

Formato de informe final (carátula)

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Supervivencia, crecimiento y rendimiento de chia (*Salvia hispanica*), frijol colorado (*Phaseolus vulgaris*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en cultivo acuapónico

nombre del proyecto de investigación

4.8.63.0.51

Partida presupuestaria

AP6-2022

código del proyecto de investigación

Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE)

de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval (Coordinador)

PhD. Dennis Guerra Centeno

Lic. Zoot. (c) Luis Enrique Pinto Orellana

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Guatemala, 15/11/2022

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Contraportada (reverso de la portada)

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

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

Inga. Liuba María Cabrera
Coordinadora del Programa de Investigación

Autores

Nombre del coordinador(a) del proyecto: Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval

Nombre del investigador(a) PhD. Dennis Guerra Centeno

Nombre del auxiliar de investigación II: Lic. Zoot. (c) Luis Enrique Pinto Orellana

Nombre del auxiliar de investigación I-----

Colaboradores (si aplica): no aplica

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.63.0.51 con código AP6-2022 en el Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación



1 Índice general (incluir índice de tablas y figuras)

1. Índice	3
2. Resumen y palabras claves	5
<i>Abstract and keyword</i>	6
3. Introducción	7
4. Planteamiento del problema	8
5. Delimitación en tiempo y espacio	10
6. Marco teórico	10
7. Estado del arte	13
8. Objetivos	16
9. Hipótesis	16
10. Materiales y métodos	16
11. Resultados y discusión	19
12. Referencias	24
13. Apéndice	30
14. Aspectos éticos y legales	40
15. Vinculación	40
16. Estrategias de difusión, divulgación y protección intelectual	40
17. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS	41
18. Orden de pago final	41
19. Declaración del coordinador del proyecto de investigación	41
20. Aval del director del instituto	42
21. Visado de la Dirección General de Investigación	42

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Módulo acuapónico NFT (<i>Nutrient Film Technique</i>)	30
<i>Figura 2.</i> Curva de crecimiento de las plantas de chia y frijol colorado en sistema acuapónico NFT.	19
<i>Figura 3.</i> Plántula de chíá al momento del trasplante al sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	30
<i>Figura 4.</i> Plántula de frijol colorado al momento del trasplante al sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	31
<i>Figura 5.</i> Fase de trasplante de las plantas al sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	31
<i>Figura 6.</i> Fase de adaptación de las plantas al sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	32
<i>Figura 7.</i> Crecimiento intermedio de una planta de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	33
<i>Figura 8.</i> Vainas de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	34
<i>Figura 9.</i> Planta de chia cultivada en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	35
<i>Figura 10.</i> Vainas de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico al final del estudio, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	36
<i>Figura 11.</i> Inflorescencia de la planta de chia cultivada en el sistema acuapónico al final del estudio, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	37
<i>Figura 12.</i> Granos de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	38
<i>Figura 13.</i> Semillas de chíá cosechado en una planta en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala	38
<i>Figura 14.</i> Presentación y divulgación de resultados obtenidos en el proyecto DIGI, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala.	39

2. Resumen y palabras claves

La acuaponía es una tecnología donde se integra la agricultura hidropónica y acuicultura con el fin de producir alimento. En Guatemala se ha generado información sobre la supervivencia y producción de algunas especies de plantas en sistemas acuapónicos. Sin embargo, se desconoce o no se ha evaluado la supervivencia, crecimiento y productividad de un cultivo asociado de chia y frijol colorado combinado con el cultivo de tilapias. En tal sentido, se diseñó un modelo acuapónico NFT con 40 plantas de chia (*Salvia hispanica*) y frijol colorado (*Phaseolus vulgaris*) y 25 tilapias (*Oreochromis niloticus*). Los datos de las plantas de frijol se tomaron en siete pulsos y en el caso de la chia se extendió a ocho pulsos cada quince días en un lapso de 120 días. Las plantas de chia y frijol se adaptaron, crecieron y produjeron en el sistema acuapónico. En el caso de las plantas de chia se obtuvo una supervivencia del 80% y una altura $87.9 \text{ cm} \pm 38.19$ y las plantas de frijol colorado del 85% con una altura de $59.7 \text{ cm} \pm 11.5$. La producción media de semilla de chia fue de $3.1 \text{ g} \pm 2.0$ y el frijol colorado de $23.4 \text{ g} \pm 16.3$ por planta. Las tilapias crecieron en el sistema acuapónico. Se obtuvo un peso medio de $61.6 \text{ g} \pm 29.2$ y una supervivencia del 72%. Se concluye que la combinación de chia, frijol colorado y tilapia se presenta como una opción interesante para los productos del sector agropecuario de Guatemala.

Palabras claves: acuaponía, sistema NFT, sistema integrado, seguridad alimentaria, Guatemala.

Abstract and keyword

Aquaponics is a technology where hydroponic agriculture and aquaculture are integrated in order to produce food. In Guatemala, information has been generated on the survival and production of some plant species in aquaponics systems. However, the survival, growth, and productivity of an associated chia and red bean culture combined with tilapia cultivation is unknown or has not been evaluated. In this sense, an NFT aquaponics model was designed with 40 plants of chia (*Salvia hispanica*) and red bean (*Phaseolus vulgaris*), and 25 tilapias (*Oreochromis niloticus*). The data from the bean plants were taken in seven pulses and in the case of chia, it was extended to eight pulses every fortnight in a span of 120 days. Chia and bean plants adapted, grew, and produced in the aquaponic system. In the case of chia plants, a survival of 80% was obtained and a height of 87.9 cm \pm 38.19, and the red bean plants of 85% with a height of 59.7 cm \pm 11.5. The average chia seed production was 3.1 g \pm 2.0, and the red bean was 23.4 g \pm 16.3 per plant. Tilapias grew in the aquaponic system. An average weight of 61.6 g \pm 29.2 and a survival of 72% was obtained. It is concluded that the combination of chia, red bean, and tilapia is presented as an interesting option for the products of the agricultural sector of Guatemala.

Keywords: aquaponics, NFT system, integrated system, food security, Guatemala.

3. Introducción

A nivel global, parte de la problemática de la agropecuaria es al cambio climático y la sensibilidad a la variabilidad climática (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [ONUAA], 2018). Estas alteraciones en el ambiente impactan negativamente en la producción agrícola y afectan a los animales acuáticos y terrestres ocasionando pérdidas monetarias, alteraciones en la salud y bienestar, además de comprometer la calidad e inocuidad de los productos destinados a los humanos (Olarte et al., 2019). En tal sentido, todas estas limitantes nos retan a la búsqueda de opciones viables para la producción de alimentos para la población.

