

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



Proyecto Especial de Graduación

**Diseño y evaluación comparativa de dos biofiltros en un modelo
acuapónico para la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) y tilapia
(*Oreochromis sp.*)**

Estudiantes

Ariel Eduardo Cárcamo Lagos

Diego Andrés Betancourth Vasquez

Asesores

Patricio Paz, Ph.D.

Maria Fernanda Oyuela, M.Sc.

Julio López, M.Sc.

Honduras, agosto 2023

Autoridades

SERGIO RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Materiales y Métodos	14
Ubicación del Estudio	14
Sistema y Materiales	14
Diseño de Sistema Acuapónico Raíz Flotante	15
Biofiltros	17
Reservorios	18
Tanques de Fibra de Vidrio	18
Aireadores y Difusores de Oxígeno	19
Espacio Para Siembra de Lechugas (<i>Lactuca sativa</i>)	19
Metodología Utilizada Para el Sistema Acuícola	20
API test Kit	20
Oxímetro YSI Pro-20	21
Metodología Utilizada Para el Sistema Hortícola	21
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	22
Resultados y Discusión	23
Variables de Calidad de Agua en Sistema Acuapónico con Recirculación Constante	23
Amonio (NH_4^+ y NH_3)	23
Nitratos (NO_3^-)	23

Nitritos (NO_2^-).....	23
Oxígeno Disuelto (mg/L)	24
pH.....	24
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25
Turbidez (cm)	25
Variables Hortícolas de Desarrollo Fisiológico de Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) Variedad Kristine.....	26
Altura Foliar (cm)	26
Crecimiento Radicular (cm).....	26
Diámetro Radicular (mm)	27
Peso Foliar (g).....	28
Peso Radicular (g).....	29
Peso Total (g)	29
Clorofila (SPAD).....	30
Conclusiones	32
Recomendaciones.....	33
Referencias.....	34
Anexos.....	38

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Parámetros de calidad de agua en la evaluación comparativa de dos biofiltros en sistema acuapónico para la producción de Tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>)	26
Cuadro 2 Valores de desarrollo fisiológico de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en un sistema acuapónico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras	28
Cuadro 3 Análisis de biomasa de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) al final de las cuatro semanas en un sistema acuapónico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras	30
Cuadro 4 Valores de contenido de clorofila en Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en hojas bajas, intermedias y superiores en un sistema acuapónico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras	31

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación geográfica del sistema acuapónico en la unidad de acuicultura, Zamorano, Honduras	14
Figura 2 Tratamiento 1, Diseño 2D, sistema acuapónico “Raíz Flotante” (unidades m).	15
Figura 3 Tratamiento 2, Diseño 2D, sistema acuapónico “Raíz Flotante” (unidades m)	16
Figura 4 Diseño 3D, sistema acuapónico “Raíz Flotante”	17
Figura 5 <i>Diagrama de biofiltro con detalle de conexión de tubería de conducción de agua.</i>	17
Figura 6 Diagrama representando un reservorio de agua de 450 litros	18
Figura 7 Diagrama representando un estanque de fibra de vidrio con capacidad de 1.21m ³	19
Figura 8 Diagrama de tanques para el cultivo de lechugas con una densidad de 30 plantas/m ²	20

Índice de Anexos

Anexo A Tabla de cantidades y eficiencias de diferentes materiales que se puede usar y adaptar al sistema.....	38
Anexo B Tabla de alimentación de aporte nutricional según la etapa y peso de la Tilapia (Oreochromis sp.).....	39
Anexo C Desarrollo radicular 7 días después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras.....	40
Anexo D Desarrollo foliar de lechuga (Lactuca sativa) siete días después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras.....	41
Anexo E Día uno de siembra de lechugas (Lactuca sativa) en sistema acuapónico raíz flotante en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras	42
Anexo F Turbidez del agua a inicio de semana dos en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras	43
Anexo G Comparación del tratamiento uno y dos en vista lateral (notoria diferencia en altura foliar comienzo de semana tres)	44
Anexo H Desarrollo foliar de la lechuga (Lactuca sativa) 3 semanas después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras.....	45
Anexo I Desarrollo radicular de la lechuga (Lactuca sativa) tres semanas después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras.....	46
Anexo J Muestra de nitratos tres semanas después del inicio del sistema acuaponico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras.....	47
Anexo K Muestra de Nitritos tres semanas después del inicio del sistema acuaponico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras.....	48
Anexo L Desarrollo foliar de lechugas (Lactuca sativa) variedad Kristine una semana y media después del trasplante en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras	49

Anexo M Desarrollo radicular dos semanas después del inicio del sistema acuaponico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras.....	50
Anexo N Capas de biofiltro para el sistema acuapónico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras	51

Resumen

La acuaponía es una relación simbiótica entre acuicultura e hidroponía, en la cual los peces aportan nutrientes al cultivo a través del agua. La nitrificación, realizada por las bacterias *Nitrosomonas* spp., convierte el amoníaco en nitritos, que luego son transformados en nitratos por las bacterias *Nitrobacter*. Las plantas purifican el agua, que regresa al estanque de los peces, completando así el ciclo. El proyecto tiene como objetivo desarrollar y validar un sistema acuapónico con diferentes materiales reutilizados en el biofiltros para que pueda ser replicado por pequeños productores, este describe la construcción de un sistema acuapónico con dos tipos de biofiltros: el tratamiento uno se diseñó con cinco diferentes tipos de materiales, compuesto por teja, malla zarán, grava, esponja y material PVC, el segundo tratamiento se conformaba por una capa de teja. Durante el proyecto, se evaluaron variables acuícolas de calidad de agua en los estanque de peces (*Oreochromis* sp.), como turbidez, temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto y amonio. El cultivo de estudio fue la lechuga (*Lactuca sativa*) específicamente la variedad Kristine, se midieron las variables hortícolas como altura foliar (cm), crecimiento radicular (cm), peso fresco foliar (g) y radicular (g), peso fresco total (g) y el porcentaje de clorofila presente. Todos los parámetros de calidad de agua se encontraron dentro de los rangos óptimos de producción. El estudio mostró diferencias ($P \leq 0.05$) en las variables acuícolas de turbidez, oxígeno, nitritos y pH a favor del tratamiento uno, adicionalmente las variables hortícolas presentaron valores $P \leq 0.05$ en altura foliar a favor del tratamiento uno y peso fresco radicular a favor del tratamiento dos.

Palabras clave: Acuicultura, calidad de agua, hidroponía, oxígeno disuelto, desarrollo fisiológico.

Abstract

Aquaponics is a symbiotic relationship between aquaculture and hydroponics, in which fish provide nutrients to the crop through water. Nitrification, carried out by *Nitrosomonas* spp. bacteria, converts ammonia into nitrites, which are then transformed into nitrates by *Nitrobacter* bacteria. The plants purify the water, which is returned to the fish pond, thus completing the cycle. The project aims to develop and validate an aquaponic system with different materials reused in the biofilter so that it can be replicated by small producers. The project describes the construction of an aquaponic system with two types of biofilters: treatment one was designed with five different types of materials, consisting of tile, zarán mesh, gravel, sponge and PVC material, the second treatment was made up of a layer of roof tile. During the project, aquaculture variables of water quality in the fish (*Oreochromis* sp.) ponds, such as turbidity, temperature (°C), pH, dissolved oxygen and ammonium, were evaluated. The study crop was lettuce (*Lactuca sativa*) specifically the Kristine variety, horticultural variables such as leaf height (cm), root growth (cm), leaf fresh weight (g) and root (g), total fresh weight (g) were measured (g) and the percentage of chlorophyll present. All the water quality parameters were within the optimal production ranges. The study showed differences ($P \leq 0.05$) in the aquaculture variables of turbidity, oxygen, nitrites and pH in favor of treatment one, additionally the horticultural variables presented values $P \leq 0.05$ in leaf height in favor of treatment one and root fresh weight in favor of treatment two.

Key words: Aquaculture, water quality, hydroponics, dissolved oxygen, physiological development.

Introducción

El agua es un recurso renovable crucial para la producción agrícola y la seguridad alimentaria, pero su disponibilidad está disminuyendo debido a diversas causas, como el crecimiento de la población, el desarrollo económico, la producción de gases de efecto invernadero y la deforestación (FAO 2018). En América Latina, la disponibilidad de agua por habitante ha disminuido en un 22% en las últimas dos décadas, afectando principalmente al sector agrícola, que representa más del 70% de la extracción de agua en todo el mundo (FAO 2019). Esta situación causa preocupación y se prevé que empeore en el futuro. Además, el acceso limitado al agua potable tiene un impacto negativo en la agricultura y la industria (Meerganz von Medeazza 2008). Por lo tanto, es esencial tomar medidas para preservar y proteger este recurso vital para garantizar un futuro sostenible para la humanidad.

