



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

INFORME FINAL

**Evaluación de la producción de materia vegetal y animal,
en un sistema acuapónico con variedades de frijol y tilapia nilótica.**

Equipo de investigación

Nombre del coordinador:

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval
PhD. Dennis Guerra Centeno
M.E.P.U. Mercedes Díaz
P.C. Julio López Barán

Noviembre de 2017

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

Guatemala, 27 de noviembre de 2017

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: **“Evaluación de la producción de materia vegetal y animal, en un sistema acuapónico con variedades de frijol y tilapia nilótica”** (partida presupuestal 4.8.63.2.01), coordinado por el Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval y avalado por el Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud de la Facultad de 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 a los objetivos planteados y productos esperados, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente. Así mismo me comprometo a dar seguimiento a la gestión del aval y la publicación del artículo científico.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”

PhD. Dennis Guerra Centeno
Director
Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Anexo: lo indicado.

M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Director General de Investigación

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

Ing. Augusto Saul Guerra Gutiérrez
Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

M.A. Gustavo Enrique Taracena Gil
Decano de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

PhD. Dennis Guerra Centeno
Director del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud.

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval
Coordinador e investigador del proyecto.

M.E.P.U. Mercedes Díaz
Auxiliar de investigación

Julio López Barán
Operario de campo

Partida Presupuestaria
4.8.63.2.01
Año de ejecución: 2017.

ÍNDICE

1. Resumen	6
2. Abstract.....	7
3. Introducción.....	8
4. Marco teórico y estado del arte.....	9
5. Materiales y métodos.....	12
5.1 Ubicación geográfica	12
5.2 Tipo de investigación	12
5.3 Técnicas e instrumentos.....	12
5.5 Análisis estadístico	14
5.6 Operacionalización de las variables	14
6. Resultados.....	16
6.1 Supervivencia de las plantas de frijol en un sistema acuapónico.	16
6.2 Crecimiento de las plantas	16
6.3 Rendimiento de las plantas	17
6.4 Adaptación y rendimiento de las tilapias.....	18
6.5 Parámetros del agua.....	19
6.6 Describir las condiciones del sistema durante el periodo de evaluación.....	19
6.8 Matriz de Resultados	19
6.9 Impactos obtenidos.....	21
7. Análisis y discusión de los resultados	22
8. Conclusiones.....	25
9. Referencias	26
10. Apéndice.....	30

Índice de ilustraciones

Figura 1. Componentes del sistema acuapónico NFT	30
Figura 2. Supervivencia de ocho variedades de plantas de frijol en los módulos acuapónicos, durante el periodo de evaluación.	16
Figura 3. Curva de crecimiento de las plantas de frijol en los módulos acuapónicos, desde el inicio hasta el final del estudio..	17
Figura 4. Estructura del sistema acuapónico..	30
Figura 5. Siembra y adaptación de las tilapias.	31
Figura 6. Trasplante de las plántulas de frijol.	31
Figura 7 Revisión de las plántulas de frijol en el sistema acuapónico..	32
Figura 8. Medición del agua del sistema acuapónico.	32
Figura 9. Crecimiento de las plantas de frijol en un sistema acuapónico.	33
Figura 10. Plantas de frijol en los módulos acuapónicos	33
Figura 11. Medición del follaje y de las vainas de frijol	34
Figura 12. Presentación del proyecto.	34
Figura 13. Equipo de investigación.	35

Índice de tablas

Tabla 1. Variables medidas en el estudio.	14
Tabla 2. Variables respuesta de las vainas (promedio) de las variedades de frijol en un sistema acuapónico, al final del estudio.	18
Tabla 3. Variables respuesta de los peces al final del estudio.	18
Tabla 4. Matriz de resultados obtenidos en el estudio... ..	19

1. Resumen

La acuaponía, es un sistema que permite combinar la producción de plantas y organismos acuáticos. En tal sentido, se generó y ejecutó este proyecto que duró diez meses. Se realizaron actividades como la remodelación de un invernadero, pruebas de germinación, se evaluó la adaptación, el crecimiento y el rendimiento de ocho variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en un sistema acuapónico con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Se establecieron cinco módulos acuapónicos con 80 plantas de frijol (10 de cada variedad) y 25 tilapias cada uno. Las variedades de frijol se obtuvieron en el Instituto de Ciencia y Tecnología (ICTA). Las variedades evaluadas fueron Altense, Hunapú, Ligero, Ostúa, Petén, Sayaxché, Superchiva y Texcel. El experimento duró 70 días, donde se hicieron tres mediciones y se registraron datos de supervivencia, altura y peso de las plantas y los peces. Las ocho variedades se adaptaron, crecieron y produjeron frutos en el sistema acuapónico. Las variedades que mostraron los mayores crecimientos fueron Altense 192.0 (43.4 cm) y Texcel 169.6 (51.0 cm). Las variedades con mayores rendimientos de vainas fueron Sayaxché 111.7 (57.3 g) y Altense 110.6 (104.4 g). La biomasa media de las tilapias por tanque fue de 1,327.6 (114.4 g). Derivado de estas evidencias, se concluye que Sayaxché es la variedad de mayor rendimiento de vainas en un sistema acuapónico. En tal sentido, la combinación de frijol y acuaponía puede ser una alternativa de producción sostenible de alimentos para satisfacer la demanda de la población.

Palabras clave: acuicultura, agricultura sostenible, Guatemala, *Oreochromis niloticus*, seguridad alimentaria.

2. Abstract

Aquaponics is a system that combines the production of plants and aquatic organisms. This research lasted for ten months. Some of the activities were the remodeling of a greenhouse, germination tests, and the evaluation of plants and fish. The adaptation, growth, yields of eight improved bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) were evaluated in an aquaponic system with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Five aquaponic modules were established. Each one held 80 plants (10 of each variety) and 25 Nile tilapia. The bean varieties were obtained at the Institute of Science and Technology (ICTA). The evaluated bean varieties were Altense, Hunapu, Ligero, Ostua, Peten, Sayaxche, Superchiva and Texcel. The experiment lasted 70 days. Survival rate, height and weight of plants and fish were measured. All the studied varieties adapted, grew and produced legumes in the experimental aquaponic modules. The varieties that showed higher growth were Altense 192.0 (43.4 cm) and Texcel 169.6 (51.0 cm). The varieties with higher legume yields were Sayaxche 111.7 (57.3 g) and Altense 110.6 (104.4 g). The average biomass of Nile tilapia per tank at day 70 was 1,327.6 (114.4 g). It is concluded that in an aquaponics system, Sayaxche is the variety with the highest yield. Therefore, the combination of beans and aquaponics can become an alternative for sustainable food production to satisfy the human population demand.

Keywords: aquaculture, sustainable agriculture, Guatemala, *Oreochromis niloticus*, food security.

3. Introducción

El frijol, es la leguminosa más importante para el consumo humano, sobre todo en América Latina donde se produce (Voyssest, 1983). Es uno de los alimentos más comunes en zonas rurales de América Central (Bressani et al., 1955) y es una especie nativa de Guatemala (Villar, 1998). Esta planta se ha cultivado desde épocas precolombinas siguiendo modelos de producción tradicionales, que cada vez emplean más recursos de suelo y agua (Chacón, 2009). En tal sentido surge la necesidad de evaluar la productividad del frijol en sistemas acuapónicos, tanto para la producción de follaje como de frutos en combinación con la producción de carne de tilapia.

Según la 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.

La información generada en la acuaponía se ha enfocado básicamente en cultivos de uso comercial tales como la albahaca (Rakocy, Shultz, Bailey & Thoman, 2003; Roosta & Arabpour, 2013), la lechuga (Blidariu, Drasovean & Grozea, 2013; Pantanella, Cardarelli, Colla, Rea & Marcucci, 2010; Sfetcu, Cristea & Oprea, 2008; Khater & Ali, 2015; Sreejariya, Raynaud, Dabbadie & Yakupitiyage, 2016), la espinaca (Endut, Lananan, Abdul-Hamid, Jusoh, & Wan-Nik, 2016; Shete et al, 2013; Effendi, Utomo, Darmawangsa & Sulaeman, 2015), y el tomate (Roosta & Hamidpour, 2011; Saufie, Estim, Tamin, Harun, Obong & Mustafa, 2015; Schmutz, Graber, Mathis, Bulc & Junge 2015; Salam, Jahan, Hashem & Rana, 2015). Sin embargo, muy pocos esfuerzos se han dirigido a las plantas de importancia cultural local o regional, tal es el caso del maíz, el frijol, el chile y otras.

El cultivo de frijol en 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, blede, amaranto, chile, güisquil, loroco y otros. A pesar de que el frijol es una de la especies de plantas vegetales más importantes en la alimentación en Guatemala y otros países de Centro América, la información científica sobre su comportamiento y productividad en sistemas acuapónicos es prácticamente inexistente.

