

Guatemala, 26 de noviembre de 2018

Señor Director

Dr. Erwin Humberto Calgua Guerra

Director General de Investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final “Productividad de ocho especies de plantas culinarias populares en Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica” con partida presupuestal 4.8.63.2.59, coordinado por el Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval y avalado por el Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente. Así mismo, el coordinador del proyecto se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del informe final y del manuscrito científico. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (Open Access) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”

Firma

Coordinador del proyecto de investigación

Firma y sello

Director del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Informe final

**“Productividad de ocho especies de plantas culinarias populares en Guatemala
en un sistema acuapónico con tilapia nilótica”**

Equipo de investigación

Coordinador: **Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval**
 PhD. Dennis Guerra Centeno
 M.E.P.P. Mercedes Del Carmen Díaz Rodríguez
 P.C. Julio López Barán

Guatemala, 26 de noviembre de 2018

Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud.
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Dr. Erwin Humberto Calgua Guerra
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. Augusto Saúl Guerra
Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval
Coordinador del proyecto

PhD. Dennis Guerra Centeno
Investigador

M.E.P.P. Mercedes Del Carmen Díaz Rodríguez
Auxiliar de investigación I

P.C. Julio López Barán
Operario de campo

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2018. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.2.59, durante el año 2018 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

Financiamiento aprobado por Digi: Q. 133,861.26

Índice

Índice de contenido general

1. Resumen.....	6
2. Palabras clave	6
3. Abstract	6
4. Introducción.....	7
5. Planteamiento del problema.....	9
6. Preguntas de investigación.....	9
7. Delimitación en tiempo y espacio	10
8. Marco teórico.....	10
9. Estado del arte	11
10. Objetivo general.....	12
11. Objetivos específicos.....	12
12. Hipótesis.....	12
13. Materiales y métodos	13
14. Vinculación, difusión y divulgación.....	17
15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados	18
16. Análisis y discusión de resultados	21
17. Conclusiones.....	23
18. Referencias	24
19. Listado de los integrantes del equipo de investigación	27
20. Apéndice	28

Índice de tablas

Tabla 1. Unidades de análisis utilizadas en el estudio.....	15
Tabla 2. Longitud y ganancia de peso medio de las ocho especies de las plantas en un sistema acuapónico, al final del estudio.	19
Tabla 3. Variables respuesta de las tilapias al final del estudio.....	20

Índice de figuras

Figura 1. Supervivencia de las ocho especies de plantas culinarias en un sistema acuapónico.	18
Figura 2. Rendimiento de las ocho especies de plantas culinarias en un sistema acuapónico.	20

Apéndice

Apéndice 1. Componentes y funcionamiento de un Módulo Acuapónico NFT en el IICAE.....	28
Apéndice 2. Difusión del proyecto acuapónico en la mesa de monitoreo biológico de la Reserva de la Biosfera Maya.	28
Apéndice 3. Entrega de manuales del proyecto de acuaponía, en la mesa de monitoreo biológico de la Reserva de la Biosfera Maya.	29
Apéndice 4. Divulgación del proyecto ante autoridades de la Universidad de San Carlos de Guatemala.	29
Apéndice 5. Entrega de manuales en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la USAC	30
Apéndice 6. Divulgación del proyecto a la sociedad civil.	30
Apéndice 7. Entrega de manuales a estudiantes, profesionales de diversas áreas y sociedad civil de Guatemala.	31
Apéndice 8. Divulgación del proyecto en la red social Facebook.	31
Apéndice 9. Difusión del manual digital a la comunidad científica. Disponible en ResearchGate.com	32
Apéndice 10. Material vegetal colocado dentro de cubos de Peatfoam ®	32
Apéndice 11. Colocación de material vegetal en los envases PET.	33
Apéndice 12. Colocación de los envases PET en el sistema de acuapónico	33
Apéndice 13. Planta de albahaca al momento de ser trasplantada en el sistema acuapónico	34
Apéndice 14. Planta de hierbabuena en fases intermedias dentro del sistema acuapónico.	34
Apéndice 15. Planta de samat en fases intermedias dentro del sistema acuapónico.	35
Apéndice 16. Planta de hierbabuena dentro del sistema acuapónico, hacia el final del estudio.	36
Apéndice 17. Planta de albahaca dentro del sistema acuapónico, hacia el final del estudio.	37
Apéndice 18. Manual generado en este proyecto	38

Título del proyecto: “**Productividad de ocho especies de plantas culinarias populares en Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica**”

1. Resumen

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos donde se combina el cultivo de peces y plantas. A pesar de que se ha avanzado en el conocimiento de las especies que pueden producirse con este sistema, no se ha estudiado la adaptación de las plantas que son importantes en la culinaria de Guatemala y que podrían ser opciones viables para mejorar la nutrición y el ingreso económico de los campesinos pobres de Guatemala. En tal sentido, se evaluó la supervivencia, crecimiento y rendimiento de ocho especies de plantas culinarias en un sistema acuapónico con tilapia nilótica. Las especies evaluadas fueron: cilantro (*Coriandrum sativum*), perejil (*Petroselinum crispum*), hierbabuena (*Mentha spicata*), tomillo (*Thymus vulgaris*), samat (*Eryngium foetidum*), oreganón (*Plectranthus amboinicus*), eneldo (*Anethum graveolens*) y albahaca (*Ocimum basilicum*). Se distribuyeron 50 individuos de cada especie de planta y 150 organismos de tilapia en cinco módulos acuapónicos. Se midió la supervivencia, la longitud y el peso de las plantas y las tilapias. La supervivencia de las especies de plantas osciló entre el 42 y 98% y fueron dependientes de la especie ($p < .001$). A pesar de que todas las especies de plantas sobrevivieron en condiciones acuapónicas, no todas se desarrollaron. Se observaron diferencias en la longitud ($p < .001$) y el peso ($p < .001$) de las plantas, al final del estudio. Se concluye que la albahaca y la hierbabuena fueron las especies de planta que mostraron mayor adaptación y rendimiento en el sistema acuapónico.

2. Palabras clave

Acuaponía, acuicultura, producción animal, alimentos, hierbas

3. Abstract

Aquaponics is a food production system that combines the cultivation of fish and plants. Although there has been progress in the knowledge of the species that can be produced with this system, the adaptation of the plants that are important in the culinary of Guatemala has not been evaluated and these plants could be viable options for improving the nutrition and

income of the rural poor of Guatemala. The survival rate, growth and yield of eight culinary plants in an aquaponic system with Nile Tilapia were evaluated. The investigated plants were: coriander (*Coriandrum sativum*), parsley (*Petroselinum crispum*), peppermint (*Mentha spicata*), thyme (*Thymus vulgaris*), samat (*Eryngium foetidum*), tiger's ear (*Plectranthus amboinicus*), dill (*Anethum graveolens*) and basil (*Ocimum basilicum*). Fifty individuals of each plant species and 150 tilapia organisms were distributed in five aquaponic modules. Survival, height and weight were measured for plants and tilapias. The survival of plant species ranged from 42 to 98% and was species dependent ($p < .001$). Despite all the herb species survived in the NFT aquaponic conditions, not all were able to develop. Differences were observed in height ($p < .001$) and weight ($p < .001$) of the plants, at the end of the study. In conclusion, the basil and the peppermint were the most adapted and productive species in the evaluated aquaponic conditions.

Keyword

Aquaponics, aquaculture, animal production, food, herbs

4. Introducción

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos donde hay interacción entre el cultivo de peces y plantas (Diver, 2006; Ramírez, Sabogal, Gómez, Rodríguez, & Hurtado, 2009). La acuaponía se basa en el principio de recirculación de agua, siendo un sistema de producción cerrado donde el agua se filtra y recicla constantemente logrando con ello un mayor aprovechamiento del recurso hídrico y una mínima contaminación del mismo (Martínez-Moreno, 2012). En este sistema, los nutrientes que excretan directamente los organismos cultivados en la producción acuícola (peces) o que son generados por la descomposición microbiana de los desechos orgánicos, son absorbidos y utilizados como nutrientes por las plantas cultivadas hidropónicamente. Por lo tanto, es una tecnología prometedora para países como Guatemala, debido a que se puede producir alimento de una forma sostenible.

Según la *Food and Agriculture Organization* (FAO), la acuaponía es una alternativa de producción viable para los pequeños productores (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli, 2014) debido a que se pueden producir alimentos de origen vegetal y animal en espacios reducidos, aprovechar los nutrientes disueltos en el agua, reciclar el agua, reducir el impacto ambiental y generar ingresos económicos (Mateus, 2009). En tal sentido, el sistema acuapónico, se presenta como una alternativa de producción para los pequeños productores de las comunidades rurales guatemaltecas cuyos recursos de agua y suelo son limitados.

Ya se ha generado información sobre la supervivencia y productividad de algunas especies nativas de Guatemala (Guerra-Centeno, Valdez-Sandoval, Aquino-Sagastume, Díaz, & Ríos, 2016; Valdez-Sandoval, Guerra-Centeno, Díaz, & Ríos, 2017; Valdez-Sandoval, Guerra-Centeno, Díaz-Rodríguez, & Ríos, 2018) en condiciones acuapónicas, sin embargo la acuaponía no solo debería estar enfocada en la producción de vegetales que el campesino pueda consumir directamente, sino a la producción de otros recursos que puedan ser transados como mercancía y que hagan posible que el campesino pueda obtener recursos económicos que le permitan adquirir bienes y servicios que mejoren su calidad de vida. Los condimentos son especies vegetales que tienen un valor de uso y de cambio, por lo que podrían ser producidos, consumidos y vendidos logrando un uso más conveniente del espacio y del sistema acuapónico.

Algunos ejemplos notables de especies vegetales de uso popular como condimentos en Guatemala son el culantro (*Coriandrum sativum*), el perejil (*Petroselinum crispum*), la hierbabuena (*Mentha spicata*), el romero (*Rosmarinus officinalis*), el tomillo (*Thymus vulgaris*), la albahaca (*Ocimum basilicum*), el orégano (*Origanum vulgare*), el apio (*Apium graveolens*), el eneldo (*Anethum graveolens*), la salvia (*Salvia officinalis*), el samat (*Eryngium foetidum*) y otros (Ruiz, Rivas, & Gutiérrez, 2014; Villar, 1998). En tal sentido surge la necesidad de evaluar la productividad de especies de condimentos importantes en la culinaria popular de Guatemala en sistemas acuapónicos.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la adaptación y productividad de ocho especies de plantas culinarias de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica. Se persigue que los productores tengan nuevas alternativas de producción que sean sostenibles, amigables con el ambiente y que les permitan generar ingresos económicos.

5. Planteamiento del problema

Es un hecho que las plantas utilizadas para condimentar las comidas tradicionales de Guatemala, tienen importancia cultural y por lo tanto valor de uso y valor de cambio, sin embargo, la producción de plantas culinarias es dificultosa en lugares donde la disponibilidad de agua y suelo es escasa. La acuaponía se presenta como una opción interesante para producir este tipo de plantas en lugares donde no sería posible cultivarlas con las técnicas tradicionales.