A medida que la población mundial aumenta, también lo hace la demanda de alimentos como frutas, verduras, carne, productos pesqueros, productos procesados o de alto valor nutricional (Aguirre 2004). La seguridad alimentaria en el futuro depende de la disponibilidad y producción de alimentos, y el estudio de esta área es crucial. En el 2016 la producción pesquera global alcanzó los 171 millones de toneladas, y el 47% de esta cifra correspondió a la acuicultura. Para comprender el crecimiento de esta actividad, las estadísticas revelan que el consumo mundial de pescado aumentó un 3.2% entre 1961 y 2016, superando así el crecimiento de la población mundial, que fue del 1.6% (FAO 2016). El pescado es una fuente importante de proteína, siendo la tilapia uno de los principales peces de consumo humano en América latina y una fuente importante de proteína que contiene hasta 20.8% por cada 100 gramos, al igual que tiene un gran aporte nutricional para la salud humana (Perea et al. 2008). Además, es una opción alimentaria más asequible que otras proteínas animales, como la carne de res o de cerdo. Aunque la pesca continental sigue siendo una fuente importante de alimento para la población mundial, la acuicultura se ha expandido significativamente en términos de producción y valor económico en las últimas décadas. El rubro proporciona una alternativa sostenible

y rentable para el suministro de pescado y mariscos a nivel mundial, y es especialmente importante en regiones donde la pesca continental es limitada o no está disponible (FAO 2022a).

Con el paso de los años, la agricultura ha evolucionado, trayendo consigo tecnologías las cuales permiten el uso más eficiente de los insumos o implementación de nuevos avances tecnológicos en la agricultura. La hidroponía es uno de estos avances, esta práctica agrícola se define como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en sistema controlado en cual se suministra una solución nutritiva, según los requerimientos del cultivo (Urrestarazu 2015). La hidroponía se ha convertido en una alternativa viable y sostenible para la producción de alimentos, donde la tierra es limitada y costosa. Además, esta técnica de cultivo tiene la ventaja de ser altamente eficiente en el uso del agua, ya que el agua puede ser reciclada y reutilizada. Asimismo, la hidroponía tiene un control preciso de los nutrientes que se entregan a las plantas, lo que puede resultar en un mejor rendimiento y calidad de los cultivos (Barbado 2005). Como muchas otras áreas de producción agrícola esta se ve afectada por el alza de los precios de los fertilizantes químicos, siendo uno de los principales limitantes para los productores potenciales (Madrid Rivera y Flores Ochoa 2013).

En respuesta a estos retos, y en la búsqueda de la optimización de los recursos, podemos definir, la acuaponía con un sistema de producción de alimentos en el que se combina la acuicultura (cultivo de peces) con la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo) en un sistema cerrado y recirculante (Candarle 2015).

En la acuaponía, el proceso de nitrificación se utiliza para convertir los desechos nitrogenados de los peces en formas de nitrógeno más fácilmente absorbibles por las plantas. El pez libera amoníaco en forma de excrementos y orina. Estos desechos nitrogenados son transformados por bacterias nitrificantes del género *Nitrosomonas*, que se encuentran en el medio acuático y colonizan los medios de filtración como los biofiltros en el sistema acuapónico, y convierten el amoníaco en nitrito mediante la oxidación del amoníaco como fuente de energía (Colorado y Ospina 2019). Posteriormente las bacterias nitrificantes del género *Nitrobacter*, oxidan el nitrito a nitrato como parte

de la segunda etapa de la nitrificación, este se encuentra de forma de nitrato (NO_3^-), es una forma de nitrógeno que las plantas pueden utilizar como nutriente, para su crecimiento y desarrollo del cultivo. (FAO 2022b).

Es importante destacar que el recurso hídrico en el sistema debe recircular y fluir constantemente en el sistema a través de las distintas etapas del sistema: tanque de peces, biofiltros, hasta desembocar a los tanques del cultivo en donde las raíces de las plantas absorben los nutrientes disponibles mejorando la calidad de agua para que finalmente llegue al estanque de peces (Jimenez 2017). Esto permite una alta eficiencia en el uso de agua y nutrientes. Además, al no requerir suelo, promueve la producción en lugares donde este recurso es una limitante.

En la implementación de un sistema acuapónico es importante elegir cuidadosamente las especies a ser cultivadas. Esto incluye consideraciones tanto técnicas como económicas. Desde un punto de vista técnico, es importante elegir especies de peces y plantas que se adapten bien al sistema y que se complementen entre sí.

Por esta razón se propuso como objetivo principal diseñar un sistema acuapónico con biofiltros utilizando materiales reutilizados accesibles para pequeños y medianos agricultores.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

La investigación se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada en el Valle de Yegüare, Francisco Morazán, Honduras, específicamente en la unidad de Acuicultura “Daniel E. Meyer”. Las instalaciones se encuentran a una elevación aproximada de 800 msnm con una temperatura promedio anual de 26° C y precipitaciones medias de 1,100 mm anuales. El proyecto acuapónico inició su construcción el cinco de enero y concluyó el 20 de abril, con un tiempo de un mes para la toma de datos.

Figura 1

Ubicación geográfica del sistema acuapónico en la unidad de acuicultura, Zamorano, Honduras



Sistema y Materiales

Existen diferentes tipos de sistemas acuapónicos, entre los principales se pueden mencionar: el sistema NFT (Nutrient Film Technique) el cual mantiene las raíces de las hortalizas en contacto permanente con la solución nutritiva, en una lámina de agua (Comercializadora Hydro Enviroment

2023) y el segundo sistema denominado, raíz flotante, es un sistema menos complejo que mantiene los mismos principios de acuaponía, la técnica consiste en colocar las plantas sobre contenedores con agua (Hydro Environment 2023). En este caso, la investigación se realizará en el sistema raíz flotante.

Diseño de Sistema Acuapónico Raíz Flotante

El diseño 2D se plasmó en la aplicación AutoCAD 2018 y para el diseño 3D se utilizó la aplicación Sketchup 2023 para una mejor visualización.

Figura 2

Tratamiento 1, Diseño 2D, sistema acuapónico "Raíz Flotante" (unidades m).

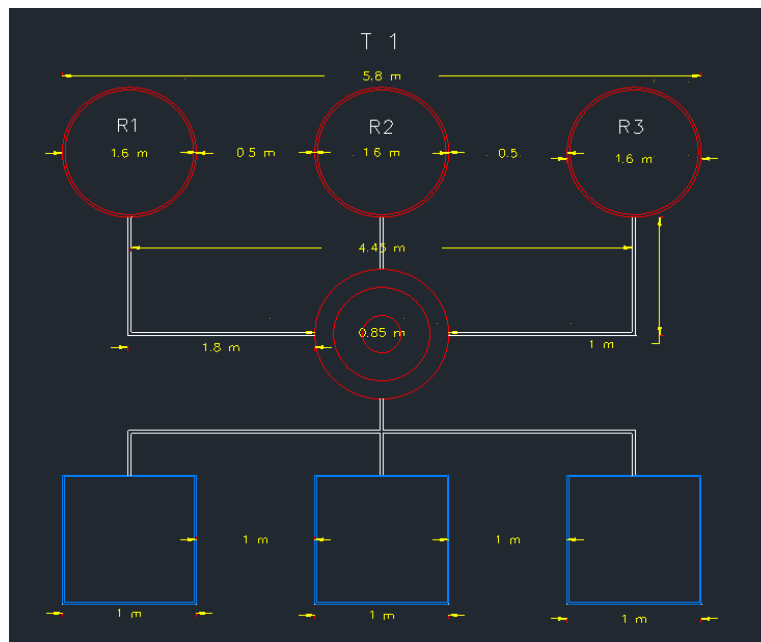
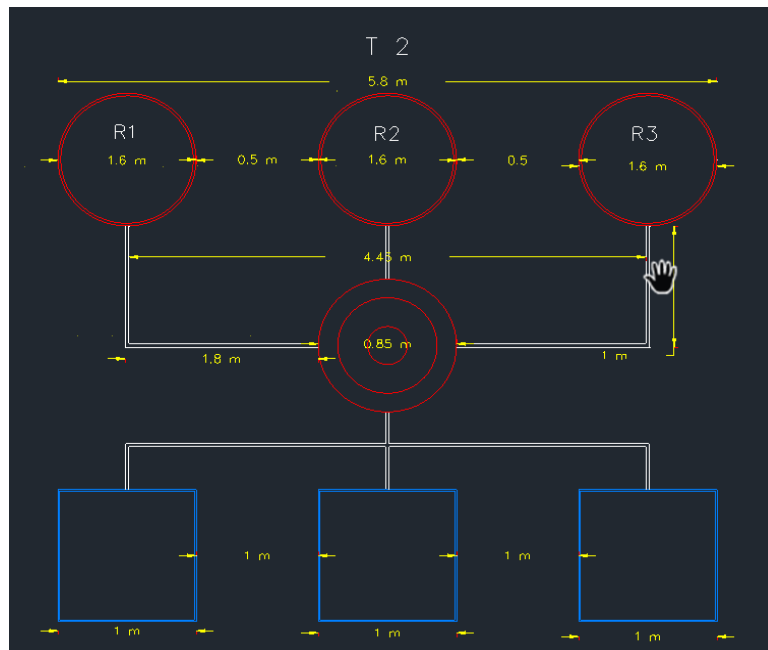


Figura 3

Tratamiento 2, Diseño 2D, sistema acuapónico "Raíz Flotante" (unidades m)



El sistema constó de dos tratamientos con tres repeticiones, cada repetición tiene un tanque de fibra de vidrio para el crecimiento de Tilapia (*Oreochromis sp.*) con una capacidad de 1.21 m^3 cada uno y una densidad de siembra de 5.2 kg/ m^3 (Osorto Pineda 2021), lo que equivale a 15 peces por tanque de 150 g de peso/pez. Los tanques se conectaron a un biofiltro con una capacidad de 450 L. El agua de los biofiltros fue distribuida por medio de tuberías de PVC, a tres mesas de cultivo, para cada tratamiento. Para este estudio se seleccionó lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Kristine. La figura 4 muestra un modelo tridimensional en Sketchup que representa el diseño del sistema acuapónico.

