

Evaluación de la producción integrada de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en un sistema acuapónico NFT - Evaluation of the integrated production of nilotic tilapia (*Oreochromis niloticus*) and improved bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) in an NFT aquaponic system

Carlos Valdez-Sandoval¹, Dennis Guerra-Centeno¹, Mercedes Díaz-Rodríguez¹, Ligia Ríos².

¹ Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

² Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Contacto: Carlos Valdez-Sandoval - zoovaldez@gmail.com

Resumen

El crecimiento constante de la población humana lleva consigo un incremento en la demanda de alimentos. Se hace necesario entonces explorar nuevas formas de producción agropecuaria que sean eficientes y sostenibles y que puedan satisfacer este aumento en la demanda de alimentos. La acuaponía se presenta como un sistema innovador de producción integrada de alimentos de origen vegetal y animal. En respuesta a lo anterior, se evaluó la adaptación, el crecimiento, el rendimiento y las condiciones de producción 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 evaluadas fueron *Altense*, *Hunapú*, *Ligero*, *Ostúa*, *Petén*, *Sayaxché*, *Superchiva* y *Texcel*. El experimento duró 70 días y en su transcurso se hicieron tres mediciones, registrando 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* ($\bar{x}=192.0 \pm 43.4$ cm) y *Texcel* ($\bar{x}=169.6 \pm 51.0$ cm). Las variedades con mayores rendimientos de vainas fueron *Sayaxché* ($\bar{x}=111.7 \pm 57.3$ g) y *Altense* ($\bar{x}=110.6 \pm 104.4$ g). La biomasa media de las tilapias por tanque fue de 1327 ± 114 g. Partiendo de la evidencia generada, se concluye que la acuaponía con frijoles y tilapias puede ser una alternativa de producción sostenible de alimentos para satisfacer la demanda de la población.

Palabras clave: acuaponía, acuicultura, agricultura sostenible, producción ecológica, seguridad alimentaria.

Abstract

The constant growth of human population leads to an increase in food production demand. Therefore, it is necessary to explore new efficient and sustainable agricultural production forms to meet this increase in the demand for food. Aquaponics is an innovative system for simultaneously producing vegetable and animal foodstuffs. In response to this need, the adaptation, growth and yield of eight improved bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in aquaponics conditions were evaluated. Five NFT aquaponic modules were set, each one holding 80 plants (10 of each variety) and 25 Nile tilapia. The evaluated bean varieties were *Altense*, *Hunapu*, *Ligero*, *Ostua*, *Peten*, *Sayaxche*, *Superchiva* and *Texcel*. The experiment lasted 70 days. Survival rate, height of plants, weight and number of legumes per plant and water quality were measured. All the studied varieties adapted, grew and produced legumes in the experimental aquaponic modules. The varieties that showed higher growth were *Altense* ($\bar{x}=192.0 \pm 43.4$ cm) and *Texcel* ($\bar{x}=169.6 \pm 51.0$ cm). The varieties with higher legume yields were *Sayaxche* ($\bar{x}=111.7 \pm 57.3$ g) and *Altense* ($\bar{x}=110.6 \pm 104.4$ g). The average biomass of Nile tilapia per tank at day 70 was 1327 ± 114 g. The generated evidence led us to conclude that aquaponics with beans and Nile tilapia can become an alternative for sustainable food production to satisfy the human population demand.

Keywords: aquaponics, aquaculture, sustainable agriculture, ecological production, food security.

Introducción

La acuaponía, es un novedoso sistema que permite la producción de plantas y animales acuáticos de forma integrada. Se trata de un sistema cerrado donde el agua está circulando y donde los desechos de los animales acuáticos son aprovechados por las plantas (Diem, Konnerup & Brix, 2017; Pattillo, 2017). 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 (Scattini & Maj, 2017). Por sus características, este promete ser un sistema de producción con una huella ambiental reducida en contraposición con los sistemas agropecuarios convencionales (Delaide et al., 2017).