La acuaponía es una tecnología donde se integra la agricultura hidropónica –donde las plantas se cultivan en agua- y acuicultura – cultivo de organismos acuáticos- con el fin de producir alimento (Lennard & Goddek, 2019). Además, la acuaponía se presenta como un modelo innovador y sostenible que puede contribuir a la solución de problemas como la que enfrenta al agricultura ante la sequía, la contaminación del suelo y el cambio climático, logrando ser una práctica emergente en diversos países (Mchunu et al., 2018). De igual manera, por las características de los sistemas acuapónicos se puede producir alimentos frescos para la población, durante todo el año en espacios reducidos y sin el uso de fertilizantes químicos, herbicidas y pesticidas en los cultivos (Connolly & Trebic, 2010). Por dichas características, la acuaponía podría ser una alternativa de sistema de producción ecológica de mucha utilidad para el sector agropecuario.

En el caso de Guatemala, se ha reportado la supervivencia y producción de especies de plantas en sistemas acuapónicos (Guerra-Centeno et al., 2016; Valdez-Sandoval et al., 2017, 2018, 2020). Sin embargo, se desconoce o no se ha evaluado la supervivencia, crecimiento y productividad de un cultivo asociado de chia y frijol colorado combinado con el cultivo de tilapias. De ser esta factible esta combinación de sistema integrado de chia, frijol colorado y tilapias, los productores podrían generar recursos alimenticios tanto para beneficiar a su familia como los excedentes llevarlos al mercado.

En tal sentido, la finalidad del presente estudio es describir la supervivencia, el crecimiento y el rendimiento del cultivo asociado de la chia, el frijol colorado y la tilapia, en un sistema de acuaponía del tipo *Nutrient Film Technique* (NFT).

4. Planteamiento del problema

El cambio climático a nivel mundial ha sido drástico a lo largo de las últimas décadas, especialmente por el aumento de la temperatura en el ambiente. En el contexto de Guatemala, el cambio climático ha dificultado la predicción de la cantidad de precipitación durante el invierno y su distribución. Estos factores han provocado que los productores agrícolas sean los más afectados ya que dependen de la lluvia para los cultivos y en consecuencia al ser escasas las lluvias pone en riesgo la seguridad alimentaria de la sociedad (Alfaro et al., 2019).

De igual manera, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2021) a pesar de sus esfuerzos, impulsando huertos familiares, entrega de insumos agrícolas y sistemas de riego, no ha logrado consolidar un sistema integrado de producción de alimentos como lo es la acuaponía, que les permita a los productores a cultivar sus plantas y sus peces con el aprovechamiento de los recursos de espacio y ahorro de agua, sin utilizar agroquímicos que perjudiquen la salud de los productores (Connolly & Trebic, 2010; Mchunu et al., 2018).

Por otro lado, en Guatemala se han evaluado treinta y dos materiales vegetales en sistemas acuapónicos (Guerra-Centeno et al., 2016; Valdez-Sandoval et al., 2017, 2018, 2020). Estos han mostrado comportamientos interesantes en términos de supervivencia y producción de biomasa. Sin embargo, no sabemos cómo se comportarían un cultivo asociado de chia con frijol colorado pues por teoría ecológica se sabe que las especies que conviven en una comunidad pueden desarrollar relaciones sinérgicas, neutrales o antagónicas (Callaway & Walker, 1997; Thrall et al., 2007). Además, si fuere factible, desconocemos la supervivencia, crecimiento y producción de las plantas y peces en esta combinación. En tal sentido, es necesario probar empíricamente el desempeño de estas especies de plantas en combinación con tilapias nilóticas (*Oreochromis niloticus*), en condiciones acuapónicas.

La combinación de estas plantas es interesante ya que en el caso de la chia y frijol fueros dos de los cuatro granos -además del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y el maíz (*Zea mays*)- utilizados en la época de la conquista española (Cahill, 2004). Dicho cultivo de chia se podría incentivar y rescatar en la cultura de Guatemala, ante una combinación con el cultivo de frijol colorado que es más conocido y tiene un valor de mercado mayor que el frijol negro. Además, la semilla chia tiene un valor de mercado de entre 50 y 65 quetzales la libra, lo cual, con esta combinación de plantas, se pueden producir para que formen parte de la dieta o puedan adquirir un beneficio económico adicional para la familia.

De igual manera, el frijol es la leguminosa más importante por su consumo directo y fuente de proteína alrededor del mundo (Jones, 1999). En el caso de Guatemala, sigue siendo parte de la dieta de la población. Además, el frijol por ser una leguminosa tiene la característica de fijar nitrógeno atmosférico en las raíces y transferirlo al suelo (Bliss, 1993), o en este caso podría fijar este nitrógeno al sistema acuapónico y beneficiarse los otros organismos que están interrelacionados.

En tal sentido, con todas las características de la acuaponía (reciclaje del agua, aprovechamiento del espacio vertical, aprovechamiento de los residuos de los peces, no necesita de agroquímicos y amigable con el ambiente), se llegará a demostrar científicamente que es factible producir chía y frijol colorado en combinación con tilapias, se estaría contribuyendo con los objetivos de desarrollo sostenible (específicamente en los ODS 1, 2, 3, 11, 12, y 13) (Naciones Unidas, 2018) y favoreciendo a los productores guatemaltecos que no tienen acceso al agua, el suelo y otros elementos para la producción

5. Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

La ejecución del proyecto tuvo una duración de 9 meses (de marzo a noviembre del 2022).

5.2 Delimitación espacial

El estudio se realizó en el invernadero de acuaponía, del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE), ubicado dentro de la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). La clasificación de la zona de vida es bosque húmedo subtropical templado (De la Cruz, 1982). Se tiene un área de 20 x 40 metros, el cual está circulado con malla. El invernadero tiene 195 metros cuadrados el cual tuvo el sistema acuapónico a utilizar en el estudio.

