

Guatemala, 27 de octubre 2016

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: “**Adaptación y rendimiento de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica**” (partida presupuestal 4.8.63.2.64), 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.



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

## INFORME FINAL

### **Adaptación y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica**

Equipo de investigación

Nombre del coordinador:

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval  
PhD. Dennis Guerra Centeno  
Julio López Barán

Octubre de 2016

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

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán  
Director General de Investigación

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

Ing. Augusto Saúl Guerra Gutiérrez  
Coordinadora del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

M.Sc. Carlos Enrique Saavedra  
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.

Julio López Barán  
Operario de campo

Partida Presupuestaria  
4.8.63.2.64  
Año de ejecución: 2016.

## ÍNDICE

1. Resumen .....	7
2. Abstract.....	8
3. Introducción.....	9
3.1. Planteamiento del problema .....	9
3.2. Justificación.....	9
3.3 Preguntas de investigación .....	10
3.4 Objetivos.....	10
3.5 Hipótesis .....	11
4. Marco teórico y estado del arte.....	11
5. Materiales y métodos.....	14
5.1 Descripción detallada de la ubicación geográfica de la investigación ..	14
5.2 Tipo de investigación .....	15
5.3 Técnicas e instrumentos.....	15
5.5 Muestreo .....	16
5.6 Operacionalización de las variables .....	16
5.7 Análisis estadístico .....	17
6. Resultados.....	18
7. Análisis y discusión de los resultados .....	25
8. Conclusiones.....	28
9. Referencias .....	29
10. Apéndice.....	33

## Índice de ilustraciones

Figura 1. Supervivencia de ocho variedades de plantas de chile en los módulos acuapónicos, durante el periodo de estudio .....	18
Figura 2. Curva de crecimiento de las plantas de chile en los módulos acuapónicos, desde el inicio hasta el final del estudio. ....	19
Figura 3. Rendimiento de las variedades de chile en los módulos acuapónicos, al final del estudio. ....	20
Figura 4. Recolección de chiles nativos de Guatemala. ....	33
Figura 5. Chiles nativos de Guatemala. ....	34
Figura 6. Semillero de chiles nativos de Guatemala .....	34
Figura 7. Desinfección de envases PET reciclados. ....	35
Figura 8. Instalaciones y módulos acuapónico.....	35
Figura 9. Trasplante de la planta al módulo acuapónico. ....	36
Figura 10. Medición inicial de los peces y plantas de chile. ....	36
Figura 11. Medición de las plantas de chile. ....	37
Figura 12. Organismos acuáticos utilizados.....	37
Figura 13. Adaptación y crecimientos de las plantas de chile en acuaponía. ....	38
Figura 14. Floración de las plantas de chile. ....	38
Figura 15. Colocación de tutores de crecimiento a las plantas de chile.....	39
Figura 16. Refuerzo de los módulos acuapónicos. ....	39
Figura 17. Monitorización de plagas, virus o enfermedades en las plantas de chile. ....	40
Figura 18. Planta de chile acuapónico .....	40
Figura 19. Fructificación de chile morrón.....	41
Figura 20. Fructificación de chile chocolate .....	41
Figura 21. Medición de parámetros en el agua. ....	42
Figura 22. Medición de los frutos cultivados en acuaponía. ....	42
Figura 23. Chile morrón cultivados en acuaponía.....	43
Figura 24. Chile chocolate cultivados en acuaponía .....	43
Figura 25. Chile guaque cultivados en acuaponía. ....	44
Figura 26. Chiltepe cultivado en acuaponía. ....	44
Figura 27. Chile serrano cultivado en acuaponía .....	45
Figura 28. Chile cobanero cultivado en acuaponía. ....	45

Figura 29. Chile diente de perro cultivado en acuaponía. ....	46
Figura 30. Chile caballo cultivado en acuaponía. ....	46
Figura 31. Presentación del proyecto de investigación ante diversas instituciones. ....	47
Figura 32. Recorrido guiado dentro de las instalaciones del proyecto de chiles en acuaponía. ....	47
Figura 33. Recorrido guiado y divulgación del proyecto ante estudiantes y profesores del Centro de Estudios de Mar y Acuicultura (CEMA). ....	48
Figura 34. Recorrido guiado y divulgación del proyecto a personas interesadas. ....	48
Figura 35. Presentación de resultados a investigadores y miembros de la DIGI ....	49
Figura 36. Presentación de resultados a estudiantes de la especialización en investigación científica de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería- USAC. ....	49
Figura 37. Divulgación del proyecto en medios escritos. ....	50
Figura 38. Divulgación del proyecto en medios digitales. ....	51
Figura 39. Divulgación del proyecto mediante un video y un artículo en la página ecociencia gt. ....	52
Figura 40. Taller sobre los avances y resultados de la investigación dirigido a comunitarios y autoridades locales de tres comunidades de la Reserva de la Biósfera Maya (El Capulinar, El Caoba y El Porvenir).....	53
Figura 41. Manual experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala y tilapias. ....	54

### Índice de cuadros

Cuadro 1. Variables medidas en el estudio. ....	16
Cuadro 2. Floración y fructificación (promedio) de las variedades de chile en un sistema acuapónico. ....	20
Cuadro 3. Variables respuesta de los peces al final del estudio. ....	21
Cuadro 4. Matriz de resultados obtenidos en el estudio. ....	23

## **Adaptación y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica.**

### 1. Resumen

Se determinó la adaptación, el crecimiento y el rendimiento de ocho variedades de chiles nativos de Guatemala en un sistema acuapónico. Se utilizaron seis módulos acuapónicos con capacidad de 80 plantas y 28 organismos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) cada uno. Se incluyeron en el estudio, plantas de chile de caballo (*Capsicum pubescens*), chiltepe (*Capsicum annuum* var. *glabriuculum*), chocolate (*C. annuum* var. *annuum*), cobanero (*C. annuum* var. *annuum*), diente de perro (*C. frutescens*), guaqué (*C. annuum* var. *annuum*), morrón (*C. annuum* var. *annuum*) y serrano (*C. annuum*). El periodo de evaluación fue de 120 días. Se registró la supervivencia, la longitud de la planta, el peso, el rendimiento de los frutos de chile y la biomasa de los peces al inicio y al final del periodo experimental. Las ocho variedades de chile se adaptaron a los módulos acuapónicos experimentales. Las longitudes promedio de las plantas no fueron diferentes entre variedades ( $p=0.1242$ ). Los rendimientos de frutos por variedad fueron diferentes ( $p=0.00001$ ). La variedad de planta con mayor rendimiento fue el chile morrón, seguida del chile guaqué y el chile chocolate. La biomasa promedio de los peces por tanque fue de  $1690.5\pm 128.6$  g. No se observó diferencias en el peso ( $0.268$ ), ni en la talla ( $p=0.2701$ ) de los peces dentro de cada tratamiento. Los resultados sugieren que se pueden producir diversas variedades de chiles nativos de Guatemala en un sistema acuapónico combinado con tilapia nilótica.

**Palabras clave:** Agricultura sostenible, sistemas de recirculación de agua, técnica de película de nutrientes (NFT), acuicultura.

## 2. Abstract

The adaptation, growth and yield of eight Guatemalan pepper varieties in an aquaponic system with tilapia were determined. Aquaponic modules with capacity to grow 80 plants and 28 tilapia organisms (*Oreochromis niloticus*) were used. Eight pepper varieties (caballo [*Capsicum pubescens*], chiltepe [*Capsicum annuum* var. *glabriuculum*], chocolate [*C. annuum* var. *annuum*], cobanero [*C. annuum* var. *annuum*], diente de perro [*C. frutescens*], guaque [*C. annuum* var. *annuum*], and morron [*C. annuum* var. *annuum*]) were randomly located in the modules and evaluated through a period of 120 days. Survival (S), size (T), weight (P) and biomass (B) of peppers and fish at the beginning and the end of the experimental period were recorded. Eight varieties of plants showed adaptation to the experimental conditions. Serrano pepper showed the highest growth, followed by chiltepe and cobanero. No differences in size of plant varieties were observed ( $p= 0.1242$ ). Fruit yields by variety were different ( $p = 0.00001$ ). The variety with the highest performance was morron, followed by guaque and chocolate. Tilapia biomass per tank was  $1690.5 \pm 128.6$  g. No difference were observed in final weight (0.268) and the size ( $p = 0.2701$ ) of tilapia within each treatment. The results suggest that might be convenient to grow Guatemalan peppers in aquaponic systems with tilapia nilotica.

**Keywords:** Sustainable agriculture, water recirculation systems, nutrient film technique, aquaculture.

### **3. Introducción**

#### **3.1. Planteamiento del problema**

En el ámbito científico, no existe información sobre la adaptación, crecimiento y producción de chile nativos de Guatemala en sistemas acuapónicos. En tal sentido, no se conocen aspectos como: 1. La supervivencia de las plantas de chile y de las tilapias en un sistema acuapónico. De ser factible, 2. El rendimiento de cada variedad de chile evaluada 3. La biomasa de tilapias se produciría en combinación con las plantas de chile nativo. 4. La mortalidad de las plantas y de los peces durante el periodo de evaluación. 5. Las características del sistema (agua, etc.) a lo largo del periodo de evaluación y 6. Los problemas más frecuentes durante el proceso de producción de plantas en dicho sistema.

#### **3.2 Justificación**

La acuaponía es un interesante sistema de producción de alimentos donde se combina el componente animal y vegetal. En cuanto al componente animal, se utilizan los peces que proporcionan proteína de alto valor biológico y en el componente vegetal se utilizan las plantas que aportan las vitaminas, los minerales, la fibra y otros nutrientes indispensables en una dieta. La producción de estos alimentos de origen animal y vegetal podría cubrir una buena parte de los requerimientos nutricionales de la población de Guatemala.

A pesar de que los chiles nativos de Guatemala son recursos de alto valor cultural, económico y alimenticio, no se les ha dado la importancia para su producción en sistemas sostenibles como la acuaponía. Los productores básicamente utilizan los modelos tradicionales que no necesariamente son los más productivos, sostenibles y amigables con el ambiente. Así mismo, hasta donde entendemos, no se han realizado estudios científicos de un modelo acuapónico integrando chiles nativos de Guatemala y tilapias.