En tal sentido, se desconoce diversos aspectos como: ¿Qué porcentaje de plantas de frijol (de cada variedad) y tilapias logra adaptarse en el sistema acuapónico? ¿Cuánto frijol en términos de follaje y vainas (gramos) se produce durante el período de evaluación? ¿Qué variedad de frijol es la mejor para producir en el sistema acuapónico con tilapia? ¿Cuál es el rendimiento de cada variedad de frijol evaluada? ¿Cuánta biomasa de tilapias se produciría en combinación con las plantas de frijol? y ¿Cuáles serían las características del sistema (agua, temperatura, etc.) a lo largo del periodo de evaluación?.

Por lo cual, en la presente investigación se generó información sobre la capacidad de un sistema acuapónico con variedades de frijol y tilapia nilótica para producir materia vegetal y animal. Cuyos objetivos fue evaluar la supervivencia y rendimiento de ocho variedades de frijol y de las tilapias, en un sistema acuapónico y describir las condiciones del sistema acuapónico durante el período de evaluación. Partiendo del supuesto que al menos una de las variedades de frijol tendría el mayor rendimiento de biomasa.

4. Marco teórico y estado del arte

La acuaponía, es un sistema que permite combinar la producción de plantas y organismos acuáticos. En este sistema, el agua se recircula y los desechos de los organismos acuáticos son aprovechados por las plantas (Diem, Konnerup & Brix, 2017; Pattillo, 2017). Dentro de las características más relevantes de este sistema están el aprovechamiento de los desechos para producir plantas, reciclar el agua y no utilizar suelo

(Scattini & Maj, 2017). Por sus características, promete ser un sistema de producción amigable con el ambiente en comparación de la agricultura tradicional (Delaide, Delhaye, Dermience, Gott, Soyeurt & Jijakli, 2017).

Sistema acuapónico NFT (Nutrient Film Technique)

El sistema NFT, es un tipo de acuaponía en el que las raíces de las plantas están en contacto con una delgada capa de agua con nutrientes disueltos que circula a través de tuberías PVC (Pattillo, 2017). En este tipo de sistema, se integran los siguientes componentes: un tanque con agua para la producción de organismos acuáticos, una bomba que impulsa el agua del tanque a través del sistema, un biofiltro (que retiene las partículas sólidas y transforma las sustancias tóxicas del agua circulante), mangueras para conducir el agua desde el tanque hasta el biofiltro y un circuito de tubos para sostener el crecimiento de plantas y para conducir el agua de regreso al tanque.

Cultivo de los peces

En los sistemas acuapónicos se ha utilizado diversas especies de peces como la tilapia, la trucha, la perca, y otras especies de agua dulce (Diver, 2000). 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). La tilapia es, por lo tanto, una especie idónea para 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

En el sistema acuapónico, las plantas son cultivadas en un medio acuático circulante. Es decir que el sustrato no es la tierra como en la agricultura tradicional. Es

importante, por lo tanto, que el agua lleve los nutrientes necesarios a las raíces de las plantas. Por otro lado, el agua debe circular para que las raíces tengan oxigenación. El cultivo acuapónico de plantas, ofrece las ventajas del uso eficiente del agua, la producción más limpia y un valor agregado de mercados selectos que demandan estos productos.

En cuanto a las especies que se pueden producir en acuaponía, la lechuga es quizá la especie más cultivada (Bosma et al., 2017) y eso se debe a su adaptación a las condiciones acuáticas del sistema y a las bajas demandas de este vegetal. Sin embargo, no todas las plantas se adaptan a los sistemas acuapónicos. Tal es el caso del chipilín (*Crotalaria longirostrata*) que presentó baja supervivencia en este sistema (Guerra-Centeno, Valdez-Sandoval, Aquino-Sagastume, Díaz, & Ríos, 2016).

Importancia del frijol

La importancia del frijol radica en que es de las leguminosas más tradicionales para el consumo de los humanos, sobre todo en América Latina (Leterme, & Muñoz, 2002). Es uno de los alimentos más comunes en zonas rurales de América Central (Bressani et al., 1955) y es una especie nativa de Guatemala (Villar, 1998).

En la gastronomía, los frijoles se consumen cocidos, colados, fritos (volteados) o como ingredientes de otras comidas como los tamales, o combinados con carne de cerdo, fideos o arroz (Cázares, & Durch, 2004). Las legumbres inmaduras del frijol (ejotes), son consumidos envueltos en huevo, con arroz, en ensalada rusa, en caldos y sopas (Birch, 1985; Murillo, & González, 2004).

Desde el punto de vista nutricional, el frijol es una fuente importante de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales (Bressani et al., 1955; Ulloa, et al., 2007) y junto con el maíz, ha sido recomendado para combatir el hambre y la desnutrición a nivel mundial (Bressani, 1983).

Además de su valor para autoconsumo, el frijol puede ser una fuente de ingresos económicos para los campesinos agricultores que pueden vender ejotes y granos y usar el dinero generado para adquirir otros bienes o servicios.

5. Materiales y métodos

5.1 Ubicación geográfica

El estudio se realizó en el invernadero del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud 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. Según De la Cruz (1982) la zona de vida se clasifica como bosque húmedo subtropical templado.

5.2 Tipo de investigación:

El tipo de investigación fue cuantitativa experimental aplicada.

5.3 Técnicas e instrumentos:

Invernadero

Se utilizó un invernadero de 6.5 x 30 m. Al invernadero se le realizó una remodelación que consistió en una abertura cenital y el cambio de la cubierta plástica del techo.

Sistema acuapónico

Las características del sistema acuapónico fueron: un tanque tipo tinaco de 750 l de capacidad; una bomba sumergible Truper® de 0.5 caballos de fuerza para impulsar el agua hacia el biofiltro; una manguera para conducir el agua del tanque al biofiltro y del biofiltro al medio de sostenimiento de las plantas; un biofiltro Tetra® modelo Clear Choice PF-1 para filtrar los sólidos y tratar los desechos de los peces; una base de tubos galvanizados para soportar los ocho circuitos de tubos PVC de 4 pulgadas arreglados en zig-zag y en forma piramidal (Figura 1). En estos tubos del circuito, se hicieron perforaciones circulares donde se insertaron las plantas en pequeñas canastas plásticas, adicionando piedra volcánica como sustrato. El sistema tenía la capacidad para contener 80 plantas y 25 tilapias.

Sistema hidropónico

El sistema hidropónico tenía elementos similares al sistema acuapónico, a excepción del biofiltro y los peces. Se adicionó solución nutritiva al agua circulante.

Semillas

Las semillas de frijol se obtuvieron en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas de Guatemala. Las ocho variedades utilizadas fueron: Ligero, Ostúa, Petén, Sayaxché, Altense, Hunapú, Texcel y Superchiva.

Almacigo, selección y trasplante de las plántulas

Se estableció un almacigo con las ocho variedades de frijol. Posteriormente a la germinación, se seleccionaron 60 plantas con tamaño homogéneo y buena condición. A cada planta se le retiró la tierra de las raíces y se colocó en una canastilla con piedra volcánica. Luego se procedió al trasplante en el sistema acuapónico.

Manejo de las tilapias

Se obtuvieron 300 peces de tilapia nilótica provenientes de una producción comercial, ubicada en el municipio de Escuintla. Después de una semana de adaptación, se sembraron aleatoriamente 25 tilapias por tanque. Se utilizó alimento comercial con un nivel de proteína de 45% durante los primeros 30 días y posteriormente 38% a razón del 10% de la biomasa total por día.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con ocho tratamientos (variedades de frijol), seis repeticiones y 10 plantas (individuos por repetición). Se utilizaron 60 plantas por tratamiento, para un total de 480 plantas.

Medición de plantas, tilapias y agua

La altura de las plantas se midió con una regla milimetrada, al ingresar al sistema acuapónico, a los 30 días y a los 60 días del trasplante.

La talla de las tilapias se midió con una regla milimetrada y el peso se determinó con una balanza iBalance 700®, al ingresar al sistema acuapónico y a los 70 días.

El agua fue medida con un medidor multiparamétrico Hanna® modelo HI 001300. Se tomaron lecturas de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Temperatura (°C) y Total de Sólidos Disueltos (TSD).

5.5 Análisis estadístico

La adaptación, el crecimiento y el rendimiento de las plantas y los peces fueron abordados mediante estadística descriptiva. Se utilizó la prueba de Ji cuadrada para determinar si la adaptación de las plantas dependía de la variedad. Se utilizó un análisis de varianza de dos vías para comparar el crecimiento y el rendimiento entre variedades de frijol. Las pruebas estadísticas se realizaron con un nivel de significancia del $\alpha = 0,05$. Los datos fueron procesados en el programa Past 3.04 (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

5.6 Operacionalización de las variables

Tabla 1.

VARIABLES MEDIDAS EN EL ESTUDIO.