6. Marco teórico

Acuaponía

La acuaponía es una tecnología donde se integra la agricultura y acuicultura con el fin de producir alimento de origen vegetal y animal (Lennard & Goddek, 2019). En este sistema la interacción entre las plantas, los peces y los microorganismos es importante en la nitrificación y mineralización de los residuos de los peces que servirán de nutrientes para ser absorbidos por las plantas (Maucieri et al., 2018). Es por ello, que este tipo de sistema acuapónico tiene como objetivo, imitar el proceso biológico que ocurre en el entorno natural con un sistema de producción controlado (David el at., 2022).

Ventajas de la acuaponía

A la acuaponía se le atribuyen diversas ventajas, dentro de ellas están: 1) Aumento en la productividad. 2) Mayor rentabilidad del cultivo. 3) Menor consumo de agua. 4) Se diversifica la producción con plantas y organismos acuáticos de mayor valor económico. 5) Reutilización de los nutrientes y el agua. 6) Reducción del impacto ambiental (Lennard & Goddek, 2019). 7) Está

tecnología puede aplicarse en diversas áreas (rurales y/o urbanas) y 8) Este sistema puede garantizar la alimentación, la inocuidad y la seguridad alimentaria (Azad et al., 2016).

Sistema NFT acuapónico

El sistema de recirculación de solución nutritiva es un método hidropónico que utiliza tuberías horizontales y consiste en conducir una pequeña capa de solución nutritiva que roza las raíces (Somerville et al., 2014). Por lo tanto, se trata de un sistema de tipo cerrado. En dicho sistema, las plantas se hallan suspendidas en canastillas plásticas o contenedores ya sea con sustrato u otro elemento para sostener las plantas. Así mismo, se debe inclinar la superficie del cultivo para lograr que fluya y recircule la solución nutritiva dentro del sistema (Carrasco & Izquierdo, 1996).

Biofiltración

El biofiltro es a parte del sistema que ayuda a reutilizar el agua. Este proceso se beneficia por la combinación de bacterias de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, en la cual convierten el amoníaco (NH_3) en nitrito (NO_2^-) y el nitrito en nitrato (NO_3^-) respectivamente (Somerville et al., 2014). Las plantas utilizan los nitratos que se encuentran en el agua y al ser absorbidos se mantiene el agua sin componentes tóxicos (Somerville et al., 2014).

Organismos acuáticos cultivados en sistemas acuapónicos

En la acuaponía se han estudiado y manejado diversas especies de organismos acuáticos. Sin embargo, la especie más utilizada y exitosa ha sido la tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Yep & Zheng, 2019). Alrededor del 60% de los productores dedicados a la acuaponía han utilizado la tilapia y el porcentaje restante han utilizado peces ornamentales y otros organismos acuáticos como: *Ictalurus punctatus*, *Lepomis macrochirus*, *Micropterus salmoides*, *Oncorhynchus mykiss* y *Perca flavescens* (Love et al., 2014). En tal sentido, la tilapia se presenta como una oportunidad tanto por su facilidad de adaptación y manejo, como la aceptación y la demanda de esta especie en la sociedad de Guatemala.

Cultivo de las plantas

El cultivo de plantas en forma hidropónica o acuapónica pueden lograr mayores rendimientos que en cultivos en suelo, además de cultivarse diversidad de plantas. Estos cultivos de plantas en hidroponía pueden lograr rendimientos entre el 20 y 25 % más que el cultivo en suelo, esto debido a que el agricultor puede monitorear, mantener o ajustar las condiciones de las plantas, proveer los nutrientes óptimos, además de que no hay competencia con malezas y hay mayor control de plagas y enfermedades (Somerville et al., 2014). Por otro lado, dentro de las plantas que se han cultivado en sistemas acuapónico tenemos: albahaca (*Ocimum basilicum*), berenjena (*Solanum melongena*), coliflor (*Brassica oleracea var. Botrytis*), frijol negro (*Phaseolus vulgaris*), lechuga (*Lactuca sativa*), pepino (*Cucumis sativus*), perejil (*Petroselinum crispum*), pimientos (*Capsicum annuum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y otros (Somerville et al., 2014).

Calidad del agua en acuaponía

La calidad del agua es importante para obtener un balance entre las plantas, organismos acuáticos y las bacterias que están interrelacionados en el sistema acuapónico. Los dos parámetros más importantes para equilibrar el sistema son el pH y la temperatura. En el caso del pH se recomienda valores entre 6 y 7 (ligeramente ácido) y el rango de temperatura entre los 18 a 30 Celsius. Estos parámetros dependerán de cada especie de peces y plantas cultivadas, ya que las bacterias prosperan en los rangos mencionados anteriormente. Otros parámetros adicionales que pueden tomarse en cuenta son: el amonio <1 mg/litro, el nitrito <1 mg/litro y el nitrato 5-150 mg/litro (Somerville et al., 2014).

El Frijol

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es de las principales fuentes de proteína (20-40%) de origen vegetal para consumo humano (Mederos, 2006). En el contexto de Guatemala, el frijol es de los granos más importantes en la dieta, donde tiene un consumo per cápita alrededor de 70 g al día (Serrano & Goñi, 2004). En cuanto al cultivo de frijol, se adapta bien a temperatura ambiental entre 18 y 24 °C y suelos con pH entre 6 y 7.5. Además, el cultivo de frijol se ha sembrado con asociación de otros cultivos como maíz o arroz generando buenos resultados (Rosas, 2003). En el

caso del frijol colorado, se utiliza en muchos platillos como frijoles colorados con chicharrones, con costilla de cerdo, con chorizo y otros (Sáenz & Ramírez, 2013).

La Chia

La chia (*Salvia hispanica* L.) fue uno de los cuatro granos -además del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y el maíz (*Zea mays*)- más importantes que conformaron la base de la dieta alimentaria en la época de la conquista española (Cahill, 2004). En el contexto de Guatemala, se cultiva en pequeñas cantidades y se vende en mercados (Salazar et al., 2020) con precios alrededor de 50 a 65 quetzales la libra. El ciclo de cultivo de la chía varía entre 90 y 150 días, con crecimiento favorable en zonas climáticas de 0 a 2200 msnm, en pH de 6.5 a 7.5 (Ayerza & Coates, 2006; Xingú et al., 2017). La semilla tiene características interesantes como 22% de proteína, 19% de grasa, 67% de ácido alfa-linoleico, entre otros nutrientes (Salazar et al., 2020). Dentro de los principales usos se mencionan su mezcla con limonada y tiene beneficios para bajar de peso, mejorar la digestión y como fuente de fibra y alimento funcional (Salazar et al., 2020; Xingú et al., 2017).