Actualmente, no se sabe si es posible cultivar la mayoría de plantas culinarias de uso popular en Guatemala en sistemas acuapónicos. De ser posible tampoco se sabe cuánto podría producirse de follaje o material vegetal en un sistema acuapónico del tipo *Nutrient Film Technique* (NFT). La relación productiva entre estas especies de plantas y las tilapias también se desconoce. Adicionalmente, también es importante comparar algunas de las especies culinarias más importantes en Guatemala.

6. Preguntas de investigación

¿Cuál es la supervivencia de las ocho especies de plantas culinarias a evaluar y de las tilapias en un sistema acuapónico? ¿El porcentaje de supervivencia varía según la especie de planta? ¿Cuánto rinde cada una de las ocho especies de plantas culinarias y las tilapias en el sistema NFT a evaluar? ¿Cuáles son las especies que más rinden y las que menos rinden en este sistema? ¿Cuáles son las condiciones del agua y del ambiente durante el período experimental?

7. Delimitación en tiempo y espacio

El proyecto se realizó en el invernadero del módulo de investigación en acuaponía, situado en la granja de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El sitio se ubica en las coordenadas 14°34'54.14''N, 90°33'28.12''O. Se inició en el mes de febrero y finalizó en noviembre del año 2018. La zona de vida del área correspondió al bosque húmedo subtropical templado (De la Cruz, 1982).

8. Marco teórico

La acuaponía es un sistema de producción sustentable donde se asocia el cultivo de peces y de plantas con la finalidad de obtener alimentos (Ramírez et al., 2009; Maucieri et al., 2018). Es, por lo tanto, la integración de la hidroponía y la acuicultura. La acuaponía se basa en el principio de recirculación de agua donde constantemente se filtra y recicla el agua dentro del sistema. Con ello se logra un mayor aprovechamiento del recurso hídrico y una mínima contaminación del mismo (Martínez-Moreno, 2012). En este sistema, los nutrientes que excretan directamente los peces o que son generados por la descomposición microbiana de los desechos orgánicos, son absorbidos y utilizados como nutrientes por las plantas cultivadas hidropónicamente (Somerville et al., 2014).

Dentro de las ventajas que proporciona un sistema acuapónico están: 1) La producción es amigable con el ambiente, 2) El rendimiento es similar o superior al del cultivo hidropónico, 3) Los peces son más saludables que en la acuicultura tradicional, 4) No se contamina con residuos, 5) Se obtienen ingresos económicos por las plantas y los peces, 6) Se puede producir en espacios reducidos, y 7) No se necesita preparar soluciones nutritivas (Mateus, 2009; Aguilera-Morales, Hernández-Sánchez, Mendieta-Sánchez, & Herrera-Fuentes, 2012)

En el caso del sistema de recirculación de solución nutritiva (NFT – *Nutrient Film Technique*) es una técnica interesante donde pasa una lámina fina de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas (Somerville et al., 2014). Las plantas se encuentran por lo regular suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte. Así mismo, es

necesario proporcionar un desnivel de la superficie de cultivo para propiciar la recirculación de la solución nutritiva (Carrasco & Izquierdo, 1996).

Dentro de los principales componentes del sistema acuapónico está el biofiltro, que hace posible la reutilización del agua. Esto sucede, gracias a varios procesos realizados por las poblaciones de bacterias, principalmente de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, donde el amoníaco (NH_3) es convertido hasta nitrato (NO_3^-) (Somerville et al., 2014). Los nitratos contenidos en el agua, son utilizados por las plantas para la síntesis de compuestos nitrogenados y finalmente, el agua regresa libre de toxinas al estanque donde están los peces.

9. Estado del arte

En los sistemas acuapónicos se ha utilizado diversas especies de peces. Sin embargo, la mayor parte de pescado acuapónico del mercado es la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) (Love et al., 2015; Mateus, 2009). Esto, debido a que esta especie crece muy bien en tanques de recirculación y además tolera las condiciones fluctuantes del agua, tales como el pH, la temperatura, el oxígeno y los sólidos disueltos (Rodríguez, 2011). Además de la tilapia, existen experiencias en la utilización de otras especies como *Clarias gariepinus*, *Maccullochella peelli peelli*, *Misgurnus anguillicandatus*, *Cyprinus carpio*, *Perca fluviatilis*, *Ctenopharyngodon idella*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Tinca tinca*, *Silurus glanis*, así como otros organismos acuáticos (Maucieri et al., 2018; Palm et al., 2018).

Respecto a las plantas, se han cultivado alrededor de 40 especies de vegetales a nivel experimental. Dentro de los más comunes se encuentra la lechuga (*Lactuca sativa*), la espinaca (*Spinacia oleracea*) y las cebolletas (*Allium fistulosum*). Los requerimientos nutricionales de estas especies van de niveles bajos a medios por lo que se han podido adaptar de buena forma en los sistemas acuapónicos. Por otro lado, las plantas que producen frutos como los pimientos (*Capsicum annuum*), los tomates (*Lycopersicon esculentum*) y los pepinos (*Cucumis sativus*), tienen una mayor demanda nutricional a pesar de lo cual, han sido cultivados en sistemas acuapónicos (García-Ulloa, León, Hernández, & Chávez, 2005; Somerville et al., 2014). Otras de las plantas estudiadas han sido *Ipomoea aquatica*, *Abelmoschus esculentus*, *Mentha arvensis*, *Solanum melongena*, *Alocasia macrorrhiza*,

Dysphania ambrosioides, *Amaranthus sp*, *Crotalaria longirostrata*, *Phaseolus vulgaris*, *Capsicum pubescens*, *C. frutescens* (Guerra-Centeno et al., 2016; Maucieri et al., 2018; Palm et al., 2018; Valdez-Sandoval et al., 2017; Valdez-Sandoval et al., 2018).

10. Objetivo general

Generar información sobre la capacidad de un sistema acuapónico con especies de plantas culinarias y tilapia nilótica para producir materia vegetal y animal.

11. Objetivos específicos

- Determinar la supervivencia de ocho especies de plantas culinarias y de las tilapias, en un sistema acuapónico durante el período de evaluación.
- Determinar si la supervivencia está relacionada con la especie de planta.
- Determinar el rendimiento de ocho especies de plantas culinarias y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el período de evaluación.
- Determinar si hay diferencias en el rendimiento de las plantas en el sistema.
- Describir las condiciones del sistema durante el período de evaluación.

12. Hipótesis

La supervivencia de las plantas culinarias en el sistema acuapónico no depende de la especie utilizada.

Al menos una especie de planta culinaria tendrá mayor rendimiento de biomasa (follaje).

13. Materiales y métodos

13.1 Enfoque y tipo de investigación

Los alcances del estudio de la producción de plantas culinarias y tilapias en un sistema acuapónico fueron descriptivos. El comportamiento de las plantas culinarias en el sistema acuapónico, se abordó mediante investigación descriptiva. La evaluación del rendimiento y la comparación y contraste entre especies de plantas culinarias fueron de alcance explicativo.

13.2 Diseño del estudio y recolección de la información

Se utilizó un diseño de bloques al azar donde se evaluaron ocho tratamientos. Cada tratamiento correspondía a cada especie de planta a evaluar. Cada tratamiento tenía cinco bloques y cada bloque contenía diez plantas de cada especie. En tal sentido, se utilizaron 50 plantas por tratamiento y un total de 400 plantas. El período de observación en el sistema acuapónico fue de 90 días.

13.3 Diseño de los módulos acuapónicos

Se utilizaron un total de cinco módulos acuapónicos. Cada módulo tenía las siguientes características: un tinaco plástico con capacidad de 750 L, una bomba sumergible marca Truper®, un biofiltro PF-1 marca Tetra®, un circuito de tubos de 4 pulgadas con arreglo en zig-zag (Apéndice 1).

13.4 Manejo de las plantas

Las especies evaluadas fueron: cilantro (*Coriandrum sativum*), perejil (*Petroselinum crispum*), hierbabuena (*Mentha spicata*), tomillo (*Thymus vulgaris*), samat (*Eryngium foetidum*), oreganón (*Plectranthus amboinicus*), eneldo (*Anethum graveolens*) y albahaca (*Ocimum basilicum*). Dependiendo de la especie, las semillas se obtuvieron con diversos proveedores comerciales (Superb, Intersemillas, Germoveg's). Las semillas se colocaron en bandejas de germinación con sustrato en un período de 4 a 8 semanas. En el caso de *M. spicata*, *T. vulgaris* y *P. amboinicus* se utilizaron esquejes. Al momento del trasplante hacia los módulos acuapónicos, se utilizaron plantas sanas.

13.5 Manejo de las tilapias

Se obtuvieron 300 organismos de tilapia nilótica con un peso medio de 1 g. Se pusieron en un periodo de cuarentena y adaptación de 30 días. Posteriormente se midieron 150 tilapias de las cuales se distribuyeron aleatoriamente 30 organismos a cada tinaco plástico del módulo acuapónico. Inicialmente, las tilapias fueron alimentadas con Tilapia al 45% de proteína de la marca Alcon ®, posteriormente se proporcionó Tilapia al 32%. La ración se calculó con base al 10% de la biomasa total por día.

13.6 Instrumentos y mediciones

Se utilizó una balanza digital y una regla milimetrada para pesar y medir las plantas y los peces. Un medidor multiparamétrico HI 991300 para medir la conductividad eléctrica, la temperatura y el pH del agua. Las mediciones se realizaron el día 1, 45 y 90.

13.7 Unidades de análisis

En la tabla 1, se muestran las variables, las técnicas y las mediciones realizadas de acuerdo a cada objetivo.

Tabla 1.

Unidades de análisis utilizadas en el estudio.

Objetivo	Variable	Técnica	Medición
Determinar la supervivencia de ocho especies de plantas culinarias y de las tilapias, en un sistema acuapónico durante el período de evaluación.	Supervivencia de las plantas. Supervivencia de los peces.	Observación	Frecuencia absoluta de las plantas vivas al final del estudio. Frecuencia absoluta de los peces al final del estudio.
Determinar si la supervivencia está relacionada con la especie de planta	Porcentaje de supervivencia de las plantas	Prueba de independencia de chi cuadrada	Frecuencias de plantas trasplantadas sobrevivientes al final del estudio
Determinar el rendimiento de ocho especies de plantas culinarias y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el período de evaluación	Rendimiento de las plantas. Biomasa: Es la producción de material vegetal que tiene valor de uso y de cambio (follaje). Rendimiento de los peces: Es el tamaño que alcanzan los peces al final del estudio.	Pesaje Medición	Peso en gramos del follaje de cada individuo de cada especie de planta. Peso medio por especie. Sumatoria de pesos del follaje (biomasa). Peso en gramos de los peces. Talla en centímetros de los peces.

