

Guatemala, 19 de noviembre del 2015

M.Sc. Gerardo L. Arroyo C.
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala



Maestro Arroyo:

Adjunto a la presente el informe final "Hacia la seguridad alimentaria para los campesinos pobres de Guatemala. Evaluación de la producción de alimento en un sistema acuapónico de tilapias y plantas autóctonas de Guatemala" (partida presupuestal 4.8.63.7.36), coordinado por el PhD. Dennis Guerra Centeno y avalado por el Instituto de Investigación en Ciencia Animal de la Facultad de la Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado de acuerdo a la guía de presentación de la Dirección General de Investigación y revisado su contenido en función de los objetivos planteados y productos esperados por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

"Id y enseñad a todos"



PhD. Dennis Guerra Centeno
Director

Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud



M.Sc. Carlos Enrique Saavedra
Decano

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia





Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición

INFORME FINAL

Hacia la seguridad alimentaria para los campesinos pobres de Guatemala:
Evaluación de la producción de alimento en un sistema acuapónico de tilapias y
plantas autóctonas de Guatemala.

Equipo de investigación

Nombre del coordinador:
Nombre de Investigador(a)

PhD. Dennis Guerra Centeno
Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval
M.V. (c) Edvin Eduardo Aquino
Julio López Barán

Noviembre de 2015

Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud.
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Wildlife Conservation Society – Programa Guatemala.

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán
Director General de Investigación

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

Inga. Liuba Cabrera
Coordinadora del Programa Universitario de Investigación en Alimentación y Nutrición

PhD. Dennis Guerra Centeno
Coordinador del proyecto.

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval
Investigador

M.V. (c) Edvin Eduardo Aquino
Epesista de la Escuela de Veterinaria, USAC.

Julio López Barán
Operario de campo

Partida Presupuestaria
4.8.63.7.36
Año de ejecución: 2015.

ÍNDICE

1. Resumen	6
2. Abstract.....	7
3. Introducción.....	8
3.1. Planteamiento del problema	8
3.2 Definición del problema	9
3.3. Justificación.....	9
3.4 Objetivos.....	12
3.5 Hipótesis.....	13
4. Marco teórico y estado del arte.....	14
5. Materiales y métodos.....	16
5.1 Descripción y delimitación en tiempo y espacio	16
5.2 Período de la investigación.....	19
5.3 Tipo de investigación	19
5.4 Técnicas e instrumentos	19
5.5 Muestreo	19
5.6 Operacionalización de las variables	20
5.7 Análisis estadístico	21
6. Resultados.....	22
7. Análisis y discusión de los resultados	29
8. Conclusiones.....	33
9. Referencias	35
10. Apéndice.....	37

Índice de ilustraciones

Figuras

Figura 1. Supervivencia de las ocho variedades de plantas en módulos acuapónicos	22
Figura 2. Curva de crecimiento de las ocho variedades de plantas en módulos acuapónicos.....	23
Figura 3. Rendimiento de las ocho variedades de plantas en módulos acuapónicos.	24
Figura 4. Peso final medio de los peces.....	25
Figura 5. Talla final media de los peces	26

Cuadros

Cuadro 1. Variables medidas en el estudio.....	20
Cuadro 2. Variables respuesta de los peces al final del estudio	25
Cuadro 3. Matriz de resultados obtenidos en el estudio	28

**Hacia la seguridad alimentaria para los campesinos pobres de Guatemala:
Evaluación de la producción de alimento en un sistema acuapónico de tilapias y
plantas autóctonas de Guatemala.**

1. Resumen

Se determinó la adaptación y rendimiento de ocho variedades de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. Se utilizaron siete módulos acuapónicos, con capacidad de 80 plantas y 25 organismos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Se incluyeron en el estudio, plantas de apazote (*Dysphania ambrosioides*), macuy (*Solanum nigrescens*), amarantos (*Amaranthus sp*), bledo (*A. cruentus*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*), chipilín montés (*C. vitellina*) ayote (*Cucurbita argyrosperma*) y güicoy (*C. pepo*). El periodo de evaluación fue de 60 días. Se registró la supervivencia (S), tamaño (T), peso (P) y biomasa o rendimiento (B) de las plantas y los peces al inicio y al final del periodo experimental. Se observó adaptación de siete de las ocho especies de plantas autóctonas, a los módulos acuapónicos experimentales. La variedad de planta con mayor crecimiento fue el ayote, seguida del macuy y el güicoy. Se observaron diferencias en la altura ($p=0.00001$) y el rendimiento ($p=0.00001$) de las variedades de las plantas. La biomasa de tilapia por tanque fue $\bar{x} = 730g \pm 75.2$.

Palabras clave: Plantas nativas de Guatemala, seguridad alimentaria, sistemas de recirculación de agua, técnica de película de nutrientes (NFT), acuicultura.

2. Abstract

The adaptation and production of eight varieties of native plants to Guatemala to an aquaponics system was determined. Seven Aquaponics modules with capacity to grow 80 plants and 25 tilapia (*Oreochromis niloticus*) organisms were used. Plants of Apazote (*Dysphania ambrosioides*), Macuy (*Solanum nigrenses*), Amaranto (*Amaranthus sp.*) Bledo (*A. cruentus*), Chipilin (*Crotalaria longirostrata*), Chipilín de Monte (*C vitellina*), Ayote (*Cucurbita argyrosperma*) and Guicoy (*C. pepo*) were located randomly in the modules and evaluated. The evaluation period was 60 days. Survival (S), size (T), weight (P) and biomass (B) of plants and fish at the start and end of the experimental period were recorded. Seven of the eight varieties of plants adapted to the experimental modules showing survival rates between 83% and 100%. *Cucurbita argyrosperma* showed the highest growth, followed by *S. nigrenscens* and *C. pepo*. Differences in size ($p < 0.00001$) and weight ($p < 0.00001$) of plant varieties were observed. Tilapia biomass per tank was $730g \pm 75.2$.

Keywords: Native plants to Guatemala, water recirculation systems, nutrient film technique (NFT), aquaculture.

3. Introducción

3.1. Planteamiento del problema

3.1.1. Descripción del problema

El nivel de pobreza en Guatemala se encuentra alrededor de 50% (Banco de Guatemala, 2013). Eso significa que más o menos la mitad de los guatemaltecos, lejos de pensar en cómo producir, están pensando en cómo sobrevivir. La falta de ideas, la falta de asistencia y el escaso acceso a los recursos, son factores importantes que contribuyen a esta penosa realidad.

Cuando se habla de pobreza también se habla de hambre, de desnutrición y de inseguridad alimentaria. Los programas de asistencia social basados en la entrega de alimentos, no solventan de manera sostenible el problema de la inseguridad alimentaria. Es necesario generar modelos sostenibles de producción de alimentos que puedan ser aplicados a la realidad del campo guatemalteco.

La calidad de vida del campesino pobre guatemalteco puede mejorar si logramos generar alternativas de producción de alimentos que sean coherentes con la realidad del contexto nacional. Las plantas nativas de Guatemala son importantes recursos alimenticios de uso tradicional y cultural que pueden ser mejor aprovechados si encontramos los modelos idóneos para hacerlo. La acuaponía, que es la combinación de la hidroponía y la acuicultura, se presenta como una opción para producir plantas nativas y peces a nivel doméstico.

En relación al uso de las plantas nativas de Guatemala, Molina-Cruz, et al. Manifiestan:

“Resulta contradictorio que plantas nativas como la chaya, el bledo, el chipilín, la hierbamora y la calabaza, sean producidas y comercializadas a menor escala que las plantas no nativas como la espinaca, la lechuga y la acelga, las cuales, son menos nutritivas” (1997).

3.2. Definición del problema

El propósito de la presente investigación es seleccionar ocho materiales vegetales autóctonos de Guatemala y evaluar, en primera instancia, si es factible cultivarlas en un sistema de acuapónico con tilapias y, de ser factible, medir qué tanto alimento se puede producir (en términos del rendimiento de las plantas y los peces).

Las preguntas de investigación serían por lo tanto:

¿Es factible cultivar plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias? De ser factible, ¿Cuál sería el rendimiento de cada especie de planta evaluada? ¿Qué tanta biomasa de tilapias se produciría en combinación con las plantas? ¿Cuál será la mortalidad de las plantas y de los peces durante el periodo de evaluación? ¿Cuáles serían las características del sistema (agua, etc.) a lo largo del periodo de evaluación? ¿Cuáles son los problemas más frecuentes durante el proceso de producción de plantas en dicho sistema?

3.3 Justificación

Los sistemas acuapónicos –que son la combinación de la hidroponía y la acuicultura- podrían ser la respuesta para el problema de la inseguridad alimentaria en el área rural de Guatemala. A diferencia de las políticas de asistencia social basadas en la entrega de alimentos, el uso de sistemas acuapónicos fomenta la producción y la autosostenibilidad. Los módulos acuapónicos utilizan eficientemente el espacio y el agua, generando más alimentos por unidad de superficie. Su funcionamiento es relativamente simple y la energía que los acciona puede ser de origen hidroeléctrico, solar o eólico. Por sus características de funcionamiento, los modelos acuapónicos podrían contribuir de manera directa a alcanzar el primer objetivo de desarrollo del milenio: erradicar la pobreza extrema y el hambre (United Nations, 2008).

