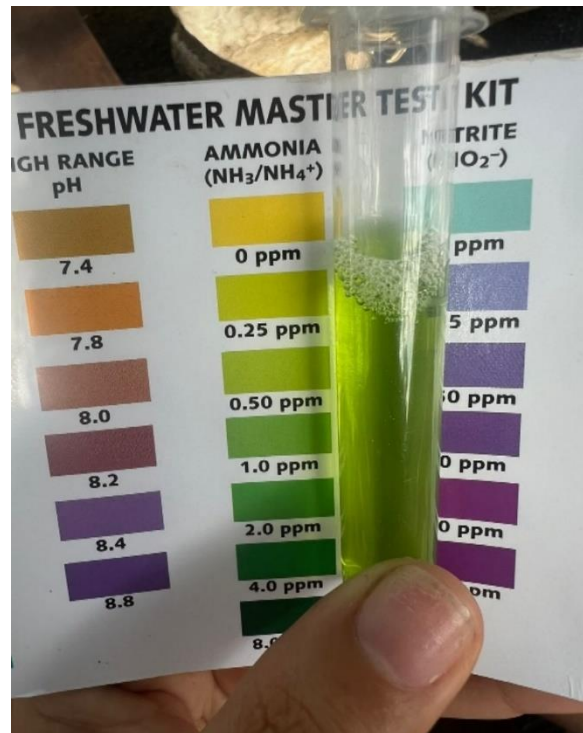
Estructuras en construcción de sistemas acuapónicos para la producción de lechuga acuapónica

**API® Freshwater Master Test Kit**

El API® Freshwater Test Kit fue utilizado para medir y asegurar calidad de agua para la supervivencia de los peces. Se tomaron muestras cada día de por medio. Para la prueba de amonio, se añadió ocho gotas de cada solución y se esperó cinco minutos para obtener un dato preciso. Para la prueba de nitritos, se añadieron cinco gotas y se esperó nuevamente cinco minutos para el desarrollo del color. Para los nitratos, se añadió 10 gotas de cada solución y se esperó cinco minutos que se revelara el color. Para el pH, se utilizaron solo tres gotas de la solución y se pudo leer de inmediato. Se utilizó la misma tabla de color proporcionada en el kit para hacer la comparación de color y obtener los datos (Figura 6).

Figura 6

API® Freshwater Master Test Kit usado para la determinación de calidad de agua



Alimentación

El concentrado suministrado fue de 32% PC de la marca ALCON. Las raciones se dividieron en dos: AM y PM. La cantidad por ración fue basada en saciedad, de esta manera se intenta evitar el desperdicio de alimento.

Resultados y Discusión

Parámetros de Calidad

Se midieron un total de cuatro parámetros de calidad de agua en el tanque de geomembrana, tales como pH, amonio, nitritos, y nitratos. Los parámetros de oxígeno disuelto y temperatura se mantuvieron dentro del rango.

Cuadro 1

*Indicadores de calidad del agua en la evaluación del diseño del sistema acuapónico para la producción de tilapia (*Oreochromis sp.*) y lechuga (*Lactuca sativa var. Kristine*)*

Parámetro	Media	Rango
Temperatura (°C)	29.4	28 - 32
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7	> 3
pH	7.6	7 - 8
Amoniac (mg/L)	3.08	0.6 - 2
Nitrato (mg/L)	18.4	1.5 - 2
Nitritos (mg/L)	1.56	≤ 0.1

Nota. O.D = Oxígeno Disuelto

Nitrógeno Total Amoniacal (TAN)