Figura 4

Diseño 3D, sistema acuapónico "Raíz Flotante".

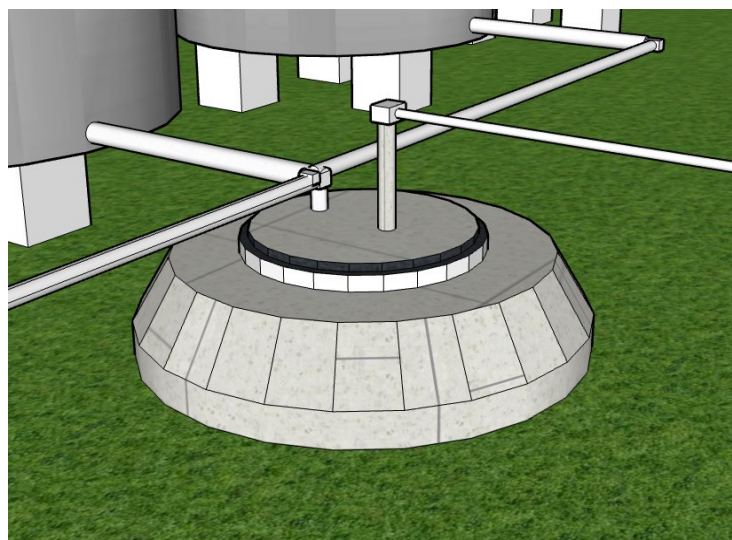


Biofiltros

Cada biofiltro (dos en total), incluyó una bomba sumergible marca Little GIANT con un flujo de bombeo de 400 galones por hora y una capacidad de 450 litros (Figura 5). Un sistema utilizó un biofiltro con un solo material (teja quebrada), el otro sistema utilizó un biofiltro con cinco materiales (teja quebrada, malla sarán, grava, esponja y PVC). Estos materiales sirven como sustratos para las bacterias nitrificantes *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.

Figura 5

Diagrama de biofiltro con detalle de conexión de tubería de conducción de agua.

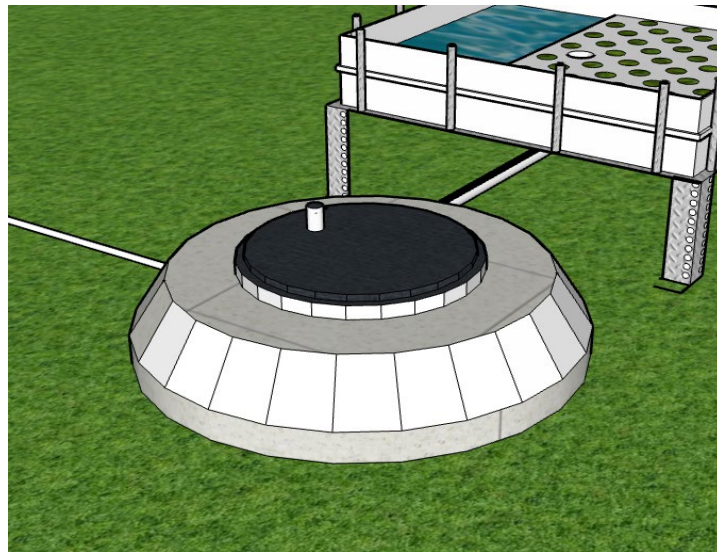


Reservorios

Los reservorios con capacidad de 450 L sirven para almacenar agua recirculante de los tanques de lechugas y suministran agua a los tanques de tilapia (Figura 6). Se componen únicamente de una bomba de succión de agua con una potencia de $\frac{1}{2}$ Hp de fuerza.

Figura 6

Diagrama representando un reservorio de agua de 450 litros

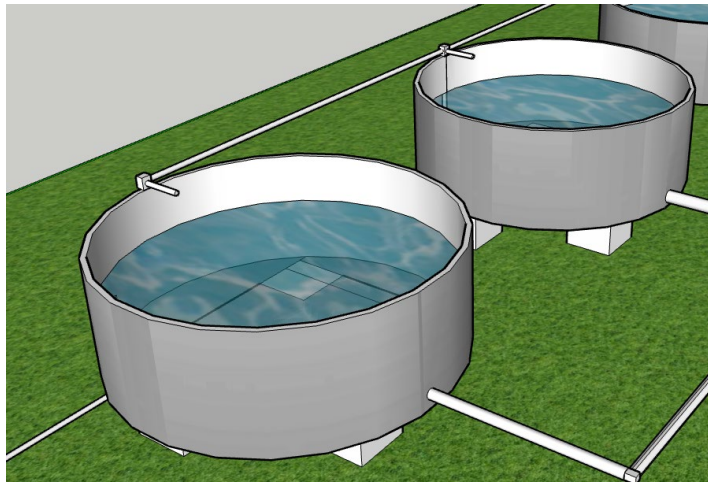


Tanques de Fibra de Vidrio

En este sistema, se emplearon seis tanques de fibra de vidrio con un diámetro de 1.6 m y una altura de 0.6 m, resultando en una capacidad volumétrica de 1.21 m³ cada uno (Figura 7). En cada tanque se sembraron 20 peces, representando 120 peces para todo el sistema. Los peces tenían un peso promedio de 240 g.

Figura 7

Diagrama representando un estanque de fibra de vidrio con capacidad de 1.21m³



Aireadores y Difusores de Oxígeno

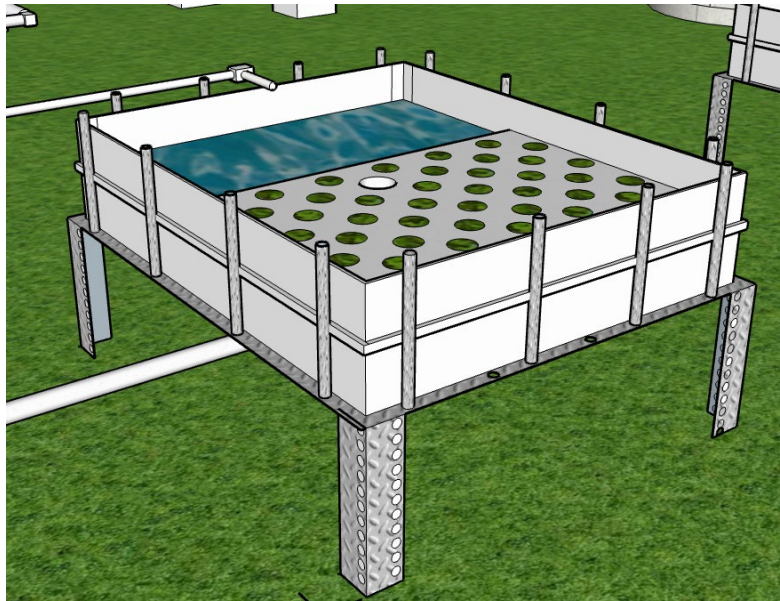
El sistema de aireación consistió en un aireador de la marca Hyperspin con capacidad de 0.9 KW/1.2 HP, posteriormente el aire se transportó a través de tuberías de PVC y mangueras difusoras de oxígeno en cada uno de los tanques, en total 12 mangueras difusoras, reguladas por una válvula de PVC para un mejor control en la distribución del oxígeno disuelto.

Espacio Para Siembra de Lechugas (*Lactuca sativa*)

El área de siembra estuvo conformada por mesas de 1.2 m de largo × 1 m de ancho × 0.5 m de profundidad (Figura 8). El área de cultivo de lechuga consistió de una capa de poliestireno de 5.1 cm de grosor con aproximadamente 30 plantas por mesa, cinco plantas más que las utilizada por Osorto Pineda (2021).

Figura 8

Diagrama de tanques para el cultivo de lechugas con una densidad de 30 plantas/m²



Metodología Utilizada Para el Sistema Acuicola

Se midieron variables acuícolas de calidad de agua de los tanques de tilapia: temperatura (°C), oxígeno disuelto(mg/L), pH, amonio (mg/L), nitritos y nitratos (mg/L), y turbidez (cm). En ambos tratamientos se alimentó dos veces en la mañana (7:00 am y 9:00 am) y una vez en la tarde (2:00 pm). Se utilizó alimento concentrado paletizado al 32% de proteína cruda, basado en las tablas de alimentación de grupo ALCON, aportando 120 g de alimento al día, distribuido en las tres raciones. Los datos de calidad de agua se tomaron una vez al día, durante un mes, utilizando distintos equipos para la toma de datos, como:

API test Kit

Se tomó cuatro muestras de agua de cada tratamiento, añadiéndole tres gotas de pH, ocho gotas de cada bote de amonio, cinco gotas de nitrito y 10 gotas de nitrato respectivamente para cada muestra.