### 3.3 Preguntas de investigación

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

### 3.4 Objetivos

#### General

- Generar información sobre la capacidad de un sistema acuapónico con chiles nativos de Guatemala para producir alimento vegetal y animal.

#### Específicos

- Determinar la supervivencia de ocho variedades de chile nativas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.
- Determinar el rendimiento de ocho variedades de chile nativas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.
- Comparar el rendimiento (biomasa final) de los frutos de ocho variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias durante el periodo de investigación.
- Describir las condiciones del sistema durante el período de evaluación.

### 3.5 Hipótesis

#### Hipótesis de trabajo

- Es posible cultivar algunos chiles nativos de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias.
- Al menos una de las variedades de chile cultivadas en sistema acuapónico obtendrá un rendimiento mayor.

### 4. Marco teórico y estado del arte

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos donde hay interacción del cultivo de peces y plantas (Ramírez, Sabogal, Gómez, Rodríguez, & Hurtado, 2009). La acuaponía se basa en el principio de recirculación de agua, siendo sistemas de producción cerrados donde constantemente se filtra y recicla el agua. Con ello se logra un mayor aprovechamiento del recurso hídrico y una mínima contaminación del mismo (Ebeling, et al., 1995). En este sistema, los nutrientes que excretan directamente los organismos cultivados en la producción acuícola (peces) o que son generados por la descomposición microbiana de los desechos orgánicos, son absorbidos y utilizados como nutrientes por las plantas cultivadas hidropónicamente.

#### *Ventajas de la acuaponía*

Dentro de las ventajas al utilizar un sistema acuapónico son: 1) Se reduce la cantidad de agua a utilizar. 2) El rendimiento es similar o superior al del cultivo hidropónico. 3) No se necesita preparar soluciones nutritivas. 4) Los peces son más saludables que en la acuicultura tradicional. 5) No se contamina con residuos, ya que estos sirven de nutrientes para las plantas. 6) Se elimina el uso de fertilizantes y plaguicidas y 7) Se obtienen ingresos tanto por las plantas como por los peces (García-Ulloa, León, Hernández & Chávez, 2005; Mateus, 2009)

### *Sistema NFT acuapónico*

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

### *Cultivo de los peces en sistemas acuapónicos*

En los sistemas acuapónicos se ha utilizado diversas especies de peces. Sin embargo, la tilapia (*Oreochromis niloticus*) ha sido la más cultivada (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) . Además de la tilapia, se han utilizado otras especies como: los dorados ornamentales, los bagres, las truchas y otros organismos acuáticos (Love et al., 2014).

### *Variedades de plantas utilizadas en acuaponía*

Los estudios en acuaponía se han enfocado tradicionalmente en el cultivo de plantas comerciales. Dentro de ellas encontramos la albahaca *Ocimum basilicum* (Rakocy, Shultz, Bailey & Thoman, 2004; Ronzón-Ortega, Hernández-Vergara & Pérez-Rostro, 2015; Roosta & Arabpour, 2013), la espinaca *Spinacia oleracea* (Petrea et al., 2014; Shete, Verma, Kohli, Dash & Tandel, 2013; Vandam, 2016), la lechuga *Lactuca sativa* (Al-Hafedh, Alam, & Beltagi, 2008; Effendi, Utomo, Darmawangsa & Hanafiah, 2015; Rafiee & Saad, 2010; Pantanella, Cardarelli, Colla, Rea & Marcucci, 2010; Pantanella, Cardarelli, Di Mattia & Colla, 2010; Sikawa & Yakupitiyage, 2010), y el tomate *Solanum*

*lycopersicum* (Roosta & Hamidpour, 2011; Saufie, Estim, Tamin, Harun, Obong & Mustafa, 2015; Villalobos-Reyes & González-Pérez, 2016).

### *Los chiles nativos de Guatemala*

El chile tiene importancia cultural en Guatemala. Otzoy, Chan & Esteban (2003) han descrito los chiles nativos de Guatemala como fuentes de alimento, condimentos, salsas, colorantes, o recursos de la etnomedicina. Desde la época de la colonia hasta nuestros días los campesinos han utilizado este recurso en momentos de escasez de alimentos. Por lo general, utilizan el chile como el único complemento de la tortilla. En los pueblos mayas, lo utilizaban para su consumo, además de ser un regalo especial que hacían a otra persona en sus ceremonias. Por otro lado, el chile fue incorporándose en la comida tradicional como el Kac-ik -Rojo de Chile-, el tamal, el pache, el pepián, entre otros (Ayala, 2002).

Guatemala cuenta con diversidad genética de chiles. Los chiles de Guatemala son el segundo centro de distribución de variación genética después de México (Heiser, 1976). Dentro de las variedades de chile que se puede encontrar dentro del país tenemos: Chile habanero *Capsicum chinense*, chiltepe *C. frutescens*, chile pico de gallina, diente de perro, cola de alacrán *C. annuum* var. *annuum*, chile cobanero *C. annuum*, chile chocolate *C. annuum*, chile huerta *C. annuum*, chile chamborote *C. annuum*, chile blanco *C. annuum*, chile sambo *C. annuum*, chile guaque *C. annuum* var. *annuum*, chile de caballo *C. pubescens*, chile dulce del Petén *C. annuum* var. *annuum*, entre otros (Otzoy, Chan & Esteban, 2003).

## **5. Materiales y métodos**

### 5.1 Descripción detallada de la ubicación geográfica de la investigación

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

#### *Invernadero*

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

#### *Módulos Acuapónicos*

El sistema acuapónico estuvo compuesto por un tanque plástico con capacidad de 200 galones. Una bomba sumergible que circuló el agua en un sistema cerrado. Un filtro biológico que filtró algunos de los sedimentos presente en el agua o efluente. En cada módulo experimental NFT, contó con 8 tubos de PVC rígido, de 3 metros de largo y 4 pulgadas de diámetro. En cada circuito de tubos hubo 80 orificios de 6 cm de diámetro a una distancia de 30 entre orificios. El efluente del estanque de cultivo de tilapias fue conducido hacia un biofiltro y de este hasta el circuito de tubos por medio de una manguera plástica. A través del circuito de tubos, circuló el agua en una película fina de 1 a 4 mm de altura que contuvo los nutrientes para que puedan ser absorbidos por las raíces de las plantas de chile. Se contó con seis módulos acuapónicos. Cada módulo acuapónico tuvo la capacidad de mantener 28 peces y 80 plantas de chile. En cada módulo se sembraron ocho variedades de chile. Por lo tanto, a lo largo de los seis módulos, hubo al inicio del estudio 60 organismos de cada variedad de chile.

### *Control hidropónico*

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

### 5.2 Tipo de investigación:

El estudio de la adaptación de las plantas de chile en el sistema acuapónico, fue abordado mediante investigación descriptiva. La evaluación del rendimiento y la comparación y contraste entre especies de planta de chile mediante investigación experimental. Los alcances fueron descriptivos.

### 5.3 Técnicas e instrumentos:

#### *Selección de chiles nativos de Guatemala*

Las ocho variedades de chile seleccionadas para este estudio fueron: chile de caballo (*Capsicum pubescens*), chiltepe (*Capsicum annuum var. glabriuculum*), chocolate (*C. annuum var. annuum*), cobanero (*C. annuum var. annuum*), diente de perro (*C. frutescens*), guaque (*C. annuum var. annuum*), morrón (*C. annuum var. annuum*) y serrano (*C. annuum*).

#### *Siembra, selección y trasplante de las plantas de chiles*

Se realizó un almacigo con aproximadamente 1000 semillas de cada variedad. Como sustrato se utilizó tierra negra. Las plantas se regaron diariamente con agua. Se seleccionaron 80 plantas de cada variedad, con buena condición y un tamaño homogéneo. Posteriormente se trasplantaron a recipientes plásticos y se introdujeron en las cavidades de los tubos del sistema acuapónico NFT, para evaluar su adaptación y crecimiento.

#### *Siembra y cultivo de peces*

Se obtuvieron 200 peces de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) de la Acuícola Cazali, ubicada en el municipio de Escuintla. Después de una semana de adaptación, se sembraron aleatoriamente 28 organismos en cada módulo acuapónico. Las tilapias se alimentaron con

Purina Tilapina con un nivel de proteína de 45% durante los primeros 60 días y 32% hasta el final del estudio. Cada 30 días se ajustó el volumen de la dieta según la biomasa estimada de los peces (10% de la biomasa total).

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

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

## 5.5 Muestreo

No procede.

## 5.6 Operacionalización de las variables

Cuadro 1. Variables medidas en el estudio.

Objetivo	Variable	Definición teórica de la variable	Definición operativa	Técnica	Instrumento	Escala de medición
Determinar la supervivencia de ocho variedades de chile nativas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.	Supervivencia de las plantas de chile.	Porcentaje de plantas que logra adaptarse y sobrevivir en las condiciones experimentales hasta el final del periodo experimental.	Número de plantas final dividido por el número de plantas inicial de cada variedad x 100.	Observación	Visión	Porcentaje de plantas vivas.
	Supervivencia de los peces.	Porcentaje de peces que logra adaptarse y sobrevivir en	Número de peces final dividido el número de	Observación	Visión	Porcentaje de peces vivos.

		las condiciones experimentales hasta el final del periodo experimental.	peses inicial x 100.			
Determinar el rendimiento de las ocho variedades de chile nativas y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación	Rendimiento de los frutos de la planta de chile.	Biomasa final de los frutos recolectados al final del periodo experimental.	Peso de los frutos de chile por cada variedad.	Pesaje	Balanza	gramos
	Rendimiento de los peces.	Biomasa final de los peces recolectados al final del periodo experimental	Peso de los peces.	Pesaje	Balanza	gramos
Comparar los rendimientos de ocho variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias durante el periodo de investigación.	Rendimientos de los frutos de las diversas especies de chile.	Biomasa final de los frutos generados por cada especie.	Es la sumatoria de peso de los frutos producidos por cada planta de cada especie.	Análisis de varianza de una vía, prueba no planificada de Tukey.	Balanza, programa estadístico R.	gramos