Los sistemas acuapónicos son ecológicos y sostenibles en tanto reciclan el agua y establecen una relación entre las plantas y los peces. Cuando se echa a andar el sistema, se puede aprovechar el agua de lluvia o de alguna otra fuente. Cuando está funcionando el sistema, el agua circula en un circuito cerrado reduciendo la pérdida al mínimo y evitando la necesidad de reabastecimiento. El hecho de que se reutilice la misma agua hace que los sistemas acuapónicos sean ideales para lugares como el corredor seco, donde el acceso a este recurso es limitado.

Los sistemas acuapónicos generan recursos alimenticios complementarios. Los peces proporcionan proteína de alto valor biológico y las plantas aportan vitaminas, minerales, fibra y otros nutrientes importantes para la salud. Esta combinación de alimentos animales y vegetales podría cubrir una buena parte de los requerimientos nutricionales de comunitarios pobres de áreas vulnerables de Guatemala.

El uso de plantas nativas de Guatemala en un sistema acuapónico, podría favorecer la aceptación cultural de estos nuevos modelos de producción. La dieta del campesino guatemalteco está basada en maíz y en diversos recursos autóctonos como frijol, ayote, chipilín, chaya, quilete, bledo, amaranto, chile, güisquil, loroco y otros. Hasta donde entendemos, no se han realizado estudios científicos sobre la adaptación y productividad de plantas nativas importantes en la cultura guatemalteca y la información publicada sobre este tema en medios indexados es prácticamente inexistente.

La promoción de módulos acuapónicos utilizando recursos nativos de Guatemala, contribuiría significativamente a la soberanía alimentaria del país. El uso de material vegetal local reduce la amenaza de la pérdida de los valiosos recursos genéticos adaptados a nuestras condiciones climáticas y ecológicas. La dedicación del nuestro espacio a la producción de alimentos autóctonos, reduce la introducción de materiales alóctonos y la posibilidad de que se ponga en riesgo nuestra independencia alimentaria.

Los sistemas acuapónicos pueden favorecer la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer comunitaria (Espinosa, 2005). En la cultura rural guatemalteca, la mujer suele

hacerse cargo del cuidado de la casa y de las labores domésticas mientras el hombre sale a trabajar la tierra o a ofrecer servicios laborales. Manejando un sistema acuapónico con plantas nativas, la mujer tendría acceso a recursos alimenticios y económicos que le permitan mejorar su calidad de vida y la de su familia.

La investigación de la productividad de alimentos cuando se combinan plantas nativas de Guatemala y peces en un sistema ecológico, sería un paso importante en el camino hacia la seguridad alimentaria para los campesinos pobres cuyo acceso a la tierra es limitado y que viven en lugares donde el agua es escasa. Si descubrimos que es factible el aprovechamiento de especies culturalmente importantes, en sistemas acuapónicos, el siguiente paso lógico sería el fomento de la implementación en el campo y la búsqueda de materiales de bajo costo para la construcción de los sistemas. El escenario final sería el del campesino (principalmente la mujer) produciendo vegetales y proteína animal en su microparcela o en terrenos de uso comunitario, mejorando su calidad de vida y aportando a la seguridad y soberanía alimentarias del país.

3.4 Objetivos

3.4.1. General

- 3.4.1.1. Estudiar la capacidad de un sistema acuapónico con plantas autóctonas de Guatemala para producir alimento vegetal y animal.

3.4.2. Específicos

- 3.4.2.1. Evaluar la supervivencia de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.
- 3.4.2.2. Determinar el rendimiento de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.
- 3.4.2.3. Comparar los rendimientos de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias durante el periodo de investigación.
- 3.4.2.4. Describir las condiciones del sistema durante el periodo de evaluación.

3.5 Hipótesis

- 3.5.1 Hipótesis de trabajo: Es posible cultivar algunas plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias.
- 3.5.2 Hipótesis estadísticas:
 - 3.5.2.1 No hay efecto de la especie de planta sobre el rendimiento en biomasa al final del periodo de evaluación.
 - 3.5.2.2 No existe asociación entre la especie de planta autóctona y la capacidad de supervivencia en el sistema acuapónico.

4. Marco teórico y estado del arte

La seguridad alimentaria es cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, económico y social a suficientes alimentos inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades alimentarias para desarrollar una vida activa y sana. En caso contrario puede existir la inseguridad alimentaria debido a la falta de disponibilidad de alimentos, el insuficiente poder adquisitivo, o a un uso inadecuado de los alimentos a nivel familiar (Alocén et al. 2012).

La producción de alimentos representada por las actividades agropecuarias e industriales, utiliza la gran mayoría del recurso agua, el cual cada día se hace menos disponible (Aguilera-Morales et al. 2012). En el sector agrícola de Guatemala, la mayor parte del riego es por inundación y en menores proporciones los sistemas de mini-riego y riego por goteo. Se estima un consumo de 2,200 millones de metros cúbicos anuales en riego (Herrera, 2005).

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos donde hay interacción del cultivo de peces y plantas (Ramírez, Sabogal, Gómez, Rodríguez, & Hurtado, 2009). La acuaponía se basa en el principio de recirculación de agua, siendo sistemas de producción cerrados donde constantemente se filtra y recicla el agua. Con ello se logra un mayor aprovechamiento del recurso hídrico y una mínima contaminación del mismo (Ebeling, et al., 1995). 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 Guatemala, debido a que se puede producir alimento de una forma sostenible.

La acuaponía es una alternativa para solucionar el problema de los acuicultores para deshacerse del agua cargada de nitrógeno y, asimismo, contribuir a la solución del problema de los agricultores de cómo conseguir el nitrógeno para sus plantas (Mateus, 2009). Este sistema acuapónico, se presenta como una forma eficaz para reducir el impacto

ambiental, además de ser otra alternativa para generar ingresos para los pequeños productores de las comunidades rurales guatemaltecas.

La mayoría de los sistemas hidropónicos se encuentran bajo invernadero, con el fin de controlar la temperatura, reducir la pérdida de agua por evaporación, controlar las infestaciones de plagas y enfermedades y proteger a los cultivos de elementos del ambiente, como el viento y la lluvia (Herrera, 1999).

Sistema NFT acuapónico

El sistema acuapónico consta de elementos como: tanque de peces u organismos acuáticos, filtro de sólidos, biofiltro, camas o tubos de crecimiento de plantas, sistema de bombeo de agua y sistemas de aireación. El sistema de recirculación de solución nutritiva (NFT – Nutrient Film Technique) consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva. Por lo tanto, se trata de un sistema de tipo cerrado. Las plantas se encuentran por lo regular suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte. Así mismo, es necesario proporcionar una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva (Carrasco & Izquierdo, 1996).

Ventajas de la acuaponía

Mateus (2009), manifiesta que dentro de las ventajas que proporciona un sistema acuapónico están: 1) El rendimiento es similar o superior al del cultivo hidropónico. 2) No se necesita preparar soluciones nutritivas. 3) Los peces son más saludables que en la acuicultura tradicional. 4) No se contamina con residuos, ya que estos sirven de nutrientes para las plantas y 5) Se obtienen ingresos tanto por las plantas como por los peces.

Cultivo de los peces

En los sistemas acuapónicos se ha utilizado diversas especies de peces. Sin embargo, la mayor parte de pescado acuapónico del mercado es la tilapia (*Oreochromis niloticus*) (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 (Haro, R., & Elizabeth, C., 2011) . Por lo tanto, la tilapia es una especie con la que se puede iniciar un sistema acuapónico, debido a sus características y condiciones para su cultivo, además de su aceptación y demanda en el mercado guatemalteco.

Cultivo de las plantas

La selección de especies vegetales adaptadas a los cultivos hidropónicos está directamente relacionada con la densidad de población en los tanques de peces y la concentración de nutrientes de los efluentes acuícolas. En otros países, a nivel experimental han cultivado alrededor de 30 tipos de vegetales. Dentro de los más comunes se encuentra la lechuga, la espinaca, las cebolletas y la albahaca. 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, los tomates y los pepinos, tienen una mayor demanda nutricional por lo que requieren de sistemas acuapónicos más complejos (Gutiérrez, 2012).

No existen estudios publicados en medios arbitrados indexados acerca del uso de sistemas acuapónicos para la producción de plantas autóctonas (nativas) de Guatemala de importancia cultural. Existe por lo tanto, un vacío de conocimiento que, como universidad estatal, estamos llamados a superar.

Plantas nativas de Guatemala

Las plantas nativas son una opción alimenticia para las comunidades rurales debido a sus propiedades nutritivas y a su resistencia a plagas. Villar (1998) ha descrito las plantas nativas de Guatemala que tienen importancia como fuentes de alimento, condimentos o recursos de la etnomedicina. Las plantas autóctonas forman parte de la cultura del guatemalteco y por lo tanto, tiene mucho sentido utilizarlas en proyectos de acuaponía dirigidos a solventar el problema del hambre y la soberanía alimentaria.