Tabla 1, continuación

Objetivo	Variable	Técnica	Medición
Determinar si hay diferencias en el rendimiento de las plantas en el sistema	Pesos en gramos y tallas en centímetros de los organismos vegetales y animales.	Análisis de varianza de una vía más Tukey si los datos son paramétricos. En caso contrario Kruskal- Wallis, más Pairwise comparison de Mann-Whitney.	-----
Describir las condiciones del sistema durante el período de evaluación.	Parámetros físico químicos en el agua y el ambiente.	Observación	Lectura de la temperatura en centígrados. Lectura de la humedad relativa en porcentaje. Lectura de la conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ Lectura del potencial de iones hidrógeno (pH). Lectura de los sólidos disueltos en partes por millón.

13.8 Análisis de la información

Se utilizó la media y la desviación estándar para presentar los valores de la longitud y peso de las plantas y las tilapias. Para determinar las diferencias en el crecimiento y el rendimiento de las plantas se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis y comparaciones pareadas de Mann-Whitney con corrección de Bonferroni. Para determinar si la supervivencia está relacionada con la especie de planta se utilizó la prueba de Ji cuadrado con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. El programa utilizado fue el Past® 3.20 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

14. Vinculación, difusión y divulgación

Se generó un manual titulado “Adaptación y rendimiento de plantas culinarias de Guatemala en un sistema acuapónico: Apuntes de investigación” dirigido a estudiantes, profesionales, productores y sociedad civil. Dentro del manual se detallan los componentes y funcionamiento del sistema acuapónico, los procesos desde la germinación hasta la cosecha de las plantas y de los peces, las experiencias y resultados obtenidas durante el período experimental del presente proyecto (Apéndice 18).

Se estableció un vínculo con la *Wildlife Conservation Society* de Guatemala y se logró difundir el proyecto acuapónico en la mesa de monitoreo biológico de la reserva de la Biosfera Maya, en la cual asistieron científicos, funcionarios de gobierno, representantes comunitarios y sector de cooperativas (Apéndice 2). A cada participante se le hizo entrega del manual de acuaponía generado en el presente proyecto (Apéndice 3).

Se divulgó el proyecto ante las autoridades de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Apéndice 4). Así mismo se hizo entrega del manual de acuaponía a estudiantes y profesores de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Apéndice 5). Dentro de otras actividades de divulgación fue la entrega de manuales al Colegio de Médicos Veterinarios y Zootecnistas de Guatemala y a diversos estudiantes, profesionales y sociedad civil de Guatemala (Apéndice 6 y 7).

En los medios digitales también hubo cobertura del proyecto. Se circuló en la red social *Facebook* cuyo enlace es: <https://www.facebook.com/Instituto-de-Investigaci%C3%B3n-en-Ciencia-Animal-y-Ecosalud-656165867885574/> (Apéndice 8) y en la red científica *ResearchGate.net*: https://www.researchgate.net/publication/328108267_Adaptacion_y_rendimiento_de_plantas_culinarias_de_Guatemala_en_un_sistema_acuaponico_Apuntes_de_investigacion (Apéndice 9).

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados

La supervivencia de las ocho especies de plantas culinarias evaluadas en los sistemas acuapónicos fue diversa (Figura 1). El porcentaje de supervivencia osciló entre 42 y 98 %. Se observó asociación entre la supervivencia y la variedad de planta ($p < .001$). Las especies de plantas con mayor adaptación fueron *Petroselinum sativum*, *Mentha spicata* y *Eryngium foetidum*. La especie con menor adaptación fue *Plectranthus amboinicus*.

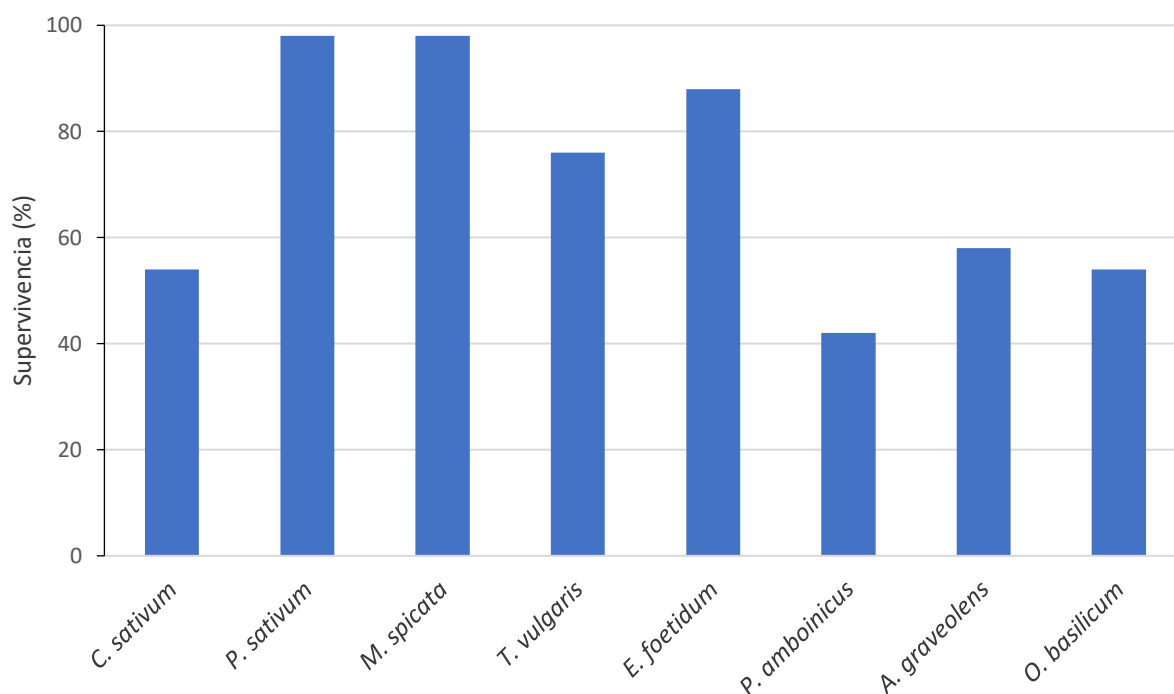


Figura 1. Supervivencia de las ocho especies de plantas culinarias en un sistema acuapónico.

Las ocho especies de plantas culinarias lograron crecer y ganar peso en el sistema acuapónico, sin embargo, no todas en la misma proporción (Tabla 2). Se observó diferencia en el crecimiento según la especie de planta ($p < .001$). Las especies de plantas con mayor crecimiento medio fueron: *Ocimum basilicum* 22.4 (20.5) cm, *Coriandrum sativum* 16.6 (14.0) cm y *Mentha spicata* 15.8(6.9) cm. Se encontró diferencia en la ganancia de peso de las plantas ($p < .001$). Las especies con mayor ganancia de peso medio fueron *Ocimum*

basilicum 37.3 (88.3) g y *Mentha spicata* 23.9 (30.1) g. La especie de menor ganancia de peso medio fue *Anethum graveolens* 1.9 (1.5).

Tabla 2.

Longitud y ganancia de peso medio de las ocho especies de las plantas en un sistema acuapónico, al final del estudio.

Especie	Longitud media <i>M</i> (DE) [cm]	Ganancia de peso medio <i>M</i> (DE) [g]
<i>Coriandrum sativum</i>	16.6 (14.0) ^a	2.6 (3.5) ^c
<i>Petroselinum crispum</i>	14.3 (5.0) ^c	4.9 (5.4) ^e
<i>Mentha spicata</i>	15.8 (6.9) ^c	23.9 (30.1) ^e
<i>Thymus vulgaris</i>	2.8 (3.8) ^g	1.3 (0.8) ^d
<i>Eryngium foetidum</i>	7.1 (6.1) ^d	9.5 (13.8) ^b
<i>Plectranthus amboinicus</i>	12.6 (8.8) ^a	12.6 (8.8) ^d
<i>Anethum graveolens</i>	10.1 (5.5) ^c	1.9 (1.5) ^d
<i>Ocimum basilicum</i>	22.4 (20.5) ^b	37.3 (88.3) ^e

Nota: ^a diferencia estadística con al menos una especie, ^b al menos dos, ^c al menos tres, ^d al menos cuatro, ^e al menos cinco, ^f al menos seis, ^g al menos siete

Las especies con mayores producciones de biomasa fueron: *Mentha spicata* (1168.9) y *Ocimum basilicum* (1006.5) (Figura 2).

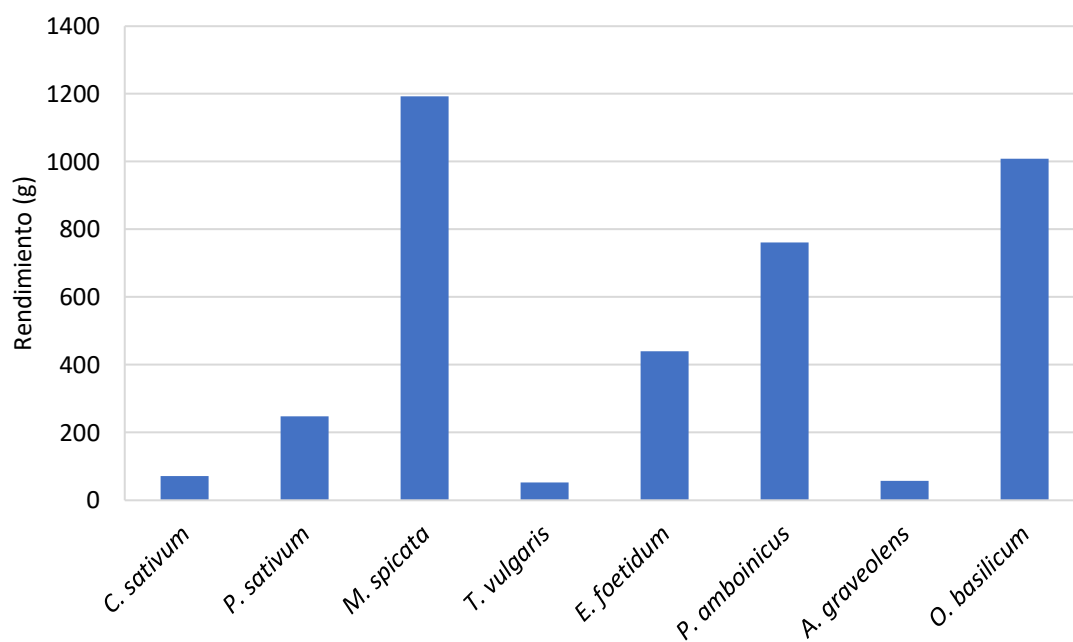


Figura 2. Rendimiento de las ocho especies de plantas culinarias en un sistema acuapónico.