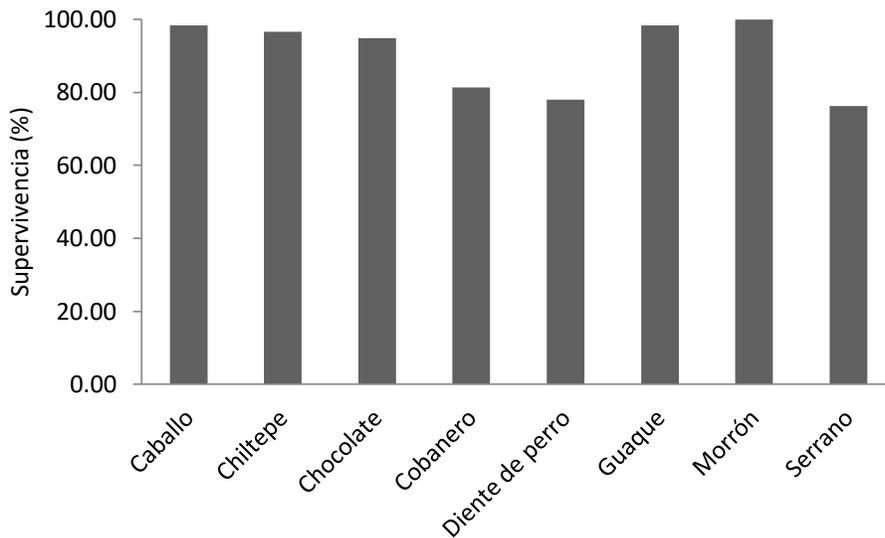
### 5.7 Análisis estadístico

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

## 6. Resultados

### 6.1. Supervivencia de plantas de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.

Las ocho variedades de plantas evaluadas se adaptaron a los módulos acuapónicos (Figura 1). El porcentaje de supervivencia de las plantas osciló entre 75 al 100%. No se observó asociación entre la supervivencia y la variedad de planta ( $\chi^2 = 4.36$ ,  $gl = 7$ ,  $p = 0.7369$ ).



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

6.2. Crecimiento de las plantas de chile en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.

Se registró crecimiento de las ocho variedades de plantas de chile cultivadas en los módulos acuapónicos. La variedad de planta con mayor crecimiento fue el chile serrano  $\bar{X} = 74.34 \pm 32.35$  cm, seguida de la planta de chiltepe  $\bar{X} = 67.94 \pm 28.66$  cm y la planta de chile cobanero  $\bar{X} = 66.38 \pm 23.89$  cm. El chile guaque fue la que presentó menor crecimiento  $\bar{X} = 50.51 \pm 19.31$  cm. No se observó diferencias en la altura de las variedades de plantas ( $F = 1.76$ ,  $gl = 7, 44$ ,  $p = 0.1242$ ). En la figura 2 se muestra la curva de crecimiento de las ocho variedades de plantas cultivadas en módulos acuapónicos.

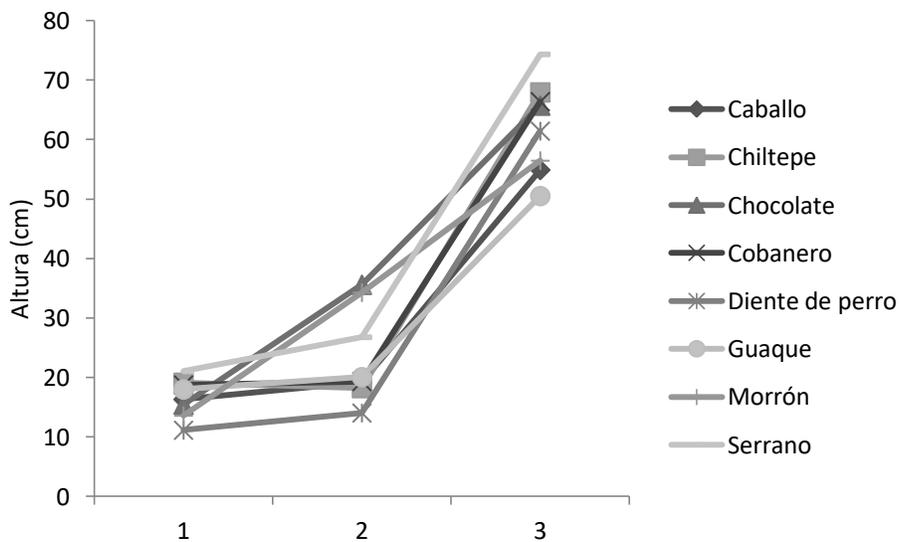


Figura 2. Curva de crecimiento de las plantas de chile en los módulos acuapónicos, desde el inicio hasta el final del estudio.

### 6.3 Floración y fructificación de las plantas de chile en un sistema acuapónico.

En el cuadro 2, se muestra la respuesta obtenida de la floración y fructificación de las variedades de chile al final del estudio.

Cuadro 2.

*Floración y fructificación (promedio) de las variedades de chile en un sistema acuapónico.*

	morrón	guaque	chocolate	cobanero	serrano	chiltepe	caballo	diente de perro
Floración (%)	98.3	87.7	78.6	87.5	66.7	64.3	49.1	47.8
Fructificación (%)	93.1	98.0	93.2	100.0	70.0	44.4	46.4	22.7
Frutos por planta	7.5	8.9	12.2	26.5	15.9	11.1	5.1	3.0
Alto del fruto (cm)	5.0	9.9	7.0	1.6	3.1	0.9	3.1	2.0
Ancho del fruto (cm)	4.9	2.1	1.2	0.9	1.2	0.8	3.2	0.5
Peso del fruto (g)	52.2	13.2	5.0	0.9	3.3	1.2	16.0	0.5
Biomasa por planta (g)	177.0	76.9	49.3	39.8	52.5	18.5	8.6	7.9

### 6.4. Rendimiento de los frutos de las plantas de chile en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.

Las variedades de chile con mayores rendimientos, a partir de las plantas sobrevivientes, fueron: el morrón con 9560 g (59 plantas), el guaque 3769 g (57 plantas), el chocolate 2020 g (56 plantas) y el cobanero 1670 g (48 plantas) (Figura 3). Se observó diferencias en el rendimiento de los frutos entre las variedades de plantas de chile ( $F = 15.49$ ,  $gl = 7, 40$ ,  $p = 0.00001$ )

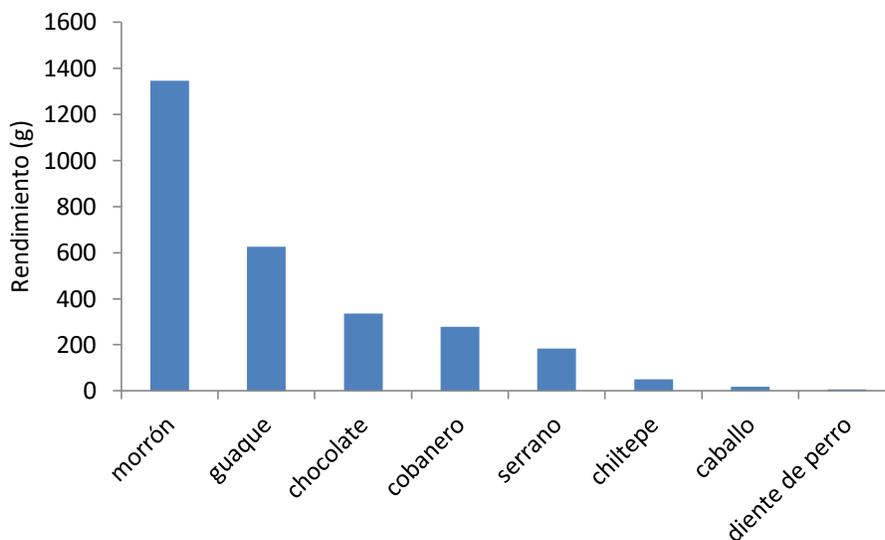


Figura 3. Rendimiento de las variedades de chile en los módulos acuapónicos, al final del estudio.

### 6.5. Variables respuesta de los peces

En el cuadro 3, se muestra la respuesta obtenida por los peces al final del estudio.

Cuadro 3.

*Variables respuesta de los peces al final del estudio.*

Variable	Tanque						$\bar{X} \pm sd$
	1	2	3	4	5	6	
N	28	27	27	27	27	28	26.8 ± 2.0
Supervivencia (%)	100	96.4	96.4	96.4	96.4	100	97.6 ± 1.8
Largo (cm)	21.1	22.7	22.0	22.5	22.7	21.8	22.1 ± 0.6
Ancho (cm)	6.7	7.3	6.8	7.1	7.3	6.8	7.0 ± 0.3
Peso (g)	195.6	239.3	208.0	220.5	231.7	215.1	218.4 ± 15.9
Biomasa inicial (g)	206	193	196	190	203	208	199.3 ± 7.4
Biomasa final (g)	5476	6462	5615	5954	6256	6023	5964.3 ± 373.3

No se observó asociación entre la supervivencia y el tratamiento ( $\chi^2 = 0.11$ , gl = 5, p = 0.999). No se observó diferencias en el peso final de los peces ( $F = 1.29$ , gl = 5, 158, p = 0.268). Tampoco se observó diferencias en la talla final de los peces ( $F = 1.29$ , gl = 5, 158, p = 0.2701)

## 6.6 Condiciones ambientales en el cultivo

El ambiente dentro del invernadero se mantuvo con una temperatura =  $25.3 \pm 2.8$  °C y una humedad relativa =  $57.1 \pm 9.9$  %. Los valores medios obtenidos en el agua de los tanques con tilapia fue de pH  $6.0 \pm 0.5$ , temperatura  $23.8 \pm 1.0$  °C, conductividad eléctrica  $1003.4 \pm 287.8$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  y total de sólidos disueltos  $511.9 \pm 147.2$  ppm

## 6.7 Descripción de las condiciones del sistema.

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

1. Se observó clorosis en las primeras fases de crecimiento de las plantas.
2. La coloración verde de las plantas se estabilizó cuando los peces generaron mayor cantidad de desechos.
3. Fue necesario reforzar los módulos acuapónico para que soportaran el peso del agua circulante y de las 80 plantas al final del estudio.
4. El biofiltro utilizado logró mantener una baja turbidez en el agua.
5. Las raíces de las plantas obstruyeron el flujo de agua al final de estudio.
6. La distancia de siembra entre plantas fue suficiente para el crecimiento y desarrollo de las plantas.
7. No se observó crecimiento de malezas en los módulos acuapónico.
8. El sustrato (arena volcánica) utilizado logró dar soporte a las plantas.
9. En la fase de fructificación de las plantas de chile fue necesario colocarles un tutor.
10. El invernadero logró aislar de insectos y plagas que pudieran afectar a las plantas.
11. Los envases plásticos reciclados lograron mantener a las plantas de chile de alto porte, dentro de los sistemas acuapónicos.