5. Materiales y métodos

5.1 Descripción y delimitación en tiempo y espacio de la propuesta

El estudio se realizó en el Módulo de Investigación en Acuaponía del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud, en las instalaciones de la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), en la Ciudad de Guatemala. La zona de vida según de la Cruz (1982) corresponde a bosque húmedo subtropical templado. La temperatura media es de 18.5°C, la humedad relativa media de 78 %, la precipitación pluvial anual de 1200 mm y la elevación de 1473 msnm.

Invernadero

Se utilizó un invernadero tipo túnel con dimensiones de 6.50 x 30 metros el cual albergó los módulos acuapónicos utilizados en el estudio.

Módulos Acuapónicos

El sistema acuapónico constó de un tanque plástico de cultivo con capacidad de 750 litros (200 galones). Una bomba sumergible hizo circular el agua en un sistema cerrado. Un filtro biológico filtró algunos de los sedimentos presente en el agua o efluente. En cada módulo experimental NFT, se utilizó 8 tubos de PVC rígido, de 3 metros de largo y 4 pulgadas de diámetro. En cada circuito de tubos se perforó 80 orificios de 6 cm de diámetro a una distancia de 30 entre orificios. El efluente del estanque de cultivo de tilapias fue conducido hacia un biofiltro y de este hasta el circuito de tubos por medio de una manguera plástica. El filtro se situó en una posición superior, para verter el agua por gravedad. Para asegurar el paso del agua dentro del circuito de tubos y hacia el estanque de peces, se dispuso de un arreglo de tándem en zig-zag con pendiente de 1 a 3% del tubo uno al cuatro. A través del circuito de tubos, circuló el agua en una película fina de 1 a 4 mm de altura que contuvo los nutrientes para que pudieran ser absorbidos por las raíces de las plantas. Se construyeron 7 módulos acuapónicos y un módulo hidropónico.

Control hidropónico

Se estableció un control hidropónico en un módulo de similares características pero sin biofiltro y sin peces. En este módulo se colocaron 10 plantas de cada variedad, para un total de 80. De la misma forma que en el caso de los módulos acuapónicos, se registró la supervivencia y el crecimiento de las plantas.

Selección de las plantas autóctonas de Guatemala

Las ocho especies de plantas nativas seleccionadas para este estudio fueron: apazote (*Dysphania ambrosioides*), macuy (*Solanum nigrescens*), amaranto (*Amaranthus sp.*) bledo (*A. cruentus*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*), chipilín de monte (*C. vitellina*), ayote (*Cucurbita argyrosperma*) y guicoy (*C. pepo*). Estas especies seleccionadas son utilizadas como alimentos o condimentos en la cultura guatemalteca (Villar, 1998).

Germinación de las semillas

Para la germinación de las semillas de plantas nativas, se utilizaron: 1. bandejas de polietileno con 300 cavidades y 2. tabloncillos de tierra con materia orgánica. Se realizó la siembra de cada semilla dentro de las cavidades, se procedió a humedecer el sustrato y se cubrió con un plástico de polietileno de color negro. Las plantas se regaron diariamente con agua hasta llegar a la fase del trasplante.

Selección y trasplante de plantas nativas

Se seleccionaron 80 plantas de cada especie, que se encontraran en buena condición y un tamaño homogéneo. Posteriormente se trasplantaron a recipientes plásticos y se introdujeron en las cavidades de los tubos del sistema acuapónico NFT, para evaluar su adaptación y crecimiento.

Siembra y cultivo de peces

Se obtuvieron 200 peces de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), de la Acuícola María Linda, ubicada en el municipio de Escuintla. Se dio una semana de adaptación, para luego colocar aleatoriamente 25 organismos en cada uno de los siete módulos acuapónicos. Las tilapias se alimentaron con Purina Tilapina® L2 con un nivel de proteína de 45%. Se

muestrearon cada 15 días para ajustar la ración de alimento (10% de la biomasa total por día).

5.2 Período de la investigación

La investigación se desarrolló entre febrero y octubre de 2015.

5.3 Tipo de investigación

El estudio del comportamiento de las plantas en el sistema acuapónico, se abordó mediante investigación descriptiva y la evaluación del rendimiento y a la comparación y contraste entre especies de planta mediante investigación experimental. Los alcances son descriptivos.

5.4 Técnicas e instrumentos

Las técnicas de captura de datos fueron la observación (para variables de plantas y peces). La altura de las plantas se midió con una regla milimetrada al inicio y final del estudio. Para los peces se diseñó un registro para la talla y peso al inicio y final del periodo de evaluación. Para determinar el peso se utilizó una iBalance 700®.

En el agua se realizaron mediciones de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Temperatura (°C) y Total de Sólidos Disueltos (TSD). Para el efecto, se utilizó un medidor multiparamétrico Hanna®.

5.5 Muestreo

No procede.

5.6 Operacionalización de las variables

Cuadro 1. Variables medidas en el estudio.

Tipo de variable	Dimensional (si procede)	Forma de análisis
Altura inicial planta (cuantitativa continua)	Milímetros	Regla milimetrada. Medición desde la base del tallo al meristemo apical o al punto más distal. Análisis descriptivo.
Altura final planta (cuantitativa continua)	Milímetros	Regla milimetrada. Medición desde la base del tallo al meristemo apical o al punto más distal. Análisis descriptivo.
Peso inicial planta (cuantitativa continua)	Gramos	Peso del organismo vegetal al inicio del estudio. Análisis descriptivo.
Peso final planta (cuantitativa continua)	Gramos	Peso del organismo vegetal al final del estudio. Análisis descriptivo.
Supervivencia de especies de planta (cuantitativa continua)	Porcentaje	Número de organismos vivos de la iésima especie al final del estudio / número de organismos de la misma especie al inicio * 100. Análisis descriptivo. Chi cuadrada.
Biomasa o rendimiento de las plantas (cuantitativa continua)	Kg	Sumatoria de pesos finales de los individuos por especie de planta. Análisis descriptivo, ANOVA.
Peso inicial peces (cuantitativa continua)	Gramos	Peso corporal al inicio de siembra de los peces. Análisis descriptivo.
Peso final peces (cuantitativa continua)	Gramos	Peso de los peces al final del período de estudio. Análisis descriptivo.
Talla inicial peces (cuantitativa continua)	Cm	Longitud corporal (boca-cola) al inicio de la siembra. Análisis descriptivo.
Talla final peces (cuantitativa continua)	Cm	Longitud corporal (boca-cola) al final del período de estudio. Análisis

		descriptivo.
Supervivencia de las tilapias (cuantitativa continua)	Porcentaje	Número de organismos vivos al final del estudio / número de organismos iniciales * 100. Análisis descriptivo. Chi cuadrada.
Biomasa de los peces (cuantitativa continua)	Kg	Peso total final de los peces por módulo. Análisis descriptivo.

5.7 Análisis estadístico

Para describir el comportamiento del sistema (supervivencia, crecimiento y rendimiento) se utilizó estadística descriptiva. Para comparar el crecimiento entre especies de planta se utilizó un análisis de varianza de una vía. Para determinar si la supervivencia de las plantas en el sistema acuapónico dependía de la especie, se utilizó una tabla de contingencia de Chi cuadrada. La estadística descriptiva y los análisis correlacionales fueron ejecutados mediante el programa Past 3.04 (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

6. Resultados

6.1. Supervivencia de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.

Siete de las ocho variedades de plantas evaluadas se adaptaron a los módulos acuapónicos (Figura 1). El porcentaje de supervivencia de las plantas osciló entre 80 y 100%, a excepción del caso del chipilín *Crotalaria longirostrata* que fue menor a 35%. Se observó asociación entre la supervivencia y la variedad de planta ($\chi^2 = 22,47$, $gl = 7$, $p = 0.00210$).

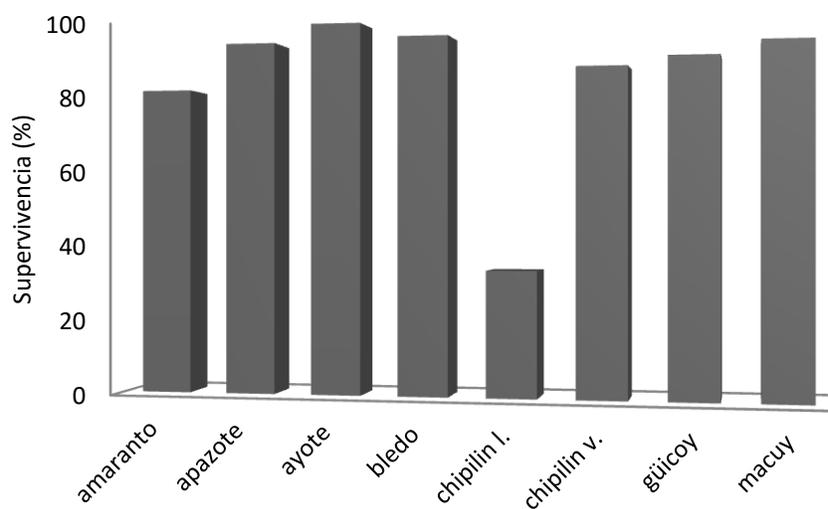


Figura 1. Supervivencia de las ocho variedades de plantas en los módulos acuapónicos, durante el periodo de estudio.