En la tabla 3, se detallan las variables respuesta de las tilapias al final de estudio.

Tabla 3.

Variables respuesta de las tilapias al final del estudio

Variable	<i>M</i> (DE)
N	27.0 (1.9)
Supervivencia (%)	90.0 (6.2)
Talla (cm)	17.3 (2.2)
Peso (g)	106.2 (37.9)
Biomasa por tanque (g)	2866.2 (660.9)

En cuanto a los parámetros registrados en el agua se obtuvo la temperatura media de 24.9 (1.2) °C; el pH medio de 7.8 (0.5), la conductividad eléctrica promedio de 458.1 (309.7) μ S y la media de sólidos disueltos de 232.7 (157.4) ppm.

Dentro de las observaciones de mayor relevancia para el funcionamiento del sistema acuapónico durante el período de evaluación fueron: 1) Utilizar material vegetativo con buen desarrollo radicular para incrementar la probabilidad de adaptación de la planta en el sistema acuapónico, 2) Se observó colocación amarilla (clorosis) en las hojas de las plantas, en las primeras semanas de adaptación, 3) Se observó crecimiento de algas dentro de la tubería y en algunas raíces de las plantas, 4) Con frecuencia es necesario retirar los sólidos o sedimentos retenidos en las esponjas de los biofiltros del sistema acuapónico, 5) No se observó presencia de malezas en las tuberías del sistema acuapónico, 6) Revisar con frecuencia el funcionamiento de las bombas sumergibles presentes en el módulo acuapónico, 7) Revisar los niveles de agua del tanque plástico del módulo acuapónico, y 8) Revisar que no hayan fugas en las uniones de las tuberías del sistema acuapónico.

Se muestran algunos de los procesos y resultados de la producción de plantas culinarias en un sistema acuapónico con tilapia en el Apéndice (10 – 17).

16. Análisis y discusión de resultados

En general, todas las especies de plantas culinarias estudiadas mostraron cierto potencial para adaptarse y crecer en condiciones acuapónicas. Sin embargo, las diferencias observadas en la supervivencia, el crecimiento y la producción de biomasa, revelan factores desconocidos que deben considerarse y discutirse antes de concluir sobre la conveniencia de utilizar estas especies de plantas para producción acuapónica.

Las diferencias en la habilidad de adaptación, crecimiento y producción de biomasa de las plantas en sistemas acuapónicos como las que se presentaron en este estudio, se han reportado previamente (Guerra-Centeno et al., 2016; Valdez-Sandoval et al., 2017; Valdez-Sandoval et al., 2018) y podría atribuirse a múltiples factores conocidos o desconocidos. En este estudio, consideramos que algunos de los factores limitantes en la adaptación y el crecimiento de las plantas fueron el tamaño inicial de la planta, el flujo de agua y la adherencia de algas en las raíces de las plantas.

Se conoce que las inundaciones dificultan el crecimiento y desarrollo de la gran mayoría de plantas vasculares (Jackson & Colmer, 2005). Sin embargo, es posible que algunas especies de plantas puedan sobrevivir en condiciones acuapónicas siempre que haya oxígeno disponible para las raíces de las plantas a través de la circulación del agua (Maucieri et al., 2018). En este estudio, se tuvo la limitante de trasplantar plantas pequeñas y con pocas raíces, lo que se tuvo que utilizar una mecha de cáñamo para conducir el agua por capilaridad. Esto provocó un estancamiento del agua en el sustrato donde estaba la planta y disminuyó en cierta medida la disponibilidad de oxígeno, lo que indujo a que individuos de tomillo, eneldo, oregán, cilantro y perejil no sobrevivieran ni crecieran.

Otro factor observado en este estudio fue la aparente asociación entre la acumulación de algas y sólidos suspendidos en las raíces y el retraso en el crecimiento de la planta. La adherencia de algas o sólidos que se acumularon en el sistema radicular de la planta, podría estar bloqueando la difusión de oxígeno y la absorción de nutrientes (Hu et al., 2015; Roosta & Afsaripoor, 2012). Sin embargo, este posible factor de inhibición del crecimiento debe examinarse más a fondo en condiciones experimentales.

En este estudio, la hierbabuena y la albahaca fueron las únicas especies que mostraron potencial de producción en el sistema acuapónico. Sin embargo, el resto de especies de plantas no deben ser infravaloradas por estos resultados. Muchas de las plantas mostraron un desarrollo radicular retardado durante algunas semanas después del trasplante al módulo acuapónico. Esto podría reducirse al utilizar planta con las raíces bien desarrolladas. El contacto de las raíces desarrolladas con el agua en circulación no solo favorece la absorción de oxígeno, sino que también la absorción de nitrógeno (Hu et al., 2015).

En relación a las tilapias, las tasas de supervivencia y de crecimiento fueron mayores o equivalentes a las obtenidas en estudios previos en condiciones similares. (Bahnasawy, 2009; Mbahinzireki, Dabrowski, Lee, El-Saidy, & Wisner, 2001). Esto confirma la viabilidad de cultivar tilapias en sistemas de recirculación y sistemas acuapónicos (Blidariu & Grozea, 2011).

Finalmente, se necesita realizar más investigación antes de recomendar la incorporación de estas especies evaluadas, hacia los sistemas acuapónicos con fines comerciales. Esto debido a que los rendimientos obtenidos, fueron inferiores a los reportados

para acuaponía (Espinosa-Moya, Alvarez-Gonzalez, Albertos-Alpuche, Guzman-Mendoza, & Martínez-Yáñez, 2018) o cultivados en suelo (Salim, Hassan, & Khalid, 2014).

17. Conclusiones

1. La adaptación de las ocho especies de plantas culinarias estudiadas en el sistema acuapónico fue variable, obteniéndose rangos de supervivencia que oscilaron entre el 42 y 98 %.
2. Las especies de plantas que presentaron mayor adaptación al sistema acuaponico fueron el perejil (*Petroselinum sativum*), la hierbabuena (*Mentha spicata*) y el samat (*Eryngium foetidum*).
3. Las ocho especies de plantas culinarias lograron crecer en el sistema acuapónico, sin embargo, no todas en la misma proporción. Las especies que presentaron mayor crecimiento medio fueron la albahaca (*Ocimum basilicum*) 22.4 (20.5) cm, el cilantro (*Coriandrum sativum*) 16.6 (14.0) cm y la hierbabuena (*Mentha spicata*) 15.8 (6.9) cm.
4. Las especies con mayor ganancia de peso medio fueron la albahaca (*Ocimum basilicum*) 37.3 (88.3) g y la hierbabuena (*Mentha spicata*) 23.9 (30.1) g. Se encontró diferencia en la ganancia de peso de las plantas ($p < .001$).
5. Las especies con mayor producción de biomasa fueron la hierbabuena (*Mentha spicata*) (1168.9 g) y la albahaca (*Ocimum basilicum*) (1006.5 g)
6. La biomasa media de las tilapias por tanque fue de 2,866.2 (660.9).

18. Referencias

- Bahnasawy, M. H. (2009). Effect of dietary protein levels on growth performance and body composition of monosex Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. reared in fertilized tanks. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(5), 674-678.
- Blidariu, F., & Grozea, A. (2011). Increasing the economical efficiency and sustainability of indoor fish farming by means of aquaponics-review. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 44(2), 1-8.
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")*. Manual técnico. Talca: Editorial Universidad de Talca.
- De la Cruz, J. R. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala: Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.
- Diver, S. (2006). *Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture*. Melbourne: Attra. 28.
- Espinosa-Moya, A., Alvarez-Gonzalez, A., Albertos-Alpuche, P., Guzman-Mendoza, R., & Martínez-Yáñez, R. (2018). Growth and development of herbaceous plants in aquaponic systems. *Acta Universitaria*, 28(2), 1-8.
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chávez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9(1).
- Guerra-Centeno, D., Valdez-Sandoval, C., Aquino-Sagastume, E., Díaz, M., & Ríos, L. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(11).
- Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis: *Paleontologia Electronica*, 4(1), 1-9.
- Jackson, M. B., & Colmer, T. D. (2005). Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of Botany*, 96(4), 501-505.

- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74.
- Martínez Moreno, O. (2013). Determinación del efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de goldfish (*Carassius auratus*) en sistemas cerrados de recirculación de agua (Tesis de bachillerato inédita) Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Mbahinzireki, G. B., Dabrowski, K., Lee, K. J., El-Saidy, D., & Wisner, E. R. (2001). Growth, feed utilization and body composition of tilapia (*Oreochromis sp.*) fed cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquaculture Nutrition*, 7(3), 189-200.
- Mateus, J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. *Red hidroponía. Boletín*, 44,7-10.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmutz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1/1012).
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: A review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813-842.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez, D., & Hurtado, H. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish-Lechuga. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 154-170.
- Ruiz, H., Rivas, G., & Gutiérrez, I. (2014). Huertos familiares: agrobiodiversidad y su aporte en la seguridad alimentaria en territorios rurales de Guatemala. *Agroecología*, 9(1y2), 85-88.

- Salim, E. A., El Hassan, G. M., & Khalid, H. E. S. (2014). Effect of spacing and seasonal variation on growth parameters, yield and oil content of mint plants. *Journal of Forest Products & Industries*, 3, 71-74.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (589), I.
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., Díaz, M., & Ríos, L. (2017). Adaptación, crecimiento y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(5).
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., Díaz-Rodríguez, M., & Ríos, L. (2018). Evaluación de la producción integrada de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en un sistema acuapónico NFT. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 19(5).
- Villar, L. (1998). *La flora silvestre de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria.

19. Listado de los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre
Juan Carlos Valdez Sandoval
Dennis Guerra Centeno

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal
Mercedes Del Carmen Díaz Rodríguez	Auxiliar de Investigación I	20170689
Julio Rafael López Barán	Peón por planilla	52129

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval
Coordinador proyecto de Investigación

Ing. Agr. Augusto Saúl Guerra
Programa Universitario de Investigación

Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

20. Apéndice



Apéndice 1. Componentes y funcionamiento de un Módulo Acuapónico NFT en el IICAE: Tanque de agua (1) en cuyo fondo hay una bomba que impulsa el agua a través de una manguera (2) hacia el biofiltro (3); circuitos de tubos PVC (4).



Apéndice 2. Difusión del proyecto acuapónico en la mesa de monitoreo biológico de la Reserva de la Biosfera Maya.



Apéndice 3. Entrega de manuales del proyecto de acuaponía, en la mesa de monitoreo biológico de la Reserva de la Biosfera Maya.



Apéndice 4. Divulgación del proyecto ante autoridades de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Apéndice 5. Entrega de manuales en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la USAC.



Apéndice 6. Divulgación del proyecto a la sociedad civil.



Apéndice 7. Entrega de manuales a estudiantes, profesionales de diversas áreas y sociedad civil de Guatemala.