7. Estado del arte

A pesar de que las primeras publicaciones sobre acuaponía aparecieron alrededor de 1980, estas alcanzaron un crecimiento exponencial después del 2010 (Junge et al., 2017). Actualmente los sistemas acuapónicos más consolidados son el sistema flotante, el sistema de producción en sustrato y el de película de nutrientes (Hussain et al., 2014). Por otro lado, en un meta análisis sobre los reportes de experiencias en el cultivo acuapónico de especies vegetales consignan 41 especies de plantas (Maucieri et al., 2018). Sin embargo, no se reportaron en este estudio las 32 especies/variedades de plantas evaluadas en el ámbito de Guatemala (Guerra-Centeno et al., 2016; Valdez-Sandoval et al., 2017, 2018, 2020).

En cuanto a las principales especies de peces que se han utilizado en sistemas acuapónicos se mencionan: *Oreochomis niloticus*, *Clarias gariepinus*, *Cyprinus carpio*, *Tilapia mossambicus*, *Maccullochellla peellii*, *Misgurnus anguillicandatus*, *Perca fluviatilis* (Ayipio et al., 2019; Maucieri et al., 2018). Otras especies de peces prometedores son: *Rhamdia quelen*, *Piaractus*

mesopotamicus, *Astyanax lacustris*, *Colossoma macropomum*, *Centropomus* spp (Pinho et al., 2021). Además de los peces, se ha ensayado con otros organismos acuáticos como: *Penaeus vannamei* (Fierro-Sañudo et al., 2018), *Macrobrachium rosenbergii* y *Pila ampulacea* (Setiadi & Taufik, 2018).

Aunque en los sistemas acuapónicos, el agua está circulando en un circuito semi-cerrado se producen pérdidas causadas por remoción de lodo, evaporación, evapotranspiración y salpicadura por los peces. Varios estudios han medido las pérdidas de agua durante la producción acuapónica (Love et al., 2015) y otros impactos ambientales de este tipo de sistemas (Bhakar et al., 2021).

En cuanto a la inocuidad de los alimentos producidos en sistemas acuapónicos, este es uno de los temas más desatendidos, pues las publicaciones en medios científicos son sumamente escasas. Se ha demostrado la ausencia o niveles bajos de coliformes y otros patógenos en vegetales y peces producidos en condiciones acuapónicas (Weller et al., 2020).

En cuanto a los costos de los sistemas acuapónicos, se ha comparado la viabilidad económica de la producción de Floponics y acuaponía. Dando como resultado, que las inversiones iniciales de la producción de ambos sistemas son muy similares y colocando el rubro de mano de obra como el elemento operativo más costoso en las condiciones de Brasil (Pinho et al., 2022). Por otro lado, se sugiere seguir investigando la producción de varios ciclos de cultivo para demostrar la estabilidad de los proyectos a largo plazo (Pinho et al., 2022). Dicha variable económica no es objetivo del presente estudio, ya que inicialmente solo se quiere evaluar la supervivencia y producción del cultivo de chia y frijol con tilapia nilótica. Ya al demostrar que, si es factible la producción, vendrían posteriores investigaciones o proyectos para evaluar la viabilidad económica de estos cultivos en comparación con sistemas tradicionales, acuapónicos u otros sistemas.

Se ha propuesto a la acuaponía como un nicho comercial para lograr una acuacultura sostenible moderna (Kledal & Thorarinsdottir, 2018). De hecho, en la última década ha incrementado el interés del público por el tema de la acuaponía (Palm et al., 2018). Aunque la acuaponía es un

sistema prometedor para contribuir a lograr la producción sostenible de alimentos, se ha considerado que hace falta generar conocimiento para que los tomadores de decisiones conozcan los potenciales y las limitaciones de esta tecnología (Cammies et al., 2021; König et al., 2018).

8. Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)

General

- Generar información sobre la producción de alimentos (vegetal y animal) en un sistema acuapónico.

Específicos

- Determinar la supervivencia de las plantas de chia y frijol colorado en un sistema acuapónico NFT.
- Determinar el crecimiento de las plantas de chia y frijol colorado en un sistema acuapónico NFT con tilapias durante el período de observación.
- Determinar el rendimiento (biomasa de semillas) de la chia y el frijol colorado en un sistema acuapónico NFT con tilapias al final del periodo de estudio.
- Determinar el crecimiento en la biomasa de tilapia al final del periodo de observación.
- Describir los parámetros del agua durante el periodo de estudio.

9. Hipótesis (si aplica)

No aplica.

10. Materiales y métodos

10.1 Enfoque de la investigación

El estudio del cultivo de chíá y frijol colorado en un sistema acuapónico con tilapias tiene un enfoque cuantitativo.

10.2 Método

Semillas

Las semillas de chia y frijol colorado se obtuvieron en la Central de Mayoreo (CENMA).

Almácigo

Se prepararon bandejas plásticas con tierra abona. Se sembrarán las semillas de frijol colorado y chia directamente en el sustrato. Se regó durante la fase de germinación y fase inicial de crecimiento.

Selección y trasplante de plantas

Se seleccionaron 20 plantas de chia y 20 plantas de frijol colorado de tamaño uniforme y buena condición. Posteriormente se retiraron las plantas del almácigo y se colocaron en contenedores -envases pet con piedra volcánica roja-. Por último, se incorporaron los contenedores con la planta en los agujeros de la tubería del sistema acuapónico.

Cultivo de plantas en acuaponía

Dado el carácter variable de la fenología el periodo de observación para las plantas de frijol fue de 105 días y para las plantas de chia de 120 días.

Cultivo de tilapias

Se adquirieron 100 alevines de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). A los alevines se les dio quince días de adaptación en un estanque. Luego de trasladarán 30 peces al tanque de 1.02 m de alto x 1.10 m de diámetro (750 L) del módulo acuapónico. Los peces se seleccionaron con la finalidad de tener un tamaño uniforme y en buena condición. La

alimentación de los peces durante los primeros cinco meses fue con alimento balanceado comercial Fontana Aliansa® al 38% proteína con una ración del 10% de la biomasa total por día. Luego en los dos meses posteriores se ajustó el alimento a Fontana Aliansa® al 32%. Los desechos de los peces generados en el módulo acuapónico serán aprovechados por las raíces de las plantas para su crecimiento.