Objetivo específicos	VARIABLES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	MEDICIÓN O CUALIFICACIÓN
Evaluar la supervivencia de ocho variedades de frijol y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el período de evaluación.	Supervivencia de las plantas de frijol.	Observación	Investigador	Frecuencia absoluta de las plantas vivas.
	Supervivencia de los peces	Observación	Investigador	Frecuencia absoluta de los peces vivos.
Determinar el rendimiento de ocho variedades de frijol y de las tilapias en un sistema acuapónico	Rendimiento de las plantas.	Medición	Regla	Longitud en centímetros de la planta.
		Pesaje	Balanza	Peso en gramos

durante el período de evaluación

del follaje.

		Observación	Investigador	Número de vainas por planta.
		Pesaje	Balanza	Peso de las vainas por variedad por módulo al final del estudio.
	Rendimiento de los peces.	Medición	Regla	Talla en milímetros de los peces.
		Pesaje	Balanza	Peso en gramos de los peces.
Evaluar los rendimientos de ocho variedades de frijol.	Rendimientos de los vainas de las diversas variedades de frijol.	Análisis de varianza de una vía	Programa estadístico Past.	Rendimientos en gramos de las vainas de frijol.
Describir las condiciones del sistema durante el periodo de evaluación.	Parámetros Físico y químicas en el agua	Observación	Investigador y termo higrómetro y medidor multiparamétrico	Conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ del agua. Temperatura del agua. pH del agua. Sólidos disueltos Sólidos disueltos en el agua.

6. Resultados

6.1. Supervivencia de las plantas de frijol en un sistema acuapónico.

Las plantas de las ocho variedades de frijol se adaptaron a los módulos acuapónicos (Figura 2). El porcentaje de supervivencia de las plantas osciló entre el 96 y el 100%. No se estableció asociación entre la supervivencia y la variedad de planta $p = .999$.

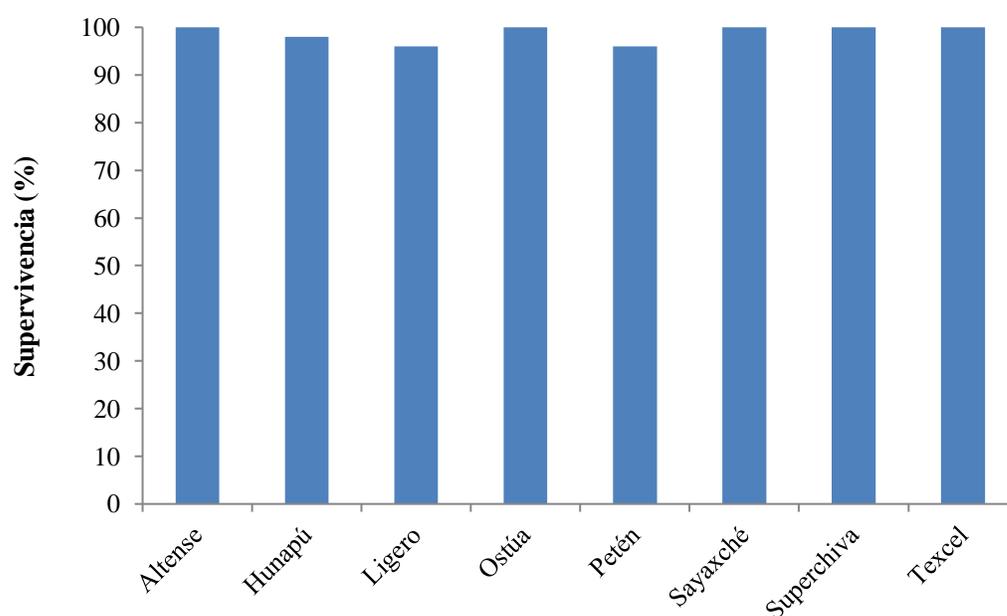


Figura 2. Supervivencia de ocho variedades de plantas de frijol en los módulos acuapónicos, durante el periodo de evaluación.

6.2. Crecimiento de las plantas

Las variedades de frijol con mayor crecimiento fueron Altense 192.0 (43.4 cm), Texcel 169.6 (51.0 cm) y Sayaxché 129.7 (41.6 cm). Las variedades con el menor crecimiento fueron Petén 56.5 (22.6 cm) y Ligero 40.0 (14.9 cm). Se observó diferencia significativa en la altura de las variedades de las plantas $p < .001$. Las variedades Altense y Texcel fueron

diferentes al resto de variedades (Tukey 0.05). En la figura 3 se muestra la curva de crecimiento de las plantas de frijol cultivadas en acuaponía.

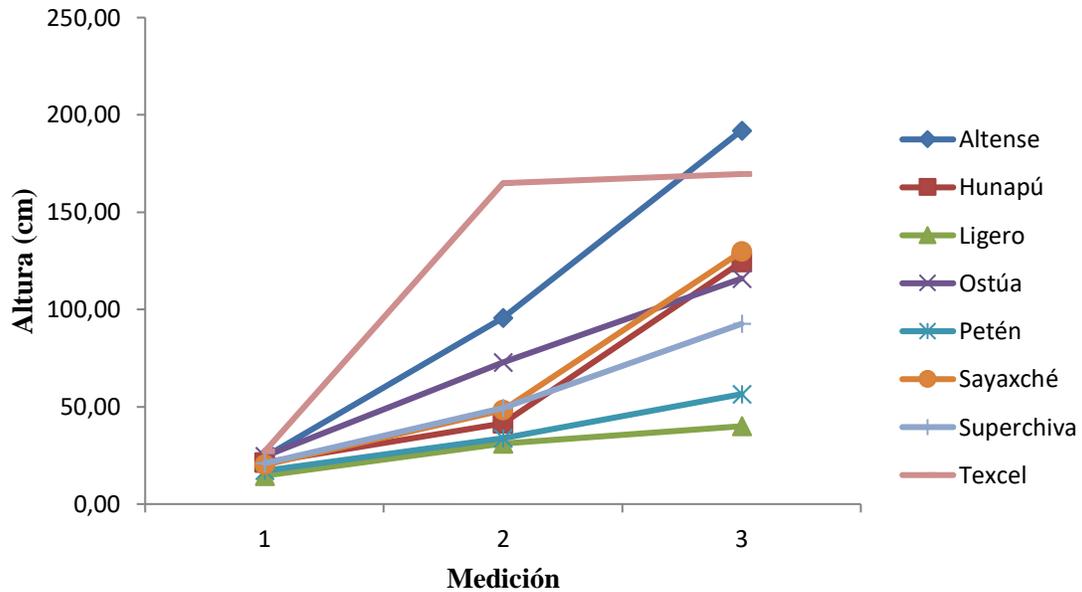


Figura 3. Curva de crecimiento de las plantas de frijol en los módulos acuapónicos, desde el inicio hasta el final del estudio.

6.3 Rendimiento de las plantas

Las ocho variedades de plantas de frijol produjeron vainas. Los datos de peso y longitud de las vainas así como el número de vainas por planta y la biomasa de vainas por planta se muestran en la Tabla 2. Las variedades con mayores rendimientos totales fueron: Sayaxché con 111.7 g y Altense con 110.6 g, mientras que las variedades con el menor rendimiento fueron Texcel con 50.6 g y Ligeró con 44.5 g. Los rendimientos de vainas fueron significativamente diferentes entre variedades $p < .001$.

Tabla 2.

Variables respuesta de las vainas M (DE) de las variedades de frijol en un sistema acuapónico, al final del estudio.

	<i>Altense</i>	<i>Hunapú</i>	<i>Ligero</i>	<i>Ostúa</i>	<i>Petén</i>	<i>Sayaxché</i>	<i>Superchiva</i>	<i>Texcel</i>
Peso de la vaina (g)	3.9(2.2)	3.6(1.7)	2.8(1.4)	3.3(1.4)	3.2(1.5)	3.2(1.5)	3.9(1.8)	4.7(6.7)
Longitud de la vaina (cm)	10.5(2.7)	10.1(2.1)	7.5(1.5)	9.1(1.7)	8.1(1.5)	8.5(1.7)	8.9(2.1)	10.6(2.1)
Número de vainas por planta	28.3(23.9)	22.5(11.2)	19.1(9.2)	21.1(9.0)	25.5(11.2)	36.1(14.2)	21.1(16.5)	12.1(9.5)
Biomasa de vainas por planta (g)	110.6(104.4)	76.2(37.7)	44.5(29.9)*	73.2(40.6)	78.5(42.4)	111.7(57.3)	80.1(75.9)	50.6(51.7)*

Nota: Las medias con asterisco indican que son significativamente diferentes * $p < .001$ (Tukey 0.05).

6.4. Adaptación y rendimiento de las tilapias

Las tilapias se adaptaron y crecieron en los tanques del sistema acuapónico. En el Tabla 3, se muestra la respuesta obtenida por los peces al final del estudio.

Tabla 3.

Variables respuesta de los peces al final del estudio.