6.2. Altura de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.

Se registró crecimiento de siete (87%) de las ocho variedades de plantas autóctonas cultivadas en los módulos acuapónicos. La variedad de planta con mayor crecimiento fue el ayote $\bar{X} = 177.1 \text{ cm} \pm 73.6 \text{ cm}$, seguida de la planta de macuy $\bar{X} = 49.84 \text{ cm} \pm 13.6 \text{ cm}$ y la planta de güicoy $\bar{X} = 43.37 \text{ cm} \pm 10.35 \text{ cm}$. Se observó diferencias en la altura de las variedades de plantas ($F = 29.36$, $gl = 7, 55$, $p = 0.00001$). En la figura 2 se muestra la curva de crecimiento de las ocho variedades de plantas cultivadas en módulos acuapónico.

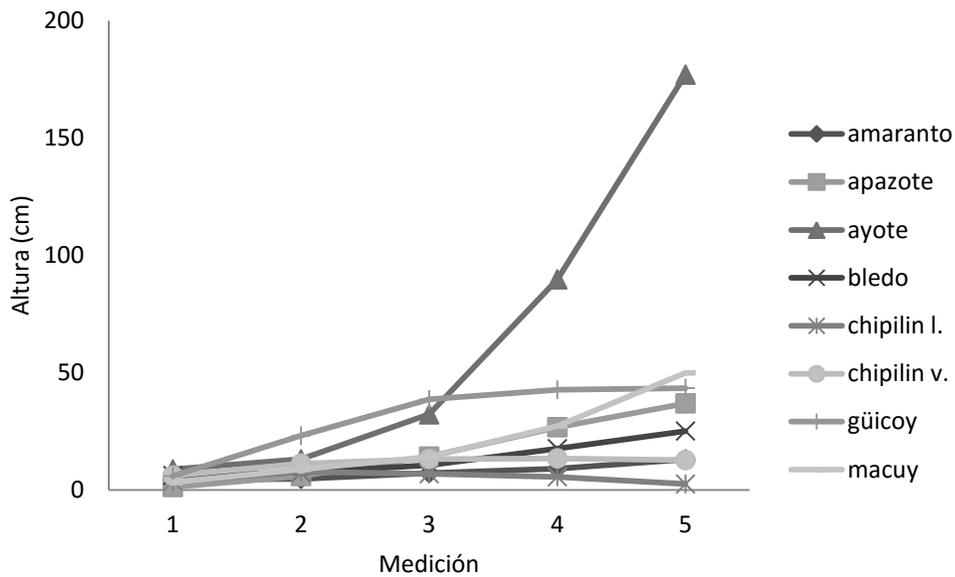


Figura 2. Curva de crecimiento de las ocho variedades de plantas en los módulos acuapónicos, desde el inicio hasta el final del estudio.

6.3. Rendimiento de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.

Las plantas con mayor rendimiento de follaje y tallo fueron el ayote $\bar{X} = 2119.2 \text{ cm} \pm 1044.1 \text{ cm}$, seguido por el macuy $\bar{X} = 643 \text{ cm} \pm 234.9 \text{ cm}$ y la planta de bledo $\bar{X} = 185.5 \text{ cm} \pm 194.0 \text{ cm}$ (Figura 3). Se observaron diferencias en el rendimiento entre las variedades de plantas autóctonas ($F = 21.62$, $gl = 7$, 55 , $p = 0.00001$).

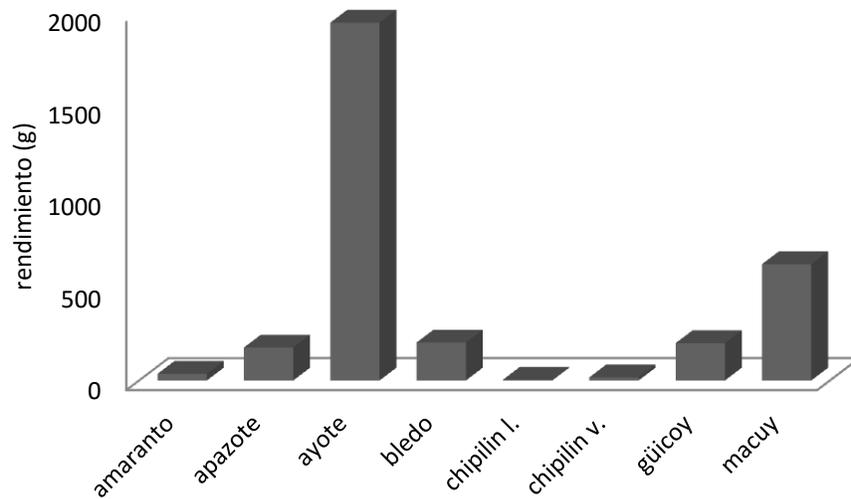


Figura 3. Rendimiento de las ocho variedades de plantas en los módulos acuapónicos, al final del estudio.

6.4. Variables respuesta de los peces

En el cuadro 2, se muestra la respuesta obtenida por los peces al final del estudio.

Cuadro 2.

Variables respuesta de los peces al final del estudio.

Variable	Tanque							\bar{x}
	1	2	3	4	5	6	7	
N	14	18	21	15	15	18	22	17.8 ±03.1
Supervivencia (%)	56	72	84	60	60	72	88	70.3 ±12.4
Peso final medio (g)	44.1	43.8	39.4	51.9	44.2	38.4	33.8	42.2 ±2.16
Talla final media (cm)	12.6	12.6	12.0	12.9	12.2	12.0	11.3	12.2 ±0.53
Biomasa final (g)	618	788	827	779	663	691	744	725.7 ±80.3

No se observó efecto del bloque (módulo), sobre la supervivencia de las tilapias ($\chi^2 = 7.62$, $gl = 6$, $p = 0.2672$) ni se observaron diferencias en el peso final de los peces ($F = 1.26$, $gl = 6$, 122 , $p = 0.2815$) entre los 7 módulos (figura 4). Tampoco se observaron diferencias en la talla final de los peces ($F = 1.163$, $gl = 6$, 122 , $p = 0.3309$) (figura 5).

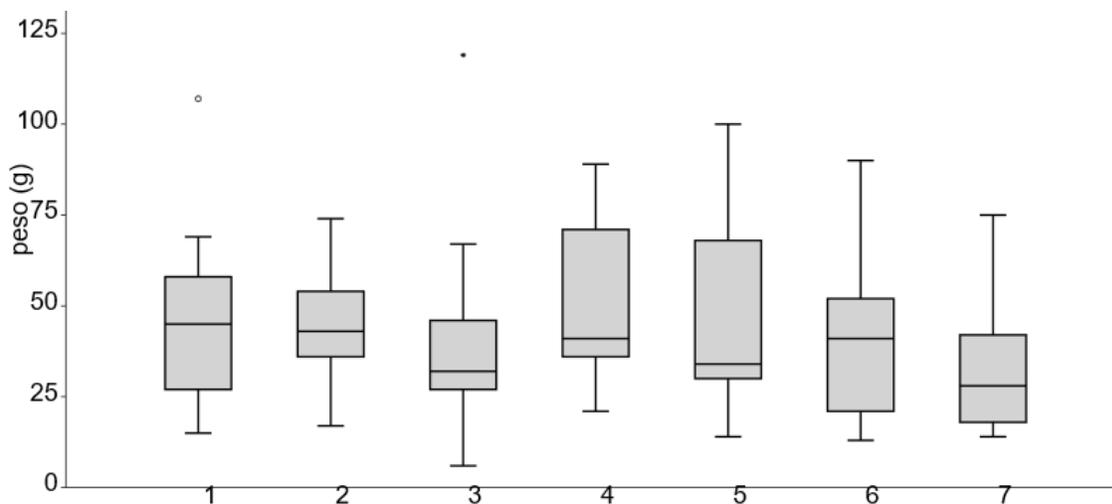


Figura 4. Peso final medio de los peces.

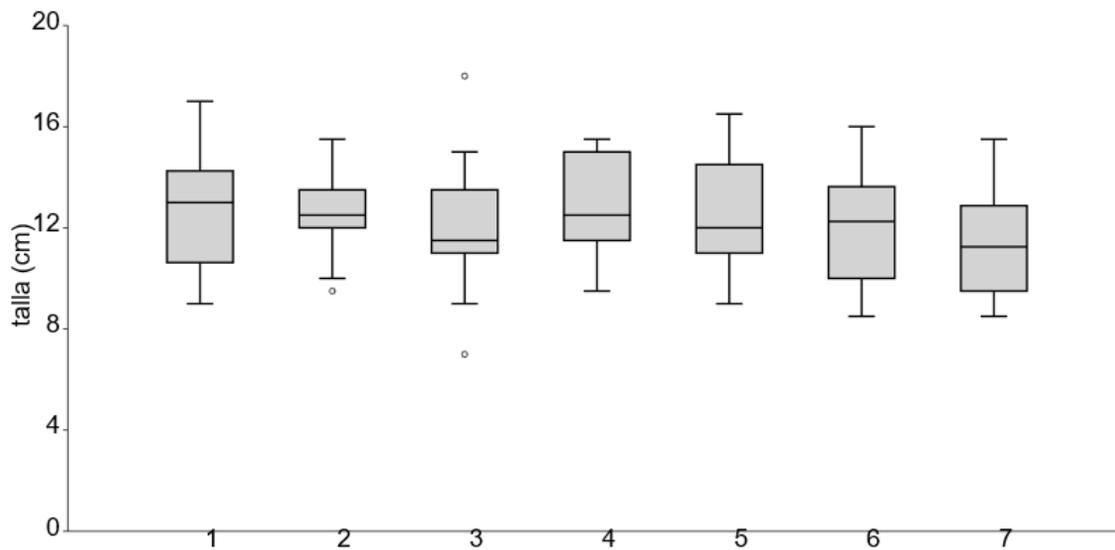


Figura 5. Talla final media de los peces.