Módulo acuapónico

Se utilizó diseño de sistema acuapónico NFT *Nutrient Film Technique* (Figura 1).

10.3 Recolección de información

Distribución y recolección de información

Las plantas de frijol y chia se distribuyeron al azar en el sistema acuapónico. Los datos de las plantas de frijol se tomaron en siete pulsos y cada quince días y en el caso de la chia se extendió a ocho pulsos siempre de quince días.

10.4 Técnicas e instrumentos

Las técnicas para obtener los datos fueron la observación y la medición. La supervivencia de las plantas de chia y frijol colorado fueron por observación directa. La altura de las plantas y talla de los peces se midió con una regla milimetrada. La producción de granos de chia y frijol colorado y la biomasa de los peces se pesaron con una balanza digital *My Weigh* i 700 con precisión de 0.1 g. Se llevó un registro para anotar los datos de supervivencia, longitud y peso de las plantas/granos y tilapias, al inicio y al finalizar el estudio.

Los parámetros en el agua también fueron medidos y registrados a lo largo del periodo de estudio. Para medir el pH se utilizó el test de pH Prodac®. Para medir la temperatura se utilizó un termómetro Thermo® 100 y para medir el amonio se utilizó el test NH₄/NH₃ Azoo®.

10.5 Procesamiento y análisis de la información

Para determinar la supervivencia, crecimiento y rendimiento de las plantas de chia y frijol colorado se utilizó medidas de tendencia central. De igual manera se procedió para determinar los parámetros productivos de las tilapias. Para los análisis estadísticos se utilizará el programa Past® versión 4.03 (Hammer et al., 2001).

11 Resultados y discusión

11.1 Resultados

- **Supervivencia de las plantas**

Las plantas de chia y frijol se adaptaron al sistema acuapónico. En el caso de las plantas de chia se obtuvo una supervivencia del 80% y las plantas y frijol colorado del 85%.

- **Crecimiento de las plantas**

Las plantas de chia y frijol colorado crecieron en el sistema acuapónico NFT. Las plantas de chia alcanzaron una altura media de $87.9 \text{ cm} \pm 38.19$ a los 120 días y en cuanto a las plantas de frijol colorado se tuvo una altura final media de $59.7 \text{ cm} \pm 11.5$ a los 105 días. En la figura 2, se observa la curva de crecimiento de las plantas estudiadas.

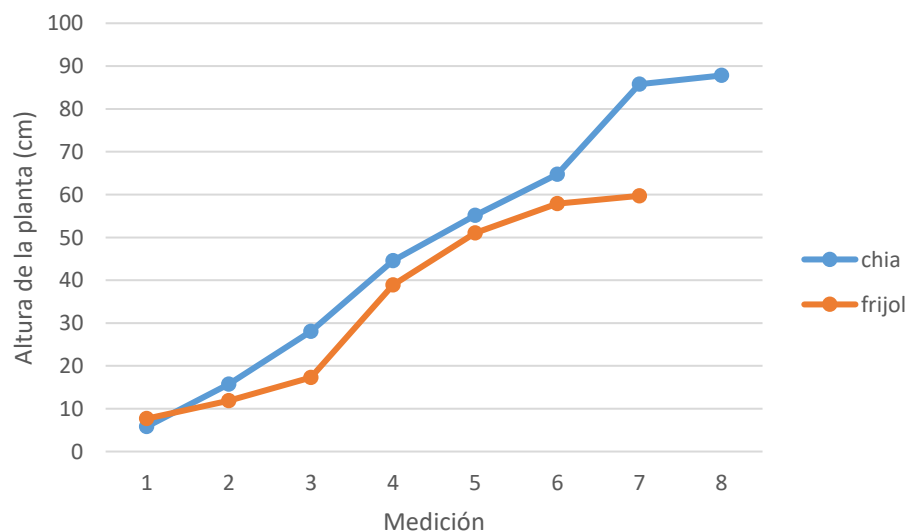


Figura 2. Curva de crecimiento de las plantas de chia y frijol colorado en sistema acuapónico NFT.

- **Rendimiento (biomasa de semillas) de la chia y el frijol colorado en un sistema acuapónico.**

Las plantas de chia y frijol colorado cultivadas produjeron semillas en un sistema acuapónico. La producción media de semilla de chia fue de $3.1 \text{ g} \pm 2.0$ por planta (equivalente a 980 Kg/Ha) y la producción media de frijol colorado fue de $23.4 \text{ g} \pm 16.3$ por planta.

- **Crecimiento de la tilapia**

Las tilapias crecieron en el sistema acuapónico. Se obtuvo una talla media de 13.4 cm ± 2.9 , un peso medio de $61.6 \text{ g} \pm 29.2$ y una supervivencia del 72% al final del estudio.

- **Parámetros del agua en el sistema acuapónico**

Los valores medios de los parámetros del agua durante el periodo de estudio fueron: pH= $7.6 \pm .2$, temperatura= $25.7 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2.4$, amonio total (NH₄/NH₃) = 0.

11.2 Discusión de resultados

La adaptación de los cultivos de chí, frijol colorado y tilapia en un sistema acuapónico es interesante. Esto debido a que se suman al listado de plantas como *Amaranthus sp*, *A. cruentus*, *Anethum graveolens*, *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. pubescens*, *Crotalaria longirostrata*, *C. vitellina*, *Coriandrum sativum*, *Cucurbita argyrosperma*, *C. pepo*, *Dysphania ambrosioides*, *Eryngium foetidum*, *Mentha spicata*, *Ocimum basilicum*, *Plectranthus amboinicus*, *Petroselinum crispum*, *Solanum nigrescens* y *Thymus vulgaris* (Guerra-Centeno et al., 2016; Valdez-Sandoval et al., 2017; Valdez-Sandoval et al., 2020), que son factibles a cultivar en los sistemas acuapónicos en Guatemala.

En cuanto a lograr la supervivencia del cultivo de la chia en el sistema acuapónico es prometedor. Esto debido a que esta planta cultivada en tierra se ha visto limitada su adaptación por las condiciones climáticas. En tal sentido, lograr una adaptación del 80% en condiciones acuapónicas es un hallazgo importante ya que en otras regiones este cultivo solo ha obtenido resultados interesantes en condiciones desérticas, esto debido a que es dicha planta es sensible al fotoperiodo y tiene limitantes de adaptación a mayor latitud y bajas temperaturas (Baginsky et al., 2016).