12. Los peces lograron niveles aceptables de adaptación y crecimiento dentro de los tanques circulares plásticos utilizados en el presente estudio.

Las condiciones y procesos realizados en el cultivo de chiles en acuaponía se muestran desde la figura 5 a la 30.

## 6.8 Matriz de Resultado

Cuadro 4. Matriz de resultados obtenidos en el estudio.

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado obtenido
Determinar la supervivencia de ocho variedades de chile nativas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.	Porcentaje de supervivencia de ocho variedades de plantas de chile y tilapias en un sistema acuapónico.	Adaptación o supervivencia de ocho variedades de chile nativas de Guatemala y tilapias en un sistema acuapónico NFT.
Determinar el rendimiento de ocho variedades de chile nativas de Guatemala y de las tilapias en un sistema acuapónico durante el periodo de evaluación.	Rendimiento de los frutos de ocho variedades de chile y tilapias en un sistema acuapónico.	Curva de crecimiento y biomasa final de las variedades de chile y de las tilapias en un sistema acuapónico.
Comparar el rendimiento (biomasa final) de los frutos de ocho variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias durante el período de investigación.	Comparación de los rendimientos de los frutos de chile nativos de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapias.	Contrastación del rendimiento de frutos de las variedades de chile en un sistema acuapónico con tilapias.
Describir las condiciones	Comportamiento del sistema	Listado con detalles del

del sistema durante el periodo de evaluación.	acuapónico.	comportamiento o funcionamiento de los módulos acuapónicos.
---	-------------	---

## 6.9 Impacto esperado

Uno de los hallazgos más interesantes de este estudio, es el logro de la adaptación y producción de las variedades de chile nativas de Guatemala en acuaponía con tilapia nilótica. Este impacto es relevante debido a que se está produciendo alimento de origen vegetal y animal de una forma sostenible. Y derivado de esto, se podría beneficiar a la población de Guatemala, con nuevos modelos de producción, otras formas de generar ingresos económicos y la obtención de alimentos que cubran sus requerimientos alimenticios.

En los próximos días, saldrá un libro titulado “Experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala y tilapias”, cofinanciado por la Dirección General de Investigación. Este libro va dirigido a campesinos, productores, profesionales y estudiantes de las ciencias agropecuarias que deseen incursionarse en la producción de cultivos acuapónicos.

Se realizó un taller con el fin de divulgar los resultados obtenidos de la presente investigación. El lugar sede fue la estación piscícola “El Remate” en donde se contó con la participación de productores de tres comunidades (El Capulinar, El Caoba y El Porvenir) de la Reserva de la Biósfera Maya, Petén. La organización del evento fue conjuntamente realizada con nuestra entidad socia Wildlife Conservation Society (WCS) y delegados del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Esto es una pequeña muestra de la aceptación y aplicación de los resultados de nuestra investigación, que podrán ser utilizados por comunidades rurales de todo el país.

El conocimiento generado se socializó en los ámbitos técnico y académico a nivel nacional. A nivel institucional se involucraron delegados de la subsede del MAGA del departamento de Petén y WCS. A nivel académico se beneficio a estudiantes y docentes de la Facultad de

Medicina Veterinaria y Zootecnia y del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. En tal sentido, el conocimiento generado es de suma utilidad é ira impactando a corto plazo en los temas de producción sostenible, desnutrición, seguridad alimentaria y soberanía alimentaria.

## 7. Análisis y discusión de los resultados

Los datos sobre la adaptación de variedades de chile nativas de Guatemala en condiciones de acuaponía generados en el presente estudio son alentadores. De los resultados se sigue que estas plantas son capaces de mantener las raíces dentro de agua circulante con desechos orgánicos generados por tilapias, y de crecer y producir frutos sin utilizar tierra como sustrato. El hecho de que se haya logrado producción de las variedades estudiadas, aun partiendo de material poco domesticado, sugiere que podrían obtener resultados mejores y más homogéneos si se parte de material mejorado.

Los valores de supervivencia superiores al 75%, obtenido en el presente estudio para el caso de los chiles nativos de Guatemala son hasta ahora inéditos y se presentan como información relevante de cara hacia la agricultura sostenible. Estudios similares con plantas nativas como el apazote *Dysphania ambrosioides*, el macuy *Solanum nigrescens*, el amaranto *Amaranthus sp*, el bledo *A. cruentus*, chipilín montés *C. vitellina*, ayote *Cucurbita argyrosperma* y güicoy *C. pepo* que han obtenido supervivencias superiores al 85% (Guerra-Centeno, Valdez-Sandoval, Aquino-Sagastume, Díaz & Ríos, en prensa) refuerzan esta interpretación. Sin embargo, no todas las plantas se han adaptado satisfactoriamente a este sistema. Especies como el chipilín (*Crotalaria longirostrata*) (Guerra-Centeno et al., en prensa) y el cilantro (*Coriandrum sativum*) (Ronzón-Ortega, Hernández-Vergara, & Pérez-Rostro, 2015) han mostrado resultados pobres en este sistema.

Al hablar de crecimiento, la altura de la planta no es, necesariamente, un buen indicador de la capacidad de producción de la planta. Según lo observado en presente estudio, las plantas de mayor porte, como el chile serrano no fueron las que más rindieron. La altura de la planta si sería un dato relevante cuando hablamos de las implicaciones de mantener una

planta alta en un sistema acuapónico NFT. Lo ideal, en este caso, sería lograr una combinación de una planta de longitud de unos 30 centímetros y con frutos que estén dispuestos en una simetría radiada.

La floración de cuatro de las variedades de chile utilizadas en este estudio se considera aceptable. Estas variedades (morrón, el guaqué, el chocolate y el cobanero) no solo presentaron mayor porcentaje de floración ( $> 75\%$ ), sino que algunas iniciaron esta fase a partir de los 40 días pos trasplante. En estudios realizados en hidroponía con variedades híbridas de chile morrón, se ha observado floración entre los 30 y 45 días (Moreno, Mora, Sánchez & García-Pérez, 2011). En cuanto al chile chocolate y chile cobanero cultivados en tierra, la floración se ha presentado a los 60 y 65 días respectivamente (Ayala, 2002). Estos últimos datos, son muy similares a los obtenidos en este estudio para los chiles serrano, chiltepe, caballo y diente de perro (75 días pos trasplante). En tal sentido, si se desea producir chiles en el menor tiempo posible, hay que considerar la floración de las variedades, ya que de esto dependerá la obtención de los primeros frutos de chile.

El rendimiento de los frutos de las variedades de chile evaluadas, estuvo por debajo de lo reportado. Moreno et al. (2011), reportan para el caso de morrones híbridos cultivados en hidroponía, rendimientos de 5.7 a 11.5 kg/m<sup>2</sup>. Fortis-Hernández, Preciado-Rangel, García-Hernández, Navarro, A., Antonio-González, & Omaña (2012) reportaron rendimientos de 4.0 a 5.2 kg/m<sup>2</sup> para cultivos en sustratos orgánicos 4.0 a 5.2. En el presente estudio, esta variedad –que fue la planta con mayor rendimiento– generó 2.12 kg/m<sup>2</sup>. Así mismo, el rendimiento obtenido para los chiles guaqué y chocolate (0.8 y 0.5 kg/m<sup>2</sup>), fue menor al de los cultivados en tierra (1.1 y 1.7 kg/m<sup>2</sup> respectivamente) (Otzoy, Chan & Esteban, 2003).

Las condiciones ambientales dentro del invernadero podrían no haber sido las idóneas para el desarrollo y producción de ciertas variedades de chile. Los valores de temperatura oscilaron entre 22 y 28 °C y la humedad relativa entre 47 y 67 por ciento. Aunque estos datos de temperatura son similares a los recomendados para el pimiento (Baudoin et al., 2002), los niveles de humedad estuvieron debajo de lo recomendado (70 a 75%), pudiendo esto, haber provocado aborto floral (Baudoin et al., 2002).

Por otro lado, la supervivencia, crecimiento y biomasa de las tilapias cultivadas en estanques semicerrados fue interesante. Los peces no sólo tuvieron una adaptación mayor del 95% en los tanques plásticos, sino que desarrollaron un peso superior a los 200 g en cuatro meses de cultivo. Al criar tilapias en estanques circulares de cemento, se ha obtenido un 96% de supervivencia y un peso promedio de 141 g en un período de tres a cuatro meses (Ortega-López, Trejo-Téllez, Gómez-Merino, Alonso-López & Salazar-Ortiz, 2015). En otro estudio realizado en las similares condiciones, con tanques plásticos, las tilapias tuvieron una supervivencia entre el 56 al 88% y pesos de 42 gramos en dos meses (Guerra-Centeno et al., en prensa [REDEVET, noviembre 2016]).

Aunque los datos de rendimiento de las variedades de chile evaluadas en la presente investigación, están por debajo de lo reportado en estudios que evaluaron variedades mejoradas; consideramos que nuestros datos tienen aplicación para los campesinos pobres que no tienen acceso a materiales mejorados cuyo precio en el mercado de Guatemala puede alcanzar niveles de US \$ 125.00 a 375.00 las 1000 semillas. Por otro lado el uso de material autóctono no domesticado, podría favorecer la resistencia a las plagas.

El uso de tutores, el uso de variedades mejoradas, la incorporación de polinizadores o de prácticas de polinización manual, el control de plagas, el uso de materiales orgánicos como el bambú (*Bambusa spp.*) en la construcción de los módulos y el uso de fuentes de energía alternas como la solar y la eólica, más la combinación de organismos acuáticos, son aspectos que deben investigarse.