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 (Ramirez, Sabogal, Jiménez, & Hurtado, 2017). Adicionalmente, la acuaponía contribuye a resolver el problema de la producción de alimentos en áreas donde el suelo o el agua son escasos, constituyéndose 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, la acelga, el brócoli, el pepino y el tomate (Diver, 2006; Love et al., 2015; Ramirez et al., 2017). En cuanto al cultivo de plantas nativas de Guatemala en sistemas acuapónicos se han realizado estudios con

macuy (*Solanum nigrescens*), bleo (*Amaranthus cruentus*) amaranto (*Amaranthus sp.*), apazote (*Dysphania ambrosioides*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*), chipilín montés (*Crotalaria vitelina*), ayote (*Cucurbita argyrosperma*), güicoy (*Cucurbita pepo*) (Guerra-Centeno, Valdez-Sandoval, Aquino-Sagastume, Díaz, & Ríos, 2016), chile morrón (*Capsicum annum*), chile guaque (*Capsicum annum*), chile chocolate (*Capsicum annum*), chile cobanero (*Capsicum annum*), chile serrano (*Capsicum annum*), chile diente de perro (*Capsicum frutescens*), chile chiltepe (*Capsicum annum*) chile de caballo (*Capsicum pubescens*) (Valdez-Sandoval, Guerra-Centeno, Díaz, & Ríos, 2017), sin embargo hace falta estudiar otras especies que son importantes para la seguridad alimentaria de la población humana.

El frijol, es la leguminosa de consumo humano más importante, sobre todo en América Latina donde forma parte de la dieta habitual (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). Por su parte, la tilapia nilótica es la segunda especie más cultivada en el mundo (Wang & Lu, 2016). Dada la relevancia social de estas especies, en el presente estudio se evaluó la adaptación, el crecimiento, el rendimiento y las condiciones de producción de ocho variedades de frijol en un sistema acuapónico con tilapia nilótica. Se persigue que los productores tengan nuevas alternativas de producción de alimentos de origen vegetal y animal que sean sostenibles y amigables con el ambiente.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el invernadero del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud, en la Granja Experimental 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. La temperatura promedio es de 19.4 °C y la humedad relativa de 78%. La precipitación pluvial anual de 1196 y la altitud de 1473 m. s. n. m.

Sistema acuapónico

Se utilizó un sistema acuapónico de tipo *Nutrient Film Technique* (NFT) con las siguientes características: un tanque plástico para almacenamiento de agua con capacidad de 750 l; una bomba sumergible Truper® modelo BOS 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 red de tubos PVC de 4 pulgadas de diámetro arreglados en zig-zag y en forma piramidal (Figura 1). En estos tubos, se practicaron perforaciones circulares para colocar las plantas en pequeñas canastas plásticas, adicionando piedra volcánica como sustrato.

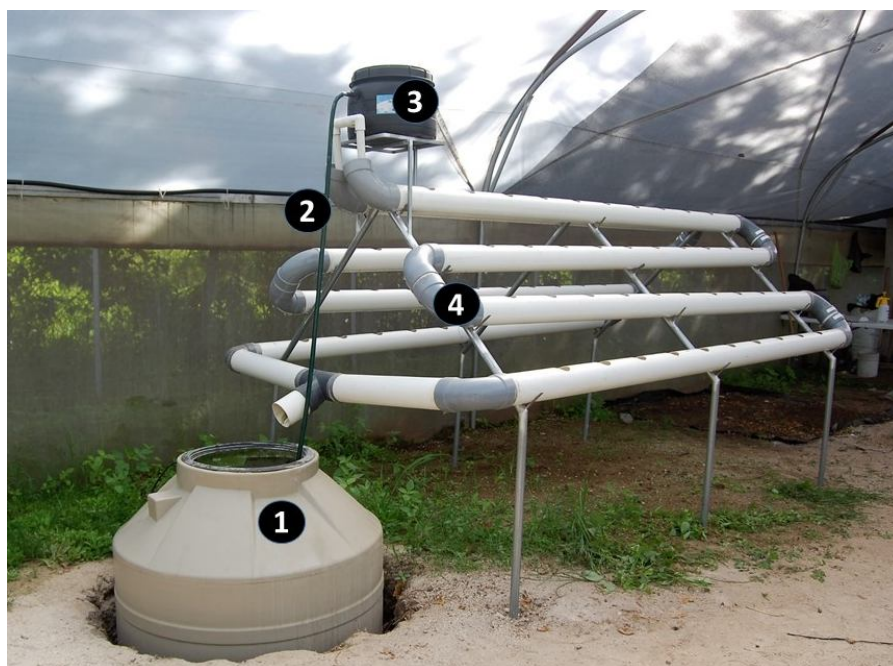


Figura 1. Componentes del sistema acuapónico NFT utilizado: 1. Tanque reservorio de agua, 2. Manguera plástica, 3. Biofiltro y 4. Red de tubos PVC.