Oxímetro YSI Pro-20

Diseñado para la toma de oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura (°C) presente en el agua. Los valores se generaron automáticamente por medio de un sensor en la parte inferior del equipo que debe sumergirse aproximadamente 10 segundos en el agua realizando movimientos rotatorios para equilibrar el valor a tomar.

Disco Secchi

Usado para la medición de la turbidez por medio de contraste visual de cuatro cuadrantes pintados en blanco y negro de forma alternante.

Metodología Utilizada Para el Sistema Hortícola

Se utilizaron seis tanques en total, tres tanques (repetición) para cada tratamiento, con una densidad de siembra de 30 plantas por repetición, haciendo un total de 180 plantas, sembradas a tresbolillo a una distancia de 15 cm entre ellas. Se utilizaron canastas plásticas especiales que permitieron el desarrollo óptimo de la raíz.

Las plantas utilizadas fueron provistas por la sección de propagación de la EAP. Para ello se maquilaron 200 semillas de lechuga de la variedad Kristine, establecidas en invernaderos con sustratos PINDSTRUP. Después de 21 días, 180 plántulas se trasladaron al sistema acuapónico y se cosecharon a los 30 días después del trasplante, sin adición de fertilizante químico, solo utilizando los desechos excretados por los peces. Luego se enviaron a la planta de procesamiento hortofrutícola. Donde se midieron variables como: altura foliar (cm), crecimiento radicular (cm), peso fresco foliar (g), peso fresco radicular (g), peso fresco total y el porcentaje de clorofila presente.

Para la recolección de datos, se seleccionaron 10 plantas de la zona central de la plantación y con ayuda de un calibrador vernier se midió la altura foliar de las plantas y el crecimiento radicular de las mismas. Para el diámetro radicular se utilizó un medidor graduado en unidades milimétricas para estimar el grosor de las raíces de las plantas. En el peso foliar, radicular y total (Biomasa), se utilizó

una pesa marca OHAUS® graduada en gramos y con ayuda de un clorofilómetro de la marca KONICA MINOLTA® se midió el porcentaje de clorofila presente en unidades SPAD.

Para seleccionar la variedad hortícola a utilizar se tomaron en cuenta factores como, el ciclo del cultivo, resistencia al viento, resistencia a plagas y enfermedades y la capacidad de adaptarse fácilmente a diversos sistemas de producción.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos, tres repeticiones y diferentes variables respuesta. Se utilizó una prueba t de Student, que examina dos muestras independientes con homogeneidad en su varianza (Sánchez y Reinaldo 2015)

Resultados y Discusión

Variables de Calidad de Agua en Sistema Acuapónico con Recirculación Constante

Se midieron siete parámetros de calidad de agua en seis tanques de fibra de vidrio con una capacidad de 1.21 m³ cada uno y una densidad de siembra de peces de 5.22 Kg/m³

Amonio (NH₄⁺ y NH₃)

Para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material obtuvieron valores promedios de 0.61 mg/L y 0.73 mg/L, respectivamente ($P > 0.05$). Las plantas no pueden aprovechar el amonio en sí, éste debe pasar un proceso de nitrificación y convertirse en una forma más asimilable (Gonzales 2018), por lo que las bajas concentraciones de amonio en el agua favorece a la salud de las plantas. Valores cercanos a 2 mg/L se consideran rangos críticos para los peces y estos pueden fluctuar en valores de 0.6 ppm hasta 2 mg/L específicamente para tilapia (Colorado y Ospina 2019). Se estima que cada tilapia desecha 250 mg de amonio por cada kilogramo (Carrillo 2015).

Nitratos (NO₃⁻)

Los valores de nitratos presentes en el agua para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material fueron en promedio 25.09 mg/L y 21.84 mg/L respectivamente. La eficiencia de las bacterias nitrificantes como *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* en la conversión de amonio a nitratos, depende de la habilidad de formar colonias que se fijan a los medios filtrantes mejorando la eficiencia de los biofiltros (Gallego y García 2016). Sin embargo, no se encontró diferencia ($P > 0.05$) entre los dos tratamientos. Según (Cervantes et al. 2015) indica que el nitrógeno se asimila más fácilmente cuando se suministra en combinación de amonio y nitratos.

Nitritos (NO₂⁻)

Los resultados obtenidos de nitritos presentes en el agua fluctuaron para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro un material en rangos promedios de 0.33 mg/L y 0.36 mg/L respectivamente. Altos niveles de nitratos disminuyen la disponibilidad de nitritos en el agua por la oxidación de bacterias del género *Nitrobacter* (bacteria aerobia) que degradan nitritos a nitratos(NO₃⁻

), (Navarro 2013). Sin embargo, no se encontró diferencia ($P > 0.05$) entre los dos tratamientos. Mantener los rangos óptimos de Nitritos solubles en el agua puede disminuir la incidencia de enfermedades bacterianas en los peces, un alto contenido de Nitritos en el agua puede provocar inhibición en el crecimiento metabólico de los peces (Lizcano 2022).

Oxígeno Disuelto (mg/L)

Los datos de oxígeno disuelto para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro un material presentaron rangos promedios de 6.01 mg/L y 5.58 mg/L, respectivamente, obteniendo valores más altos en el T1: Biofiltro con cinco materiales, demostrando diferencias ($P \leq 0.05$) a favor de este tratamiento. Ambos valores están en el rango de oxígeno disuelto óptimo para la producción de tilapia, estos valores pueden ser ≥ 3 mg/L (Gómez y Gutiérrez 2008). La presencia de oxígeno disuelto es un parámetro de importancia significativa para evaluar la calidad del agua en un sistema dado. Cuando los niveles de oxígeno disuelto se encuentran por debajo del rango establecido, puede ocasionar una reducción drástica en los procesos de nitrificación y potencialmente resultar en la mortalidad de los organismos acuáticos, particularmente los peces (Candarle 2020).

pH

El pH promedio para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material fue de 6.95 y 7.11 respectivamente. Se obtuvieron diferencias ($P \leq 0.05$) a favor del T2: Biofiltro con un material. Los valores más bajos de pH se obtuvieron en el T1: Biofiltro con cinco materiales, esto puede atribuirse a la descomposición y liberación de ácidos orgánicos generado por distintos factores (Rodríguez y Anzola 2001), sin embargo, los rangos óptimos de pH en el agua oscilan entre 6.5 a 9, valores inferiores o mayores a estos pueden provocar efectos adversos en el crecimiento y desarrollo de la tilapia (Paz 2023).

Temperatura (°C)

Los rangos promedios de temperatura para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material fueron de 25.49 °C y 25.42 °C respectivamente, observando resultados similares entre los tratamientos ($P > 0.05$). La temperatura, es un factor importante en la calidad de agua, influye en el desarrollo, reproducción y comportamiento de la tilapia (*Oreochromis sp.*), las temperaturas oscilan entre los 24 °C y 32 °C (Paz 2023), por lo que, los rangos en ambos tratamientos están dentro de los parámetros requeridos para una producción óptima. La temperatura, al igual que el nivel de oxígeno, desempeña una función crucial en el proceso de nitrificación. Si la temperatura desciende por debajo de los 24°C, se produce una reducción en la actividad nitrificante de las bacterias. Además, la temperatura también determina la tasa metabólica de los peces y sus necesidades energéticas (Condarle 2020).

Turbidez (cm)

Se obtuvieron valores promedios para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material de 36.38 cm y 33.92 cm de profundidad, respectivamente. Se obtuvieron valores superiores ($P \leq 0.05$) en el T1: Biofiltro con cinco materiales. La turbidez del agua se produce debido a la presencia de partículas dispersas, las cuales pueden originarse por diversos factores como arcillas, metabolitos y, en ocasiones, por la presencia de algas benéficas (Meyer 2004). Estas partículas presentes en el agua tienen la capacidad de afectar la entrada de luz solar en los estanques, lo que a su vez ocasiona una disminución de la temperatura en el fondo del agua. Estos cambios en la temperatura influyen en la tasa de crecimiento de los peces, disminuyendo su desarrollo (FAO 2023).

El cuadro 1 muestra los resultados de las variables de calidad de agua del experimento, se puede observar diferencias ($P \leq 0.05$) en los distintos tratamientos para la variable de Nitritos (mg/L), oxígeno disuelto (mg/L), pH y Temperatura (°C), los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento uno conformador por un biofiltro con un material.