El nitrógeno total en el agua está presente de dos maneras: como amoniac o amonio no ionizado (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+). El amoniac es toxico para la vida acuática, por lo tanto, debe ser monitoreado constantemente. El NH_4^+ es un producto de la excreción, orina de peces y descomposición de materia orgánica. Los valores del amoniac deben estar entre 0.1 mg/L y 0.01 mg/L, ya que valores superiores a este limitan el crecimiento y el desarrollo de los peces. Valores cerca de 2 mg/L llegan a ser críticos. Sin embargo, la tolerancia para la tilapia se encuentran en el rango de 0.6 a 2.0 mg/L (Colorado y Ospina, 2019). El promedio del TAN tuvo un valor de 3.08 mg/L, llegando como valor máximo a 8 mg/L, debido a la falta de recirculación y el no tener establecido el cultivo de lechuga. El establecimiento de las plantas ayuda a reducir el nitrógeno del sistema, ya que las raíces asimilan el nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-), o amonio ionizado (NH_4^+) (Coraspe-Leon et al., 2009). Además, se realizó un recambio de agua de más del 50% para reducir la cantidad de amoniac en el agua. Según Meyer (2004), el amonio ionizado es relativamente inofensivo, mientras que el amoniac

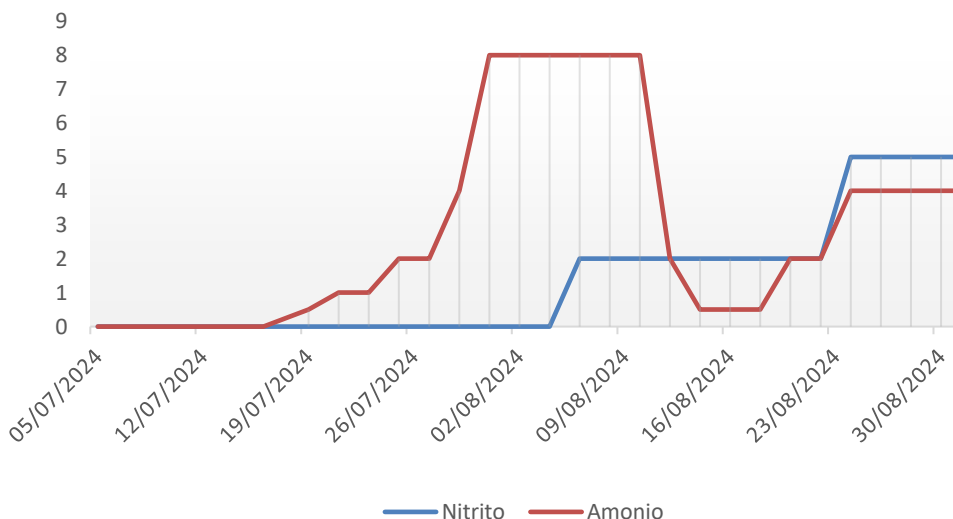
es su forma no ionizada es altamente toxico. La relación de estos es afectada por la temperatura y pH. Por lo tanto, controlando uno de los factores garantiza que los niveles de amoniaco no superarán el umbral toxico.

Nitritos (NO₂⁻)

Forman parte de los parámetros de importancia de calidad de agua debido a su alta toxicidad y ser un agente contaminante (Colorado y Ospina, 2019). Estos se forman durante el proceso de transformación del amoniaco a nitratos. Se obtuvo un promedio de 1.72 mg/L durante la duración del proyecto. Según Saavedra (2006), el rango optimo de nitritos es ≤ 0.1 mg/L. Los niveles dependerán del rendimiento de las bacterias nitrificantes que había en el biofiltro. Mientras se establece un biofiltro, los niveles de amoniaco se dispara, a medida que va subiendo los niveles de nitritos, va descendiendo los niveles de amoniaco (Lutz, 2023).