6.5 Parámetros del agua

Los valores medios obtenidos en el agua de los tanques con tilapia fue de pH 6.7 ± 0.15 , temperatura $23.7 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, conductividad eléctrica $995.8 \pm 12.8\mu\text{S}/\text{cm}$ y total de sólidos disueltos $507.7 \pm 34.13\text{ppm}$

6.6 Descripción de las condiciones del sistema.

Las observaciones de mayor relevancia en el funcionamiento del sistema acuapónico fueron:

1. Los módulos acuapónicos soportaron el peso del agua circulante y de las 80 plantas desde el inicio hasta el final del estudio.
2. El biofiltro utilizado tuvo la capacidad de filtrar la totalidad de los desechos de los peces, logrando en el agua una baja turbidez.
3. Las raíces de las plantas no obstruyeron el flujo de agua desde el inicio hasta el final de estudio.
4. La distancia de siembra entre plantas fue suficiente para el crecimiento y desarrollo de las plantas. A excepción del ayote que generó cierto problema por su hábito de crecimiento rastrero.
5. La esponja (peat foam) que envolvió la raíz de las plantas al momento del trasplante, logró proteger la raíz, mantener la humedad y así evitar el estrés de la planta.
6. El sustrato (arena volcánica) utilizado logró dar soporte a las plantas.
7. En el circuito de tubería de PVC de los sistemas acuapónicos se observó bajo crecimiento de algas.
8. El invernadero logró aislar de plagas e insectos que pudieran afectar a las plantas.
9. Los envases plásticos reciclados lograron mantener dentro de los sistemas acuapónicos a las plantas de alto porte como el macuy, el ayote, entre otros.
10. Los peces lograron niveles aceptables de adaptación a los tanques circulares plásticos utilizados en el presente estudio.

6.7 Matriz de Resultado

Cuadro 3. Matriz de resultados obtenidos en el estudio.

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado obtenido
Evaluar la supervivencia de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.	Porcentaje de supervivencia de ocho especies de plantas y tilapias en un sistema acuapónico.	Adaptación o supervivencia de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala y tilapias en un sistema acuapónico NFT.
Determinar el rendimiento de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.	Rendimiento de ocho especies de plantas y tilapias en un sistema acuapónico.	Curva de crecimiento y biomasa final de ocho especies de plantas y tilapias en un sistema acuapónico.
Comparar los rendimientos de ocho especies de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias durante el periodo de investigación.	Comparación de los rendimientos entre ocho especies de plantas autóctonas en un sistema acuapónico con tilapias.	Contrastación de rendimientos de cada una de las ocho plantas autóctonas en un sistema acuapónico con tilapias.
Describir las condiciones del sistema durante el periodo de evaluación.	Comportamiento del sistema acuapónico.	Listado con detalles del comportamiento o funcionamiento de los módulos acuapónicos.

6.8 Impacto esperado

Debido a la aceptación del proyecto en acuapónica manifestado por diversas entidades, esperamos se logró impactar positivamente en los temas de combate del hambre, seguridad alimentaria, soberanía alimentaria, desnutrición, calidad de vida y desarrollo sostenible.

Se determinó que si se puede producir alimento a partir del aprovechamiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias que recicla el agua y que utiliza recursos culturalmente importantes.

En los próximos meses, se generará conjuntamente con la Dirección General de Investigación un documento donde se aborden los pormenores de la producción de alimentos con un sistema acuapónico con plantas autóctonas de Guatemala y tilapias.

Se trabajó conjunto con nuestra entidad socia Wildlife Conservation Society (WCS) la organización de talleres para divulgación de los resultados de la investigación en tres comunidades de la Reserva de la Biósfera Maya (El Capulinar, El Caoba y El Porvenir). Estas comunidades fueron seleccionadas por tener características de pobreza y limitado acceso al agua. Esto es una pequeña muestra de la aceptación y aplicación de los resultados de nuestra investigación, que podrán ser utilizados por comunidades rurales de todo el país.

El conocimiento generado se socializó en los ámbitos técnico y académico a nivel nacional. A nivel institucional se beneficiará al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, y a diversas instituciones y onegés que trabajan en los temas de hambre, desnutrición, seguridad alimentaria y soberanía alimentaria. Finalmente, la producción de recursos alimenticios producidos de manera sostenible en las parcelas de los campesinos, podrán indirectamente disminuir la presión de explotación sobre los ecosistemas naturales.

7. Análisis y discusión de los resultados

La adaptación de siete de las ocho variedades de plantas evaluadas en el presente estudio es un hecho relevante. Esto, porque son plantas con alto valor cultural, nutricional y comercial (Paredes et al., 2015; Villar, 1997). Además nos da la pauta de usar este modelo de producción como una alternativa para la conservación y producción de la diversidad de plantas presentes en nuestro medio. Actualmente, los sistemas tradicionales son cada vez menos productivos, debido a su exposición a los cambios climáticos, plagas y enfermedades que pueden propiciar la muerte de las plantas. En contraposición, los modelos acuapónicos permiten limitar ciertos factores que pueden ser adversos para las plantas y los peces. En tal sentido, se presenta esta opción a los productores con la finalidad de que pueden combinar en modelos acuapónico el cultivo de plantas autóctonas y tilapias.

En general, la adaptación de los materiales evaluados a las condiciones de supervivencia en ausencia de un sustrato de tierra fue buena. Siete de las ocho variedades evaluadas mostraron tasas de supervivencia por arriba del 85%. Estudios similares han reportado 95% de adaptación de la planta arúgula (*Eruca vesicaria*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (Ronzón-Ortega, Hernández-Vergara, & Pérez-Rostro, 2015). Sin embargo, no todos los materiales vegetales son capaces de adaptarse a las condiciones de acuaponía, tal fue el caso del chipilín en el presente estudio y del cilantro (*Coriandrym sativum*) en otra investigación (Ronzón-Ortega et al., 2015).

La planta con mejores características en cuanto a supervivencia, crecimiento y rendimiento fue el ayote. Esta planta logró no solamente el 100% de supervivencia sino que su crecimiento y rendimiento fueron tres veces mayor a las de las otras variedades de plantas estudiadas. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que no todas las plantas incluidas en este estudio, tienen los mismos hábitos de crecimiento y esto puede afectar su adaptación al sistema NFT. Las plantas de crecimiento erguido pueden ser sostenidas por los tubos del sistema NFT hasta cierto punto, después del cual el tallo se quiebra o la planta entera cae por gravedad. El ayote es una planta cuyo hábito rastrero posibilita el crecimiento hacia el

suelo donde está colocado el sistema acuapónico. (Rodríguez-Amaya, Montes-Hernández, Rangel-Lucio, Mendoza-Elos & Latournerie-Moreno, 2009).

Los hábitos rastreros no es un factor suficiente, sin embargo, para garantizar la productividad de los materiales vegetales en el sistema NFT. El güicoy –otra cucurbitácea– por ejemplo, no alcanzó los niveles de crecimiento que alcanzó el ayote en la presente investigación. Entonces, se trata de una combinación de vitalidad, adaptación radicular a las condiciones acuáticas, capacidad de crecimiento y resistencia a la presión sobre el tallo –cuando la planta es atraída hacia el suelo por la gravedad–, lo que favorece la productividad de una cucurbitácea rastrera en este tipo de sistema acuapónico.

Hasta donde entendemos, no existen referencias sobre plantas autóctonas de Guatemala cultivadas en sistemas acuapónicos. Sin embargo, al comparar la planta de ayote acuapónica respecto a la planta de Pepino injertado sobre calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma var. stenosperma*) y pepino injertado sobre chilacayote (*Cucurbita ficifolia*) cultivadas en tierra, se aprecia que hubo un crecimiento similar (Hernández-González, Sahagún-Castellanos, Espinosa-Robles, Colinas-León, & Rodríguez-Pérez, 2014).

La planta de macuy se presenta como otra buena alternativa para su producción. En Guatemala, esta planta tiene alto valor cultural, nutricional, medicinal y comercial (Edmonds & Chweya, 1997; Villar, 1997). Esta planta tuvo buena adaptación, crecimiento y rendimiento en los sistemas acuapónicos. Gentry & Standley (1974) señalan que esta planta tiene crecimiento erecto que puede alcanzar una altura de hasta de 1.5 metros de largo. Sin embargo, Vásquez Vásquez, (1983) encontró que la altura del macuy en lugares cercanos a la ciudad de Guatemala en rangos entre 0.2 y 0.7 metros de largo, tal como se presentó en nuestro estudio. La planta de macuy en sistemas acuapónicos es, por lo tanto, una opción interesante para ser cultivada.