Cuadro 1

*Parámetros de calidad de agua en la evaluación comparativa de dos biofiltros en sistema acuapónico para la producción de Tilapia (*Oreochromis sp.*)*

Variables	Amonio (NH ₄ ⁺) (mg/L)	Nitratos (NO ₃ ⁻) (mg/L)	Nitritos (NO ₂ ⁻) (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH	T°	Turbidez (cm)
T1 5 materiales	0.62	25.09	0.34	6.01	6.95	25.49	36.38
T2 1 material	0.74	21.84	0.37	5.58	7.11	25.42	33.92
Valor P	0.06	0.08	0.04	0.01	0.04	0.74	0.001
EE	0.05	1.44	0.01	0.09	0.05	0.20	0.29

Nota. Valores con medias significativas ($P \leq 0.05$); EE= Error estándar; NH₄⁺=Amonio; NH₃⁻= Nitratos; NO₂⁻= Nitritos; T°=Temperatura;

Variables Hortícolas de Desarrollo Fisiológico de Lechuga (*Lactuca sativa*) Variedad Kristine

Altura Foliar (cm)

Los valores promedios obtenidos para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material al final de las cuatro semanas en altura foliar fueron 21.60 cm y 17.63 cm respectivamente. Los resultados muestran datos con diferencias ($P \leq 0.05$). Los valores más altos de nitratos (NO₃⁻) se obtuvieron en el tratamiento T1: Biofiltro con cinco materiales, lo que promovió un aporte alto de nitrógeno disponible para las plantas. El nitrógeno (N) es un macronutriente indispensable que desempeña un papel fundamental en numerosos procesos metabólicos en las plantas. Facilita el desarrollo y crecimiento al permitir la absorción y transporte interno de nutrientes en toda la estructura de la planta (Díaz 2015). En investigaciones previas se demostró que el uso de nitrógeno soluble aumentó la biomasa foliar mejorando su desarrollo fisiológico (Bustos y Guapizaca 2018).

Crecimiento Radicular (cm)

Se realizaron mediciones de la longitud de las raíces en los T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material. Se observó que el promedio de longitud radicular fue de 19.23 cm y de 15.66 cm para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material, respectivamente. Se evidenció un mayor crecimiento de las raíces en el tratamiento T1: Biofiltro con cinco materiales, en comparación con el tratamiento T2: Biofiltro con un material. Este tipo de crecimiento radicular suele

indicar la presencia de nutrientes en el agua y la búsqueda de nutrientes disueltos por parte de las raíces. Sin embargo, al realizar el análisis estadístico correspondiente, no se encontró diferencia ($P > 0.05$). Estudios previos a esta investigación, incluyeron la incorporación de *Azospirillum* sp. lograron un aumento de 15 cm más en el crecimiento radicular, alcanzando una media de crecimiento de 35.5 cm (Rivera y Gracias 2022). En investigaciones realizadas por (Castiblanco y Hidalgo 2009) con la adición de fertilizantes en el agua lograron largos radicales promedios de 30 cm a 40 cm aproximadamente, 10 cm más que el máximo obtenido en éste experimento.

Diámetro Radicular (mm)

Al finalizar el lapso de las cuatro semanas, se llevó a cabo un levante de muestras, donde se realizaron mediciones de diámetro radicular en ambos tratamientos. Los resultados revelaron que el promedio del diámetro radicular en el tratamiento T1: Biofiltro con cinco materiales, fue de 43.5 cm y para el T2: Biofiltro con un material 45.3 cm. El desarrollo del diámetro radicular va de la mano con el crecimiento radicular, su forma de crecimiento se ve influenciado por la presencia de nutrientes en el medio. Se registró un mayor diámetro radicular en el tratamiento T2: Biofiltro con un material. Los resultados indican que los datos no tienen diferencias ($P > 0.05$). En estudios previos realizados, identificaron que a mayor presencia de nitratos en el medio se observa un mejor desarrollo y crecimiento radicular de la planta (Campos et al. 2013). En ambos tratamientos se observó presencia de materia orgánica y algas acumulada en las raíces de las plantas, investigaciones realizadas por (Castiblanco y Hidalgo 2009) demostraron que la presencia de materia orgánica y de algas en las raíces de las plantas pueden tener un impacto directo en su rendimiento. Esto se debe a que tanto la materia orgánica como las algas obstruyen la absorción libre de nutrientes en las raíces, lo que dificulta la disponibilidad y la asimilación de los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo óptimos de la planta. Además, las algas compiten directamente con la planta por los nutrientes disponibles, lo que puede limitar aún más su acceso a los mismos.

El cuadro 2 muestra los resultados de las variables relacionadas con el desarrollo fisiológico de la lechuga (*Lactuca sativa*) del experimento, se puede observar diferencias ($P \leq 0.05$) en la variable altura foliar, obteniendo los mejores resultados en el tratamiento uno conformador por un biofiltro con cinco materiales. En cuanto a crecimiento y diámetro radicular, en este estudio, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en ninguna de las variables.

Cuadro 2

Valores de desarrollo fisiológico de la lechuga (Lactuca sativa) en un sistema acuapónico en la unidad de acuicultura, Zamorano, Honduras

Variabes	Altura Foliar cm/planta	Crecimiento Radicular cm/planta	Diámetro Radicular mm/planta
T1 5 materiales	21.60	19.23	43.50
T2 1 material	17.63	15.67	45.30
Valor P	0.005	0.09	0.27
EE	0.72	1.60	1.453

Nota. Valores con medias significativas ($P \leq 0.05$); EE=Error estándar

Peso Foliar (g)

Los valores promedios registrados para el peso foliar en el tratamiento T1: Biofiltro con cinco materiales, fue de 70.04 g y para el tratamiento T2: Biofiltro con un material fue de 69.57 g. Se observó un peso foliar muy similar en ambos tratamientos, no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En comparación con otros estudios se registra misma tendencia de peso promedio foliar, con otras variedades de lechuga sin adición de solución nutritiva, se alcanzaron pesos alrededor de 72 g para variedad Vulcan y 52 g para la variedad Verónica (Rodríguez-González et al. 2015). El peso foliar puede verse afectado directamente con la incorporación de nutrientes al agua, de igual manera, estudios similares realizados por (Osorto Pineda 2021) demostró que la introducción de bacterias fijadoras de nitrógeno en el sistema puede tener un impacto en el crecimiento foliar de las plantas de lechuga, lo que a su vez puede resultar en un aumento en el peso foliar. Las bacterias fijadoras de nitrógeno tienen la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico en formas asimilables para las plantas, lo que les proporciona un suministro adicional de este nutriente esencial. Este suministro

adicional de nitrógeno puede promover el crecimiento y desarrollo de las hojas de la lechuga, lo que, a su vez, contribuye a un mayor peso total de la planta, ya que la mayor parte de su masa se encuentra en las hojas.

Peso Radicular (g)

Los datos de peso radicular para el tratamiento T1: Biofiltro con cinco materiales fue de 9.07 g y para el tratamiento T2: Biofiltro con un material fue de 19.96 g. Los resultados muestran datos con diferencias ($P \leq 0.05$) a favor del T2: Biofiltro con un material. Este obtuvo un mayor peso radicular, relacionado con el desarrollo y crecimiento radicular, en donde se registró un menor crecimiento, pero un mayor diámetro en promedio. El T2: Biofiltro con un material se registra con un menor porcentaje de nitratos. En anteriores estudios documentan la influencia de las concentraciones de nutrientes y sus efectos en el desarrollo y crecimiento radicular en cultivos de producción en sistemas acuapónicos (García, Barra 2017) un suministro adecuado de nutrientes en concentraciones óptimas promueve un crecimiento radicular saludable, sin embargo, concentraciones excesivas o insuficientes de nutrientes pueden tener consecuencias negativas en el desarrollo radicular. El peso radicular en el T1: Biofiltro con cinco materiales pudo verse afectado directamente por el exceso de nutrientes presentes en el sistema, una alta concentración de nutrientes puede provocar que las plantas prioricen sus actividades metabólicas en el follaje de la planta.

Peso Total (g)

El peso total se calculó sumando el peso de las hojas y raíces de cada planta seleccionada para el muestreo. Los valores promedio para el T1: Biofiltro con cinco materiales y T2: Biofiltro con un material, fueron de 79.11 g y 89.53 g respectivamente. Sin embargo, al realizar un análisis estadístico T-student de comparación de medias con distribución normal, no se observaron diferencias ($P > 0.05$).

La diferencia en el peso total entre los dos tratamientos se debe principalmente a la diferencia en el peso de las raíces, ya que el T2: Biofiltro con un material tuvo un mayor peso de raíces en comparación con el T1: Biofiltro con cinco materiales. Estudios anteriores que utilizaron bacterias

como *Azospirillum* sp. reportaron resultados de peso fresco radicular de 17.95 g para el tratamiento con bacterias y 12.93 g para el grupo control (Rivera y Gracias 2022). Un exceso de nutrientes en el agua puede afectar el desarrollo de las raíces de la planta, ya que estas reducen su actividad en la búsqueda de nutrientes, mientras la planta prioriza otras funciones metabólicas (Acosta 2021).

El cuadro 3 muestra los resultados de las variables relacionadas con biomasa de la lechuga (*Lactuca sativa*) tomadas a los 31 días durante la cosecha, se puede observar diferencias ($P \leq 0.05$) en la variable peso radicular, obteniendo los mejores resultados en el tratamiento dos conformado por un biofiltro con cinco capas. En cuanto a peso foliar y total, en este estudio, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$).