Diseño del estudio

Se utilizó un diseño de bloques al azar. Con el objetivo de disminuir el riesgo de pérdida de tratamientos se utilizaron cinco sistemas acuapónicos independientes (como el de la figura 1). Cada módulo acuapónico contaba con un arreglo de ocho tubos para plantas y un tanque para tilapias. En cada tubo se colocaron aleatoriamente 10 individuos de cada variedad de planta (para un total de 80 individuos por módulo) y en cada tanque 25 tilapias. En total, se establecieron 50 repeticiones de cada variedad de planta (total 400 plantas) y cinco repeticiones de tanques de tilapias (total 125 tilapias).

Obtención de semillas, siembra, selección y trasplante de plántulas

Las variedades mejoradas de frijol utilizadas en el estudio fueron *Altense*, *Hunapú*, *Ligero*, *Ostúa*, *Petén*, *Sayaxché*, *Superchiva* y *Texcel*. Estas variedades se obtuvieron en el Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas –ICTA-. Se estableció un almácigo con las ocho variedades de frijol, a partir del que se seleccionaron 50 plántulas con tamaño homogéneo y buena condición para su posterior trasplante al sistema acuapónico.

Manejo de las tilapias

Se obtuvieron 300 crías de tilapia nilótica provenientes de una producción comercial ubicada en el municipio de Escuintla, en el sur de Guatemala. Después de una semana de aclimatación, se sembraron 25 tilapias por tanque. Para la alimentación, se utilizó alimento comercial para tilapia, inicialmente con un nivel de proteína de 45% y a partir de los 30 días de 38%, a razón de 10% de la biomasa total por día.

Determinación de la adaptación de las plantas

La adaptación fue medida a través del porcentaje de supervivencia (S%) es decir, el número de sobrevivientes de cada variedad * 100 / número inicial de individuos de la variedad.

Determinación del crecimiento de las plantas

El crecimiento se determinó por medición de las longitudes inicial, parcial y final. Estos datos fueron promediados por variedad.

Determinación del rendimiento de vainas de las plantas

El rendimiento de vainas de cada variedad se determinó considerando las siguientes variables individuales y conjuntas: (1) peso medio de vainas en gramos; (2) longitud media de vainas en centímetros; (3) número de vainas por planta y (4) biomasa de vainas por planta.

Para calcular el peso y la longitud de las vainas, se seleccionó una muestra aleatoria de 10 vainas de cada individuo de cada variedad. A partir de las muestras se calculó la longitud y el peso medios. Para calcular el número de vainas por planta, se contaron las vainas de cada planta de cada variedad y se generó el promedio. Para calcular la biomasa de vainas por planta, se pesó el total de las vainas y se generó el promedio por variedad.

Determinación de la adaptación de los peces

La adaptación de las tilapias al sistema acuapónico se midió calculando el porcentaje de supervivencia (organismos vivos al final / organismos al inicio * 100).

Determinación del rendimiento de los peces

Al inicio, a los 30 y a los 70 días se pesaron y se midieron todas las tilapias y se calculó la talla media, el peso medio y la biomasa media de las tilapias por tanque. Los pesos y las tallas individuales fueron aproximados al gramo y al centímetro más próximo respectivamente.

Condiciones del agua y el ambiente

Al inicio del estudio, a los 30 y a los 70 días se registró el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y el total de sólidos disueltos del agua. Para estas mediciones se utilizó un medidor multiparamétrico marca Hanna® modelo HI 001300. Adicionalmente, se registraron la temperatura y la humedad ambiental mediante un termo-higrómetro digital marca Hanna® modelo HI 9564.