Variable	M (DE)
N	23.0 (1.4)
Supervivencia (%)	92.0 (5.7)
Talla por pez (cm)	13.8 (0.5)
Peso por pez (g)	57.9 (5.5)
Biomasa por tanque (g)	1,327.6 (114.4)

6.5 Parámetros del agua

Los valores medios obtenidos en el agua de los tanques con tilapia fue de pH 7.4 (0.3), temperatura 23.6 (0.2) °C, conductividad eléctrica 915.3 (140.3) $\mu\text{S}/\text{cm}$ y total de sólidos disueltos 421.8 (108.0) ppm.

6.6 Describir las condiciones del sistema durante el periodo de evaluación.

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

1. En la fase de adaptación de las plantas se observó coloración amarilla de las hojas (clorosis).
2. Para minimizar el enredamiento de los zarcillos entre plantas se utilizaron precintos plásticos.
3. La distancia de siembra entre plantas fue suficiente para su crecimiento y desarrollo.
4. No hubo presencia de malezas en el sistema acuapónico.
5. La piedra volcánica (sustrato) utilizada logró dar soporte a las plantas.
6. La canastilla plástica utilizada logró contener a las plantas.
7. Las tilapias se adaptaron y crecieron en los tanques plásticos.
8. Es necesario limpiar las esponjas de los biofiltros para retirar los sedimentos.

Las condiciones y procesos realizados en la producción de frijol en acuaponía se muestran en el Apéndice (Figuras 4 - 10).

6.7 Matriz de Resultados

Tabla 4. Matriz de resultados obtenidos en el estudio.

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado obtenido
Evaluar la supervivencia de ocho variedades de frijol y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el	Porcentaje de supervivencia de las variedades de frijol y tilapias en un sistema acuapónico.	Se logró la supervivencia de ocho variedades de frijol y de las tilapias en el sistema acuapónico.

período de evaluación.		
Determinar el rendimiento de ocho variedades de frijol y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el período de evaluación	Rendimiento de vainas de las variedades de frijol y de las tilapias en un sistema acuapónico.	Se obtuvo la biomasa de las vainas por planta de cada variedad de frijol y de las tilapias en el sistema acuapónico.
Comparar los rendimientos de ocho variedades de frijol.	Comparación de los rendimientos de vainas por planta de las variedades de frijol.	Se compararon los rendimientos de vainas por planta de las variedades de frijol
Describir las condiciones del sistema durante el periodo de evaluación.	Comportamiento del sistema acuapónico frijol-tilapia.	Se obtuvo un listado del funcionamiento o comportamiento del sistema acuapónico frijol-tilapia.

6.8 Impactos obtenidos

La adaptación y producción de ocho variedades de frijol en un sistema acuapónico con tilapias es relevante. Debido a que estas plantas lograron sobrevivir en un medio acuático y además lograron extraer los nutrientes de los desechos de los peces. Esto es un beneficio para los productores porque no hay necesidad de utilizar fertilizantes como se hace en la agricultura tradicional, significando un costo menos en su sistema de producción. Por otro lado se beneficia al medio ambiente derivado a que el agua utilizada en el sistema acuapónico se recircula lo cual es completamente agua reciclada. Actualmente, los materiales utilizados para los módulos acuapónicos tienen un costo significativo debido a que son de policloruro de vinilo, sin embargo en proyectos posteriores se tratará de realizar modelos con materiales más accesibles a los productores de las áreas rurales de Guatemala.

Con la publicación de libro titulado “Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias”, se podrán beneficiar a los productores, profesionales, estudiantes y sociedad civil que estén interesados en la producción de alimentos en un sistema acuapónico.

Con la conferencia titulada “Producción de frijol en un sistema acuapónico con tilapias”, se logró enseñar a los comunitarios de Santa Inés del Monte Pulciano, Sacatepéquez, sobre otras alternativas de producción de alimentos.

7. Análisis y discusión de los resultados

El hecho de que todas las variedades de frijol estudiadas se hayan adaptado al sistema acuapónico alcanzando valores cercanos al 100% de supervivencia es interesante considerando que esta especie ha evolucionado para la vida terrestre. En condiciones normales, la raíz da soporte a las plantas terrestres y absorbe el agua difundida en la tierra. En las condiciones acuapónicas, la raíz está suspendida en el aire y en contacto con un flujo circulante de agua. Se sabe que el agua ejerce un efecto positivo sobre el crecimiento radicular al actuar como la fuerza que propicia la expansión celular (Acevedo, 1979). Esto explicaría el crecimiento radicular y el desarrollo de las plantas que se observó en este estudio.

La capacidad de adaptación a los sistemas acuapónicos ha sido demostrada para varias especies de plantas nativas de Guatemala como el amaranto (*Amaranthus hybridus*), el bledo (*A. cruentus*) el chipilín montés (*Crotalaria vitellina*), el ayote (*Cucurbita argyrosperma*), el güicoy (*C. pepo*), el apazote (*Dysphania ambrosioides*), el macuy (*Solanum nigrescens*) (Guerra-Centeno et al, 2016) y ocho variedades de chiles (*Capsicum annuum*) (Valdez-Sandoval et al., 2017).

En términos de la idoneidad, se observó que no necesariamente las plantas con mayor porte son las más convenientes para ser cultivadas en el sistema acuapónico. Tal fue el caso de las variedades Altense, Texcel y Sayaxché, que por sus hábitos de crecimiento rastrero o arbustivo tendieron a enredarse entre sí y a presentar tallos rasgados en la base por el peso de la planta, además de ocupar mayor espacio en el sistema o requerir tutores para prevenir las rasaduras del tallo. Esto coincide parcialmente con características reportadas para las plantas de ayote (*Cucurbita argyrosperma*) y güicoy (*C. pepo*) cultivadas en los mismos sistemas (Guerra-Centeno et al., 2016). En contraste, la variedad Ligero mostró un crecimiento erguido, tamaño relativamente pequeño (con alturas de aproximadamente 40 cm) y producción precoz (con fructificación a los 48 días post-germinación) lo que resulta conveniente para producirlo en un sistema Nutrient Film Technique [NFT] como el que se utilizó en esta investigación.

En este estudio, las variedades Altense, Ostúa, Texcel y Hunapú, sobrepasaron los estándares de crecimiento de sus contrapartes cultivadas en tierra (Instituto Interamericano

de Cooperación para la Agricultura [IICA] y la Red de Innovación Agrícola [RED-SICTA] 2008). Esta respuesta de mayor crecimiento observada podría deberse al rápido desarrollo del sistema radicular derivado del efecto de la presión del agua sobre las raíces (Acevedo, 1979). En contraste, la variedad Ligero alcanzó alturas medias menores a las reportadas para cultivos en tierra. Sin embargo, como ya se dijo, consideramos que para las condiciones de cultivo acuapónico en sistemas NFT tubulares es deseable utilizar plantas de porte pequeño que puedan sostenerse erguidas sin el uso de tutores.

Los días a floración de las variedades mejoradas de frijol fueron diversos. Solamente la variedad Altense se mantuvo dentro del rango reportado (50 a 53 días a floración) (Villatoro, Castillo & Franco, 2011). Las variedades Ligero, Ostúa, Petén, Sayaxché, Superchiva y Texcel mostraron tiempos a la floración mayores a los reportados para cultivo en tierra mientras que para la variedad Hunapú el tiempo fue menor (Villatoro, Castillo & Franco, 2011). El retraso en la floración podría ser una respuesta a la mayor disponibilidad de agua y de nutrientes en condiciones acuapónicas. Se sabe que el estrés hídrico y heliotrópico adelantan la floración haciendo que la planta procure la reproducción aún sin haber alcanzado un tamaño óptimo y que la respuesta a la abundancia de agua y de sol es una mayor producción de flores, frutos y semillas (Santos, Rosa, Franke, & Nabinger, 2006).

El rendimiento de las vainas de algunas variedades de frijol fue superior a lo reportado. Villatoro, Castillo & Franco (2011) reportan para la variedad Sayaxché y Altense un rendimiento de 0.71 y 0.54 kg/m², siendo superior el obtenido en este estudio (1.49 y 1.48 kg/m²). Así mismo, la variedad Ligero –la planta de menos producción en este estudio- generó una biomasa de 0.6 kg/m², superando a lo reportando (0.45 kg/m²). Sin embargo, estas comparaciones deben tomarse con reserva, debido a que los datos generados fueron a partir del rendimiento de las vainas y no exclusivamente de los granos de frijol.

En cuanto a las tilapias, los datos de crecimiento observados en este estudio son congruentes con los reportados por García, Tume & Juárez (2012) y por Guerra-Centeno et al. (2016). Aunque se ha sugerido que la acumulación de desechos en el agua de los sistemas acuapónicos representa un riesgo para la salud de los peces (Yavuzcan-Yildiz et al., 2017) se ha reportado que el conjunto de los sistemas radiculares en un sistema

acuapónico actúa como un filtro que mejora ostensiblemente la calidad del agua en los tanques de los peces (Espinosa et al., 2016). El hecho de que el pH del agua se haya mantenido constante y con valores cercanos a la neutralidad a lo largo del estudio refuerzan la idea de que las raíces de las plantas y el filtro biológico mantiene las condiciones favorable como las descritas para el cultivo de tilapia (Azim & Little, 2008).