## 8. Conclusiones

1. Se adaptaron ocho variedades de chile nativas de Guatemala a los módulos acuapónicos con tilapias, presentándose como una opción interesante para la producción de alimentos en forma sostenible.
2. El porcentaje de supervivencia de las plantas, osciló entre 75 - 100%. Observándose asociación entre la supervivencia y la variedad de planta.
3. Las variedades que mostraron las más altas tasas de sobrevivencia fueron el morrón, el guaque, el chocolate, el chiltepe y el caballo.
4. No todas las variedades sobrevivientes produjeron niveles aceptables de fructificación.
5. El número promedio de frutos por planta (partiendo de las plantas que fructificaron) fue: cobanero = 26, serrano = 16, chocolate = 12, chiltepe = 11, guaque = 9, morrón = 7, caballo = 5 y diente de perro = 3
6. En general, los porcentajes de floración fueron altos, sin embargo los porcentajes de fructificación fueron bajos.
7. La variedad de planta con mayor crecimiento fue el chile serrano  $\bar{x} = 74.3$  cm, seguida de la planta de chiltepe  $\bar{x} = 67.94$  cm y la planta de chile cobanero  $\bar{x} = 66.38$  cm; no observándose diferencias en la altura de las variedades de chile.
8. Los rendimientos de frutos por variedad de chile, a partir de las plantas sobrevivientes, fueron: el morrón con 9560 g (59 plantas), el guaque 3769 g (57 plantas), el chocolate 2020 g (56 plantas), cobanero (48 plantas) = 1,670 g; serrano (45 plantas) = 1,102 g; chiltepe (56 plantas) = 296 g; caballo (57 plantas) 112 g; diente de perro (46 plantas) = 40 g.

9. Se observó diferencias en el rendimiento de los frutos entre las variedades de plantas de Chile.
10. En los peces no se observó asociación entre la supervivencia y el tratamiento. De igual manera no se observó diferencias en el peso ni en la talla final.

## 9. Referencias

- Al-Hafedh, Y. S., Alam, A., & Beltagi, M. S. (2008). Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the world aquaculture society*, 39(4), 510-520.
- Ayala, H.D. (2002). *Le Ik, los chiles de Guatemala*. Editorial Universitaria, USAC. 117 p.
- Baudoin, W., Nisen, A., Grafiadellis, M., Verlodt, H., Jiménez, R., De Villele, O., ... & Monteiro, A. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. *Medios y Técnicas de Producción. Suelo y Sustratos*. FAO. Roma, 143-182.
- 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 America Latina y Caribe.
- De la Cruz, J. R. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.
- Ebeling, J., Jensen, G., Losordo, T., Masser, M., McMullen, J., Pfeiffer, L., ... & Sette, M. (1995). *Model aquaculture recirculation system (MARS)*. Ames: Department of Agricultural Education and Studies Iowa State Aquacultural Engineering University
- Effendi, H., Utomo, B. A., Darmawangsa, G. M., & Hanafiah, D. A. (2015). Wastewater treatment of freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*) culture with lettuce (*Lactuca sativa*). *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 10(1), 409-420.
- Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J. L., Navarro Bravo, A., Antonio-González, J., & Omaña Silvestre, J. M. (2012). Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1203-1216.
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chávez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en Investigación Agropecuaria. Universidad de Colima*, 9(1), 5.
- Guerra-Centeno, D., Valdez-Sandoval, C., Aquino-Sagastume, E., Díaz, M., & Ríos, L. (en prensa). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *REDVET* (aceptado).
- 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.
- Heiser, C. B. (1976). Peppers: *Capsicum* (Solanaceae). *Simmonds, NW (ed)*.

- Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., & Semmens, K. (2014). An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS one*, 9(7), e102662.
- Mateus, J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. En: Red hidroponía. Boletín No. 44 (2009); p 7-10.
- Moreno Pérez, E. D. C., Mora Aguilar, R., Sánchez del Castillo, F., & García-Pérez, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2), 5-18.
- Ortega-López, N. E., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Alonso-López, A., & Salazar-Ortiz, J. (2015). Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un sistema acuapónico abierto. *Agroproductividad*, 8(3).
- Otzoy, M., Chan, M., & Esteban, C. (2003). Búsqueda, colecta, manejo agronómico, caracterización y obtención de cultivares y materiales promisorios de chile tradicional (*Capsicum annuum*), en la zona suroccidental de Guatemala. Recuperado de <http://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/prunian/INF-2003-008.pdf>
- Pantarella, 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).
- Pantarella, E., Cardarelli, M., Di Mattia, E., & Colla, G. (2010). Aquaponics and food safety: Effects of UV sterilization on total coliforms and lettuce production. In *International Conference and Exhibition on Soilless Culture 1062* (pp. 71-76).
- Petrea, S. M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Dicu, M., Antache, A., ... & Placinta, S. (2014). Vegetable Production in an Integrated Aquaponic System with Stellate Sturgeon and Spinach–Matador variety. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 47(1), 235-245.
- Rafiee, G., & Saad, C. R. (2010). The effect of natural zeolite (clinoptiolite) on aquaponic production of red tilapia (*Oreochromis* sp.) and lettuce (*Lactuca sativa* var. longifolia), and improvement of water quality. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8, 313-322.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2004). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In *New*

*Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Held September* (pp. 12-16).

- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez, D., & Hurtado, H. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish-Lechuga. *Revista facultad deficiencias básicas*, 5(1), 154-170.
- Ronzón-Ortega, M., Hernández-Vergara, M. P., & Pérez-Rostro, C. I. (2015). Producción acuapónica de tres hortalizas en sistemas asociados al cultivo semi-intensivo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*). *Agroproductividad*, 8(3).
- Roosta, H., & 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.
- 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.
- Shete, A. P., Verma, A. K., Kohli, M. P. S., Dash, A., & Tandel, R. (2013). Optimum Stocking Density for Growth of Goldfish, *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758), in an Aquaponic System. *ISRAELI JOURNAL OF AQUACULTURE-BAMIDGEH*, 65, 1-6.
- Sikawa, D. C., & Yakupitiyage, A. (2010). The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. *Agricultural water management*, 97(9), 1317-1325.
- Vandam, D. (2016). *Growth and Tissue Elemental Composition Response of Spinach (Spinacia oleracea) to Hydroponic and Aquaponic Water Quality Conditions*.
- Villalobos-Reyes, S., & González-Pérez, E. (2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 983-992.

10. Apéndice



*Figura 4.* Recolección de chiles nativos de Guatemala.



*Figura 5.* Chiles nativos de Guatemala.



*Figura 6.* Semillero de chiles nativos de Guatemala



*Figura 7.* Desinfección de envases PET reciclados.



*Figura 8.* Instalaciones y módulos acuapónico.



*Figura 9.* Trasplante de la planta al módulo acuapónico.



*Figura 10.* Medición inicial de los peces y plantas de chile.



*Figura 11.* Medición de las plantas de chile.



*Figura 12.* Organismos acuáticos utilizados.



*Figura 13.* Adaptación y crecimientos de las plantas de chile en acuaponía.



*Figura 14.* Floración de las plantas de chile.



*Figura 15.* Colocación de tutores de crecimiento a las plantas de chile.



*Figura 16.* Refuerzo de los módulos acuapónicos.



*Figura 17.* Monitorización de plagas, virus o enfermedades en las plantas de chile.



*Figura 18.* Planta de chile acuapónico.



*Figura 19.* Fructificación de chile morrón.



*Figura 20.* Fructificación de chile chocolate



*Figura 21.* Medición de parámetros en el agua.



*Figura 22.* Medición de los frutos cultivados en acuaponía.



*Figura 23.* Chile morrón cultivados en acuaponía.



*Figura 24.* Chile chocolate cultivados en acuaponía.



*Figura 25.* Chile gua que cultivados en acuaponía.



*Figura 26.* Chiltepe cultivado en acuaponía.



*Figura 27.* Chile serrano cultivado en acuaponía.



*Figura 28.* Chile cobanero cultivado en acuaponía.



*Figura 29.* Chile diente de perro cultivado en acuaponía.



*Figura 30.* Chile caballo cultivado en acuaponía.



*Figura 31.* Presentación del proyecto de investigación ante diversas instituciones.



*Figura 32.* Recorrido guiado dentro de las instalaciones del proyecto de chiles en acuaponía.



*Figura 33.* Recorrido guiado y divulgación del proyecto ante estudiantes y profesores del Centro de Estudios de Mar y Acuicultura (CEMA).



*Figura 34.* Recorrido guiado y divulgación del proyecto a personas interesadas.



*Figura 35.* Presentación de resultados a investigadores y miembros de la DIGI.



*Figura 36.* Presentación de resultados a estudiantes de la especialización en investigación científica de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería- USAC.

# Avanza proyecto de investigación sobre Acuaponía y variedades de chiles guatemaltecos

Redacción: DIGI/SEP

El viernes 20 de mayo en las instalaciones de la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, fueron presentados los avances del proyecto: "Adaptación y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica" co-financiado por la Dirección General de Investigación.



Invernadero acuapónico de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Dennis Guerra, Director del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud indicó: "Con recursos limitados hemos puesto todo nuestro esfuerzo para ir generando investigación en la línea de seguridad alimentaria; este es nuestro tercer proyecto con fondos de DIGI y lo estamos traduciendo en productos; estamos conscientes que la Universidad trabaja con recursos públicos, por esa razón tenemos que dirigir nuestros esfuerzos hacia los comunitarios, estos proyectos tienen como objetivo generar alternativas de producción para la gente de escasos recursos"

Dentro de este proyecto de investigación se tomaron en cuenta ocho variedades de chiles de nuestro país: chile chocolate, diente de perro, chiltepe, morrón, cobanero, guaque, chile de caballo y chile serrano.

Guerra también aclaró que el proyecto no es un proyecto productivo sino de investigación, por cual: "estamos evaluando si estas variedades de chile autóctonas de Guatemala, se adaptan al sistema (acuaponía)"

Por su parte Juan Carlos Valdez, coordinador del proyecto dirigió un recorrido por el invernadero donde se lleva a cabo el seguimiento al proyecto y explicó que la acuaponía es una corriente de sistema de producción agropecuaria que está empezando a desarrollarse en universidades e institutos de investigación de varios países del mundo, y detalló los pasos y elementos necesarios para montar un sistema de esta naturaleza.