Cuadro 3

Análisis de biomasa de la lechuga (Lactuca sativa) al final de las cuatro semanas en un sistema acuapónico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras

Variables	Peso Foliar g/planta	Peso radicular g/planta	Peso Total g/planta
T1 5 materiales	70.04	9.07	79.11
T2 1 material	69.57	19.96	89.53
Valor P	0.92	0.01	0.19
EE	4.34	2.38	6.66

Nota. Valores con medias significativas ($P \leq 0.05$); EE=Erro estándar

Clorofila (SPAD)

Se recolectaron 10 plantas de cada repetición y se realizó una medición del nivel de clorofila en tres hojas diferentes: una hoja de la parte baja, una hoja de la parte media y una hoja de la parte superior. Para el T1: Biofiltro con cinco materiales, se obtuvieron los siguientes promedios de nivel de clorofila: 9.74 SPAD en las hojas bajas, 16.08 SPAD en las hojas medias y 19.62 SPAD en las hojas superiores. En el T2: Biofiltro con un material, los promedios obtenidos fueron de 10.95 en las hojas bajas, 16.75 en las hojas medias y 18.91 en las hojas superiores. No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Las plantas del T1: Biofiltro con cinco materiales, que desarrollaron más rápidamente la altura foliar tuvieron menor promedio de clorofila en la parte baja y media de la planta

en comparación al T2: Biofiltro con un material, esto debido al nivel de Luz fotosintética que las hojas medias y bajas recibieron (Piña y Arboleda 2010). La medición de las unidades de clorofila se realiza en follaje del cultivo, durante el inicio del desarrollo vegetativo, cuando la planta está en proceso fotosintético, los valores de estas unidades son más altos. A medida que avanza el ciclo de crecimiento, las unidades de clorofila tienden a disminuir. Esta reducción es más pronunciada cuando hay deficiencias de nitrógeno, debido a su menor disponibilidad. Esto se atribuye a una fase de llenado en la cual se evita la acumulación de clorofilas en los tejidos y se da paso al proceso de elongación (Reyes-Medina et al. 2019)

El cuadro 4 muestra los resultados de las variables relacionadas con el porcentaje de clorofila presente en la lechuga (*Lactuca sativa*), el T1: Biofiltro con cinco materiales y el T2: Biofiltro con un material, en este experimento, presentaron resultados similares, por lo que, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en ninguna de las variables de clorofila tomadas en hojas superiores, intermedias e inferiores.

Cuadro 4

Valores de contenido de clorofila en Lechuga (Lactuca sativa) en hojas bajas, intermedias y superiores en un sistema acuapónico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras

Variables	Clorofila (SPAD)		
	Hojas bajas	Hojas intermedias	Hojas superiores
T1 5 materiales	9.74	16.08	19.62
T2 1 material	10.95	16.75	18.91
Valor P	0.27	0.18	0.18
EE	0.95	0.42	0.43

Nota. EE= Error estándar

Conclusiones

Se desarrolló y validó un sistema acuapónico con diferentes materiales reutilizados en los biofiltros para que pueda ser replicado por pequeños agricultores.

En términos de calidad de agua ambos tratamientos alcanzaron rangos óptimos para producción.

Se observó un mayor desarrollo y altura foliar en el tratamiento con 5 materiales.

Recomendaciones

Realizar investigaciones en distintas etapas de crecimiento de la tilapia con el propósito de evaluar el valor nutricional, y su influencia en el rendimiento de los biofiltros y su impacto en el progreso del cultivo.

Implementar diferentes materiales en el diseño del sistema acuapónico y medir su rendimiento e impacto en el cultivo.

Se sugiere realizar investigaciones utilizando diferentes variedades de lechuga y otras hortalizas que sean compatibles con el sistema implementado.

Realizar un análisis económico sobre la viabilidad de este proyecto.

Referencias

- Acosta B. 2021. Función del Nitrógeno en las Plantas y su importancia. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 27 de may. de 2023; consultado el 27 de may. de 2023]. <https://www.ecologiaverde.com/funcion-del-nitrogeno-en-las-plantas-y-su-importancia-2704.html>.
- Aguirre P. 2004. Ricos Flacos, Gordos Pobres.: La alimentación en crisis. 1 edición. Buenos Aires Argentina: Capital Intelectual. 47 p. (Claves para todos). ISBN: 9871181078; [consultado el 23 de may. de 2023]. <http://www.gisa-unr.com/pdf/aguirre-ricosflacos-gordos-pobres-claves.pdf>.
- Barbado JL. 2005. Hidroponía: Su empresa de cultivos en agua. 1. ed. Buenos Aires: Editorial Albatros. 190 p. (Microemprendimientos). ISBN: 950-24-1120-X.
- Bustos A, Guapizaca P. 2018. Efecto del nitrógeno como fertilizante de liberación lenta e inoculación de micorrizas en producción de pimiento (L.) en sustrato compost [Proyecto Especial de Graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 12 p; [consultado el 23 de may. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2049968d-9724-4c9f-a8bf-658e422cf1a2/content>.
- Campos R, López A, Avalosde la Cruz, Dora Angélica, Asiain-Hoyos A, Reta-Mendiola JL. 2013. Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 4. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000900007&script=sci_arttext.
- Candarle P. 2015. Técnicas de Acuaponia. Argentina: Centro Nacional de Desarrollo Acuicola (CENADAC), Dirección de acuicultura; [actualizado el 27 de ene. de 2023; consultado el 27 de ene. de 2023]. 47 p. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf.
- Candarle P. 2020. La calidad de agua en acuaponia. Argentina: Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC); [actualizado el 14 de oct. de 2020; consultado el 13 de jul. de 2023]. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-calidad-del-agua-en-acuaponia>.
- Carrillo D. 2015. Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras [Proyecto especial de graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 25 p; [consultado el 17 de may. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/bedeabc1-3ec7-4bd9-aa0a-8c38a0a0e1c5/content>.
- Castiblanco J, Hidalgo J. 2009. Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de lechuga (Lactuca sativa) bajo dos sistemas hidropónicas [Proyecto especial de graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 22 p; [consultado el 13 de jul. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/55550cb1-bf8f-4f13-ad15-f8eea1c01824/content>.
- Cervantes S, Hernández M, Pérez C. 2015. Aprovechamiento de metabolitos nitrogenados de cultivo de tilapia en un sistema acuapónico. Ecosistema y recursos agropecuarios; [consultado el 4 de ago. de 2015]. vol.3(No. 7). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000100007.
- Colorado M, Ospina M. 2019. La acuaponia como herramienta de formación en tiempo de paz. Colombia: SENA. 68 p. ISBN: 9789581504749; [consultado el 18 de may. de 2023]. <https://>

repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5555/acuaponia_como_herramienta_de_formaci%C3%B3n.pdf?sequence=3.

- Comercializadora Hydro Enviroment. 2023. ¿Qué es el sistema NFT? México: [sin editorial]; [actualizado el 27 de ene. de 2023; consultado el 27 de ene. de 2023]. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=101.
- Condarle P. 2020. Técnicas de Acuaponia. [sin lugar]: Centro Nacional de Desarrollo Acuicola (CENADAC), Dirección de acuicultura. 47 p; [consultado el 13 de jul. de 2023]. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf.
- Díaz S. 2015. Acuaponía o cultivo con peces: ¿Qué es, cómo funciona y ventaja? España: AgroHuerto; [consultado el 19 de jun. de 2022]. <https://www.agrohuerto.com/acuaponia-sabes-en-que-consiste/>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United. 2022a. Intensificación y expansión de la producción acuícola sostenible. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 14 de nov. de 2022; consultado el 21 de may. de 2023]. <https://www.fao.org/3/cc0461es/online/sofia/2022/expanding-sustainable-aquaculture-production.html>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United. 2023. Mejora de la calidad de agua en los estanques. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 17 de nov. de 2006; consultado el 19 de may. de 2023]. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. The state of world fisheries and aquaculture 2016: Contributing to food security and nutrition for all. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1 volume ;. ISBN: 978-92-5-309185-0.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. Escasez de agua uno de los mayores retos de nuestro tiempo. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 22 de mar. de 2019; consultado el 21 de may. de 2023]. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/>.
- [FAO] Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma: [sin editorial]; [consultado el 21 de may. de 2023]. 198 p. <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>.
- [FAO] Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022b. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala: Cultivo integral de peces y plantas. Roma: FAO. 290 p. ISBN: 978-92-5-135809-2; [consultado el 27 de may. de 2023]. <https://www.fao.org/3/i4021es/i4021es.pdf>.
- Gallego A, García D. 2016. Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador columna de arena. México: Universidad Autónoma del Estado de México; [consultado el 18 de may. de 2023]. 13 p. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n1/2007-2422-tca-8-01-00081.pdf>.
- García, Barra JA. 2017. Evaluación productiva y económica de un sistema acuapónico semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*) [Tesis Posgrado]. Mexico: Universidad Autónoma de Nayarit. 56 p; [consultado el 27 de may. de 2023]. <http://dspace.uan.mx/bitstream/123456789/1352/1/2017%20Evaluacion%20productiva%20y%20economica%20de%20un%20sistema%20acuaponico>

%20semi-intensivo%20de%20tilapia%20%28Oreochromis%20niloticus%29%2c%20lechuga%20%28Lactuca%20sativa%29%20y%20pepino%20%28Cucumis%20sativus%29.pdf.

Gómez L, Gutiérrez B. 2008. Evaluación de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*O. sp*) cultivadas en jaulas a 200, 400 y 600 peces por m³ en Zamorano, Comayagua y La Venta, Honduras [Proyecto especial de graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 27 p; [consultado el 18 de may. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e4c4e6-a848-443a-8223-44a462ca9e74/content>.