Otro hallazgo interesante es que a pesar que las condiciones ambientales podrían no ser las más ortodoxas para el cultivo de tilapia nilótica, se logró supervivencia y crecimiento de los organismos. La supervivencia se mantuvo alrededor del 70% y probablemente esto se deba a que a lo largo del estudio, la temperatura del agua se mantuvo a 24°C, lo cual está por debajo de lo recomendado para esta especie (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus &

Lovatelli, 2014). El uso de invernaderos podría contribuir a elevar las temperaturas del agua dentro de los sistemas acuapónicos NFT y así lograr un mejor rendimiento en el crecimiento de las tilapias.

La densidad de siembra utilizada fue menor a 35 tilapias/m³ y el rendimiento generado fue menor a un kg/m³ en un periodo de 8 semanas. Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus & Lovatelli, (2014) señalan que en condiciones ideales las tilapias de 50 g deben alcanzar un peso de 500 g entre 6 y 8 semanas. García-Ulloa, León, Hernández, & Chávez (2005) obtuvieron un peso promedio de 25 g después de 10 semanas. Essa et al., (2008) utilizaron en un sistema acuapónico 48 tilapias/m³ logrando un rendimiento de 35.6 kg en 16 semanas. Rakocy, Bailey, Shultz, & Thoman (2004), utilizaron una densidad de 77 tilapias/m³ obteniendo un rendimiento de 61.5 kg en 24 semanas. En tal sentido, es necesario seguir investigando el efecto de mayores densidades de peces/m³ y extender los periodos de cosecha, hasta alcanzar pesos de 150 a 250 g, que son los requeridos en las áreas rurales (Essa et al., 2008).

La calidad del agua es determinante para el crecimiento de bacterias, plantas y peces. El rango de pH en los estanques se mantuvo entre 6.5 y 7. Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus & Lovatelli (2014), señalan que el pH para las plantas y los peces debe oscilar entre 6 y 7 ya que es necesario para favorecer la actividad biológica de las bacterias nitrificantes y su capacidad de convertir el amoníaco y el nitrito. La temperatura mantenida en el agua de los sistemas acuapónico oscilo en los 24 °C. Somerville et al (2014) el rango de temperatura óptima tanto para las bacterias como para las plantas y peces debe oscilar entre 17 a 34 °C. La conductividad eléctrica fue alrededor de 1000 µS/cm y el total de sólidos disueltos alrededor de 500 ppm. Somerville et al (2014) consideran que los valores de conductividad eléctrica mayores a 1500 µS/cm y de sólidos disueltos superiores a 800 ppm son altos y pueden limitar el crecimiento de las plantas y los peces. Los parámetros de calidad de agua obtenidos en nuestro estudio estuvieron dentro de los rangos aceptables para el establecimiento de bacterias y crecimiento de las plantas y peces.

En general, el cultivo de las plantas autóctonas de Guatemala –cuya importancia va más allá de lo nutricional y que trasciende hasta lo cultural y lo tradicional– es posible en sistemas acuapónicos. Hay otras especies vegetales cuya adaptabilidad y productividad en

condiciones de acuaponía deben ser evaluadas. La búsqueda de materiales más accesibles para que los campesinos pobres puedan adoptar esta tecnología, constituye una fértil línea de investigación en el tema de la acuaponía. La inserción de prácticas culturales novedosas en el imaginario social de los campesinos guatemaltecos podría favorecerse si nos enfocamos en los recursos valiosos que la gente ha utilizado desde épocas precolombinas y si las intervenciones se diseñan partiendo del establecimiento de módulos demostrativos en las comunidades.

8. Conclusiones

1. Siete de las ocho variedades de plantas evaluadas se adaptaron a los módulos acuapónicos, presentándose como una opción para producción de alimentos para los campesinos pobres de Guatemala.
2. Se observó asociación entre la supervivencia y la variedad de planta.
3. La variedad de planta con mayor crecimiento fue el ayote, seguida de la planta de macuy y la planta de güicoy. A nivel rural, estas plantas son apreciadas por su valor cultural, nutricional y comercial.
4. Se observó diferencias en la altura y el rendimiento entre las variedades de plantas autóctonas.
5. Las plantas con mayor rendimiento de follaje y tallo fueron el ayote, seguido por el macuy y la planta de blede. Estas pueden ser consumidas tanto por los campesinos como algunos de los animales que tengan presentes en sus parcelas; o como una opción para generar ingresos y obtener otros productos de la canasta básica.
6. Se puede obtener un promedio de biomasa de tilapia por tanque de 730g. Lo cual el campesino puede utilizarlo en su dieta como alimento de alto valor biológico o como una fuente de ingresos extra.
7. No se observó efecto del bloque, sobre la supervivencia de las tilapias ni se observaron diferencias en el peso y talla final de los peces.

9. Referencias

- Aguilera-Morales, M. E., Hernández-Sánchez, F., Mendieta-Sánchez, E., & Herrera-Fuentes, C. (2012). PRODUCCIÓN INTEGRAL SUSTENTABLE DE ALIMENTOS. *Ra Ximhai*, 8(3), 71-74.
- Alocén, J. C., Gallardo, C., Meléndez, D. M. L., & Garcia, M. V. (2012). *Seguridad Alimentaria Para Todos, Conceptos Y Reflexiones*. Editorial Visión Libros.
- Banco de Guatemala. (2013). Guatemala en cifras. Recuperado de: <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp>. Consultado el 17 de julio de 2014.
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")*. Universidad de Talca/FAO-Oficina Regional de la FAO para América Latina y Caribe.
- De la Cruz, J. R. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.
- Ebeling, J., Jensen, G., Losordo, T., Masser, M., McMullen, J., Pfeiffer, L., ... & Sette, M. (1995). *Model aquaculture recirculation system (MARS)*. Ames: Department of Agricultural Education and Studies Iowa State Aquacultural Engineering University
- Edmonds, J. M., & Chweya, J. A. (1997). *Black night shades—Solanum nigrum L. and related species: Promoting the conservation and use underutilized and neglected crops*. Roma: International Plant Genetic Resources Institute.
- Espinosa, I. (2005). *Las metas del Milenio y la igualdad de género: el caso de Guatemala* (Vol. 74). United Nations Publications.
- Essa, M. A., Goda, A. M. A. S., Hanafy, M. A., El-Shebly, A. A., Mohamed, R. A., & El-Ebiary, E. H. (2008). Small-scale fish culture: guiding models of aquaponics and net-enclosures fish farming in Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 34(3), 320-337.
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chávez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en Investigación Agropecuaria. Universidad de Colima*, 9(1), 5.
- Gentry, J. L., & Standley, P. C. (1974). *Flora of Guatemala* (Vol. 24). Field Museum of Natural History.
- Gutiérrez, M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Revista Informador Técnico*, (76), 123-129.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

- Haro, R., & Elizabeth, C. (2011). Desarrollo e Implementación de un Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola en Tilapias del Proyecto Piscícola Jacalurco, en la Provincia de Pastaza.
- Hernández-González, Zamny, Sahagún-Castellanos, Jaime, Espinosa-Robles, Policarpo, Colinas-León, M. Teresa, & Rodríguez-Pérez, J. Enrique. (2014). Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 41-47. Recuperado en 05 de noviembre de 2015, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000100007&lng=es&tlng=es.
- Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*, 17(3), 221-229.
- Herrera, J. L. (2005). "Informe Ambiental de Guatemala y Bases para la Evaluación Sistemática del Estado del Ambiente" 2002-2005.
- 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.
- Molina-Cruz, A., Curley, L. M., & Bressani, R. (1997). Redescubriendo el valor nutritivo de las hojas de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*; Euphorbiaceae). *Ciencia en Acción, Universidad del Valle de Guatemala*, 3, 1-4.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2004, September). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In *New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Held September* (pp. 12-16).
- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez, D., & Hurtado, H. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish-Lechuga. *Revista facultad deficiencias básicas*, 5(1), 154-170.
- Rodríguez-Amaya, Ricardo, Montes-Hernández, Salvador, Rangel-Lucio, José Antonio, Mendoza-Elos, Mariano, & Latournerie-Moreno, Luis. (2009). Caracterización morfológica de la calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber). *Agricultura técnica en México*, 35(4), 379-389. Recuperado en 13 de noviembre de 2015, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000400003&lng=es&tlng=es.
- Ronzón-Ortega, M., Hernández-Vergara, M. P., & Pérez-Rostro, C. I. (2015). Producción acuapónica de tres hortalizas en sistemas asociados al cultivo semi-intensivo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*). *Agroproductividad*, 8(3).