Apéndice 8. Divulgación del proyecto en la red social Facebook.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/328108267>

Adaptación y rendimiento de plantas culinarias de Guatemala en un sistema acuapónico: Apuntes de investigación.

Book · October 2018

CITATIONS

0

READS

811

3 authors:



Juan Carlos Valdez-Sandoval

University of San Carlos of Guatemala

18 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

SEE PROFILE



Dennis Guerra-Centeno

University of San Carlos of Guatemala

37 PUBLICATIONS 13 CITATIONS

SEE PROFILE



Mercedes Diaz

University of San Carlos of Guatemala

10 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

Apéndice 9. Difusión del manual digital a la comunidad científica. Disponible en *ResearchGate.com*



Apéndice 10. Material vegetal colocado dentro de cubos de Peatfoam ®



Apéndice 11. Colocación de material vegetal en los envases PET.



Apéndice 12. Colocación de los envases PET en el sistema de acuapónico.



Apéndice 13. Planta de albahaca al momento de ser trasplantada en el sistema acuapónico.



Apéndice 14. Planta de hierbabuena en fases intermedias dentro del sistema acuapónico.



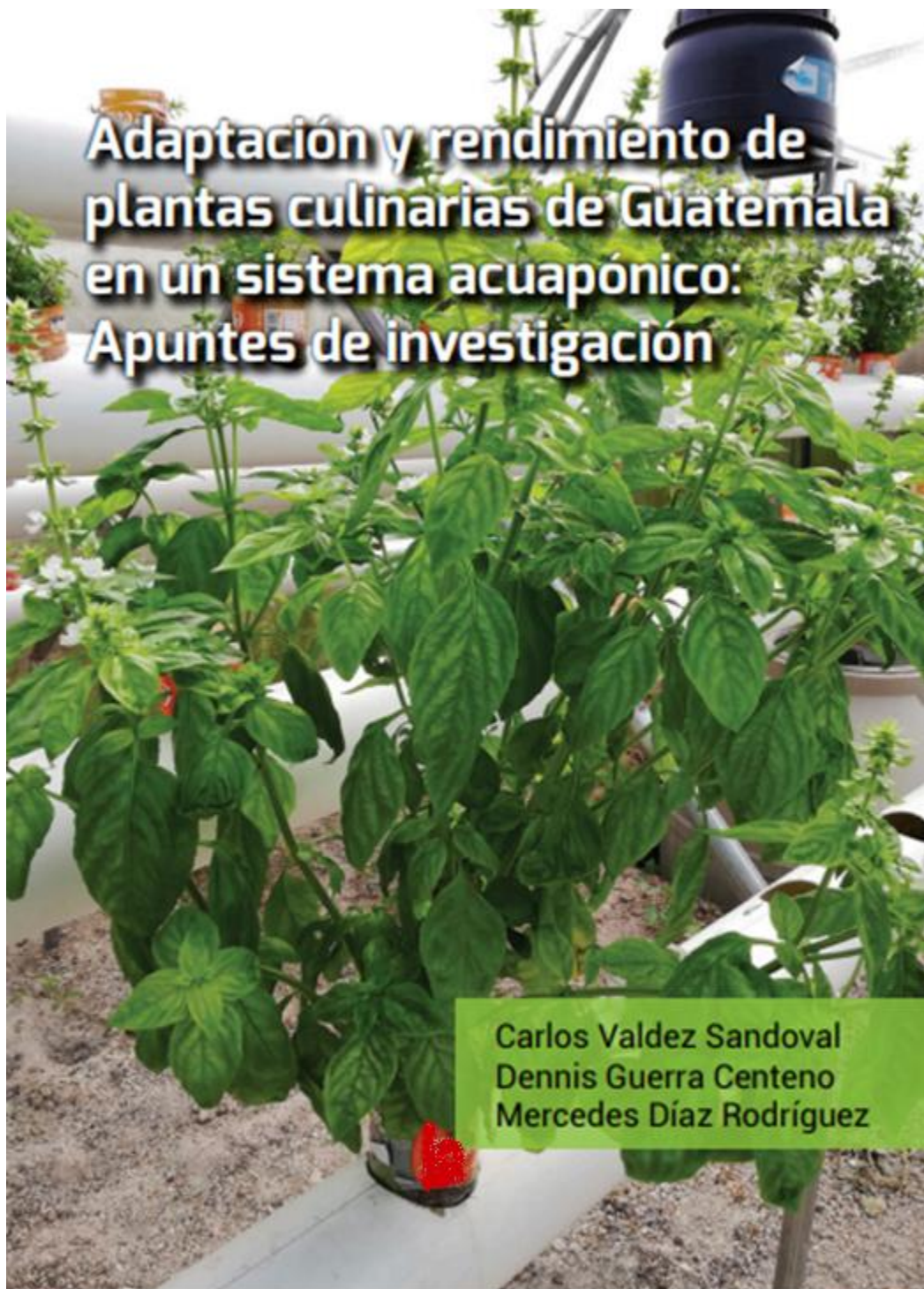
Apéndice 15. Planta de samat en fases intermedias dentro del sistema acuapónico.



Apéndice 16. Planta de hierbabuena dentro del sistema acuapónico, hacia el final del estudio.



Apéndice 17. Planta de albahaca dentro del sistema acuapónico, hacia el final del estudio.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Dirección General
de Investigación**
Universidad de San Carlos de Guatemala



Apéndice 18. Manual generado en este proyecto

Directorio

M.Sc. Murphy Paiz Recinos

Rector

Arq. Carlos Valladares Cerezo

Secretario General

M.Sc. Erwin Calgua Guerra

Director General de Investigación

M. A. Gustavo Enrique Taracena

Decano, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Ph.D. Dennis Guerra Centeno

Director, Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud

Valdez-Sandoval, Carlos; Guerra-Centeno, Dennis; Díaz-Rodríguez, Mercedes.

Adaptación y rendimiento de plantas culinarias de Guatemala en un sistema acuapónico: Apuntes de investigación. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud. Guatemala, 2017. 28 p.

ISBN:

Referencia APA:

Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., & Díaz-Rodríguez, M. (2018). *Adaptación y rendimiento de plantas culinarias de Guatemala en un sistema acuapónico: Apuntes de investigación*. Guatemala: Editorial Serviprensa.

ISBN: 978-9929-772-03-08

2018, Universidad de San Carlos de Guatemala

Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE)

Edificio de Postgrado, Granja Experimental, Facultad de Medicina

Veterinaria y Zootecnia, Ciudad Universitaria, zona 12, 01012.

Teléfono: (502) 24188311

Índice

Tema	Página
Presentación	1
Introducción	2
¿Qué es la acuaponía?	3
<i>Sistema acuapónico</i>	3
<i>Sistema acuapónico NFT</i>	3
<i>Funcionamiento del sistema acuapónico NFT</i>	4
<i>Ventajas de la acuaponía</i>	6
<i>Cultivo de peces</i>	6
<i>Cultivo de plantas</i>	6
La producción acuapónica tradicional	7
Investigación sobre acuaponía con especies nativas de Guatemala	7
El frijol y su importancia cultural y económica	8
La acuaponía con plantas nativas de Guatemala y su potencial contribución a la seguridad alimentaria	9
Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol de Guatemala y tilapias, en el IICAE	10
<i>El proceso de cultivo acuapónico</i>	10
Conclusiones generadas en el proyecto de investigación sobre el cultivo acuapónico de variedades de frijol de Guatemala y tilapias, en IICAE	20
Actividades de extensión del IICAE, en temas de acuaponía	21
Referencias	22

Presentación

En este manual se presentan los datos más importantes generados en el proyecto de investigación “Productividad de ocho especies de plantas culinarias populares en Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica”, cofinanciado por la Dirección General de Investigación (DIGI) y ejecutado por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), a través del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE).

El proyecto, tuvo como objetivos investigar la capacidad de adaptación y el rendimiento de ocho especies de plantas culinarias de uso popular en Guatemala (cilantro, perejil, hierbabuena, tomillo, samat, oreganón, eneldo y albahaca) así como la producción de tilapia en un sistema acuapónico de tipo NFT.

Lo que ha despertado interés en cuanto a la producción acuapónica, es el hecho de que el agua se usa más racionalmente –comparado con la producción agropecuaria tradicional–. En un sistema acuapónico, las plantas no son cultivadas en tierra sino en un flujo de agua nutritiva. El sistema es cerrado e incluye un tanque donde se cultivan los peces o algún otro organismo acuático, un biofiltro y un sistema de tubos o canales por donde circula permanentemente el agua. Los desechos generados por los organismos acuáticos son depurados en el biofiltro y convertidos en nutrientes que son aprovechados por las plantas. De esta forma, se resuelve el problema de la disposición de los desechos de los animales y se aprovechan los nutrientes derivados de estos, para fertilizar las plantas. Sin embargo, no todas las especies de plantas tienen la capacidad de sobrevivir y de producir en estos sistemas de tal manera que se hace necesario evaluar cuáles especies tienen potencial y cuáles no.

La fase práctica de la investigación se realizó en las instalaciones del Módulo de Investigación en Acuaponía, en la Granja Experimental de la FMVZ y se extendió de febrero a agosto del año 2018. Se utilizaron 50 plantas de cada especie (para un total de 400) y alrededor de 150 tilapias distribuidas en cinco módulos. Se midió el porcentaje de sobrevivencia de las plantas y de los peces, así como la cantidad de materia vegetal y animal producida (biomasa de follaje y biomasa de tilapias).

Las especies culinarias más productiva fueron la hierbabuena, seguida por la albahaca. El samat, el oreganón, el perejil, el cilantro, el eneldo y el tomillo mostraron supervivencia y productividad escasas. Las tilapias mostraron niveles de adaptación y producción aceptables, lo cual es concordante con nuestras investigaciones anteriores. Durante la investigación, se observaron algunos aspectos negativos tales como el sobrecrecimiento de algas verdes en las tuberías y en las raíces de las plantas, así como la pobre adaptación de algunas especies al medio acuático. A partir de los hallazgos del

estudio, consideramos que el sistema acuapónico podría ser más eficiente que el cultivo tradicional en tierra solamente para la producción de hierbabuena, albahaca. En el caso del resto de especies evaluadas, es probable que la utilización de otro tipo de material inicial (sustituir material vegetativo por semillas o viceversa) así como el uso de plántulas más grande a la hora del trasplante, puedan generar resultados diferentes a los observados. La incorporación de otros organismos al sistema (tales como caracoles o crustáceos) y algunas modificaciones de manejo también podrían contribuir a mejorar la productividad de un sistema donde se cultiven las especies evaluadas.

Introducción

La acuaponía es un novedoso sistema que permite la producción de plantas y animales acuáticos al mismo tiempo. La importancia de este sistema radica en el hecho de que se reutiliza el agua, se aprovecha el espacio vertical y se reciclan los desechos producidos por los animales acuáticos.