Toma de datos

La supervivencia de las plantas y tilapias se monitorizó durante 60 días. La altura de las plantas se midió al ingresar al sistema acuapónico, a los 30 días y los 60 días del

trasplante al sistema acuapónico. El peso de las vainas se realizó el día 60. Las mediciones de talla y peso de las tilapias se realizaron el día 0 y 70.

Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva para describir la adaptación, el crecimiento y el rendimiento de las plantas de frijol y los peces. Se utilizó la prueba de Chi cuadrada para determinar si la adaptación de las plantas dependía de la variedad. Se utilizó un análisis de varianza de una vía para comparar el crecimiento y el rendimiento entre variedades de frijol. Los datos fueron procesados en el programa Past 3.04 (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

Resultados

Adaptación de las plantas de frijol en el sistema acuapónico.

Las plantas de las ocho variedades de frijol lograron adaptarse al sistema acuapónico registrándose una supervivencia cercana a 100% en todas las variedades estudiadas (Figura 2). Así mismo, no se observó asociación estadística entre la supervivencia y la variedad de planta ($\chi^2 = 0.36$, gl = 7, p = 0.99981).

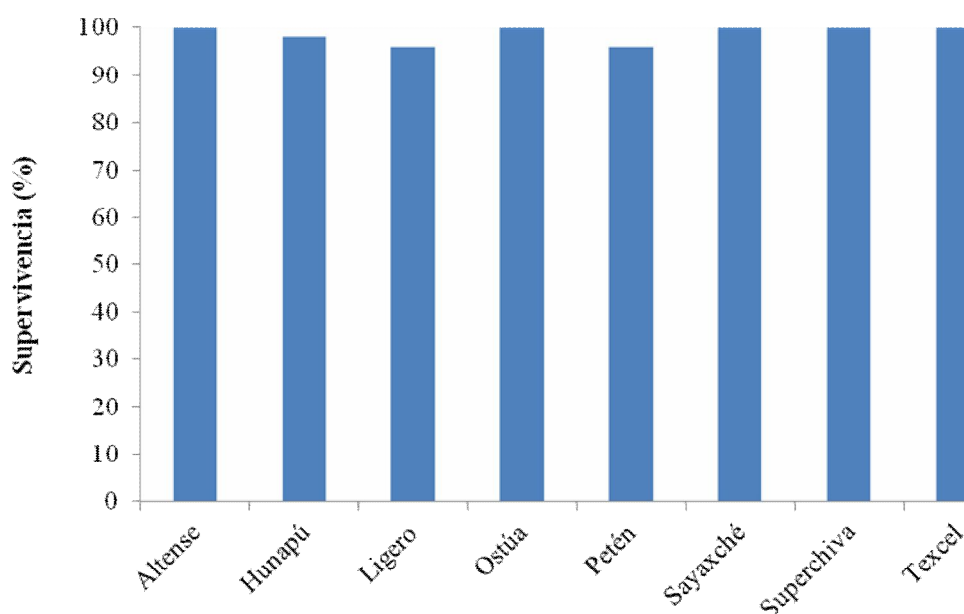


Figura 2. Supervivencia de las ocho variedades de plantas de frijol en el sistema acuapónico, durante el periodo de evaluación.

Crecimiento de las plantas

Las plantas de las ocho variedades de frijol lograron crecer en el sistema acuapónico. Las plantas de la variedad *Altense* mostraron los mayores crecimientos ($\bar{x} = 192.0 \pm 43.4$ cm), seguidas por *Texcel* ($\bar{x} = 169.6 \pm 51.0$ cm) y *Sayaxché* ($\bar{x} = 129.7 \pm 41.6$ cm). Las variedades con el menor crecimiento fueron *Petén* ($\bar{x} = 56.5 \pm 22.6$ cm) y *Ligero* ($\bar{x} = 40.0 \pm 14.9$ cm). Los crecimientos fueron estadísticamente diferentes entre las variedades estudiadas ($F = 69.5$, $gl = 7$, 229 , $p = 0.00001$). En la figura 3 se muestran las curvas de crecimiento de las ocho variedades de plantas de frijol cultivadas en el sistema acuapónico.