- Roosta, H.R.; Hamidpour, M. Effects of foliar application of some macro-and-micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. En: *Scientia Horticulturae*. Vol. 129, No. 3 (2011); p396-402.
- Rueda-Uribe, W. E., Vásquez-Torres, W., & Gutiérrez-Espinosa, M. C. (2012). Digestibilidad de fósforo y proteína de raciones suplementadas con fitasa en tilapia, *Oreochromis sp.* *Orinoquia*, 16(1), 21-29.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry* New York. NY: *WH Freeman & Co.*
- 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 No. 589. Rome, FAO. 262 pp
- United Nations. Department of Economic. (2008). *The Millennium Development Goals Report 2008*. United Nations Publications.
- Vásquez Vásquez, F. J. (1983). Recolección y caracterización del germoplasma de hierba mora (*Solanum sp*) de la vertiente del Pacífico de la República de Guatemala [reservas genéticas]..[Collection and characterization of germplasm of black nightshade (*Solanum sp*) from the Pacific slope of the Republic of Guatemala [genetic reserves]].
- Villar Anleu, L. (1998). *La flora silvestre de Guatemala*. Editorial Universitaria, Colección Manuales, (6).

10. Apéndice



Figura 6. Localización del módulo de investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC, Guatemala.

Fotografías



Figura 7. Construcción del invernadero



Figura 8. Construcción de los módulos acuapónico.



Figura 9. Instalación de los módulos acuapónicos.



Figura 10. Aspecto de los módulos acuapónicos utilizados en el estudio.



Figura 11. Semillero de plantas autóctonas de Guatemala



Figura 12. Medición de parámetros en el agua.



Figura 13. Trasplante de la planta al módulo acuapónico.



Figura 14. Tamaño de las plantas al inicio del estudio.



Figura 15. Medición de las plantas autóctonas.



Figura 16. Platas autóctonas al final del estudio



Figura 17. Tamaño de la planta de ayote en un sistema acuapónico.



Figura 18. Pesaje de hojas y tallos de bledo



Figura 19. Pesaje de la tilapia nilótica



Figura 20. Inauguración y divulgación del proyecto de investigación ante diversas instituciones.



Figura 21. Recorrido guiado y divulgación del proyecto ante estudiantes y profesores del Centro de Estudios de Mar y Acuicultura (CEMA).



Figura 22. Recorrido guiado y divulgación del proyecto ante miembros de la asociación de Ganaderos del Petén



Figura 23. Recorrido guiado y divulgación del proyecto ante profesores del Instituto Federico Mora.



Figura 24. Recorrido guiado y divulgación del proyecto ante estudiantes y profesores de la carrera de Zootecnia del Centro Universitario de Sur Oriente (CUNSURORI).



Figura 25. Presentación de resultados ante entidades gubernamentales e institución socia.



Figura 26. Taller sobre los avances y resultados de la investigación dirigido a comunitarios y autoridades locales de tres comunidades de la Reserva de la Biósfera Maya (El Capulinar, El Caoba y El Porvenir).

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
EN CIENCIA ANIMAL Y ECOSALUD**



CONSEJO ACADÉMICO DE POSGRADO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Manual de prácticas acuapónicas

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación

Hacia la seguridad alimentaria para los campesinos pobres de Guatemala: Evaluación de la producción de alimento en un sistema acuapónico de tilapias y plantas autóctonas de Guatemala.

Instituto de investigación

Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud

Unidad académica

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Equipo de investigadores

PhD. Dennis Guerra Centeno (Coordinador)

Dr. Sc. Juan Carlos Valdez (Investigador)

M.V.(c) Edvin Eduardo Aquino Sagastume (investigador)

Presentación

La acuapónica es una nueva corriente de sistemas de producción agropecuaria que se encuentra en una etapa temprana de desarrollo. Este sistema se está empezando a desarrollar en universidades e institutos de investigación en varios países del mundo. Por la etapa en que se encuentran, los productores agrícolas y pecuarios no han implementado aún estos sistemas en sus producciones.

Para demostrar los múltiples beneficios que tiene la acuapónica, el Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha iniciado una línea de proyectos de investigación que persigue el aprovechamiento de aquellas plantas autóctonas de Guatemala que tengan un alto valor biológico y cultural. Estamos convencidos que esta actividad se traducirá el beneficio de los campesinos de Guatemala y de otros países con realidades similares.

Con el fin de alcanzar la difusión que deseamos, a continuación les presentamos un manual que muestra los pasos necesarios para montar un sistema acuapónico. Con esto, esperamos brindar una herramienta que beneficie a la sociedad guatemalteca para alcanzar el desarrollo productivo y humano que necesita nuestro país.

1. ¿Qué es la acuaponía?

Es un sistema innovador de producción agropecuaria que combina el aprovechamiento de organismos acuáticos y de plantas útiles. Lo novedoso de este sistema es que no usa tierra y que el agua se puede reciclar. Esto favorece, por lo tanto, la producción sostenible de alimentos y otros productos, así como el uso eficiente del suelo y del agua.

Para producir productos vegetales y animales mediante sistemas acuapónicos, se utilizan módulos. Existen diferentes estilos y diseños de módulos, tal es el caso del de Cama Flotante y la técnica de película nutritiva (NFT, por sus siglas en inglés). Para nuestros proyectos de investigación decidimos usar el tipo NFT debido a que favorece el aprovechamiento del espacio vertical y permite una mejor monitorización de las especies utilizadas. Este sistema está integrado por un depósito donde se mantienen los peces, una bomba que hace circular el agua, un biofiltro que depura el agua y un circuito de tubos PVC donde se colocan los recipientes que contienen las plantas que se están cultivando.

A continuación se muestran los materiales necesarios para construir un módulo básico NFT con dimensiones aproximadas de 2 m de ancho X 3 m de largo X 2.5 m de altura.

2. Materiales

- ✓ 1 Tinaco o tanque plástico con capacidad de 750 litros (200 galones)
- ✓ Semillas de plantas comestibles nativas de Guatemala
- ✓ 30 alevines de tilapia nilótica
- ✓ 6 tubos de pvc de 90 cm x 1 pulgada, 250 psi
- ✓ 8 tubos de pvc de 75 cm x 1 pulgada, 250 psi
- ✓ 8 tubos de pvc de 1.20 m x 1 pulgada, 250 psi
- ✓ 8 tubos de pvc de 3 m x 3 pulgadas, 80 psi
- ✓ 6 tubos de pvc de 20 cm x 3 pulgadas, 80 psi
- ✓ 2 tubos de pvc de 1 m x 3 pulgadas, 80 psi
- ✓ 1 tubo de 30 cm x 3 pulgadas, 80 psi
- ✓ 16 codos de pvc de 3 pulgadas
- ✓ 16 codos de pvc de 1 pulgada
- ✓ 1 T de pvc de 3 pulgadas
- ✓ 4 T de 1 pulgada
- ✓ 80 envases plásticos
- ✓ 1 Biofiltro
- ✓ 1 bomba eléctrica sumergible de 1.67 hp o 1200 W
- ✓ 3 metros de manguera plástica de ½ pulgada
- ✓ 3 libras de alambre galvanizado calibre 14
- ✓ 2 rollos de cinta Duct-Tape
- ✓ 1 pomo de silicón
- ✓ Esponja tipo Peat-Foam

3. Construcción del módulo acuapónico

La construcción de un módulo acuapónico inicia con el corte de los tubos para alcanzar las medidas indicadas. Se procede también a la perforación de agujeros en donde se colocarán los envases de las botellas que contendrán las plantas (Figura 1).



Figura 1. Perforación de tubos.

Después del corte y perforación de los tubos, se procederá al ensamblaje para construir el módulo (Figura 2).



Figura 2. Ensamblaje de los tubos para construir el módulo.

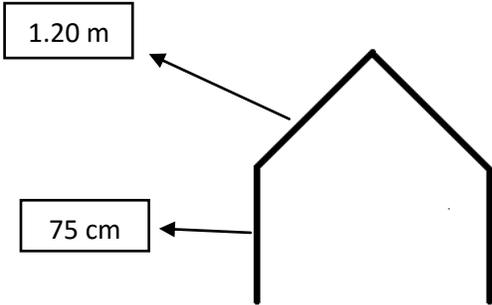
El modelo de módulo que construiremos es uno tipo NFT (Figura 3).



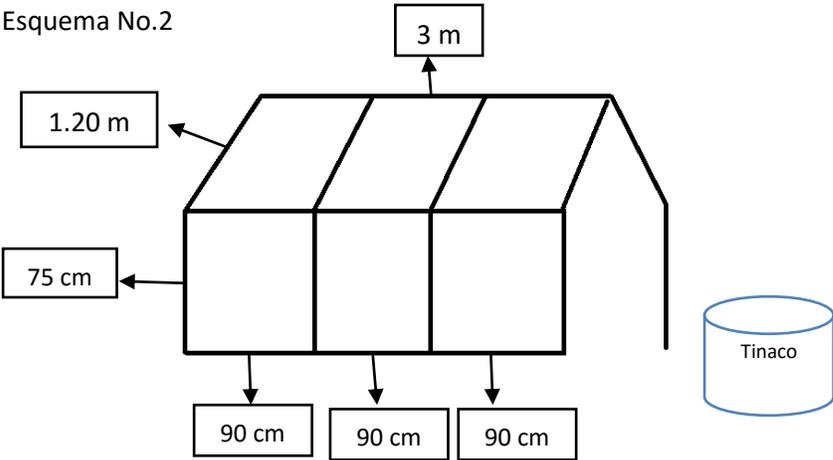
Figura 3. Módulos tipo NFT.