Desde el punto de vista social, la acuaponía se presenta como una alternativa interesante para la producción de vegetales y animales a pequeña o gran escala. En un sistema acuapónico el agua está circulando entre un tanque y un circuito de tubos. En el tanque se cultivan los animales y en el circuito de tubos las plantas. Dado que es un sistema cerrado, la producción es más ecológica pues se reutiliza el agua y se aprovechan los desechos. Adicionalmente, la acuaponía producir alimentos en áreas donde suelo o el agua son escasos.

Aunque los sistemas de producción acuapónica son cada vez más populares (Rakocy, Masser & Losordo, 2006), estos se han enfocado en unas pocas especies vegetales como la lechuga, la espinaca y el tomate (Diver, 2006). Se han producido algunos avances en la investigación del potencial de algunas plantas navitas de Guatemala en condiciones acuapónicas, sin embargo, aún hace falta mucha investigación por realizar.

El Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, generó una primera investigación sobre el cultivo acuapónico de chipilines, macuy, amaranto, bleado, apazote, güicoy y ayote en combinación con tilapia nilótica. En una segunda investigación se estudió la producción acuapónica de ocho variedades de chile y en una tercera la producción de ocho variedades de frijol (ambas con tilapia nilótica). En este manual, se presentan las experiencias derivadas de una cuarta investigación en la que se evaluó la producción de ocho especies de plantas culinarias de uso popular en Guatemala (cilantro, perejil, hierbabuena, tomillo, samat, oreganón, eneldo y albahaca) en un sistema acuapónico con tilapia nilótica, así como una descripción gráfica de todas las fases del proceso de producción acuapónica.

¿Qué es la acuaponía?

La palabra acuaponía, viene de la unión entre acuacultura (cultivo de peces y otros organismos acuáticos) y de la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo), es decir, un sistema integrado que logra una rápida producción rápida de animales acuáticos y plantas (Pattillo, 2017; Ramírez et al., 2019). La acuaponía se basa en el principio de recirculación del agua y con ello se logra un mayor aprovechamiento de este recurso a la vez que se reduce su contaminación (Martínez-Moreno, 2013). Esta fusión entre la acuacultura y la hidroponía permite entonces producir alimentos animales y vegetales usando la misma agua, aprovechando más eficientemente el espacio y reciclando los desechos.

Sistema acuapónico

Un sistema acuapónico, es el conjunto de elementos estructurales que permite la producción de plantas y animales acuáticos de forma simultánea (Pattillo, 2017).

Sistema acuapónico NFT (Nutrient Film Technique)

El sistema NFT, es un tipo de acuaponía en el que las raíces de las plantas son alimentadas por un flujo de agua que circula a través de tuberías PVC (Pattillo, 2017). Las partes de este sistema son: un tanque con agua para la producción de los animales acuáticos (generalmente se usa un tinaco o depósito para agua potable), una bomba que conduce el agua hacia un biofiltro (que retiene las partículas sólidas y transforma las sustancias tóxicas del agua circulante) que se continúa con un circuito de tubos donde se ubican las plantas y a través de los cuales circula el agua hasta regresar al tinaco en un proceso de movimiento permanente (Figura 1).

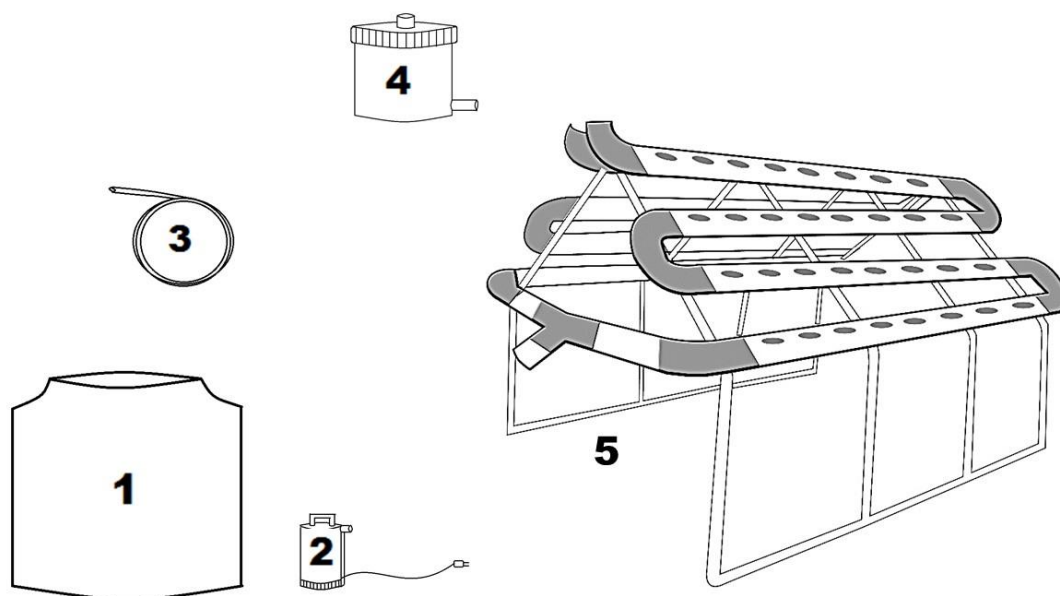


Figura 1. Elementos de un sistema acuapónico NFT. (1) Tanque para cultivo de organismos acuáticos; (2) Bomba para impulsar el agua a través de los componentes del sistema; (3) Manguera para conducir el agua del tanque al biofiltro; (4) Biofiltro para filtrar los sólidos y tratar los desechos de los peces; (5) Circuito de tubos PVC para sostener las plantas.

Funcionamiento del sistema acuapónico NFT

En el Módulo de Investigación en Acuaponía del IICAE, los sistemas NFT funcionan de la siguiente forma: En un tanque tipo tinaco, de 750 litros de capacidad, se siembran entre 25 y 30 tilapias. Desde este tanque, una bomba sumergible de 1.5 caballos de fuerza impulsa el agua hacia un biofiltro, donde una esponja filtra los sólidos y una población de bacterias que se han establecido en un estrato de *biobolas* transforman el amoníaco en nitritos y en nitratos. Desde el biofiltro, el agua sale por gravedad hacia una estructura formada por tubos PVC de 4 pulgadas arreglados en zig-zag y en forma piramidal. En estos tubos, se han hecho perforaciones circulares donde se insertan las plantas en bases de botellas recicladas o en pequeñas canastas plásticas. El agua circula a través de los tubos –llevando los nutrientes a las plantas– y regresa al tanque donde se reinicia el proceso de circulación (Figura 2). Como es un sistema cerrado, el aprovechamiento del agua es máximo y la pérdida es mínima.



Figura 2. Componentes y funcionamiento de un Módulo Acuapónico NFT en el IICA: Contenedor de agua (1) en cuyo fondo hay una bomba que impulsa el agua a través de una manguera (2) hacia el biofiltro (3); circuitos de tubos PVC (4).

Ventajas de la acuaponía

- Se necesita menos terreno para producir
- Se usa menos agua
- El crecimiento de las plantas es acelerado
- Se puede producir durante todo el año en ambientes controlados
- El rendimiento es similar o superior al del cultivo hidropónico
- No se necesita preparar soluciones nutritivas
- Los peces suelen mantenerse más sanos que en la acuicultura tradicional
- No se contamina el ambiente con los residuos de los peces, ya que estos sirven de nutrientes para las plantas
- Se obtienen ingresos tanto por las plantas como por los peces
- Mejor precio de mercado de los vegetales acuapónicos.

Adaptación de las plantas a la vida sin tierra:

Dado que las plantas han evolucionado para la vida en tierra, no todas las especies son capaces de adaptarse a la vida acuática o semiacuática. A pesar de eso, se ha demostrado que algunas especies de plantas tienen la capacidad de sobrevivir en un medio acuático toda vez este provea oxigenación y nutrición a las raíces. La lechuga, es quizá la especie más cultivada en sistemas acuapónicos a nivel mundial (Bosma et al., 2017) y eso se debe a su capacidad de adaptación a las condiciones acuáticas y a las bajas demandas de este vegetal.

Investigación sobre acuaponía con especies de plantas nativas de Guatemala

Existe muy poca información publicada sobre la producción de especies vegetales nativas de Guatemala en sistemas acuapónicos. En el IICAE hemos desarrollado investigación sobre las posibilidades y potencialidades de cultivo de macuy (*Solanum nigrescens*), bledo (*Amaranthus cruentus*) amaranto (*Amaranthus sp.*), apazote (*Dysphania ambrosioides*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*), chipilín montés (*Crotalaria vitelina*), ayote (*Cucurbita argyrosperma*), güicoy (*Cucurbita pepo*) (Guerra-Centeno et al., 2016), chile morrón (*Capsicum annum*), chile guaque (*Capsicum annum*), chile chocolate (*Capsicum annum*), chile cobanero (*Capsicum annum*), chile serrano (*Capsicum annum*), chile diete de perro (*Capsicum frutescens*), chile chiltepe (*Capsicum annum*) chile de caballo (*Capsicum pubescens*) (Valdez-Sandoval et al., 2017) y ocho variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Valdez-Sandoval et al., 2018).

Las investigaciones se han centrado en aquellas plantas autóctonas de Guatemala que tienen importancia cultural y económica. En la investigación de 2015 se evaluaron especies que producen hojas comestibles, en el 2016 se evaluaron variedades de chile y en el 2017 se evaluaron variedades de frijol producidas por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).

Las plantas culinarias de importancia cultural en Guatemala

En la investigación del IICAE del presente año, se han escogido variedades de plantas utilizadas en la culinaria de Guatemala, siendo estas, el cilantro (*Coriandrum sativum*), el perejil (*Petroselinum sativum*), la hierbabuena (*Mentha spicata*), el tomillo (*Thymus vulgaris*), el samat (*Eryngium foetidum*), el oreganón (*Plectranthus amboinicus*), el eneldo (*Anethum graveolens*) y la albahaca (*Ocimum basilicum*).

En la gastronomía de Guatemala, el cilantro es utilizado en salsas y en caldos, el perejil es utilizado para condimentar salsas y para saborizar platillos como las tostadas, la hierbabuena y el tomillo se usan para condimentar chirmoles y salsas, el samat es el ingrediente que saboriza el kak ik, el oreganón se usa para sazonar caldos y guisos y la albahaca para condimentar salsas, ensaladas, sopas y pizza.

La acuaponía, cambio climático y seguridad alimentaria.

El cambio climático amenaza la producción agrícola y la disponibilidad de agua y de suelo en muchos lugares de la superficie del planeta y Guatemala se encuentra entre los países más vulnerables a este fenómeno climático (Castellanos & Guerra, 2009). La producción del sistema maíz-frijol, se vería afectada por el cambio climático en la región centroamericana (Eitzinger et al., 2013).