Los parámetros del agua en el presente estudio (pH, temperatura, conductibilidad eléctrica y total de sólidos disueltos) fueron congruentes con lo reportado para el mismo sistema con otras especies de plantas (Guerra-Centeno et al., 2016; Valdez-Sandoval et al., 2017). Estos datos sugieren un comportamiento estable y predecible de las características del agua en sistemas con similares rasgos funcionales al utilizado en el presente estudio.

Algunos inconvenientes observados en el presente estudio tales como el sobre crecimiento de las raíces (con la consiguiente oclusión y disminución del flujo de agua), las plagas de pulgones, ácaros y hongos, la acumulación de sólidos en las raíces de las plantas más cercanas al afluente de agua proveniente del tanque de los peces generan nuevas interrogantes que deben ser investigadas. El uso de diseños y materiales alternos del sistema así como la incorporación de otros elementos biológicos, el uso de fuentes de energía sostenibles como la fotovoltaica y la eólica y el cultivo fuera del invernadero también deben ser evaluados antes de que el conocimiento generado pueda llegar al campo para su aplicación eficiente.

8. Conclusiones

1. Todas las variedades de frijol se adaptaron a las condiciones del sistema acuapónico.
2. El porcentaje de supervivencia de las plantas, osciló entre el 95 y 100%.
3. Se observó asociación entre la supervivencia y variedad de la planta.
4. Las variedades de frijol con mayores crecimientos fueron Altense y Texcel.
5. Las variedades Altense y Sayaxché obtuvieron los mayores rendimientos de vainas.
6. Los rendimientos de vainas fueron significativamente diferentes entre variedades $p < .001$.
7. La biomasa media de las tilapias por tanque fue de 1,327(114 g).

9. Referencias

- Acevedo, E. (1979). Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. *Bol. Téc. Facultad de Agronomía Universidad de Chile*, 44(9), 17-25.
- Azim, M. & Little, D. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1-4), 29-35.
- Blidariu, F., Drasovean, A., & Grozea, A. (2013). Evaluation of phosphorus level in green lettuce conventional grown under natural conditions and aquaponic system. *Bulletin Of University Of Agricultural Sciences And Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science And Biotechnologies*, 128-135.
- Birch, R. E. W. (1985). Black beans (*Phaseolus vulgaris*), bean broth and growth of preschool Guatemalan children. (Tesis doctoral). Recuperada de: <http://www.sidalc.net/>
- 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*.
- Bressani, R., Marcucci, E., Robles, C. E., & Scrimshaw, N. S. (1955). Valor Nutritivo de los frijoles Centroamericanos. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana Publicaciones del Instituto de Nutrition de Centroamerica y Panama*, 201-206.
- Bressani, R. (1983). World needs for improved nutrition and the role of vegetables and legumes.
- Cázares, E. & Durch, J. (2004). La diversidad genética de variedades locales de maíz, frijol, calabaza y chile, y su relación con características culinarias. *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. 250-255.
- Chacón, M. (2009). Darwin y la domesticación de plantas en las Américas: el caso del maíz y el fríjol. *Acta Biológica Colombiana*, 14, 351-364.
- De la Cruz, J. R. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación. Guatemala.
- Delaide, B., Delhaye, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. H. (2017). Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, 78, 130-139.
- Diem, T. N. T., Konnerup, D., & Brix, H. (2017). Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, 78, 95-104

- Diver, S. (2000). *Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture*. Butte, Montana: Attra.
- Effendi, H., Utomo, B. A., Darmawangsa, G. M., & Sulaeman, N. (2015). Combination of water spinach (*Ipomea aquatica*) and bacteria for freshwater crayfish red claw (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater treatment in aquaponic system. *Journal of Advances in Biology*, 6(3).
- Endut, A., Lananan, F., Abdul Hamid, S. H., Jusoh, A., & Wan Nik, W. N. (2016). Balancing of nutrient uptake by water spinach (*Ipomoea aquatica*) and mustard green (*Brassica juncea*) with nutrient production by African catfish (*Clarias gariepinus*) in scaling aquaponic recirculation system. *Desalination and Water Treatment*, 1-10.
- Espinosa Moya, E. A., Angel Sahagún, C. A., Mendoza Carrillo, J. M., Albertos Alpuche, P. J., Álvarez-González, C. A., & Martínez-Yáñez, R. (2016). Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. *Aquaculture Research*, 47(6), 1716-1726.
- García, A., Tume, J., & Juárez, V. (2012). Determinación de los parámetros de crecimiento de la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un estanque revestido con geomembrana y abastecido con agua de subsuelo. *Ciencia y desarrollo*, 15(2), 47-55.
- 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.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis *Palaeontologia Electronica* 4: 1–9.
- 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.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; Red de Innovación Agrícola. (2008). *Guía de exportación de frijol negro a Guatemala*. Managua, Nicaragua.
- Khater, E. S. G., & Ali, S. A. (2015). Effect of flow rate and length of gully on lettuce plants in aquaponic and hydroponic systems. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 2015.
- Leterme, P., & Muñoz, L. C. (2002). Factors influencing pulse consumption in Latin America. *British journal of Nutrition*, 88(S3), 251-254.
- Mateus, J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. En: Red hidroponía. Boletín No. 44 (2009); p 7-10.
- Murillo, A., & González, S. R. (2004). Conocimientos, actitudes y prácticas de madres de escolares con respecto a los frijoles. *Agronomía Mesoamericana*, 15(3), 277-289.

- Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., & Marcucci, A. (2010). Aquaponics vs. hydroponics: production and quality of lettuce crop. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 927* (pp. 887-893).
- Pattillo, D. A. (2017). An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components.
- Rakocy, J., Shultz, R. C., Bailey, D. S., & Thoman, E. S. (2003). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. In *South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648* (pp. 63-69).
- Roosta, H., & Arabpour, S. (2013). Comparison of the growth, mineral nutrient concentrations and essential oil of two Iranian local basil (*ocimum basilicum*) in hydroponic and aquaponic systems.
- Roosta, H. R., & Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 396-402.
- Salam, M. A., Jahan, N., Hashem, S., & Rana, K. M. S. (2015). Feasibility of tomato production in aquaponic system using different substrates. *Progressive Agriculture*, 25, 54-62.
- Santos, A. M. D., Rosa, L. M. G., Franke, L. B., & Nabinger, C. (2006). Heliotropism and water availability effects on flowering dynamics and seed production in *Macroptilium lathyroides*. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(2), 45-52.
- Saufie, S., Estim, A., Tamin, M., Harun, A., Obong, S., & Mustafa, S. (2015). Growth Performance of Tomato Plant and Genetically Improved Farmed Tilapia in Combined Aquaponic Systems. *Asian Journal of Agricultural Research*, 9(3), 95-103.
- Scattini, N., & Maj, S. P. (2017). Aquaponic Integration and Automation—A Critical Evaluation. *Modern Applied Science*, 11(9), 165.
- Schmautz, Z., Graber, A., Mathis, A., Bulc, T. G., & Junge, R. (2015) Tomato production in aquaponic system: mass balance and nutrient recycling.
- Sfetcu, L., Cristea, V., & Oprea, L. (2008). Nutrients dynamic in an aquaponic recirculating system for sturgeon and lettuce (*Lactuca sativa*) production. *Lucrări Științifice-Zootehnie și Biotehnologii, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului Timișoara*, 41(2), 137-143.
- Shete, A. P., Verma, A. K., Chadha, N. K., Prakash, C., Peter, R. M., Ahmad, I., & Nuwansi, K. K. T. (2016). Optimization of hydraulic loading rate in aquaponic system with Common carp (*Cyprinus carpio*) and Mint (*Mentha arvensis*). *Aquacultural Engineering*, 72, 53-57.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Sreejariya, P., Raynaud, T., Dabbadie, L., Yakupitiyage, A. 2016. Effect of water recirculation duration and shading on lettuce (*Lactuca sativa*) growth and leaf nitrate content in a commercial aquaponic system. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sicences*, 1: . doi: 10.4194/1303-2712-v16_2_11
- 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).
- Villar, A. (1998). *La flora silvestre de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala
- Villatoro, J., Castillo, F, & Franco, J. (2011) Producción de frijol *Phaseolus vulgaris L.* Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
- Voysest, O. (1983). *Variedades de frijol en América Latina y su origen*. Palmira: CIAT.
- Yavuzcan-Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces—A Review. *Water*, 9(1), 13.

10. Apéndice



Figura 1. Componentes del sistema acuapónico NFT: 1. Tanque tipo tinaco, 2. Manguera plástica, 3. Biofiltro y 4. Circuito de tubos PVC.



Figura 4. Estructura del sistema acuapónico.



Figura 5. Siembra y adaptación de las tilapias.



Figura 6. Trasplante de las plántulas de frijol.



Figura 7. Revisión de las plántulas de frijol en el sistema acuapónico.



Figura 8. Medición del agua del sistema acuapónico.