También explicó que durante el proceso es necesario el monitoreo constante del sistema, desde la salud y evolución de los peces hasta el desarrollo de las plantas y otros elementos a lo largo del proyecto de investigación. "Debemos esperar aproximadamente tres meses para poder observar los resultados y evaluar los tamaños de las plantas y los frutos así como la talla y peso de los peces" indicó. Los investigadores indicaron que en unos meses estarán divulgando los resultados finales de la investigación: "Estamos convencidos que esta actividad se traducirá

en beneficio para muchos campesinos de Guatemala y de otros países con realidades similares".

La acuaponía es un sistema innovador de producción agropecuaria que combina el aprovechamiento de organismos acuáticos y de plantas útiles. Lo novedoso del sistema es que no usa tierra y que el agua puede ser reciclada. Esto favorece la producción sostenible de alimentos y otros productos, así como el uso eficiente del suelo y del agua.

El equipo de investigación agradeció finalmente el apoyo de varios académicos como el Decano de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carlos Saavedra, el Director de DIGI, Gerardo Arroyo, el Coordinador del programa de Recursos Naturales y Ambiente, Saúl Guerra, Ligia Ríos de la Escuela de Postgrado de la FMVZ y Julio César Díaz, Coordinador del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos que han confiado y valorado este proyecto.



Saúl Guerra, coordinador del programa de Recursos Naturales y Ambiente, Carlos Saavedra, Decano de la FMVZ, Ligia Ríos, Coordinadora de Estudios de Postgrado de la FMVZ, Juan Carlos Valdez, coordinador del proyecto y Dennis Guerra, Director del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud.

Figura 37. Divulgación del proyecto en medios escritos.

Home › Notas Anteriores › Notas Mayo 2016 › 24 de mayo 2016 – Presentan proyecto de Sistema acuapónico con tilapia nilótica

## 24 de mayo 2016 – Presentan proyecto de Sistema acuapónico con tilapia nilótica

La Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia presentó el proyecto de investigación "Adaptación y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala, en un sistema acuapónico con tilapia nilótica".

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos donde hay interacción entre el cultivo de peces y la producción de plantas. Este sistema se basa en el principio de recirculación de agua, siendo sistemas de producción cerrados donde constantemente se filtra y recicla el agua. Con ello se logra mayor aprovechamiento del recurso hídrico y una mínima de contaminación del mismo. En este sistema, los nutrientes que excretan directamente los organismos cultivados en la producción acuícola (peces) o que son generados por la descomposición microbiana de los desechos orgánicos, son absorbidos y utilizados como nutrientes por las plantas cultivadas hidropónicamente.

El doctor Denis Guerra señaló que dicho proyecto genera recursos en las comunidades del interior, además de ser actualmente proyectos de investigación por parte de la Universidad. El coordinador del programa de Recursos Naturales de Ambiente de la Dirección General de Investigación DIGI, Ing. Saúl Guerra, manifestó la importancia de realizar este tipo de proyectos, y resaltó que Guatemala es un país que ha sido azotado por los fenómenos climáticos por lo que este tipo de proyectos ayudan en el desarrollo de las comunidades. Por su parte el decano de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia MSc. Carlos Saavedra remarcó la mega diversidad que se tiene en el territorio nacional.

El proyecto se encuentra ubicado en la granja experimental de la ciudad universitaria, tiene 6.5 metros de ancho por 30 metros de fondo, se cultivan ocho especies de chiles, chele serrano, diente de perro, chocolate, caballo, morrón, chilipe, cobanero y guaque, de los cuales el morrón y el chocolate son los que mejor han respondido, señaló el DSc. Juan Carlos Valdez. Así mismo comentó que dentro de cada depósito tiene la capacidad de 750 litros y alberga entre 25 y 30 tilapias nilóticas.



Saúl Guerra-Carlos Saavedra-Ligia Ríos-Juan Carlos Valdez-Dennis Guerra



Proyecto Acuaponía



Figura 38. Divulgación del proyecto en medios digitales.

Publicado en mayo 23, 2016 Por Lucy Calderón

## Un día "chilero": presentan sistema acuapónico para producir chiles

224  
Like

3  
G+



Saúl Guerra, Carlos Saavedra, Lijia Pios, Juan Carlos Valdez y Dennis Guerra.

Autoridades de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y de la DIGI.

¿Qué sería del Kaq Ik, sabrosa comida típica de Alta Verapaz, Guatemala sin el chile cobanero? ¿Y qué decir de una tortilla recién salida del comal a la que no se le echen unos granos de sal y un picoso chile chiltepe?

Por eso, rescatar y exaltar el valor gastronómico y cultural de los chiles -frutos de distintas formas, tamaños y colores del género *Capsicum*, familia *Solanaceae*- de los cuales Guatemala es uno de los centros de origen, es de los principales objetivos del proyecto de investigación: "Adaptación y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica".

El citado proyecto es liderado por los Doctores Dennis Guerra Centeno y Juan Carlos Valdez, 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 (USAC), quienes lo presentaron públicamente el pasado 20 de mayo en la Granja Experimental de la sede central de la USAC.

Por eso, rescatar y exaltar el valor gastronómico y cultural de los chiles -frutos de distintas formas, tamaños y colores del género *Capsicum*, familia *Solanaceae*- de los cuales Guatemala es uno de los centros de origen, es de los principales objetivos del proyecto de investigación: "Adaptación y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica".

El citado proyecto es liderado por los Doctores Dennis Guerra Centeno y Juan Carlos Valdez, 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 (USAC), quienes lo presentaron públicamente el pasado 20 de mayo en la Granja Experimental de la sede central de la USAC.

### Para enchilarse

Chile caballo, serrano, guaque, cobanero, chiltepe, morrón, diente de perro y el chile chocolate son las ocho variedades que los investigadores reprodujeron en el módulo experimental acuapónico.

Según indicaron Guerra y Valdez, ellos compraron los chiles en el mercado, les extrajeron las semillas, las pusieron a germinar y después seleccionaron los ejemplares más robustos para que siguieran creciendo en el medio acuapónico o sistema de producción de alimentos donde hay interacción entre el cultivo de peces y la producción de plantas.

Este sistema se basa en el principio de recirculación de agua, donde ésta constantemente se filtra y se recicla. De esta manera se aprovecha mejor el recurso hídrico y se contamina de forma mínima.

Los nutrientes que excretan los peces o que son generados por la descomposición microbiana de los desechos orgánicos son absorbidos y utilizados como nutrientes por las plantas cultivadas en el agua.

### Próximas metas

El siguiente paso de los investigadores será presentar a los agricultores este método de cultivo, demostrarles cómo funciona y asesorar a quienes quieran adoptar la tecnología.

También esperan que algunas instituciones interesadas en mejorar la producción agrícola, apoyen a los agricultores con la compra de los insumos que se requieren para instalar el sistema acuapónico. "El sistema no es barato, pero sí duradero", indicó Guerra.

Otra meta es hacer módulos de bambú para ver cómo funciona este material y determinar si soportaría el paso del agua.

Las personas interesadas en este sistema de cultivo pueden acudir al Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la USAC (Edificio M11, 2do. piso) y solicitar una copia del **Manual de prácticas acuapónicas**. Este documento es resultado del primer proyecto que sobre la temática fue avalado, aprobado y financiado por la Dirección General de Investigación (DIGI), cuyos resultados se dieron a conocer en 2015.



### Lucy Calderón

Licenciada en Comunicación Social y Periodista Profesional  
Lucy es egresada de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

[Leer más...](#)

### Recientes Artículos

- Las mujeres de origen chort' son hábiles y creativas tejedoras de vida
- Publica artículo científico en lugar de tradicional tesis y se gradúa
- Démosle un vistazo a la agricultura orgánica
- La calidad es indispensable para generar nuevos empleos y mejorar medios de vida
- Atrévete a innovar y a desarrollar una App cognitiva
- Ya está disponible guante que facilita autoexamen de mama
- Guatemala recibe donación de repelentes para combatir el Zika
- Un fructífero viaje al reino de los hongos
- Leche materna: un alimento insustituible
- Guatemala lidera dos propuestas para la protección de vida silvestre

Figura 39. Divulgación del proyecto mediante un video y un artículo en la página ecociencia gt.



*Figura 40.* Taller sobre los avances y resultados de la investigación dirigido a comunitarios y autoridades locales de tres comunidades de la Reserva de la Biósfera Maya (El Capulinar, El Caoba y El Porvenir).



# Experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala y tilapias

Carlos Valdez Sandoval  
Dennis Guerra Centeno



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



# Experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala y tilapias

Carlos Valdez Sandoval

Dennis Guerra Centeno

Guatemala, 2016

**Directorio**

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario General

M. Sc. Gerardo Arroyo Catalán

Director General de Investigación

M. Sc. Carlos Saavedra Vélez

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

Experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala 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, 2016. 28p.

Referencia APA:

Valdez-Sandoval, C. & Guerra-Centeno, D. (2016). *Experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala y tilapias*. Guatemala: Editorial Serviprensa.

2016, 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

<b>Tema</b>	<b>Página</b>
Presentación	1
Introducción	2
¿Qué es la acuaponía?	3
<i>Sistema acuapónico</i>	3
<i>Sistema acuapónico NFT</i>	4
<i>Ventajas de la acuaponía</i>	6
<i>Cultivo de peces</i>	6
<i>Cultivo de plantas</i>	7
La producción acuapónica tradicional	7
Investigación sobre acuaponía con especies nativas de Guatemala	8
Los chiles de Guatemala y su importancia cultural y económica	9
La acuaponía con plantas nativas de Guatemala y su posible papel en la seguridad alimentaria	9
Experiencias en el cultivo acuapónico de chiles nativos de Guatemala en el IICAE	10
<i>El proceso de cultivo acuapónico</i>	10
Conclusiones generadas en el proyecto de investigación sobre el cultivo acuapónico de chiles nativos de Guatemala en IICAE	19
Actividades de extensión del IICAE, en temas de acuaponía	20
¿Hacia dónde debe ir la investigación en acuaponía en Guatemala?	21
Referencias	22

## Presentación

En el presente manual, se presentan algunas de las experiencias generadas durante el desarrollo del proyecto de investigación “Adaptación y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica”, cofinanciado por la Dirección General de Investigación (DIGI) y ejecutado por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), a través del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE).