Gonzales F. may. 2018. Efecto de Fertilización Nitrogenada en la Producción de lechuga (*Lactuca sativa*) y Metabolitos Secundarios [Proyecto especial de graduación]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; [consultado el 17 de may. de 2023]. <http://repositorio.uaaan.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/71/T20141%20%20GONZ%C3%81LEZ%20GALLARDO%2C%20FRANCISCO%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Hydro Environment. 2023. ¿Qué es el Sistema de Raíz Flotante? México: [sin editorial]; [actualizado el 31 de may. de 2023; consultado el 31 de may. de 2023]. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=64.

Jimenez A. 2017. Manual de buenas prácticas para la producción de tenguayaca (*Petenia splendida*) con el método de Acuaponía. Mexico: Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo; [actualizado 2016; consultado el 27 de ene. de 2023]. 65 p.

Lizcano A. 2022. Calidad de Agua en Acuaponía: Productos para Acuicultura Hanna Instruments. Colombia: Hanna Instruments; [actualizado el 13 de jul. de 2023; consultado el 13 de jul. de 2023]. <https://www.hannacolombia.com/aqua/blog/item/calidad-de-agua-en-acuaponia>.

Madrid Rivera JR, Flores Ochoa LG. 2013. Comparación de la producción de lechuga de los cultivares Maximus, Locarno, Versai y Kristine en acuaponía con tilapia en Zamorano [Proyecto especial de graduación]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 20 p; [consultado el 24 de may. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/777cdf2d-99fd-4f2b-bc79-f17c9e3a16af/content>.

Meerganz von Medeazza G. 2008. Escasez de agua dulce y desalinización: Los casos de Marruecos, Lanzarote (España), Palestina y el sur de la India. Bilbao, Zaragoza: Bakeaz; Fundación Nueva Cultura del Agua. 159 p. (Nueva cultura del agua; vol. 19). ISBN: 978-84-88949-90-5. Texto en español; introducción y resumen en español e inglés.

Meyer D, editor. 2004. Introducción a la Acuicultura. Honduras: [sin editorial]. 144 p. ; [consultado el 19 de may. de 2023]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7fce00bc-0466-4957-98bb-f2fdcf01ddd/content>.

Navarro C. 2013. Enfoque integrado de las transformaciones de los compuestos nitrogenados inorganicos del agua residual tratada durante el riego de las areas verdes. Mexico: Centro de investigacion en materiales avanzados. 185 p; [consultado el 18 de may. de 2023]. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/572/1/Tesis%20Carmen%20Julia%20Navarro%20G%C3%B3mez.pdf>.

Osorto Pineda EE. 2021. Producción de lechuga en acuaponía con adición de fertilizantes orgánicos líquidos y bacterias promotoras de crecimiento [Tesis de Posgrado]. Honduras: Escuela Agrícola

Panamericana, Zamorano. 68 p. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7efa027c-88d7-491c-a849-ea23df9234b5/content>.

Paz P. 2023. Producción de Tilapia (*Parachromis* spp.); Valle de Yegüare, Francisco Morazán.

Perea A, Gómez E, Mayorga Y, Triana CY. 2008. Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia. Colombia: [sin editorial]; [actualizado el 21 de may. de 2023; consultado el 21 de may. de 2023]. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0004-06222008000100013&script=sci_arttext.

Piña M, Arboleda M. 2010. Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de *Crescentia cujete*. Bioagro; [consultado el 27 de may. de 2023]. 22. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100008.

Reyes-Medina AJ, Fraile-Robayo D, Álvarez-Herrera JG. 2019. Evaluación de la mezcla de sustratos en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Verónica. *Temas Agrarios*. 24(1):34–41. doi:10.21897/rta.v24i1.1776.

Rivera J, Gracias N de. 2022. Efecto de la adición de *Azospirillum* sp. en la productividad de lechuga (*Lactuca sativa* var. Kristine) dentro de un sistema acuapónico con tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) [Proyecto especial de graduación]. Valle de Yegüare, Francisco Morazán: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 55 p. <https://bdigital.zamorano.edu/items/c6a3a242-15cc-4e8a-b73d-d72c7b56c90d>.

Rodríguez H, Anzola E, editores. 2001. La Calidad del Agua y la Productividad de un Estanque en Acuicultura. [sin lugar]: [sin editorial]. 3 vol.; [consultado el 18 de may. de 2023]. <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34940/27467.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Rodríguez-González H, Rubio-Cabrera S, García-Ulloa M, Montoya-Mejía M, Magallón-Barajas F. 2015. Análisis técnico de la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponía. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 27 de may. de 2023]. 5 p. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2247/1/Agroproductividad%202015%20magallon.pdf>.

Sánchez T, Reinaldo A. 2015. T-Student Usos y abusos. *Mexicana de cardiología*. 01882198. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009.

Urrestarazu M, editor. 2015. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. Madrid: Mundo-Prensa. 267 páginas. ISBN: 9788484766681. <https://www.iberlibro.com/9788484766681/Manual-pr%C3%A1ctico-cultivo-suelo-hidropon%C3%ADa-8484766683/plp>.

Anexos

Anexo A

Tabla de cantidades y eficiencias de diferentes materiales que se puede usar y adaptar al sistema

Table 5. Efficiencies for each position of the coffee layer using

TIPO DE FILTRO	NOMBRE	MATERIAL	ALTURAS (mm)	EFICIENCIA (%)
RAPIDO DE ARENA	R1	HOJA DE CAFÉ GRAVA ARENA HOJA DE CAFÉ	17 12 72 17	14
	R2	GRAVA ARENA GRAVA	36 72 12	10.4
	R3	HOJA DE CAFÉ ARENA GRAVA	17 72 36	7.6
	R4	HOJA DE CAFÉ ARENA GRAVA	17 72 12	14.4
	R5	ARENA HOJA DE CAFÉ GRAVA	72 17 36	4.8
	R6	GRAVA ARENA HOJA DE CAFÉ	36 72 17	8.4
MEDIO DUAL	D1	GRAVA ARENA ANTRACITA HOJA DE CAFÉ	12 17 36 17	12.8
	D2	GRAVA ARENA ANTRACITA HOJA DE CAFÉ	36 17 36 17	13.2
	D3	GRAVA ARENA HOJA DE CAFÉ ANTRACITA	12 17 17 36	38.8
	D4	GRAVA ARENA HOJA DE CAFÉ ANTRACITA	36 17 17 36	23.2
	D5	GRAVA HOJA DE CAFÉ ARENA ANTRACITA	12 17 17 36	37.6
	D6	GRAVA HOJA DE CAFÉ ARENA ANTRACITA	36 17 17 36	37.2
	D7	HOJA DE CAFÉ GRAVA ARENA ANTRACITA	17 12 17 36	18
	D8	HOJA DE CAFÉ GRAVA ARENA ANTRACITA	17 36 17 36	23.6

Anexo B

Tabla de alimentación de aporte nutricional según la etapa y peso de la Tilapia (*Oreochromis sp.*)

Tipo de alimento	Proteína (%)	Peso corporal tilapia (gr)	Tamaño partícula (mm. +/- 0,5)	Rango (días)	Tasa alimenticia (% Biomasa)	Dosis recomend. (día)
Tilapia Juvenil 1	35	5 a 10	2,2	31 a 50	8	6
Tilapia Juvenil 2	32	11 a 60	2,2	51 a 100	6	6
Tilapia Engorde 1	32	61 a 150	2,8	101 a 140	4	4
Tilapia Engorde 2	30	151 a 250	3,5	141 a 180	2,5	3 a 4
Tilapia Engorde 3	28	251 a 350	6	181 a 220	1,5	3
Tilapia Engorde 4 A	24	350 a 550	6	221 a 275	1,5	3
Tilapia Engorde 4 B	24	> 550	9,5	> 275	1,5	2 a 3
Tilapia Reproductor	40	150 a 1000	2,8 / 3,75 y 6	> 100	4	3

Nota: los resultados pueden variar dependiendo de la temperatura, calidad de agua y calidad de semillas.

Anexo C

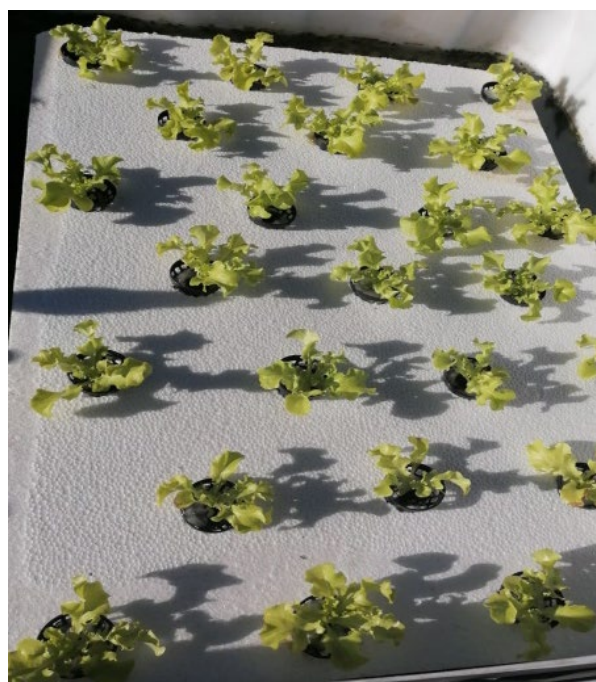
*Desarrollo radicular 7 días después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de
Acucacultura, Zamorano, Honduras*



Nota. Tratamiento uno y dos primera y segunda imagen respectivamente.