Por otro lado, la supervivencia del frijol colorado obtenida en el presente estudio se observa variación respecto a otra investigación. Donde con el frijol colorado se obtuvo un 85% de supervivencia, mientras que con variedades de frijol mejorado se han obtenido valores cercanos al 100% (Valdez-Sandoval et al., 2018). Es interesante mencionar que el cultivo de frijol tanto en condiciones de humedad como en sequia logra adaptarse (Darkwa et al., 2016).

La altura de la planta de chia obtenida en el sistema acuapónico es muy similar al reportado por Busilacchi et al (2013), sin embargo, dicha altura la obtuvieron en un ciclo productivo mayor (170 días) y sobre tierra. Por otro lado, la altura de la planta de chia acuapónica está por debajo de los valores de altura media reportados en cultivares o encontrados de manera silvestre (Hernández & Miranda, 2008).

Respecto a la altura de la planta de frijol colorado obtenidos en el presente estudio son similares a los obtenidos con la variedad de frijol Petén (Valdez-Sandoval et al., 2018), y variedades rojas como Secano 31 y Chamba 68.3 (Pérez et al., 2022). Sin embargo, son menores a los obtenidos por variedades como Altense, Texcel o Sayaxché cultivados de igual manera en un sistema acuapónico (Valdez-Sandoval et al., 2018). En cambio, la altura del frijol colorado acuapónico muestra mayor altura al frijol cultivado en tierra ya sea sin fertilizante (44 cm) o con fertilizante orgánico (54 cm) (Gómez-Álvarez et al., 2008).

El rendimiento del frijol colorado cultivado en acuaponía fue similar a los obtenidos por variedades de frijol rojo cultivados en tierra, tales como Velasco Largo, Inqueño y Colombia 10 (Pérez et al., 2022). Sin embargo, el rendimiento del frijol colorado fue menor a lo reportado en variedades de frijol mejoradas por el ICTA (Valdez-Sandoval et al., 2018). Por otro lado, el rendimiento del frijol colorado evaluado en el presente estudio fue superior a los valores reportados de frijol sin fertilizante o con fertilizante orgánico en cultivo asociado con rábano (*Rhabanus sativus* L.) (Gómez-Álvarez et al., 2008).

El rendimiento de semilla por planta de chia obtenida en el presente estudio fue similar a lo reportado por Refulio (2017) donde cultivaron chia en tierra a bajas densidades de siembra (20 plantas por metro lineal), sin embargo, el rendimiento de la planta de chia acuaponica obtenido fue superior a las que se presentan en densidades mayores de 55 plantas por metro lineal (Refulio 2017). En contraposición del rendimiento de chia cultivada en tierra y manejada con fertilización que se reportó superior (1,940 Kg/Ha) (Evangelista-Vargas, 2020) al encontrado en este estudio.

El crecimiento de las tilapias fue similar a los reportados por Valdez-Sandoval et al (2018) en cultivo integrado de variedades de frijol y tilapia, sin embargo, con un porcentaje de supervivencia menor. De igual manera, los valores de peso de las tilapias son similares a los obtenidos por Ani et al (2022) que fueron cultivado en una densidad de siembra de 150 peces/m³ en 56 días. Por otro lado, la longitud y peso de las tilapias fueron menores a las observadas por Valdez Sandoval et al (2020) en sistema acuapónico de tilapias con plantas culinarias.

Los parámetros del agua (pH, temperatura, amonio total) fueron similares a los obtenidos por Valdez-Sandoval et al (2018) y Ani et al (2022) en cultivos integrados lechuga y tilapia con una densidad de 150 peces/m³. Sin embargo, los parámetros fueron superiores a los obtenidos en sistemas de recirculación de agua con densidad de siembra de 300 y 400 peces/m³ (Ani et al., 2022).

Por último, se concluye que la combinación del cultivo de chia, frijol colorado y tilapia se presenta como una opción interesante para los productos del sector agropecuario de Guatemala. Sin embargo, antes de llevar esta tecnología al campo es necesario seguir estudiando aspectos como la densidad de siembra de la chia, frijol y tilapia, otras opciones de alimentación para las tilapias ya que los alimentos balanceados se han incrementado en su precio, evaluar otros materiales y tipos de sistemas acuapónicos y realizar análisis de costo beneficio para ver su factibilidad económica en las zonas rurales de Guatemala.

12 Referencias

- Alfaro Marroquín, G., Gómez, R., Herrera Herrera, J. L., & Herrera Godoy, J. C. (2019). *Antecedentes y contexto Del cambio climático en Guatemala* (Issue 68368). <https://sgccc.org.gt/reporte-de-cambio-climatico-guatemala/capitulo-1-antecedentes-y-contexto-del-cambio-climatico-en-guatemala-2/>
- Ani, J. S., Manyala, J. O., Masese, F. O., & Fitzsimmons, K. (2022). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries*, 7(3), 328-335.
- Ayerza, R., & Coates, W. (2006). *Chia: Redescubriendo un olvidado alimento de los Aztecas*. Del Nuevo Extremo. <http://www.casadellibro.com/libro-chia-redescubriendo-un-olvidado-alimento-de-los-aztecas/9789871068944/1143334>
- Ayipio, E., Wells, D. E., McQuilling, A., & Wilson, A. E. (2019). Comparisons between aquaponic and conventional hydroponic crop yields: A meta-analysis. *Sustainability*, 11(22), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su11226511>
- Azad, K. N., Salam, M. A., & Azad, K. N. (2016). Aquaponics in Bangladesh: current status and future prospects. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 07(02), 669–677. <https://doi.org/10.18801/jbar.070216.79>
- Baginsky, C., Arenas, J., Escobar, H., Garrido, M., Valero, N., Tello, D., ... & Silva, H. (2016). Growth and yield of chia (*Salvia hispanica* L.) in the Mediterranean and desert climates of Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 76(3), 255-264.
- Bhakar, V., Kaur, K., & Singh, H. (2021). Analyzing the Environmental Burden of an Aquaponics System using LCA. *Procedia CIRP*, 98, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.034>
- Bliss, F. A. (1993). Breeding common bean for improved biological nitrogen fixation. *Plant and Soil*, 152(1), 71–79. <https://doi.org/10.1007/BF00016334>
- Busilacchi, H., Bueno, M., Severin, C., Di Sapio, O., Quiroga, M., & Flores, V. (2013). Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). *Cultivos tropicales*, 34(4), 55-59.
- Cahill, J. (2004). Genetic diversity among varieties of Chia (*Salvia hispanica* L.). *Genetic Resources*