Este proyecto, tenía como objetivo investigar la capacidad de adaptación y el rendimiento de ocho variedades de chile nativas de Guatemala (morrón, guaque, chocolate, cobanero, chile serrano, chile chiltepe, chile caballo y diente de perro) 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 proviene de un tanque donde se cultivan peces u otro organismo acuático. 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 2016. Se utilizaron 70 plantas de cada variedad de chile y alrededor de 170 tilapias. Se midió el porcentaje de sobrevivencia de las plantas y de los peces, así como la cantidad de alimentos producida (biomasa de chiles y tilapias).

La variedad más prometedora en términos de tiempo y productividad fue el chile morrón (pimiento morrón), seguido por el guaque, el chocolate, el cobanero y el serrano. El chiltepe y el chile de caballo mostraron una pobre adaptación al sistema y una baja productividad. 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 de producción que combina las técnicas de producción de la acuicultura y la hidroponía. Por lo tanto, sus componentes son un tanque con agua donde se cultiva el organismo acuático, un sistema de tubos donde circula el agua y donde se cultivan las plantas y un biofiltro que procesa los desechos contenidos en la materia fecal de los organismos acuáticos. La importancia de la acuaponía radica en el hecho de que ahorra recursos pues la misma agua está recirculando en el sistema y aprovecha el espacio vertical pues hay sistemas que tienen una configuración piramidal. Este recurso tecnológico, se presenta como una alternativa idónea para producir alimento vegetal y animal en regiones áridas o donde el acceso al agua es limitado.

La mayoría de la producción acuapónica actual a nivel mundial, se concentra en plantas como la lechuga, la espinaca, albahaca y el tomate. 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, ha generado datos interesantes sobre el cultivo de chipilines, macuy, amaranto, bledo, apazote, güicoy y ayote.

La segunda investigación en la línea de la acuaponía con plantas nativas de Guatemala, 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 esa investigación y se muestran imágenes de los sistemas y del proceso de producción.

## ¿Qué es la acuaponía?

La acuaponía, es un sistema de producción de alimentos donde hay interacción entre el cultivo de peces y el cultivo de 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*

El sistema acuapónico, consta de los siguientes elementos: un tanque para producción de peces (generalmente se usa un tinaco o depósito para agua potable) u otros organismos acuáticos, una bomba que impulsa el agua a través del sistema, un biofiltro (que filtra las partículas sólidas y remueve sustancias tóxicas del agua que está circulando), 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).

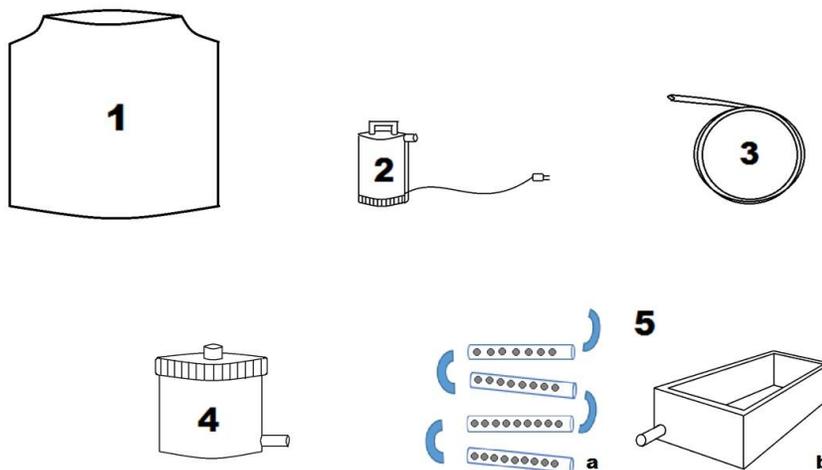


Figura 1. Elementos de un sistema acuapónico. (1) Tanque para cultivo de organismos acuáticos; (2) Bomba para mover el agua a través de los componentes del sistema; (3) Manguera para conducir el agua del tanque al biofiltro y del biofiltro al medio de sostenimiento de las plantas; (4) Biofiltro para filtrar los sólidos y tratar los desechos de los peces; (5) Medio para sostener las plantas, que puede ser un circuito de tubos PVC (5a) o un tanque para la modalidad de cama flotante (5b).

### Sistema acuapónico NFT

El sistema de recirculación de solución nutritiva (NFT – Nutrient Film Technique) consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo. Esto se logra haciendo circular el agua cargada con los nutrientes provenientes del cultivo de peces, a través de un circuito de tubos PVC (Figura 2). Dado que es un sistema cerrado, no existe pérdida o salida de la solución nutritiva. Las plantas se encuentran por lo regular suspendidas en los canales de cultivo provistos por los tubos PVC. Así mismo, es necesario proporcionar una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva (Carrasco & Izquierdo, 1996).

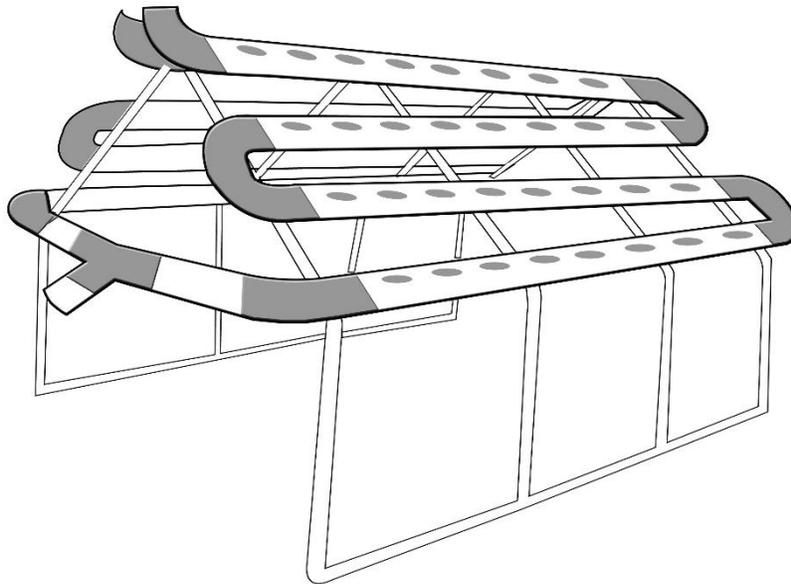


Figura 2. Circuitos de tubo PVC de un módulo acuapónico NFT. La estructura base, está construida con tubos PVC de 1 pulgada, dispuestos en forma pentagonal. Para la circulación del agua y la colocación de las plantas, se construyen dos estructuras convergentes en la parte superior, y divergentes en la inferior. Estas estructuras están dispuestas en zig-zag y están formadas por tubos PVC de 4 pulgadas, unidos a través de codos. En la parte inferior, el sistema se une a través de una "t" por la que, finalmente, el agua sale hacia el tanque.

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 28 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 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 botellas plásticas recicladas. El agua circula por gravedad en el zig-zag de tubos y regresa al tanque reiniciándose el proceso de circulación de agua (Figura 3). Como es un sistema cerrado, el aprovechamiento del agua es máximo y la pérdida es mínima.



*Figura 3. Sistema Acuapónico NFT. El primer componente es un contenedor de agua (1) que sirve de medio para criar tilapias u otros organismos acuáticos. Desde el fondo de este contenedor, el agua conteniendo los desechos de los peces, es impulsada, por medio de una bomba sumergible, hacia el biofiltro (2). El biofiltro, es un dispositivo que filtra las partículas sólidas contenidas en el agua, y alberga colonias de bacterias que procesan el tóxico 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, el agua corre, regresando por gravedad al contenedor y fertilizando las plantas a su paso. Como se aprecia 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*

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

## *Cultivo de los peces*

En los sistemas acuapónicos se ha utilizado diversas especies de peces. Sin embargo, la mayor parte de pescado acuapónico del mercado es la tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Mateus, 2009). Esto, debido a que esta especie crece muy bien en tanques de recirculación y además tolera las condiciones fluctuantes del agua, tales como el pH, la temperatura, el oxígeno y los sólidos disueltos (Haro, R., & Elizabeth, C., 2011). 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.

No todas las plantas se logran adaptar a las condiciones acuapónicas. La lechuga, por ejemplo, es la especie más cultivada en este sistema y eso se debe a su adaptación a estas condiciones y a la demanda de este vegetal. En un estudio realizado por IICAE en 2016, se determinó que la especie de chipilín (*Crotalaria longirostrata*) no se adaptó al sistema acuapónico.

Algunas de las plantas nativas de Guatemala evaluadas en el IICAE, fueron promisorias en este sistema, por ejemplo el güicoy (*Cucurbita pepo*) y el ayote (*Cucurbita argyrosperma*) que no solamente se adaptaron al sistema sino que mostraron un rápido crecimiento y un gran rendimiento de follaje.

En cuanto a los chiles nativos de Guatemala, el pimiento morrón, el guaque, el chocolate y el cobanero produjeron los mejores resultados en la investigación del 2016 en el IICAE.

## **La producción acuapónica tradicional**

En otros países, a nivel experimental, se han cultivado alrededor de 30 tipos de vegetales. Dentro de los más comunes se encuentra la lechuga, la espinaca, las cebolletas y la albahaca. Los requerimientos nutricionales de estas especies van de niveles bajos a medios por lo que se han podido adaptar de buena forma en los sistemas acuapónicos. Las plantas que producen frutos como los pimientos, los tomates y los pepinos, tienen una mayor demanda nutricional por lo que requieren de sistemas acuapónicos más complejos (Gutiérrez, 2012).

## **Investigación sobre acuaponía con especies de plantas nativas de Guatemala**

Existe muy poca información publicada sobre la producción de especies vegetales de Guatemala en sistemas acuapónicos. En el IICAE se ha desarrollado investigación sobre las posibilidades y potencialidades de cultivo de 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*), 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*) y chile de caballo (*Capsicum pubescens*).

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 y en el 2016 se han evaluado variedades de chile. Para el 2017 se tiene proyectada una investigación sobre la adaptación y rendimiento de ocho variedades de frijol.

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 4).