Figura 7

Niveles de nitritos, y amonios presentes a través del tiempo en el periodo experimental del sistema acuapónico de la Alison Bixby Stone School



Nitratos (NO_3)

Los resultados promedios obtenidos fueron de 18.4 mg/L, mientras que según Saavedra (2006), establece que el rango debe ser entre 1.5-2 mg/L. Los niveles de nitrato incrementan en un sistema de recirculación a medida que los peces excretan y el biofiltro convierte el amoníaco a nitritos y luego a nitratos para que de esta manera sean absorbidos por las plantas. Uno de los motivos por el cual se puede elevar el nivel de amonio es por sobrealimentación de los peces y descomposición de alimento no digerido. Además, se podría atribuir a un problema de biofiltro, ya que tiene una capacidad solamente de 450 L, para el tanque de 22.61 m³, por lo que no es suficiente para la cantidad de agua

pH

Es un factor crucial que afecta la salud y crecimiento de las tilapias. El rango óptimo para el desarrollo es entre 7 a 8 (El-Sayed, 2020). Mantener el pH dentro de este rango favorece el crecimiento y supervivencia. Las bacterias nitrificantes como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, que tienen un papel esencial en el sistema, tiene un rango de actividad óptima de 7.5 a 8.0 (Hargreaves, 1998). También tiene un efecto importante en el desarrollo del cultivo de lechuga, ya que estas prefieren condiciones ligeramente ácidas, con un rango entre 6 a 6.5. El valor promedio que se obtuvo fue de 7.6, que equivale a ligeramente alcalino, y lo cual puede provocar un crecimiento disminuido. Además que influye en el balance entre el amoníaco y el amonio disponible en el agua (Emerson et al., 1975).

Parámetros Productivos

El Cuadro 2 presenta los parámetros productivos de los peces en el sistema acuapónico, donde se analizaron la ganancia diaria de peso (GDP), la biomasa y el índice de conversión alimenticia (ICA). El índice de conversión alimenticia es la cantidad de alimento que el animal necesita consumir para ganar una unidad de peso. La ganancia diaria de peso es una medida que utilizamos para evaluar el aumento promedio del peso en un tiempo específico, y lo que nos indica es la eficiencia en nuestro sistema de producción. Los parámetros que afectan la ganancia diaria de peso, y el índice de

conversión alimenticia son; genética, nutrición, salud, y el ambiente. Según el Cuadro 2, el ICA fue de 1.35, que según Boyd (2022), entre dentro de los rangos eficientes. El ICA nos indica que por cada 1.35 kg de alimento suministrado, en promedio se obtendrá un kg de aumento de biomasa, calculado con la fórmula 1.

$$ICA = \text{kg de alimento suministrado} \div \text{kg de biomasa} \quad [1]$$

Cuadro 2

Parámetros productivos promedios del animal, ganancia diaria de peso (GDP), e índice de conversión alimenticia en el diseño del sistema acuapónico de la Alison Bixby Stone School

Número inicial de peces	Peso individual inicial (g)	Peso individual final (g)	Ganancia de peso (g)	Ganancia diaria de peso (g)	Biomasa inicial (kg)	Biomasa final (kg)	Biomasa ganada (Kg)	Alimento suministrado (kg)	ICA
215	175.00	279.90	104.90	2.62	37.63	60.20	22.58	30.50	1.35

Variables Productivas de Lechuga (*Lactuca sativa*)

Para determinar la calidad y rendimiento en el proceso acuapónico, se midieron parámetros físicos importantes que determinan el nivel de crecimiento de las plantas. La comparación entre los dos tratamientos en cuanto a la calidad de las plantas que crecieron durante el periodo experimental es de suma importancia, ya que, el diseño del sistema acuapónico resulta determinante para el rendimiento final.

En cuanto a la altura foliar, existió diferencia entre los diseños acuapónicos, la estructura piramidal presentó una altura foliar promedio de 118.65 mm, por el contrario, la horizontal presentó una altura foliar promedio de 103.59 mm en promedio. El grosor promedio del tallo fue superior para la estructura piramidal, presentando un 11.66% mayor grosor de tallo que la cama horizontal con diferencias estadísticamente significativas. En cuanto al peso foliar y total, también existieron diferencias altamente significativas, donde la estructura piramidal presentó mejores resultados en cuanto a peso (Cuadro 3).