La acuaponía es una alternativa que podría ser viable para producir alimentos en ambientes donde el agua o el suelo son escasos y para aprovechar los desechos de los animales acuáticos como fertilizantes para las plantas (Mateus, 2009). Este sistema, es prometedor porque muchas de las especies de plantas evaluadas en Guatemala parecen adaptarse bastante bien al medio acuático circulante. Además de reducir al mínimo el consumo de agua, algunos modelos acuapónicos aprovechan el espacio vertical, generando rendimientos mayores comparados con el cultivo tradicional en tierra. Los pequeños productores podrían beneficiarse por el hecho de producir plantas y proteína animal para autoconsumo y para la venta, utilizando eficientemente el recurso agua y el espacio. El mercado de algunas especies de hortalizas como la albahaca, está aumentando aceleradamente en Guatemala. Las plantas acuapónicas son además productos orgánicos que podrían ser vendidos a un precio preferencial en los mercados de las ciudades.

Experiencias en la investigación de producción acuapónica con plantas culinarias de Guatemala y tilapias, en el IICAE

El proceso de cultivo acuapónico

El primer paso para producir vegetales y animales acuáticos en un módulo NFT, es la obtención del material vegetal y de las tilapias. El material vegetal, en el IICAE, se obtiene a partir de la germinación de semillas (figura 3) o a partir de material vegetativo (esquejes, hojas, raíces, etc.).



Figura 3. Plántulas de hierbabuena y samat y propágulos de tomillo.

Cuando las plántulas o los propágulos han desarrollado la raíz inicial, estos se encuentran aptos para ser trasladados al sistema acuapónico (figura 4).



Figura 4. Propágulos de hierbabuena.

El material vegetal es colocado dentro de cubos de PeatFoam® –aunque puede usarse otro sustrato como musgo, esponja o papel– y se coloca una mecha de cáñamo para permitir que el agua llegue hasta la pequeña raíz de la planta (figura 5.).



Figura 5. Plántulas, cáñamo y cubos de PeatFoam® para ser usados en el trasplante.

Se practica una hendidura en cada cubo de PeatFoam® y se coloca la plántula dentro del cubo. Luego, se coloca el pedazo de cáñamo que favorecerá la absorción de agua mientras la raíz crece y alcanza un tamaño suficiente para entrar en contacto pleno con el agua (figura 6.).

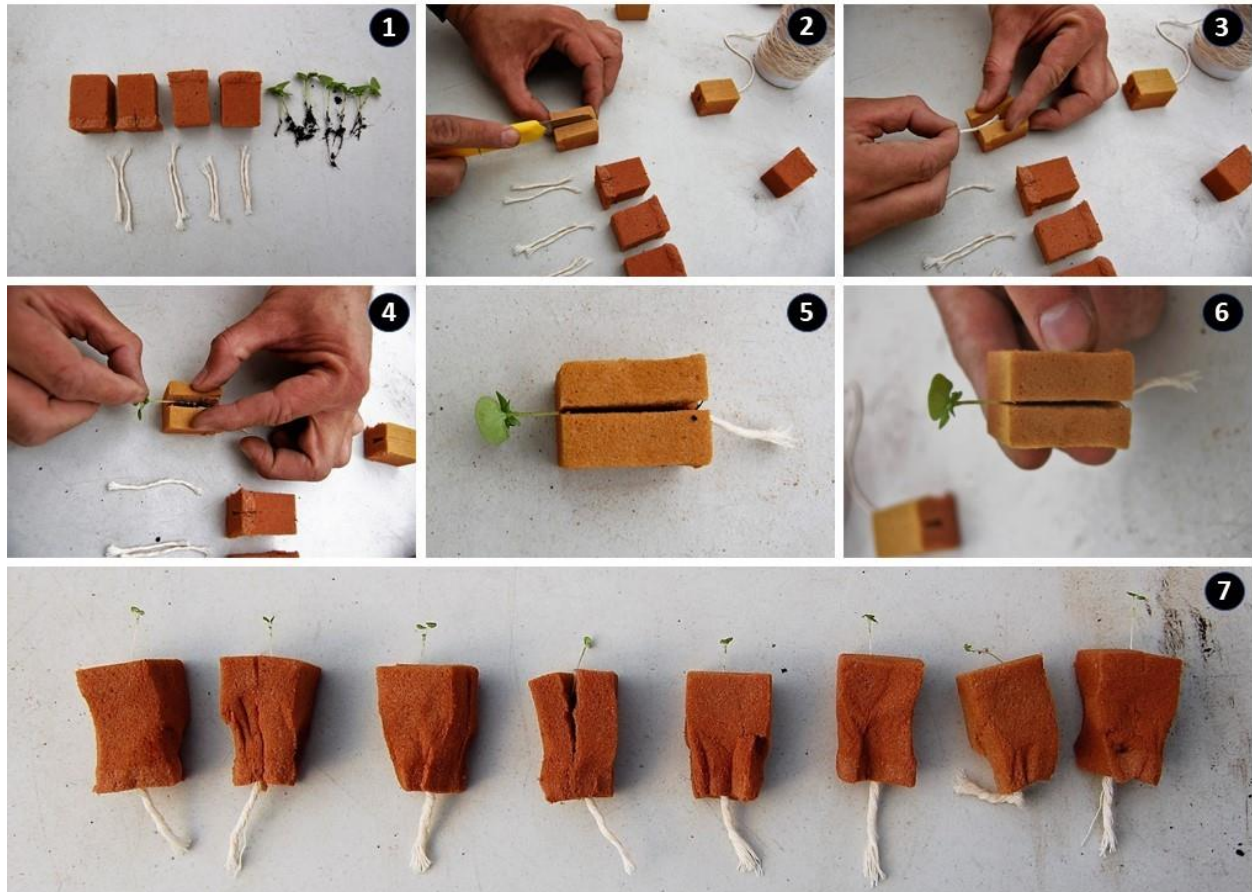


Figura 6. 1-7: Secuencia de corte de cubos de PeatFoam® y colocación de las plántulas y el cáñamo para trasplante al sistema acuapónico NFT.

Los cubitos de Peat Foam® con la plántula en su interior, son colocados en el fondo de un recipiente, generalmente plástico –en el IICAE se reciclan los envases de bebidas gaseosas–. Posteriormente se coloca grava volcánica alrededor de la plántula para brindarle mayor soporte y para proveer algunos minerales beneficiosos para el crecimiento de las plantas. Aplicada la grava volcánica, se introducen los envases en los agujeros de los tubos del sistema NFT (fig 7.). Los envases reciclados de bebidas gaseosas podrían reemplazarse por canastas para hidroponía o por recipientes fabricados con bambú o con algún otro material natural biodegradable (como las jícaras).

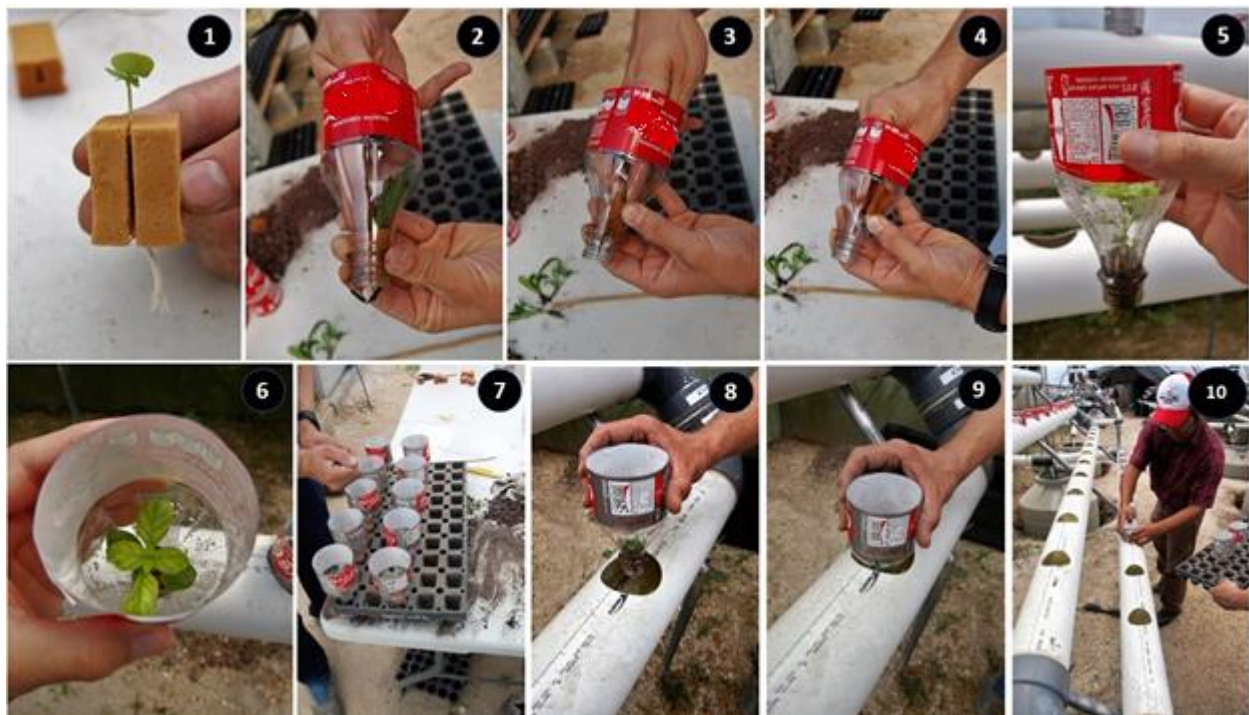


Figura 7. 1-10: Secuencia de colocación de las plántulas en contenedores plásticos reciclados para el trasplante al sistema acuapónico NFT.

Para completar el sistema acuapónico, además de las plantas se siembran 25 a 30 tilapias de 3 a 6 cm de largo por tinaco (fig 8.). Es importante mencionar que se pueden utilizar otras especies de peces, como carpas y peces dorados, y se pueden agregar otros organismos como caracoles o crustáceos.