- and Crop Evolution*, 51(7), 773–781. <https://doi.org/10.1023/B:GRES.0000034583.20407.80>
- Callaway, R. M., & Walker, L. R. (1997). Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78(7), 1958–1965. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[1958:CAFASA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1958:CAFASA]2.0.CO;2)
- Cammies, C., Mytton, D., & Crichton, R. (2021). Exploring economic and legal barriers to commercial aquaponics in the EU through the lens of the UK and policy proposals to address them. *Aquaculture International*, 1245–1263. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00690-w>
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). Manual técnico: La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de solución nutritiva recirculante (“NFT”). In *Organizacion de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Universidad de Talca*.
- Connolly, K., & Trebic, T. (2010). *Optimization of a Backyard Aquaponic Food Production System* (Issue 1).
- Darkwa, K., Ambachew, D., Mohammed, H., Asfaw, A., & Blair, M. W. (2016). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. *The crop journal*, 4(5), 367-376.
- David, L. H., Pinho, S. M., Agostinho, F., Costa, J. I., Portella, M. C., Keesman, K. J., & Garcia, F. (2022). Sustainability of urban aquaponics farms: An emergy point of view. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129896.
- De la Cruz, J. R. (1982). *Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Evangelista-Vargas, Y. (2020). Fenología y rendimiento de las variedades de chia (*Salvia hispánica* L.) en el distrito de Monzón Huánuco. *Revista Investigación Agraria*, 2(2), 56–61. <https://doi.org/10.47840/ReInA.2.2.844>
- Fierro-Sañudo, J. F., De Oca, G. A. R. M., León-Cañedo, J. A., Alarcón-Silvas, S. G., Mariscal-Lagarda, M. M., Díaz-Valdés, T., & Páez-Osuna, F. (2018). Production and management of shrimp (*Penaeus vannamei*) in co-culture with basil (*ocimum basilicum*) using two sources of low-salinity water. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(1), 63–71. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue1-fulltext-8>

- Gómez-Álvarez, R., Lázaro-Jerónimo, G., & León-Nájera, J. A. (2008). Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y rábano (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Universidad y ciencia*, 24(1), 11-20.
- Guerra-Centeno, D., Valdez-Sandoval, C., Aquino-Sagastume, E., Díaz, M., & Ríos, L. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(11), 1–13. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63649051013>
- Hammer O, Harper DAT and Ryan PD (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1): 1-9. Available at: [https://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm#:~:text=The%20program%2C%20called%20PAST%20\(PAleontological,plotting%2C%20and%20simple%20phylogenetic%20analysis.](https://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm#:~:text=The%20program%2C%20called%20PAST%20(PAleontological,plotting%2C%20and%20simple%20phylogenetic%20analysis.)
- Hernández, J. A. & Miranda, S. (2008). Caracterización morfológica de chía (*Salvia hispanica*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2), 105-113.
- Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., & Negi, A. K. (2014). A Review On The Science Of Growing Crops Without Soil (Soiless Culture) – A Novel Alternative For Growing Crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), 833–842.
- Jones, A. (1999). Phaseolus Bean: Post-harvest Operations. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://doi.org/10.1201/b22282-13>
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., & Jijakli, M. H. (2017). Strategic points in aquaponics. *Water*, 9(3), 182. <https://doi.org/10.3390/w9030182>
- Kledal, P. R., & Thorarinsdottir, R. (2018). Aquaponics: A Commercial Niche for Sustainable Modern Aquaculture. In *Sustainable Aquaculture* (pp. 173–190). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2>
- König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., & Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*, 180, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: The Basics. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. Burnell (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 113–143). Springer Open.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>

- 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). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662>
- Love, D. C., Uhl, M. S., & Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquacultural Engineering*, 68, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.07.003>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>
- Mchunu, N., Lagerwall, G., & Senzanje, A. (2018). Aquaponics in South Africa: Results of a national survey. *Aquaculture Reports*, 12(March), 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.08.001>
- Mederos, Y. (2006). Indicadores de la calidad en el grado de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 27(3), 55–62. <https://doi.org/10.1234/ct.v27i3.365>
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y sus los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. In *Revista de Derecho Ambiental* (Issue 10). <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2018.52077>
- Olarte Saucedo, M., Sánchez Rodríguez, S. H., Aréchiga Flores, C. F., Bañuelos Valenzuela, R., & López Luna, M. A. (2019). Efecto de la radiación ultravioleta (UV) en animales domésticos. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 416–432. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4648>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe (gestión del riesgo de desastres en el sector agrícola)*. <http://www.fao.org/3/I8014ES/i8014es.pdf>
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., Haïssam Jijakli, M., & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813–842. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>

- Pérez, G. A., Morgado, M., & Villalobos, A. (2022). Caracterización de genotipos de frijol colorado en la Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez. *Universidad & Ciencia*, 11(2). 95-109.
- Pinho, S. M., David, L. H., Garcia, F., Keesman, K. J., Portella, M. C., & Goddek, S. (2021). South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquaculture International*, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>
- Pinho, S. M., Flores, R. M. V., David, L. H., Emerenciano, M. G., Quagraine, K. K., & Portella, M. C. (2022). Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems. *Aquaculture*, 552, 737987.
- Refulio, F. (2017). Densidad de siembra en el cultivo de chia (*Salvia hispanica*) en el distrito de Sicaya. [Tesis de bachiller inédita]. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Rosas, J. C. (2003). *El cultivo del frijol común en América Tropical*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Sáenz, S., & Ramírez, M. (2013). *Investigación Formativa sobre consumo de Frijol por Niños de 6 a 24 meses y Mujeres en edad reproductiva en dos municipios de Guatemala*.
- Salazar De Ariza, E. J., Bellosa Archila, A. R., Sanabria Solchaga, I. O., & Morales Pérez, S. B. (2020). *Nutritional Composition and Uses of Chia (Salvia hispanica) in Guatemala*. 53(16), 1–5. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020053016>
- Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro Phaseolus vulgaris en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 36–44. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100006&lng=es&tlng=pt.
- Setiadi, E., & Taufik, I. (2018). Polyculture of giant freshwater prawn, macrobrachium rosenbergii and nilem carp, osteochilus hasselti cultured in recirculation system using biofiltration. *E3S Web of Conferences*, 47, 1–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184702005>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://doi.org/10.1242/jeb.208595>
- Thrall, P. H., Hochberg, M. E., Burdon, J. J., & Bever, J. D. (2007). Coevolution of symbiotic