Figura 9. Crecimiento de las plantas de frijol en un sistema acuapónico.



Figura 9. Plantas de frijol en los módulos acuapónicos.



Figura 10. Medición del follaje y de las vainas de frijol.

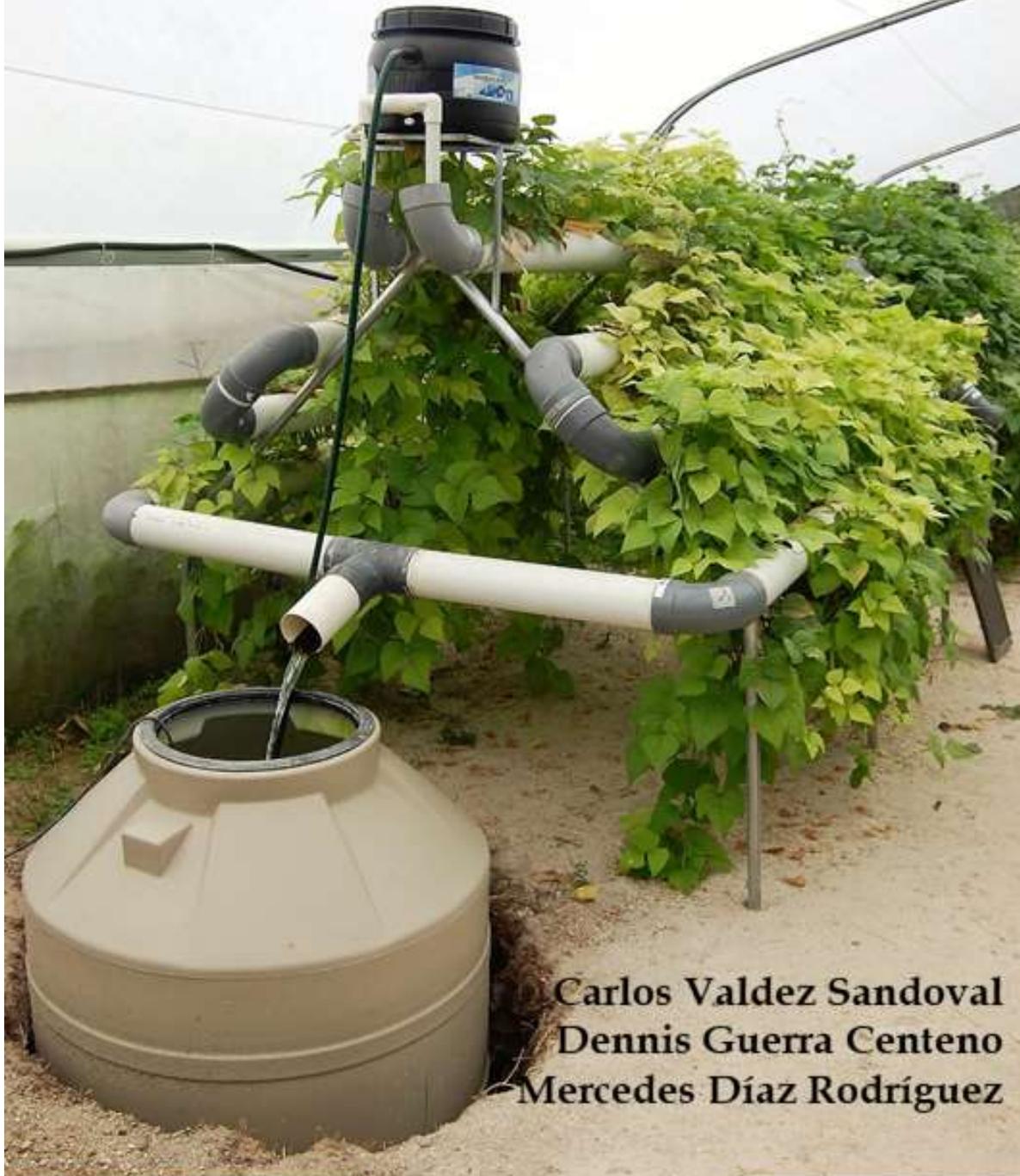


Figura 11. Presentación del proyecto



Figura 12. Equipo de investigación

Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias



Carlos Valdez Sandoval
Dennis Guerra Centeno
Mercedes Díaz Rodríguez



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



DGI Dirección General
de Investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
EN CIENCIA ANIMAL Y ECOSALUD



INSTITUTO ACADÉMICO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias

Carlos Valdez Sandoval

Dennis Guerra Centeno

Mercedes Díaz Rodríguez

Guatemala, 2017

Directorio

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario General

M. Sc. Gerardo Arroyo Catalán

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.

Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud. Guatemala, 2017. 28 p.

Referencia APA:

Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D. & Díaz-Rodríguez, Mercedes. (2017). *Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias*. Guatemala: Editorial Serviprensa.

2017, 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 “Evaluación de la producción de materia vegetal y animal en un sistema acuapónico con variedades de frijol y 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, tenía como objetivos investigar la capacidad de adaptación y el rendimiento de ocho variedades de frijol (Altense, Hunapú, Ligero, Ostúa, Petén, Sayaxché, Superchiva, Texcel) así como la producción de tilapia en un sistema de producción acuapónica.

Lo novedoso de la acuaponía, es el hecho de que las plantas no están en tierra sino en agua y que esta agua circula en un sistema cerrado que incluye un tanque donde se cultivan peces u otro organismo acuático. De esta forma, se resuelve el problema del uso de los efluentes del cultivo de peces y se aprovechan los desechos de los peces para nutrir las plantas. El sistema se compone de tres elementos: un tanque con peces, un circuito de tubos PVC (a través de los cuales recircula el agua) y un biofiltro que transforma los desechos de los peces permitiendo que el agua retorne sin amoníaco al tanque de peces y que en su paso nutra las plantas en el circuito de tubos.

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 septiembre del año 2017. Se utilizaron 50 plantas de cada variedad de frijol (para un total de 400) y alrededor de 125 tilapias. Se midió el porcentaje de sobrevivencia de las plantas y de los peces, así como la cantidad de materia vegetal producida (biomasa de frutos, biomasa de follaje, biomasa de raíces y biomasa de tilapias).

La variedad de frijol más productiva fue Sayaxché, seguida por Altense, Superchiva, Hunapú y Ostúa. Aunque no fue la más productiva, la variedad Ligero se muestra interesante porque es una planta pequeña que no ocluye los tubos del sistema con sus raíces y que fructifica rápidamente por lo que permitiría más ciclos de producción al año. Las tilapias mostraron niveles de adaptación y producción aceptables. A partir de estos hallazgos, se hace necesario continuar con las investigaciones que permitan evaluar otros aspectos como floración, polinización, fructificación, plagas y enfermedades, diversos organismos acuáticos, materiales más baratos, etc.

Introducción

La acuaponía, es un novedoso sistema que permite la producción de plantas y animales acuáticos al mismo tiempo. Se trata de un sistema cerrado donde el agua está circulando y donde los desechos de los animales acuáticos son aprovechados por las plantas. La importancia de la acuaponía radica en el hecho de que el agua se recicla, no se usa el suelo y los desechos son aprovechados para producir plantas.

Desde el punto de vista ecosocial, la acuaponía se presenta como una alternativa interesante porque resuelve la dificultad del manejo de los desechos a la vez que los aprovecha para la producción de plantas en un sistema donde además, el agua se utiliza mucho más eficientemente y donde no se tienen los contaminantes que usualmente están presentes en la tierra. Adicionalmente, la acuaponía contribuye a resolver el problema de la producción de alimentos en áreas donde suelo o el agua son escasos y se presenta como un sistema más ecológico de cara a las políticas mundiales de desarrollo sostenible.

Aunque los sistemas de producción acuapónica son cada vez más populares (Rackocy, Masser & Losordo, 2006), estos se han concentrado en unas pocas especies vegetales como la lechuga, la espinaca, la albahaca y el tomate (Diver, 2006). Aún hace falta mucha investigación para descubrir las posibilidades de cultivo acuapónico de las plantas nativas de Guatemala.

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, ha generado una línea de investigación que ha producido, inicialmente, datos interesantes sobre el cultivo acuapónico de chipilines, macuy, amaranto, bledo, apazote, güicoy y ayote.

La segunda investigación en la línea, correspondió a la evaluación de la producción de alimentos en un sistema acuapónico con variedades de chile nativas de Guatemala y tilapia nilótica. En este manual, se presentan las experiencias derivadas de una tercera investigación en la que se evaluó la producción de ocho variedades de frijol en un sistema acuapónico con tilapias nilóticas.

¿Qué es la acuaponía?