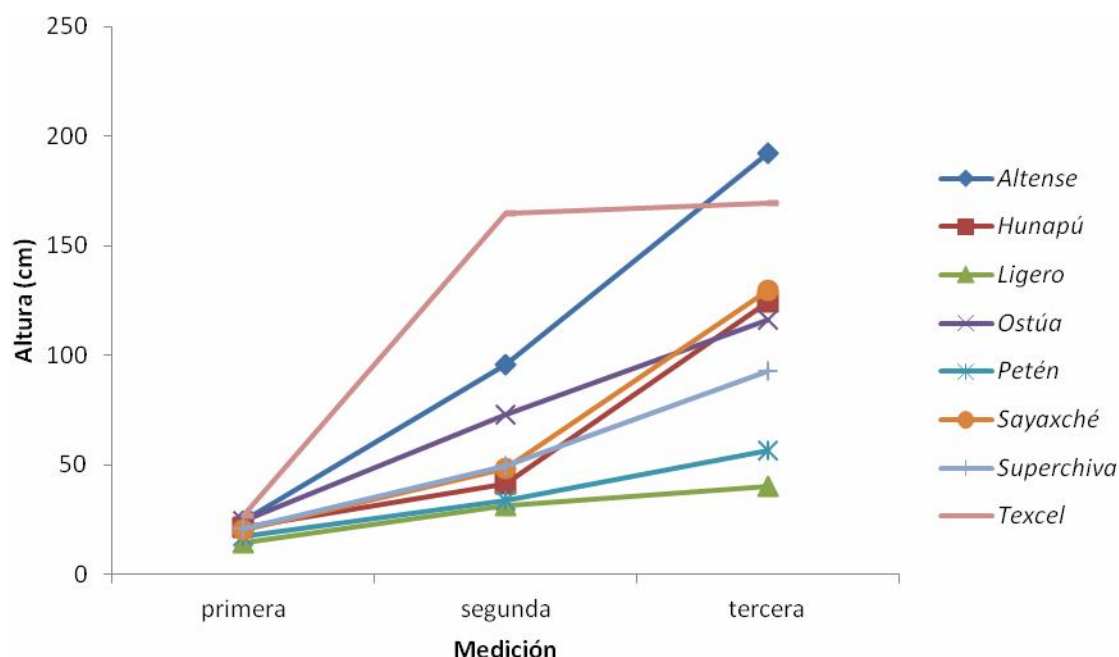


Figura 3. Curvas de crecimiento de las ocho variedades de plantas de frijol en el sistema acuapónico en tres momentos de medición (al ingresar al sistema acuapónico, a los 30 días y los 60 días del trasplante).

Rendimiento de las plantas

Las ocho variedades de plantas de frijol produjeron vainas en el sistema acuapónico. 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 el Cuadro 1. 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 *Ligero* con 44.5 g (Figura 4). Los rendimientos de vainas fueron estadísticamente diferentes entre variedades ($F = 4.70$, $gl = 7$, 22 , $p = 0.00001$).

Cuadro 1. Variables respuesta de las vainas (promedio) 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

Adaptación y rendimiento de las tilapias

Las tilapias se adaptaron al sistema acuapónico y generaron datos de supervivencia y crecimiento muy similares en todos los tanques. En el cuadro 2, se muestra la respuesta de las tilapias al final del estudio.

Cuadro 2. Variables respuesta de las tilapias al final del estudio.

Variable	$\bar{x} \pm sd$
N	23.0 ± 1.4
Supervivencia (%)	92.0 ± 5.7
Talla (cm)	13.8 ± 0.5
Peso (g)	57.9 ± 5.5
Biomasa por tanque (g)	1327.6 ± 114.4

Parámetros del agua

En cuanto al agua, el valor medio de pH fue de 7.4 ± 0.3 , la temperatura media de 23.6 ± 0.2 °C, la conductividad eléctrica 915.3 ± 140.3 µS/cm y el total de sólidos disueltos 421.8 ± 108.0 ppm.