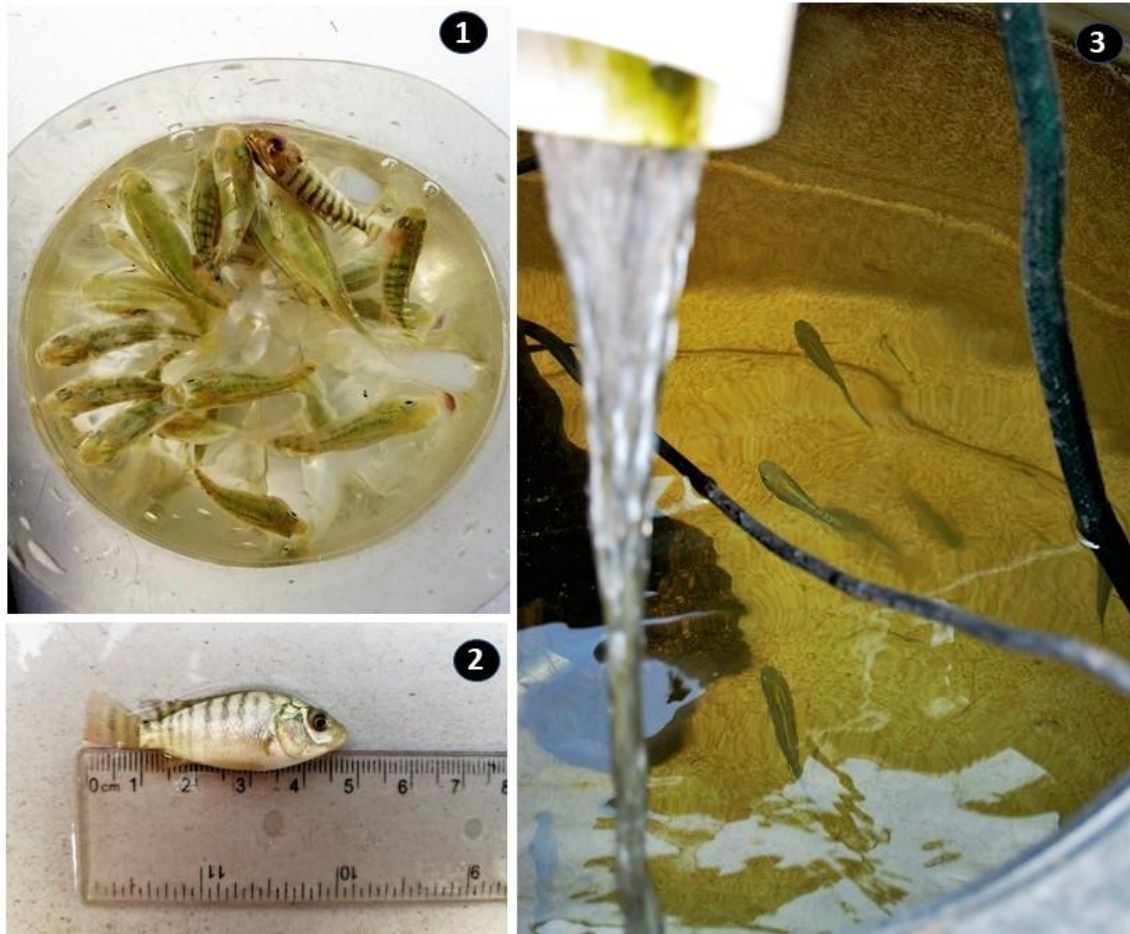


Figura 8. (1) tilapias para siembra en el sistema acuapónico NFT; (2) talla media de las tilapias al momento de la siembra; (3) tilapias en el tinaco del sistema acuapónico NFT.

Mediciones

Dado que nos encontramos en fase de investigación, en el IICA E, se realizan mediciones de los organismos, del agua y de las condiciones ambientales al inicio durante y al final del proceso de producción (fig 9).

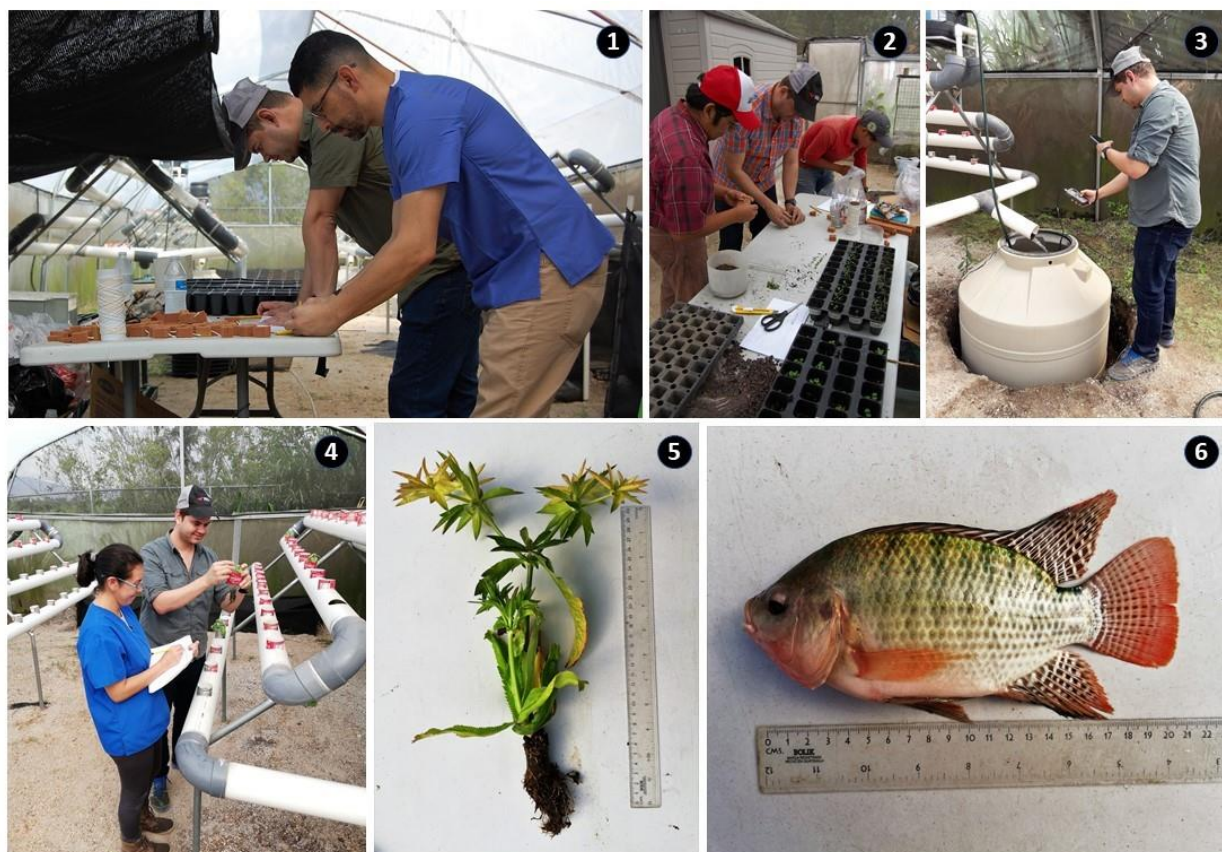


Figura 9. (1) medición de material vegetal previo al trasplante; (2) medición de tilapias antes de la siembra; (3) medición de parámetros del agua en el depósito de agua del sistema acuapónico NFT; (4) medición de las plantas en los tubos del sistema acuapónico NFT; (5) medición final de una planta de samat; (6) medición final de una tilapia.

En el caso de un productor, sería conveniente realizar mediciones de las plantas y de los animales (peso y tamaño) al inicio y al final del ciclo de producción a fin de determinar los crecimientos y analizar la conveniencia de la producción.

Cuidados durante el proceso de crecimiento de las plantas y los peces

Después del trasplante de las plántulas y de la siembra de las tilapias en los módulos acuapónicos, las actividades de rutina consisten en alimentar a las tilapias, verificar el funcionamiento de las bombas y las tuberías, controlar fugas en los sistemas y monitorizar el crecimiento de las plantas y de las tilapias y registrar cualquier evento importante durante el proceso. Es importante notar que durante las fases iniciales, las tilapias no generan suficientes desechos por lo que podría ser recomendable aplicar soluciones nutritivas al agua. Estas soluciones pueden adquirirse en el INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá).

En las figuras 10 a 24, se muestran aspectos del crecimiento de las ocho especies de plantas culinarias en los sistemas acuapónicos del IICAE durante la investigación del 2018.



Figura 10. Aspecto de una planta de cilantro en fases intermedias del estudio.



Figura 11. Aspecto de plantas de hierbabuena en fases intermedias del estudio.



Figura 12. Aspecto de una planta de albahaca en fases intermedias del estudio.



Figura 13. Planta de tomillo. Nótese el bajo crecimiento.



Figura 14. Aspecto de una planta de eneldo en fases intermedias del estudio. Esta especie mostró bajos rendimientos en condiciones acuapónicas.



Figura 15. Aspecto de una planta de perejil en fases intermedias del estudio. Esta especie tuvo un rendimiento medio en condiciones acuapónicas.



Figura 16. Aspecto de una planta de samat en fases intermedias del estudio.



Figura 17. Aspecto de plantas de hierbabuena a las 10 semanas.



Figura 18. Aspecto de plantas de hierbabuena, oreganón y albahaca.



Figura 19. Aspecto de plantas de samat.



Figura 20. Aspecto de una planta de hierbabuena hacia el final del estudio.



Figura 21. Aspecto de una planta de albahaca hacia el final del estudio.



Figura 22. Aspecto de una planta de cilantro hacia el final del estudio.



Figura 23. Aspecto de una planta de oreganón hacia el final del estudio.



Figura 24. Diferencias de crecimiento de plantas de hierbabuena en un sistema acuapónico. Este comportamiento se observó en todas las especies estudiadas.

Conclusiones generadas en el proyecto de investigación sobre el cultivo acuapónico de plantas culinarias de Guatemala y tilapias, en IICA, en 2018.

- En general, mostraron una buena adaptación al sistema acuapónico NFT, la hierbabuena, el perejil, el samat.
- El porcentaje de supervivencia, en general, osciló entre 42 y 98%, dependiendo de la especie.
- Las especies con mayor rendimiento fueron la hierbabuena y la albahaca.
- Las especies que alcanzaron mayor porte fueron la albahaca y el cilantro.
- Las tilapias un peso promedio de 106 gramos a las 10 semanas de estudio.

Referencias

- Bosma, R. H., Lacambra, L., Landstra, Y., Perini, C., Poulie, J., Schwaner, M. J., & Yin, Y. (2017). The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering*.
- Castellanos, E., & Guerra, A. (2009). El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala. New York: United Nations Development Programme.
- Diver, S. (2000). Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. *Attra*.
- Eitzinger, A., Schmidt, A., Sain, G., Sonder, K., Hicks, P., Nowak, A., ... & Rodriguez, B. (2013). Tortillas en el Comal: Los sistemas de maíz y frijol de América Central y el cambio climático.
- Guerra-Centeno, D., Valdez-Sandoval, C., Aquino-Sagastume, E., Diaz, M., & Ríos, L. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *REDVET* 17(11), 1-13.
- Mateus, J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. En: Red hidroponía. Boletín No. 44 (2009); p 7-10.
- Pattillo, D. A. (2017). An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture. SRAC publication, 454, 1-16.
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., Díaz, M., & Ríos, L. (2017). Adaptación, crecimiento y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica. *REDVET*, 18(5), 1-11.
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., Díaz-Rodríguez, M., & Ríos, L. (2018). Evaluación de la producción integrada de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en un sistema acuapónico NFT. *REDVET*, 19(5), 1-12.