Anexo D

Desarrollo foliar de lechuga (Lactuca sativa) siete días después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras

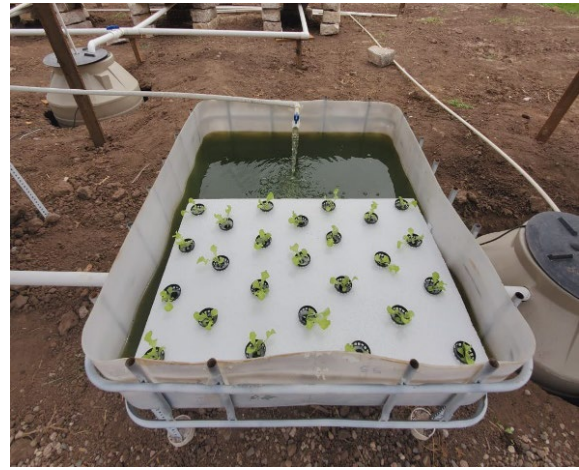


Nota. Tratamiento uno y dos primera y segunda imagen respectivamente

Anexo E

Día uno de siembra de lechugas (Lactuca sativa) en sistema acuapónico raiz flotante en la unidad de

Acuicultura, Zamorano, Honduras



Nota. Tratamiento uno y dos respectivamente semana uno

Anexo F

Turbidez del agua a inicio de semana dos en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura,

Zamorano, Honduras



Nota. Turbidez del agua a mediado de semana 2



Anexo G

Comparación del tratamiento uno y dos en vista lateral (notoria diferencia en altura foliar comienzo de semana tres)



Nota. Tratamiento uno y dos primera y segunda imagen respectivamente

Anexo H

Desarrollo foliar de la lechuga (Lactuca sativa) 3 semanas después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras



Nota. Desarrollo foliar de la lechuga en semana 3

Anexo I

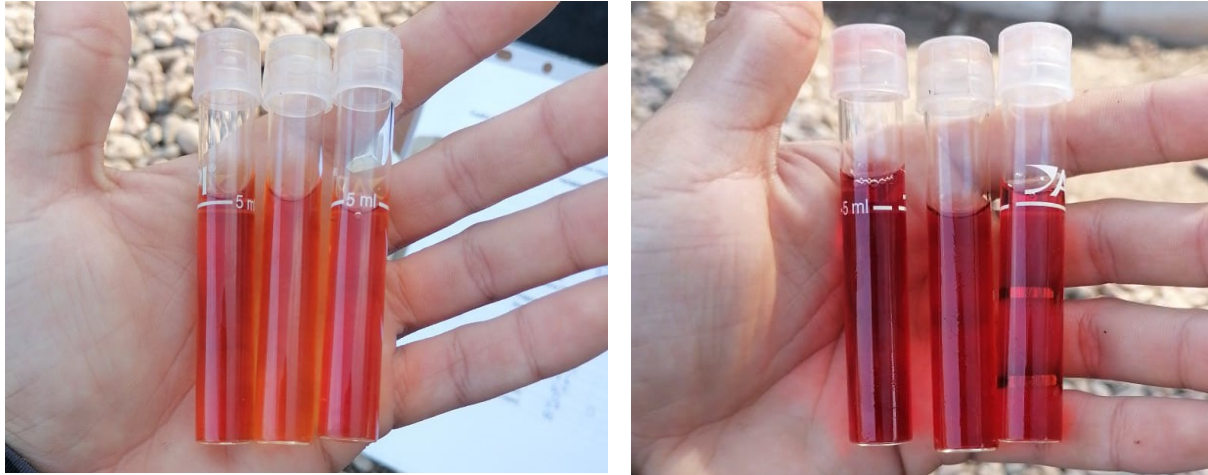
Desarrollo radicular de la lechuga (Lactuca sativa) tres semanas después del trasplante en sistema acuapónico en la unidad de Acuacultura, Zamorano, Honduras



Nota. Desarrollo radicular semana uno tratamiento uno y dos respectivamente

Anexo J

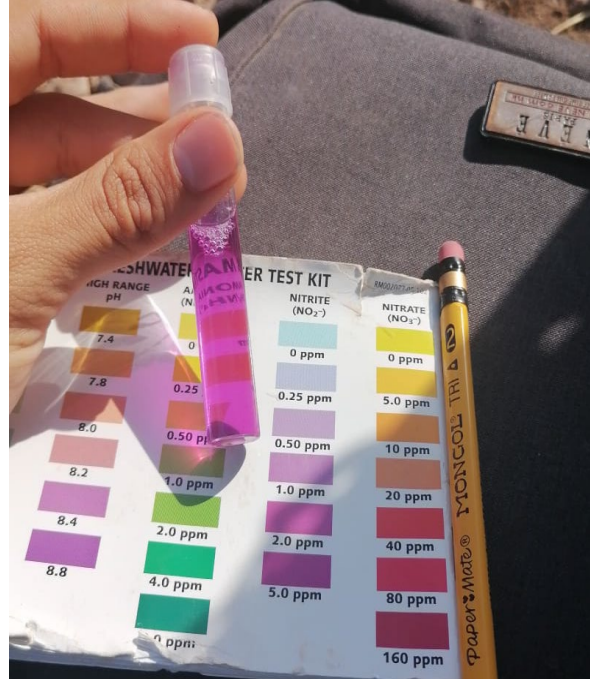
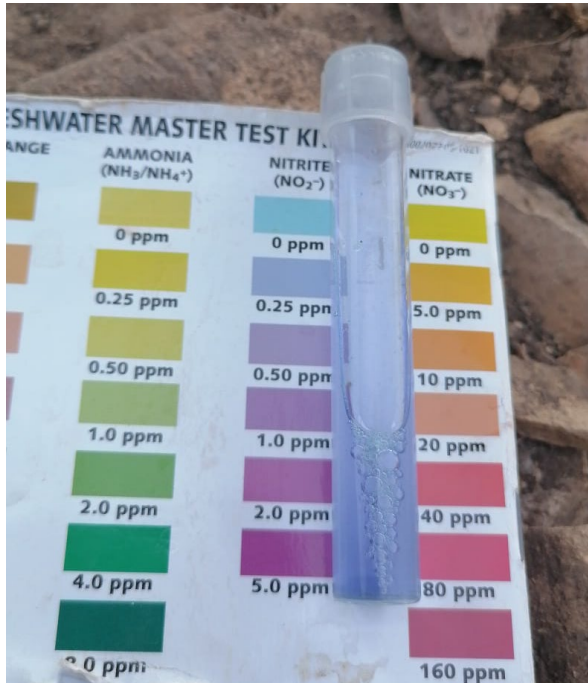
Muestra de nitratos tres semanas después del inicio del sistema acuaponico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras



Nota. Tratamiento uno y dos primera y segunda imagen respectivamente

Anexo K

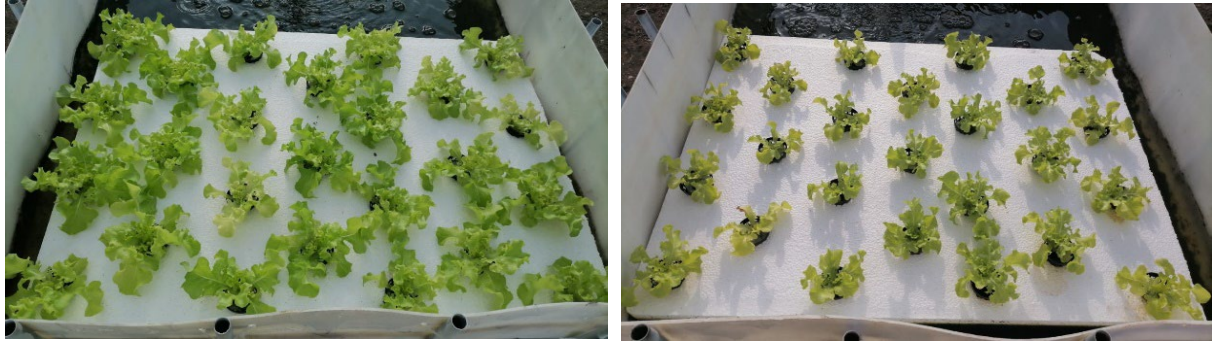
Muestra de Nitritos tres semanas después del inicio del sistema acuaponico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras.



Nota. Tratamiento uno y dos primera y segunda imagen respectivamente

Anexo L

Desarrollo foliar de lechugas (Lactuca sativa) variedad Kristine una semana y media después del trasplante en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras



Nota. Tratamiento uno y dos primera y segunda imagen respectivamente

Anexo M

Desarrollo radicular dos semanas después del inicio del sistema acuaponico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras



Nota. Tratamiento uno y dos primera y segunda imagen respectivamente

Anexo N

Capas de biofiltro para el sistema acuapónico en la unidad de acuacultura, Zamorano, Honduras