En general, resulta complejo determinar la influencia de la estructura en los resultados de rendimiento y calidad de las plantas, ya que, ambas estructuras fueron sometidas a las mismas condiciones de clima, agua y exposición al sol. Sin embargo, se cree que los resultados obtenidos están asociados directamente con la capacidad de flujo de agua de cada estructura. Durante el periodo experimental la estructura horizontal presento estancamiento de agua por falta de inclinación en la tubería. Esto puede generar la proliferación de microorganismos patógenos no identificados, y lo más relevante, la proliferación de algas provenientes del agua utilizada en el sistema de recirculación. La acumulación de algas en las tuberías del sistema ocasiona que las raíces de las plantas se transformen en el sitio optimo de acumulación de algas y nutrientes, lo que inevitablemente reduce la capacidad de absorción de la planta, tanto de agua como de nutrientes, inhibiendo el crecimiento y rendimientos.

Por el contrario, el sistema piramidal, presentó menor acumulación de agua ya que existía un flujo constante de esta, dificultando el establecimiento de algas y otros microorganismos en la estructura del tubo y en las raíces de las plantas. Aun así, los resultados de este experimento en cuanto al crecimiento vegetativo fueron bajos en comparación con los obtenidos por Khater et al. (2024), los cuales reportaron que el peso fresco y peso de raíz de lechugas bajo acuaponía de tilapia a los 50 días después de trasplante fue de 250.84 g y 86.67 g, respectivamente. Teniendo en cuenta que entre el estudio anterior y el nuestro solo existen 20 días de diferencia, los resultados observados en este estudio representan una quinta parte de los resultados del estudio anterior. En otro estudio realizado por Su et al. (2020) se reportó que las lechugas sometidas a un sistema de acuaponía con pez gato africano crecieron más (0.0562%/día) que las lechugas bajo un sistema de hidroponía tradicional.

Los sistemas de recirculación acuícolas son el fundamento base para las producciones acuapónicas (Khalil et al., 2021). Aun así, todavía hay muchos factores desconocidos que pueden ser una influencia fuerte sobre el desarrollo de plantas en estos sistemas. Monsees et al. (2019) plantean que el beneficio del agua proveniente de sistemas acuícolas en las plantas depende de los

microorganismos y las fuentes de carbono que se encuentren en esta. A su vez, existe una falta de conocimiento en todos los microorganismos que están envueltos en los procesos de recirculación y biofiltración de las plantas en cultivo acuapónico. Se sabe que la rizosfera de las plantas en acuaponía es más exigente y crea una gran dependencia de esta. Aun así, no existe una descripción literaria que explique la influencia del agua en recirculación sobre las comunidades de microorganismos en la raíz. Lo anterior, afecta directamente los rendimientos de cultivo. Esta falta de conocimiento resulta ser un obstáculo directo para la optimización y diseño de sistemas acuapónicos que promuevan el crecimiento de microorganismos benéficos y socios entre ellos, para promover el rendimiento y calidad de las plantas cultivadas (Bartelme et al., 2019).

Cuadro 3

Variables de desarrollo promedio fisiológico de la lechuga analizadas en el diseño del sistema acuapónico de la Alison Bixby Stone School

Variabes	Altura foliar (mm)	Grosor tallo (mm)	Peso total (g)	Peso foliar (g)
Piramidal	118.65	6.32	46.00	24.52
Horizontal	103.59	5.66	30.78	14.24
Error estándar	2.88	0.21	1.56	1.19
Valor-P	< 0.0004	0.03	< 0.0001	< 0.0001

Para el nivel de clorofila se obtuvo un promedio de 23.43 del tratamiento horizontal y 17.79 para el tratamiento vertical, observándose una diferencia ($P < 0.001$) (Cuadro 4). La diferencia entre clorofila puede estar explicada por la cantidad de iluminación recibida en promedio a través de las estructuras. El tratamiento horizontal estaba desplegado de manera homogénea y uniforme, permitiendo un recibimiento de luz parejo, mientras que piramidal (Figura 5), las plantas superficiales disminuían la cantidad de luz que las plantas bajas podían recibir, por lo tanto, afectando la media de clorofila.