- mutualists and parasites in a community context. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(3), 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.11.007>
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., Díaz-Rodríguez, M., & Ríos, L. (2018). Evaluation of the integrated production of nilotic tilapia (*Oreochromis niloticus*) and improved bean varieties (*Phaseolus vulgaris*) in an NFT aquaponic system. *Revista Electronica de Veterinaria*, 19(5), 1–12.
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., Diaz, M., & Ríos, L. (2017). Adaptación, crecimiento y rendimiento de variedades de chile nativas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia nilótica. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(5), 1–11. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63651419005.pdf>
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., Lepe-López, M., Díaz-Rodríguez, M., & Pineda-Alvizuris, L. (2020). Survival and Productivity of Culinary Herb Species in a Nutrient Film Technique-type Aquaponic System with Nile Tilapia. *World's Veterinary Journal*, 10(4), 578–586. <https://doi.org/10.29252/scil.2020.wvj69>
- Weller, D. L., Saylor, L., & Turkon, P. (2020). Total coliform and generic E. Coli levels, and salmonella presence in eight experimental aquaponics and hydroponics systems: A brief report highlighting exploratory data. *Horticulturae*, 6(3), 1–9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6030042>
- Xingú López, A., González Huerta, A., De La Cruz Torrez, E., Sangerman Jarquín, D. M., Orozco De Rosas, G., & Arriaga, M. R. (2017). Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153520010.pdf>. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1619–1631.
- Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges – A review. *Journal of Cleaner Production*, 228(10), 1586–1599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>

13 Apéndice



Figura 1. Módulo acuapónico NFT (*Nutrient Film Technique*) IICA, FMVZ, USAC, Guatemala.



Figura 3. Plántula de chí a al momento del trasplante al sistema acuapónico, IICA/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 4. Plántula de frijol colorado al momento del trasplante al sistema acuapónico, IICA/EFMVZ/USAC, Guatemala



Figura 5. Fase de trasplante de las plantas al sistema acuapónico, IICA/EFMVZ/USAC, Guatemala



Figura 6. Fase de adaptación de las plantas al sistema acuapónico, ICAE/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 7. Crecimiento intermedio de una planta de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico, IICA/E/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 8. Vainas de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 9. Planta de chia cultivada en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 10. Vainas de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico al final del estudio, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 11. Inflorescencia de la planta de chia cultivada en el sistema acuapónico al final del estudio, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 12. Granos de frijol colorado cultivada en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 13. Semillas de chía cosechado en una planta en el sistema acuapónico, IICAE/FMVZ/USAC, Guatemala



Figura 14. Presentación y divulgación de resultados obtenidos en el proyecto DIGI, ICAE/FMVZ/USAC, Guatemala.

14 Aspectos éticos y legales (si aplica)

El presente estudio tuvo la opinión favorable del Comité de Bioética de Postgrado de la USAC de acuerdo a la Ref. EEP Virtual.113.2021 el tres de junio de 2021.

15 Vinculación

El IICAE tiene vínculos con diversas organizaciones e instituciones a nivel nacional. Dentro de ellas se pueden mencionar el Colegio de Médicos Veterinarios y Zootecnistas de Guatemala (CMVZ), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, la Comisión Técnica Sectorial de Agropecuaria del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y otras. En tal sentido, el conocimiento generado estará accesible a las diversas organizaciones, instituciones y comunidad academia que desee replicar dicho modelo en cualquier parte del país con la finalidad de contribuir a la calidad de vida, la producción de alimentos sostenibles y la seguridad alimenticia de la población de Guatemala.

16 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Se presentaron los avances intermedios del proyecto a las autoridades de Dirección General de Investigación de la USAC e investigadores de diversos programas de investigación.

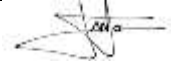
Se presentó y divulgó el proyecto a estudiantes del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), profesionales y personas interesadas en conocer es modelo acuapónico de chia/frijol colorado y tilapias.

Se realizó una infografía para difundir en medios electrónicos sobre que es la acuaponía, ventajas e información relevante. De igual manera, se realizó un manuscrito para posteriormente ser enviado a una revista indizada.

17 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS

La propuesta del cultivo de chia y frijol colorado en un sistema acuapónico con tilapia nilótica tiene diversas características como: reciclaje del agua, aprovechamiento del espacio vertical, aprovechamiento de los residuos de los peces, no necesita de agroquímicos, amigable con el ambiente, además de producir alimentos de calidad nutricional tanto para consumo como para su venta. Con este modelo se estará impactando en nuevas formas de producción afrontando el cambio climático, además de contribuir a la seguridad alimentaria en el país. En tal sentido, con dicho estudio se está contribuyendo con los objetivos de desarrollo sostenible, específicamente en los objetivos: a) fin de la pobreza, b) hambre cero, c) Salud y bienestar, d) comunidades sostenibles, e) producción y consumo responsable y d) acción por el clima (Naciones Unidas, 2018).


18 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente)

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Luis Enrique Pinto Orellana	Auxiliar de investigación II	20220676	No*	

*Nota: No procede pago ya que finalizó su contrato el 31/10/2022.

19 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

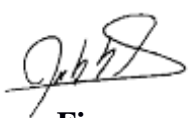
Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval	
Nombre del coordinador del proyecto de investigación	Firma
Fecha: 15/11/2022	

Informe final proyecto de investigación 2022


Dirección General de Investigación –DIGI-


20 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (Supervivencia, crecimiento y rendimiento de chia (*Salvia hispanica*), frijol colorado (*Phaseolus vulgaris*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en cultivo acuapónico) en mi calidad de (Director del instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Dr.Sc. Juan Carlos Valdez Sandoval Vo.Bo. Nombre y cargo de quien da el aval al informe	 Firma
Fecha: 15/11/2022	

21 Visado de la Dirección General de Investigación

Inga. Liuba María Cabrera Vo.Bo. Nombre Coordinador(a) del Programa Universitario de Investigación	 Firma
Fecha: 15/11/2022	

Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar Vo.Bo. Nombre Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación	 Firma
Fecha: 15/11/2022	