La palabra acuaponía, viene de la unión entre acuicultura (cultivo de peces y otros organismos acuáticos) y de la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo) para lograr una producción rápida y eficiente de plantas y animales acuáticos (Pattillo, 2017). Se trata de un sistema de producción de alimentos donde hay interacción entre el los animales acuáticos y las plantas (Ramírez et al. 2009). La acuaponía se basa en el principio de recirculación del agua. Es decir que se usa la misma agua que debe ser filtrada para poder ser reciclada. Con ello se logra un mayor aprovechamiento del recurso hídrico y una mínima contaminación del mismo (Martínez-Moreno, 2013). En este sistema, los nutrientes que excretan los organismos cultivados en la producción acuícola (peces u otros organismos) o que son generados por la descomposición microbiana de los desechos orgánicos, son absorbidos y utilizados como nutrientes, por las plantas cultivadas hidropónicamente. Esta fusión entre la acuicultura y la hidroponía, permite entonces producir alimentos animales y vegetales usando la misma agua y aprovechando el mejor el espacio y por lo tanto, es una tecnología prometedora para Guatemala, sobre todo, en sitios donde el agua es escasa.

Sistema acuapónico

Un sistema acuapónico, es el conjunto de elementos estructurales y biológicos 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 están en contacto con una delgada capa de agua con nutrientes disueltos que circula a través de tuberías PVC (Pattillo, 2017). En este tipo de sistema, se integran los siguientes componentes: un tanque con agua para la producción de los animales acuáticos (generalmente se usa un tinaco o depósito para agua potable), una bomba que impulsa el agua del tanque a través del sistema, un biofiltro (que retiene las partículas sólidas y transforma las sustancias tóxicas del agua circulante), mangueras para conducir el agua desde el tanque hasta el biofiltro y un circuito de tubos para sostener el crecimiento de plantas y para conducir el agua de regreso al tanque (Figura 1).

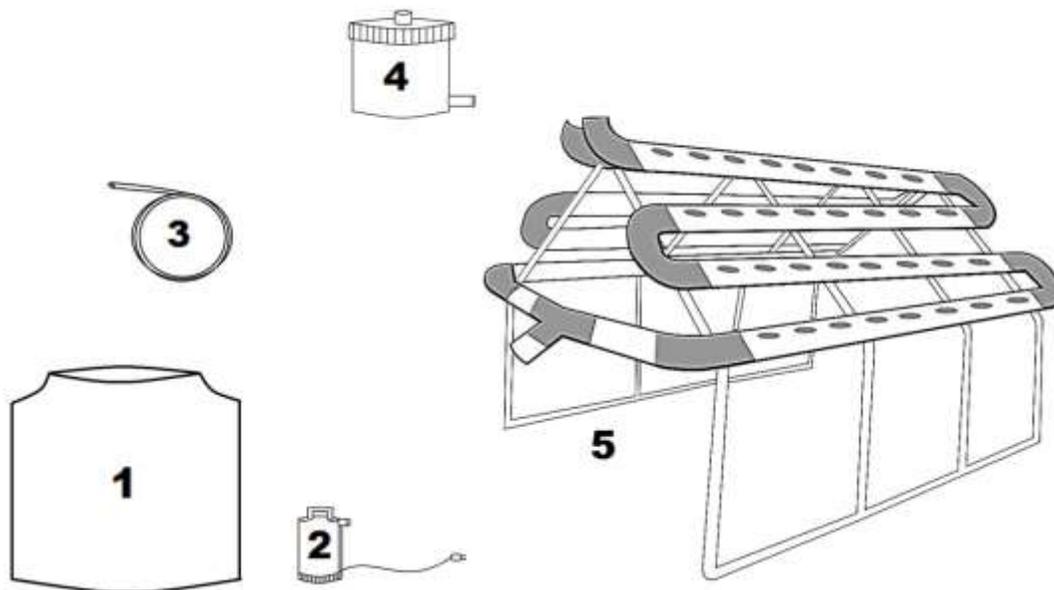


Figura 1. Elementos de un sistema acuapónico NFT. (1) Tanque para cultivo de organismos acuáticos; (2) Bomba para mover el agua a través de los componentes del sistema; (3) Manguera para conducir el agua del tanque al biofiltro y del biofiltro al medio de sostenimiento de las plantas; (4) Biofiltro para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

Funcionamiento del sistema acuapónico NFT

Este sistema funciona haciendo circular el agua cargada con los nutrientes, proveniente del cultivo de peces u otros animales acuáticos, a través de un circuito de tubos PVC (Figura 2). Dado que es un sistema cerrado, la pérdida del agua nutritiva es mínima. Las plantas se colocan en perforaciones hechas en los tubos PVC. La disposición del circuito de tubos PVC en desnivel, permite que el agua viaje por gravedad y que regrese al tanque de los animales acuáticos (Carrasco & Izquierdo, 1996).

En el Módulo de Investigación en Acuaponía del IICAE, los sistemas NFT funcionan de la siguiente forma: En un tanque tipo tinaco, de 750 l 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 las poblaciones de bacterias que se han establecido en las *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 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 IICAE: Contenedor de agua (1) que sirve de medio para criar tilapias u otros animales acuáticos. Desde el fondo de este contenedor, el agua conteniendo los desechos de los peces, es impulsada por medio de una bomba sumergible a través de una manguera (2) hacia el biofiltro (3). El biofiltro, es un dispositivo que retiene las partículas sólidas contenidas en el agua y alberga colonias de bacterias que transforman el amoníaco y lo convierten en nitritos y luego en nitratos. El agua conteniendo nitratos, sale del biofiltro hacia dos circuitos de tubos PVC (3) a través de los cuales circula el agua, regresando por acción de la gravedad al contenedor y fertilizando las plantas a su paso. Como se observó en la Figura 1, las plantas son colocadas en perforaciones hechas en los tubos, de manera que las raíces puedan absorber los nutrientes contenidos en la delgada película de agua que recircula entre el biofiltro y el contenedor de agua.

Ventajas de la acuaponía

Pattillo (2017) y Mateus (2009), indican que dentro de las ventajas que proporciona un sistema acuapónico están: 1) Se necesita menos terreno para producir, 2) Se usa menos agua, 3) El crecimiento de las plantas es acelerado, 4) Se puede producir durante todo el año en ambientes controlados 5) El rendimiento es similar o superior al del cultivo hidropónico. 6) No se necesita preparar soluciones nutritivas. 7) Los peces suelen mantenerse más sanos que en la acuicultura tradicional. 8) No se contamina el ambiente con los residuos de los peces, ya que estos sirven de nutrientes para las plantas. 9) Se obtienen ingresos tanto por las plantas como por los peces. 10) Mejor precio de mercado de los vegetales acuapónicos.

Cultivo de los peces

En los sistemas acuapónicos se ha utilizado diversas especies de peces como la tilapia, la trucha, la perca, y otras especies de agua dulce (Diver, 2006). 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). La tilapia es, por lo tanto, una especie idónea para 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

En el sistema acuapónico, las plantas son cultivadas en un medio acuático circulante. Es decir que el sustrato no es la tierra como en la agricultura tradicional. Es importante, por lo tanto, que el agua lleve los nutrientes necesarios a las raíces de las plantas. Por otro lado, el agua debe circular para que las raíces tengan oxigenación. El cultivo acuapónico de plantas, ofrece las ventajas del uso eficiente del agua, la producción más limpia (dado que no se usa tierra, la posibilidad de que las plantas se contaminen con parásitos es reducida) y un valor agregado de mercados selectos que demandan estos productos.

En cuanto a las especies que se pueden producir en acuaponía, la lechuga es quizá la especie más cultivada (Bosma et al., 2017) y eso se debe a su adaptación a las condiciones acuáticas del sistema y a las bajas demandas de este vegetal. Sin embargo, no todas las plantas se adaptan a los sistemas acuapónicos. En un estudio realizado por IICA en 2015, se determinó que la especie de chipilín (*Crotalaria longirostrata*) mostró una baja supervivencia en este sistema.

Algunas de las plantas nativas de Guatemala evaluadas en el IICAE, fueron promisorias en este sistema, por ejemplo el güicoy (*Cucurbita pepo*), el ayote (*Cucurbita argyrosperma*), el chile morrón (*Capsicum annuum*) y el frijol variedad ligero (*Phaseolus vulgaris*) que no solamente se adaptaron al sistema sino que mostraron un rápido crecimiento y un rendimiento interesante.

La producción acuapónica tradicional

En otros países, a nivel experimental, se han cultivado varias especies de plantas (Diver, 2006; Pattillo, 2017). 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. 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 (Diver, 2006; Gutiérrez, 2012).

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 se ha 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*).

Las investigaciones se han centrado en las 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 han evaluado variedades de chile y en el 2017 se evaluó la adaptación y el rendimiento de ocho variedades de frijol producidas por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).

En el IICAE, las investigaciones sobre acuaponía se desarrollan en el Módulo de Investigación en Acuaponía, situado en la Granja Experimental de la Facultad de Medicina

Veterinaria, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Figura 3).



Figura 3. Módulo de Investigación en Acuaponía del IICAE, en la Granja Experimental de la FMVZ, USAC, Guatemala.