Cuadro 4

Resultados de nivel de clorofila (SPAD) en las diversas estructuras hidropónicas (Horizontal y Piramidal) dentro del sistema acuapónico

Parámetros	Clorofila (SPAD)
Horizontal	23.43
Piramidal	17.79
Error estándar	1.12
Valor-p	<0.0001

Conclusiones

El diseño y validación del sistema acuapónico para la producción de tilapia (*Oreochromis* sp.) y lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad Kristine en la Alison Bixby Stone School permitió demostrar la viabilidad de un modelo productivo que optimiza el uso de recursos hídricos.

El diseño piramidal se mostró superior en las variables de altura foliar, peso foliar, grosor de tallo y peso total.

Recomendaciones

Enviar muestras de agua al laboratorio para analizar y obtener un perfil detallado de los nutrientes y minerales presentes.

Reemplazar los tubines de 16mm por tubos de mayor diámetro para optimizar el flujo de salida de agua de las estructuras hidropónicas.

Adaptar el reservorio como un segundo biofiltro para mejorar el proceso de nitrificación.

Referencias

- Bartelme, R. P., Smith, M. C., Sepulveda-Villet, O. J. y Newton, R. J. (2019). Component Microenvironments and System Biogeography Structure Microorganism Distributions in Recirculating Aquaculture and Aquaponic Systems. *MSPHere*, 4(4). <https://doi.org/10.1128/mSpHere.00143-19>.
- Boyd, C. (2022). *Un bajo índice de conversión alimenticia es el principal indicador de una acuicultura eficiente*.
- Carcamo, A. y Betancourth, D. (2023). *Diseño y evaluación comparativa de dos biofiltros en un modelo acuapónico para la producción de lechuga (Lactuca sativa) y tilapia (Oreochromis sp.)*. Zamorano.
- Chang, Y. R. (2022). *La agricultura a pequeña escala aporta seguridad alimentaria*. Centro de Comercio Internacional. <https://intracen.org/es/noticias-y-eventos/noticias/la-agricultura-a-pequena-escala-aporta-seguridad-alimentaria>
- Colorado, M. y Ospina, M. (2019). *La Acuaponia como herramienta de formación en tiempos de paz*. SENA.
- Coral, M. (2015). *Diseño de un sistema acuaponco en la Unidad de agricultura Organica, Zamorano, Honduras*. Zamorano.
- Coraspe-Leon, Hector; Muraoka, T., Franzini, Vinicius; Contreras, Freddy y Ocheuze, P. (2009). *Absorción de formas de nitrógeno amoniacal y nítrico por plantas de papa en la producción de tuberculo-semilla*.
- El-Sayed, A.-F. M. (2020). *Tilapia culture* (Second edition). Elsevier/Academic Press.
- Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E. y Thurston, R. V. (1975). Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32(12), 2379–2383. <https://doi.org/10.1139/f75-274>
- Gallego-Alarcón, I. y García-Pulido, D. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 08(1), 81–93. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-06>
- Hargreaves, J. A. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166(3-4), 181–212. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00298-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00298-1)
- Intagri. (2017). *Acuaponia: Producción de Plantas y Peces Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>
- International Fund for Agricultural Development. (2012). *El futuro de la seguridad alimentaria y nutricional mundial*. <https://www.ifad.org/es/web/knowledge/-/el-futuro-de-la-seguridad-alimentaria-y-nutricional-mundial>