Vista frontal (Esquema No.1) y lateral (Esquema No.2) de la forma en la que deben ir colocados los tubos y codos de una pulgada.

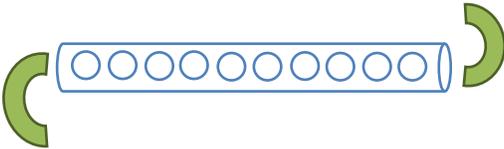
Esquema No. 1



Esquema No.2

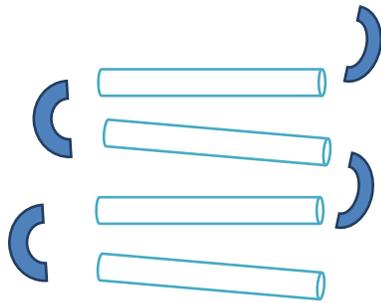


A continuación mostramos un esquema de cómo se deberían ver los tubos de tres pulgadas (Esquema 3)



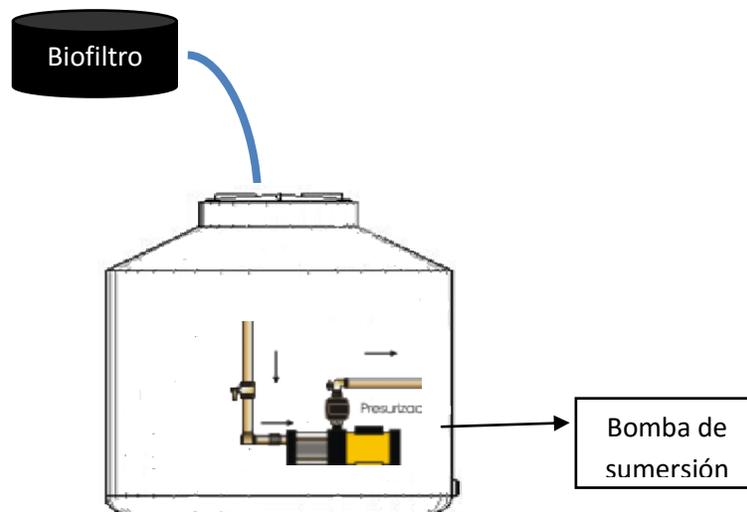
Esquema No. 3 Vista superior del sistema de tubos

Para conseguir un funcionamiento adecuado los tubos deben de colocarse de manera inclinada para evitar la acumulación de agua dentro del sistema. Y que exista un choque entre las corrientes de agua. (Esquema No.4)



Esquema No.4 Vista lateral de la colocación e inclinación de los tubos.

Al tener todos los tubos ensamblados se procede a colocar dentro del tinaco una bomba sumergible, la cual irá conectada mediante una manguera al biofiltro que se coloca en la parte superior del módulo acuapónico. El biofiltro (que es un recipiente plástico con esponja y piedra pómez en su interior) suministrará el agua que llegará al sistema de tubos. (Esquema No.5)



Esquema No.5 Instalación de bomba y biofiltro.

Para la colocación de las plantas es necesario cortar los envases plásticos (PET) por la mitad, siendo la parte superior la que necesitamos. (Figura 4)



Figura No.4 Proceso de cortado de los envases.

Posteriormente es recomendable la limpieza y desinfección de los envases para evitar el riesgo de contaminar nuestra producción. Se recomienda siempre utilizar equipo de protección. (Figura No.5)



Figura No.5 Limpieza y desinfección

Después de haber colocado todos los elementos del módulo se debe llenar de agua el tinaco. Luego debe encenderse la bomba para poder verificar la presencia de fugas. Si existieran se recomienda repararlas con silicón y cinta para tubos.



Figura No.6 Prueba de funcionamiento de un módulo.

4. Germinación de las plantas y siembra de peces

La germinación se puede realizar en el suelo o sobre otras superficies (Figura No. 7 y 8). Canto a los peces, es importante verificar su estado de salud al momento de adquirirlos y tenerlos en observación. La saprolegniasis es una de las enfermedades más comunes en esta fase. Por esto hay que monitorizarlos constantemente. Es importante realizar mediciones iniciales para poder comparar los valores con los del momento de la cosecha (Figura 9 y 10).



Figura No.7 Germinación



Figura No.8 Germinación



Figura No. 9 Siembra de peces



Figura No. 10 Mediciones iniciales

5. Trasplante

Para el traslado de las plantas es necesario extraer cada planta con el mayor cuidado posible para evitar lesiones que perjudiquen su desarrollo. Después de ser extraídas del área de germinación se remueve el exceso de tierra que contengan y la raíz se introduce en un recipiente con agua limpia para lavar los residuos.

Después se coloca la raíz de la planta dentro de un cuadro de Peat-Foam. Al extremo de dicha raíz se coloca una porción de cáñamo de aproximadamente una pulgada para favorecer el contacto con el agua mientras la planta desarrolla su raíz (Figura No.11).



Figura No. 11 Trasplante

Después de tener las plantas dentro de los cuadros de Peat-Foam se introducen en los envases plásticos por el lado de la boquilla (Figura No.12).



Figura No.12 Colocacion de plantas en los envases

Cuando se tengan listos los envases, deben insertarse en los agujeros de los tubos como se muestra en las imágenes No. 13 y 14



Figura No. 13 Vista superior de la forma en que deben ir colocados los envases.



Figura No. 14 Forma en que deben colocarse los envases

6. Alimentación de peces

Para alimentar a los peces se les proporciona alimento comercial para tilapia que contenga un 45% de proteína y en cantidad equivalente al 10% de su peso corporal. Dividiendo el volumen total de alimento en 4 raciones.

7. Crecimiento de las plantas

A continuación mostramos la secuencia del desarrollo que tuvieron las plantas a lo largo de nuestro proyecto de investigación (Figuras No. 15 a 20).



Figura No. 15 Inicio del proyecto



Figura No.16. 10 días de desarrollo



Figura No. 17 15 días del desarrollo



Figura No. 18 15 días de desarrollo



Figura No. 19 Un mes de desarrollo.



Figura No. 20. Dos meses de desarrollo.

8. Cosecha

Se realiza dependiendo los organismos utilizados en el sistema (tipos de plantas y tipos de peces) y el fin con el que se esté realizando (Producción de follaje, obtención de frutos, investigación, entre otros). Se recomienda realizar mediciones para comparar con los valores iniciales (Figuras No. 21 a 23). En las siguientes imágenes podemos mostrarles el resultado final del crecimiento de las plantas cosechadas. (Figuras No. 24 a 27).



Figura No. 21 Medición Final



Figura No. 22 Pesaje final de peces



Figura No. 23 Pesaje final de plantas



Figura No. 24 Cosecha de un Macuy



Figura No. 25 Cosecha de un Bledo



Figura No. 26 Cosecha de un Macuy



Figura No. 27 Cosecha de una planta de Ayote

15. Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Se realizó una actividad de inauguración del módulo de investigación en acuaponía el día 21 de septiembre. Se contó con la participación de estudiantes, docentes y personal administrativo de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, miembros del Colegio de Médicos Veterinarios y Zootecnistas de Guatemala, Representantes del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala, Representantes de la Dirección General de Investigación de la USAC.

Se realizaron recorridos guiados a estudiantes y docentes del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, del Centro Universitario de Sur Oriente, de la Asociación de Ganaderos del Petén, , de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Instituto Federico Mora, entre otros.

Se dio cobertura al proyecto de acuaponía en medios escritos como el periódico de la USAC. Así mismo en medios electrónicos como la página de la FMVZ (www.fmvz.usac.edu.gt), en redes sociales como facebook en los perfiles de la Dirección General de Investigación DIGI USAC y Soy USAC.

Se impartieron dos talleres sobre los avances y resultados de la investigación a comunitarios y autoridades locales de tres comunidades de la Reserva de la Biósfera Maya (El Capulinar, El Caoba y El Porvenir) y representantes del Viceministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Petén, representantes de la autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá (AMPI) y representantes de Wildlife Conservation Society (WSC). Esta actividad se organizó conjuntamente con WSC, los días 28 y 29 de octubre del presente año.

16. Orden de pago

LISTADO DE TODOS LOS INTEGRANTES DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Contratados por contraparte y colaboradores	
Dennis Guerra Centeno	Coordinador contratado por FMVZ, USAC.
Juan Carlos Valdez Sandoval	Investigador contratado por FMVZ, USAC.
Edvin Eduardo Aquino	Epesista de la Escuela de Veterinaria, FMVZ, USAC.

CONTRATADOS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Nombre	Categoría	Registro de personal	Pago	
			SI	NO
Julio Rafael López Barán	Peón por planilla	52129	X	

Nombre	Firma
Julio Rafael López Barán	

PhD. Dennis Guerra Centeno

Coordinador del Proyecto de investigación

Firma

Inga. Liuba María Cabrera de Villagrán

Coordinadora del Programa Universitario de Investigación

Firma

Ing. Agro. MARN. Julio Rufino Salazar

Vo.Bo. Coordinador General de Programas

Firma