El frijol y su importancia cultural y económica

El frijol, es la leguminosa más importante para el consumo humano, sobre todo en América Latina donde se produce (Voysest, 1983). Es uno de los alimentos más comunes en zonas rurales de América Central (Bressani et al., 1955) y es una especie nativa de Guatemala (Villar, 1998).

En la investigación del IICAE del presente año, se han escogido variedades de frijol dada la importancia que tiene esta especie en la cultura guatemalteca, tanto contemporánea como precolombina.

En la gastronomía de Guatemala, los frijoles se consumen cocidos, colados, fritos (volteados) o como ingredientes de otras comidas como los tamales chepes y tayuyos o el fiambre. Las legumbres inmaduras del frijol (ejotes), son consumidos envueltos en huevo, con arroz, en ensalada rusa, en caldos y sopas, etc.

Desde el punto de vista nutricional, el frijol es una fuente importante de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales (Bressani et al., 1955; Ulloa, et al., 2007) y junto con el

maíz, ha sido recomendado para combatir el hambre y la desnutrición a nivel mundial (Bressani, 1983).

Además de su valor para autoconsumo, el frijol puede ser una fuente de ingresos económicos para los campesinos agricultores que pueden vender ejotes y granos y usar el dinero generado para adquirir otros bienes o servicios.

La acuaponía con plantas nativas de Guatemala y su potencial contribución en la 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 viable para producir alimentos en ambientes donde el agua o el suelo son escasos y para solucionar el problema de la disposición de los efluentes cargados de nitrógeno a la vez que contribuye a la solución del problema de obtención de fertilizantes para las plantas (Mateus, 2009). Este sistema, es prometedor porque las plantas 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.

Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol de Guatemala y tilapias, en el IICAE

El proceso de cultivo acuapónico

El cultivo acuapónico inició con el almácigo donde se pusieron a germinar las semillas de frijol de ocho variedades para obtener las plántulas a colocar en los sistemas acuapónicos (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Almácigo de ocho variedades de frijoles desarrolladas por el ICTA (Altense, Hunapú, Ligero, Ostúa, Petén, Syaxché, Super chiva, Texcel), de donde se seleccionaron las plántulas para el cultivo acuapónico



Figura 5. Aspecto del almacigo de plantas de frijol en el IICAE, 2017.

Antes de ser trasplantadas al sistema acuapónico, las plantas y los peces son medidos y pesados (Figura 6). Las plantas fueron colocadas en los agujeros de los tubos de los módulos, y las tilapias en los tanques tipo tinaco (Figuras 7 y 8).



Figura 6. Medición y pesaje de las plántulas y de los peces inmediatamente antes del trasplante y la siembra en los módulos acuapónicos.



Figura 7. Plántulas trasplantadas a módulo acuapónico.



Figura 8. Tilapias sembradas en el tanque de agua tipo tinaco. La densidad de siembra fue de 25 individuos por tanque (tinaco de 750 l). Para la alimentación, se utilizó alimento comercial para tilapia, inicialmente con un nivel de proteína de 45% y posteriormente de 38%, a razón de 10% de la biomasa total por día.

Después del trasplante de las plántulas y de la siembra de las tilapias a 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. En las figuras 9 a 17 se muestran aspectos de la investigación de la capacidad adaptativa y productiva de las ocho variedades de frijol en condiciones acuapónicas.



Figura 9. Plantas de frijol, aproximadamente dos meses post-trasplante.



Figura 10. Es deseable medir las condiciones del agua durante el proceso.



Figura 11. Aspecto exterior de un módulo acuapónico donde se muestra el desarrollo foliar de las variedades de frijol.



Figura 12. Aspecto interior de un módulo acuapónico donde se muestra el desarrollo foliar de las variedades de frijol.



Figura 13. Desarrollo foliar de plantas de frijol en un módulo acuapónico aproximadamente a los tres meses post-trasplante.



Figura 14. Aspectos de la producción de vainas de frijol, en los módulos acuapónicos NFT del IICA E.



Figura 15. Desarrollo foliar y radicular de las plantas de frijol con aproximadamente tres meses de desarrollo: 1 = Altense, 2 = Hunapú, 3 = Ligero, 4 = Ostúa, 5 = Petén, 6 = Sayaxché, 7 = Superchiva, 8 = Texcel.



Figura 16. Producción de vainas por planta en una muestra de las ocho variedades evaluadas: 1 = Altense, 2 = Hunapú, 3 = Ligero, 4 = Ostúa, 5 = Petén, 6 = Sayaxché, 7 = Superchivoa, 8 = Texcel.



Figura 17. Tilapia producida en un módulo acuapónico en conjunto con variedades de frijol de Guatemala, en IICA.

Conclusiones generadas en el proyecto de investigación sobre el cultivo acuapónico de variedades de frijol de Guatemala y tilapias, en IICA

- Todas las variedades de frijol evaluadas se adaptaron a las condiciones de cultivo acuapónico.
- El porcentaje de supervivencia, en general, osciló entre 95 - 100%.
- Los porcentajes de floración y fructificación fueron cercanos al 100%
- El número promedio de frutos por planta (partiendo de las plantas que fructificaron) fue: Sayaxché = 36, Altense = 28, Petén = 26, Hunapú = 23, Ostúa = 21, Superchiva = 21, Ligerito = 19 y Texcel = 12.
- Los rendimientos de frutos, en biomasa, por variedad de frijol fueron: Sayaxché = 112 g; Altense = 111 g; Superchiva = 80 g; Petén = 79 g; Hunapú = 76 g; Ostúa = 73 g; Texcel = 51 g; Ligerito = 45 g.
- Los datos de biomasa del follaje por planta fueron: Altense = 294 g; Superchiva = 186 g; Ostúa = 154 g; Sayaxché = 143 g; Texcel = 128 g; Hunapú = 123 g; Petén = 86 g; Ligerito = 47 g.

Actividades de extensión del ICAE, en temas de acuaponía

Siguiendo la política universitaria de “id y enseñad a todos” se han recibido visitantes en las instalaciones del módulo de investigación en acuaponía del ICAE y se han impartido charlas en comunidades rurales (Figura 18).



Figura 18. Actividades de extensión del ICAE en el tema de acuaponía con frijol y otras especies de plantas.

Referencias

- Bressani, R. (1983). World needs for improved nutrition and the role of vegetables and legumes.
- 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*.
- Bressani, R., Marcucci, E., Robles, C. E., & Scrimshaw, N. S. (1955). Valor Nutritivo de los frijoles Centroamericanos. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana Publicaciones del Instituto de Nutrition de Centroamerica y Panama*, 201-206.
- 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.
- 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.
- Gutiérrez, M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Revista Informador Técnico*, (76), 123-129.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mateus, J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. En: *Red hidroponía*. Boletín No. 44 (2009); p 7-10.
- Menchú, M. T. & Méndez, H. (2012). Tabla de composición de alimentos de Centro America y Panamá. Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).

- 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.
- 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.
- Ulloa, J., Rosas, P., Ramírez, J., & Rangel, I. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8).
- 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.
- Villar, A. (1998). *La flora silvestre de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Voyses, O. (1983). Variedades de frijol en América Latina y su origen. CIAT

Fotografía para contraportada



15. Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Se realizó una presentación del proyecto en el invernadero del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud. Se tuvo la presencia de las autoridades, profesores y estudiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. También la presencia de algunos miembros de: la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, del Sistema de Estudios de Posgrado y de la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Así mismo, algunos miembros de otras entidades como el Colegio de Médicos Veterinarios y Zootecnistas de Guatemala, el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación y otras organizaciones interesadas en el sistema acuapónico. En esta actividad se explicó en qué consistía el sistema acuapónico y se realizó un recorrido por las instalaciones.

Se generó el libro titulado “Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias”, el cuál fue cofinanciado por la Dirección General de Investigación. Este libro va dirigido a los productores, profesionales, estudiantes y sociedad civil que estén interesados en la producción de alimentos en un sistema acuapónico.

Se impartió una conferencia sobre la producción de frijol en un sistema acuapónico con tilapias. En esta actividad participaron algunos los comunitarios de Santa Inés del Monte Pulciano, Sacatepéquez. Los participantes mostraron su interés para poder implementar este sistema en su comunidad. Con ello contribuyendo con nuevas propuestas que impactan en los temas de producción de alimentos sostenible, seguridad alimentaria, y soberanía alimentaria.

Se presentaron resultados intermedios del proyecto de investigación a investigadores y otros interesados en la Dirección General de Investigación de la USAC.

Se divulgó el proyecto en diversos medios como: el boletín de la DIGI, el Periódico de la USAC (<http://periodico.usac.edu.gt>) y en redes sociales (Facebook).

En la Jornada de actualización (III Módulo) realizada por la DIGI, se presentó el manuscrito científico del proyecto.

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.

CONTRATADOS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

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

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval
Coordinador del Proyecto de investigación

Firma

Ing. Saúl Guerra
Coordinadora del Programa Universitario de Investigación

Firma

Ing. Agro. MARN. Julio Rufino Salazar
Vo.Bo. Coordinador General de Programas

Firma