Datos agronómicos adicionales

En el cuadro 3, se muestra la respuesta de floración, fructificación y biomasa del follaje y de la raíz de las variedades de frijol al final del estudio.

Cuadro 3. Floración, fructificación, biomasa del follaje y de la raíz (promedios) de las variedades de frijol en un sistema acuapónico.

	<i>Altense</i>	<i>Hunapú</i>	<i>Ligero</i>	<i>Ostúa</i>	<i>Petén</i>	<i>Sayaxché</i>	<i>Superchiva</i>	<i>Texcel</i>
Días a floración	52	48	37	50	40	49	53	50
Floración (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Días a fructificación	56	51	48	52	48	51	57	52
Fructificación (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Biomasa del follaje por planta (g)	294.1±137.7	122.9±45.9	46.6±38.1	154.4±57.0	85.9±51.6	143.0±67.4	185.9±85.5	127.6±80.8
Biomasa de la raíz por planta (g)	108.4±87.3	53.7±35.8	28.9±27.9	64.0±45.4	46.7±29.8	70.5±51.1	104.4±59.5	72.3±59.9
Longitud de la raíz por planta (cm)	49.6±19.4	56.1±23.7	42.6±13.9	55.7±17.3	46.2±17.6	54.4±19.7	59.3±23.1	65.4±26.7

Discusión

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 sp.*) 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 debido al peso de la planta, además de ocupar mayor espacio en el sistema o de requerir tutores para prevenir las rasgaduras 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 la producción en sistemas 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 las variedades *Sayaxché* y *Altense* rendimientos de 0.71 y 0.54 kg/m², mientras que en el presente estudio rindieron 1.49 y 1.48 kg/m² respectivamente. Así mismo, la variedad *Ligero* –la planta de menos producción en este estudio- generó 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 et al., 2017), se ha reportado recientemente 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 de este estudio refuerza la idea de que las raíces de las plantas y el filtro biológico mantienen condiciones propicias para el crecimiento de los peces.

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 rasgos funcionales similares 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.

Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el cofinanciamiento proporcionado para la ejecución de la presente investigación (partida presupuestal 4.8.63.2.01).

Referencias

- Acevedo, E. (1979). Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. *Boletín Técnico, Facultad de Agronomía Universidad de Chile*, 44(9), 17-25.
- 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 Nutrición de Centroamérica y Panamá, 201-206.
- CEPAL, N. (2017). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: Cepal.
- Cubero Salmerón, J.I. (2016). Legumbres: el pan del pobre. *Arbor*, 192(779), a312. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3002>
- De la Cruz, J. R. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala: Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.
- Delaide, B., Delhay, 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.
- 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., Díaz, M., & Ríos, L. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(11).
- Hammer, O., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), 1-9.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; Red de Innovación Agrícola. (2008). *Guía de exportación de frijol negro a Guatemala*. Managua: IICA.
- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74.
- 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., Jiménez, P., & Hurtado Giraldo, H. (2017). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1-2), 32-51. doi:<https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>

- Rosales Serna, R., & Ochoa Márquez, R., & Acosta Gallegos, J. (2001). Fenología y rendimiento del frijol en el altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. *Agrociencia*, 35(5), 513-523.
- Pattillo, D. A. (2017). An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components. *NCRAC Technical Bulletins*, 19.
- 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.
- Scattini, N., & Maj, S. P. (2017). Aquaponic Integration and Automation—A Critical Evaluation. *Modern Applied Science*, 11(9), 165.
- 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.
- Wang, M., & Lu, M. (2016). Tilapia polyculture: a global review. *Aquaculture research*, 47(8), 2363-2374.

REDVET: 2018, Vol. 19 N° 5

Este artículo Ref. 051807_RED VET (Ref. prov. 181807_tilapia, Recibido 07/02/2018, Aceptado 06/04/2018, Publicado 01/05/2018) está disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050518.html> concretamente en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050518/051807.pdf>

REDVET® Revista Electrónica de Veterinaria está editada por Veterinaria Organización®.

Se autoriza la difusión y reenvío siempre que enlace con [Veterinaria.org®](http://www.veterinaria.org) <http://www.veterinaria.org> y con REDVET®- <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>