Figura 4. Módulo de Investigación en Acuaponía del IICAE, en la Granja Experimental de la FMVZ, USAC, Guatemala.

## Los chiles de Guatemala y su importancia cultural y económica

En la investigación del presente año, se han escogido los chiles dada la importancia que reviste este grupo taxonómico en nuestro país. Y es que Guatemala es considerada como uno de los centros de origen de *Capsicum annum*, que es la especie más cultivada y consumida en la América tropical (Azurdia, 2014). La relevancia cultural de los chiles es innegable.

En gastronomía, los chiles son ingredientes de varias comidas tradicionales y son utilizados como especias y como condimentos (Villar, 1998). El chile cobanero es ingrediente del *kak'ik*; el chiltepe se utiliza en chirmoles, salsas y para condimentar los caldos; el chile pimiento se usa en ensaladas, chiles rellenos y tamales; los chiles guaque y pasa son ingredientes del recado de tamal y el chile chocolate se usa para los paches. Otras variedades de chile son ampliamente consumidas en Guatemala como picante para acompañar las tortillas, los frijoles y otros platillos.

Además de su valor para autoconsumo los chiles pueden ser una fuente de ingresos económicos para los campesinos agricultores. Las variedades más comercializadas en Guatemala son el pimiento, el jalapeño, el cobanero, el chiltepe, el guaque, el pasa, el chocolate, el serrano y el chamborote.

Desde el punto de vista nutricional, los chiles son fuente importante de vitamina C y de otras vitaminas y minerales (Menchú & Méndez, 2012). Los chiles secos como el guaque, el

pasa y el cobanero, aportan además niveles significativos de proteína (Menchú & Méndez, 2012).

## **La acuaponía con plantas nativas de Guatemala y su posible papel en la seguridad alimentaria.**

La acuaponía es una alternativa para solucionar el problema de los acuicultores para deshacerse del agua cargada de nitrógeno y, asimismo, contribuir a la solución del problema de los agricultores de cómo conseguir el nitrógeno para sus plantas (Mateus, 2009). Este sistema, 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 chiles nativos de Guatemala y tilapias en el IICAE**

### *El proceso de cultivo acuapónico*

El cultivo acuapónico inicia con el almácigo donde se ponen a germinar las semillas para la obtención de plántulas para colocar en los sistemas acuapónicos (Figura 5).



*Figura 5. Almacigo de 12 variedades de chile nativos de Guatemala, de donde se seleccionaron ocho para la investigación sobre el cultivo acuapónico*

Para la investigación sobre el cultivo acuapónico de chiles nativos de Guatemala, en IICAE se seleccionaron las ocho variedades de chile mencionadas en el punto 3 de este documento.

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 28 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 que se realizan durante el cultivo son la alimentación de las tilapias, la verificación del funcionamiento de las bombas y las tuberías, el control de fugas en los sistemas y la observación del crecimiento de las plantas y de las tilapias, así como la observación de la floración y la fructificación (Figuras 9 a 17).



*Figura 9. Plantas de chile de un mes post-trasplante al módulo acuapónico.*



*Figura 10. Desarrollo radicular de una planta de aproximadamente dos meses post-trasplante al sistema acuapónico.*



*Figura 11. Plantas de chile morrón, con aproximadamente dos meses de desarrollo post-trasplante al sistema acuapónico.*



*Figura 12. Plantas de chile morrón, con aproximadamente tres meses de desarrollo post-trasplante al sistema acuapónico.*



*Figura 13. Módulo acuapónico con plantas de chile de aproximadamente dos meses de desarrollo post-trasplante.*



*Figura 14. Planta de chile chiltepe a los cuatro meses post-trasplante al módulo acuapónico.*



*Figura 15. Planta de chile serrano a los cuatro meses post-trasplante al módulo acuapónico.*



*Figura 16. Chiles morrón, guaque, chocolate y serrano, cultivados en el sistema acuapónico.*



*Figura 17. Tilapias producidas en un módulo acuapónico en conjunto con chiles nativos de Guatemala, en IICA.*

## **Conclusiones generadas en el proyecto de investigación sobre el cultivo acuapónico de chiles nativos de Guatemala en IICA**

- La mayoría de las variedades evaluadas se adaptó a las condiciones de cultivo acuapónico.
- El porcentaje de supervivencia, en general, osciló entre 75 - 100%.
- Las variedades que mostraron las más altas tasas de supervivencia fueron el morrón, el guaque, el chocolate, el chiltepe y el caballo.
- No todas las variedades sobrevivientes produjeron niveles aceptables de fructificación.
- Los porcentajes de floración de las variedades sobrevivientes fueron: morrón = 98%, guaque = 88%, cobanero = 87%, chocolate = 78%, serrano = 67%, chiltepe = 64%, caballo = 49% y diente de perro = 48%.

- Los porcentajes de fructificación (a partir de las plantas que florecieron) fueron: cobanero = 100%, guaque = 98%, morrón = 93%, chocolate = 93%, serrano = 70%, caballo = 46%, chiltepe = 44% y diente de perro = 23%.
- El número promedio de frutos por planta (partiendo de las plantas que fructificaron) fue: cobanero = 26, serrano = 16, chocolate = 12, chiltepe = 11, guaque = 9, morrón = 7, caballo = 5 y diente de perro = 3
- Los porcentajes de floración fueron, en general, altos.
- Los porcentajes de fructificación fueron, en general, bajos.
- Los rendimientos de frutos, en biomasa, por variedad de chile fueron: morrón (59 plantas) = 9,560 g; guaque (57 plantas) = 3,769 g; chocolate (56 plantas) = 2,020 g; cobanero (48 plantas) = 1,670 g; serrano (45 plantas) = 1,102 g; chiltepe (56 plantas) = 296 g; caballo (57 plantas) 112 g; diente de perro (46 plantas) = 40 g.
- Es necesario realizar investigaciones sobre polinización de chiles en cultivos acuapónicos en invernadero.

## Actividades de extensión del IICAE, en temas de acuaponía

Tal como sucede con todas las dependencias de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el IICAE tiene una política de puertas abiertas. En tal sentido, se reciben visitantes y se dan charlas sobre los datos generados en el instituto sobre el cultivo acuapónico (Figura 18).



*Figura 18. Charla de divulgativa del proyecto de acuaponía con chiles nativos de Guatemala, dirigida a estudiantes del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, USAC.*

También se han dado charlas divulgativas sobre los resultados de las investigaciones del IICAE en temas de acuaponía, a comunitarios de las comunidades El Porvenir, El Caoba y El Capulinar, en la Reserva de la Biosfera Maya, en Petén (Figura 19)



*Figura 19. Charlas informativas sobre el cultivo acuapónico de plantas nativas de Guatemala, dirigida a comunitarios de las comunidades El Porvenir, El Caoba y El Capulinar, Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala.*

## **¿Hacia dónde debe ir la investigación en acuaponía en Guatemala?**

Consideramos que las líneas de investigación en acuaponía deben dirigirse hacia la búsqueda de materiales más baratos y accesibles, para que todos los campesinos puedan implementar estos sistemas en sus parcelas. Las fuentes de energía para hacer circular el agua, son una preocupación que aún debe resolverse pues aunque en la mayoría de comunidades de Guatemala hay acceso a la energía eléctrica existen lugares donde este recurso no está disponible. El uso de energía solar y eólica, se presentan como opciones prometedoras en esta línea. El uso de otros materiales como el bambú, en sustitución de las tuberías PVC es un aspecto que debe investigarse y que podría mejorar las posibilidades de adopción de la tecnología acuapónica en condiciones rurales.

Aún quedan muchas plantas nativas de Guatemala, cuyo potencial para cultivo acuapónico debe ser investigado. Las posibilidades de uso de los productos e los sistemas acuapónicos son amplias. Incluso, se puede hablar de generar un sistema cerrado en el que las plantas producidas puedan ser utilizadas para alimentar a los organismos acuáticos en el mismo sistema. De esta forma, se realizaría un aporte importante a la soberanía y a la seguridad alimentaria del país.

## Referencias

- Azurdia, C. (2014). *Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados: Chile (Capsicum spp.)* Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- 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.
- Gutiérrez, M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Revista Informador Técnico*, (76), 123-129.
- 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 acuicultura, 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).
- 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.
- Villar, A. (1998). *La flora silvestre de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Fotografía para contraportada



## 15. Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Se realizó una presentación del proyecto de chiles nativos de Guatemala en acuaponía, el 20 de mayo del presente año. Se contó con la participación de estudiantes, docentes, personal administrativo y autoridades de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Representantes de la Dirección General de Investigación y del Sistema de Estudios de Postgrado de la USAC, y otras personas interesadas en dicho proyecto (*Figura 31*).

Se realizaron recorridos guiados dentro de las instalaciones de acuaponía, a estudiantes y docentes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura y otras instituciones educativas (*Figuras 32-34*).

Se presentaron resultados intermedios del proyecto de investigación a investigadores y miembros de la Dirección General de Investigación de la USAC (*Figura 35*). Además se impartió una conferencia sobre chiles en acuaponía, a los estudiantes de la especialización en investigación científica de la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería- USAC (*Figura 36*).

Se divulgó el proyecto de chiles en acuaponía en medios escritos como: el boletín de la DIGI, y en medios electrónicos como: <http://www.ecocienciagt.com/articulos/un-dia-chilero>, [http://periodico.usac.edu.gt/?page\\_id=1192](http://periodico.usac.edu.gt/?page_id=1192) y [https://issuu.com/digi-usac/docs/boletin\\_digi-sep3](https://issuu.com/digi-usac/docs/boletin_digi-sep3). Además de algunas publicaciones en redes sociales (*Figuras 37-39*).

El 11 de octubre del presente año, se impartió un taller sobre los resultados de la investigación de chiles en acuaponía, dirigida a campesinos de tres comunidades de la Reserva de la Biósfera Maya (El Capulinar, El Caoba y El Porvenir). En dicha actividad, se contó con el apoyo de algunos delegados del Viceministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Petén y de Wildlife Conservation Society (WSC) (*Figura 40*).

Para la divulgación del proyecto se elaboró un manual titulado “Experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala y tilapias”, resultado de la presente investigación y financiado por la DIGI (*Figura 41*).

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
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