- Khalil, S., Panda, P., Ghadamgahi, F., Rosberg, A. y Vetukuri, R. R. (2021). Comparison of two commercial recirculated aquacultural systems and their microbial potential in plant disease suppression. *BMC Microbiology*, 21(1), 205. <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02273-4>
- Khater, E.-S., Bahnasawy, A., Mosa, H., Abbas, W. y Morsy, O. (2024). Nutrient supply systems and their effect on the performance of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Lettuce (*Lactuca sativa*) plant integration system. *Scientific Reports*, 14(1), 4229. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54656-y>
- Lutz, G. (2023). *Nitrito: guía para comprender y limitar su presencia tanto en el cultivo por SRA como en estanques*.
- Meyer, D. (2004). *Introducción a la Acuicultura*.
- Monsees, H., Suhl, J., Paul, M., Kloas, W., Dannehl, D. y Würtz, S. (2019). Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS One*, 14(6), e0218368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218368>
- Moreno, S. y Arambulo, V. (2020). *Diseño de un protocolo efectivo para la maduración y manejo de biofiltros para sistemas de recirculación en acuicultura en CENAIM*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Diseño de un protocolo efectivo para la maduración y manejo de biofiltros
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Mundi-Prensa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *The future of food and agriculture-Drivers and triggers for transformation* (3ª ed.).
- Paulet iturri, M. (1999). *Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19640/BVE22028459e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saavedra, M. (2006). *MANEJO DEL CULTIVO DE TILAPIA*. University of Rhode Island. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Somerville, C. (2014). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming*. *FAO fisheries and aquaculture technical paper: Vol. 589*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Su, M. H., Azwar, E., Yang, Y., Sonne, C., Yek, P. N. Y., Liew, R. K., Cheng, C. K., Show, P. L. y Lam, S. S. (2020). Simultaneous removal of toxic ammonia and lettuce cultivation in aquaponic system using microwave pyrolysis biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 396, 122610. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122610>

Anexos**Anexo A***Toma de los datos de clorofila*

Anexo B

Armado de la estructura



Anexo C*Armado de la estructura del sistema acuapónico vertical*

Anexo D*Instalación de componentes del sistema*

Anexo E

Pieza de los componentes del biofiltro



Anexo F*Perforaciones del PVC*

Anexo G

Perforación de balde que alberga la bomba de distribución



Anexo H

Colocación de malla de balde para mejorar filtrado previo a distribución de agua



Anexo I*Construcción del biofiltro*

Anexo J*Colocación de tubería de salida del biofiltro*

Anexo K

Porcentaje de amoníaco (amonio no-ionizado = NH_3) del total de NH_3 y NH_4^+ en solución acuosa a diferentes valores de pH y temperatura Meyer (2004). *Introducción a la acuicultura*

Valor de pH	Temperatura en °C					
	20	22	24	26	28	30
7.0	0.40	0.46	0.52	0.60	0.70	0.81
7.2	0.63	0.72	0.82	0.95	1.10	1.27
7.4	0.99	1.14	1.30	1.50	1.73	2.00
7.6	1.56	1.79	2.05	2.35	2.72	3.13
7.8	2.45	2.80	3.21	3.68	4.24	4.88
8.0	3.83	4.37	4.99	5.71	6.55	7.52
8.2	5.94	6.76	7.68	8.75	10.00	11.41
8.4	9.09	10.30	11.65	13.20	14.98	16.96
8.6	13.68	15.40	17.28	19.42	21.83	24.45
8.8	20.08	22.38	24.88	27.64	30.68	33.90
9.0	28.47	31.37	34.42	37.71	41.23	44.84
9.2	38.69	42.01	45.41	48.96	52.65	56.30
9.4	50.00	53.45	56.86	60.33	63.79	67.12
9.6	61.31	64.54	67.63	70.67	73.63	76.39
9.8	71.53	74.25	76.81	79.25	81.57	83.68
10.0	79.92	82.05	84.00	85.82	87.52	89.05
10.2	86.32	87.87	89.27	90.56	91.75	92.80