

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



“Validación del rendimiento productivo de tilapias (*Oreochromis sp*), tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) y chile dulce (*Capsicum annum* L.) en un sistema acuapónico”.

Por:
Mayra Alejandra Murcia Meléndez
Katherin Estela Alvarenga Rivas
Jonathan Ernesto Mártir Pineda

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL



“Validación del rendimiento productivo de tilapias (*Oreochromis sp*), tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) y chile dulce (*Capsicum annum* L.) en un sistema acuapónico”.

Por:

Mayra Alejandra Murcia Meléndez
Katherin Estela Alvarenga Rivas
Jonathan Ernesto Mártir Pineda

Requisito para optar al título de:
Ingeniero agrónomo

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2023

Universidad de El Salvador

Rector:

Lic. MSc. Roger Armando Arias Alvarado

Secretario General:

Ing. Francisco Antonio Alarcón Sandoval

Facultad de Ciencias Agronómicas

Decano:

Dr. Francisco Lara Ascencio

Secretario:

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra

Jefe del Departamento de Desarrollo Rural

Ing. MSc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Docentes Directores

Ing. MSc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Ing. Agr. Álvaro César Vanegas Matheu

Ing. Agr. Oscar Alonso Rodríguez Gracias

Coordinadora de Procesos de Grado del Departamento

Licda. Cruz Gilma Ortiz de Alarcón

RESUMEN

La investigación se realizó entre mayo a octubre de 2022 en el Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en Santa Tecla, La Libertad, El Salvador.

El objetivo fue validar cuatro densidades de tilapia (*Oreochromis sp.*) y dos variedades de hortalizas, tomate (*Lycopersicum esculentum* L.) y chile dulce (*Capsicum annuum* L.), para evaluar la producción, rendimiento y relación beneficio costo del sistema acuapónico mediante la técnica de la película nutritiva.

Se diseñaron y construyeron cuatro módulos acuapónicos, cada uno con un estanque para peces con capacidad de 5.04 m³, tres filtros con función mecánica y biológica, una cama de siembra con tubos de PVC de 4 pulgadas para las hortalizas, una bomba de recirculación de agua con sistema venturi y una bomba de aireación.

Se evaluaron ocho tratamientos con tres repeticiones, dos hortalizas, tomate y chile dulce, y cuatro densidades de siembra de tilapia (40, 60, 80 y 100 peces/m³), a los cuales se midieron cada siete días los siguientes parámetros: peso y talla de peces, altura de plantas, número y peso de frutos por planta.

Para el análisis de datos se utilizó un arreglo factorial 2x4 bajo un diseño completamente al azar, un nivel de significancia del 5%, y el programa estadístico INFOSTAT® 2020.

El mayor beneficio neto en el cultivo de tomate y tilapia, y en el cultivo de chile dulce y tilapia se obtuvo con la densidad de 100 peces/m³, en tomate con \$112.75 dólares y una tasa de retorno marginal de 249.37% o \$2.49 dólares; y para el chile dulce de \$119.85 dólares y una tasa de retorno marginal de 252.68% o \$2.52 dólares; también, se obtuvo el mayor número de frutos de tomate (4.11 unidades), el mayor peso de los tomates (134.07 gramos) y la mayor altura de la planta de tomate (69.9 cm).

Palabras clave: Tilapia, *Oreochromis*, hortalizas, tomate, *Lycopersicum esculentum* L., chile dulce, *Capsicum annuum* L., sistemas acuapónicos, NFT, estanque.

ABSTRACT

The research was carried out between May and October 2022 at the Center for the Development of Fisheries and Aquaculture (CENDEPESCA) of the Ministry of Agriculture and Livestock (MAG), in Santa Tecla, La Libertad, El Salvador.

The objective was to validate four densities of tilapia (*Oreochromis sp.*) and two varieties of vegetables, tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), to evaluate the production, yields and cost-benefit ratio of the aquaponic system through the nutritive film technique.

Four aquaponic modules were designed and built, each one with a 5.04 m³ capacity fish pond, three filters with mechanical and biological functions, a planting bed with 4-inch PVC pipes for vegetables, a water recirculation pump with venturi system and aeration pump. Eight treatments with three replicates were evaluated, two vegetables, tomato and sweet pepper, and four stocking densities of tilapia (40, 60, 80 and 100 fish/m³), to which the following parameters were measured every seven days: weight and fish size, plant height, number and weight of fruits per plant.

For data analysis, a 2x4 factorial arrangement was used under a completely randomized design, a significance level of 5%, and the INFOSTAT® 2020 statistical program.

The greatest net benefit in the cultivation of tomato and tilapia, and in the cultivation of sweet pepper and tilapia was obtained with a density of 100 fish/m³, for the tomato with \$112.75 dollars and a marginal rate of return of 249.37% or \$2.49 dollars; and \$119.85 dollars for the sweet pepper and a marginal rate of return of 252.68% or \$2.52 dollars; Also, the highest number of tomato fruits (4.11 units), the highest weight of the tomatoes (134.07 grams) and the highest height of the tomato plant (69.9 cm) were obtained.

Key words: Tilapia, *Oreochromis*, vegetables, tomato, *Lycopersicon esculentum* L., sweet pepper, *Capsicum annuum* L., aquaponic systems, NFT, pond.

Dedicatoria

A Dios todo poderoso, que cada noche y cada día me dio la fuerza, la voluntad y sabiduría para lograr llegar hasta aquí, que siempre me guio por el camino correcto para no rendirme en ningún momento.

A mi madre Ana Verónica Meléndez y a mi abuelita Ana Julia Palacios (Q.E.P.D.), que siempre han estado a mi lado sufriendo cada caída y celebrando cada triunfo en mi vida, porque siempre confiaron en mí y me apoyaron en todo momento de manera emocional y económicamente. ¡Por todo, las amo infinitamente!

A Marcos Eduardo Aragón Beltrán por su apoyo incondicional durante todo este proceso desde el inicio hasta ahora, por toda su paciencia y sobre todo su amor.

A nuestros asesores Ing. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Ing. Álvaro Cesar Vanegas Matheu e Ing. Oscar Alonso Rodríguez Gracias, por brindarnos todos sus conocimientos durante todo este tiempo y siempre por ser tan comprensivos.

A mis mascotas Nala, Oso y Titi porque estuvieron en cada noche de desvelo durante toda la carrera, gracias por ser mis fieles compañías.

Mayra Alejandra Murcia Meléndez

Dedicatoria

A Jehová Dios y al Espíritu Santo, por ser luz y apoyo en mi camino, por iluminar mi mente, darme sabiduría y fortaleza para culminar con éxito mi formación profesional.

A mis madres Ana Vilma Mercado y Marta Elena Merino, por ser los pilares fundamentales en mi vida, por todo su sacrificio a lo largo de los años, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, para mí todo su amor es invaluable. ¡Las amo inconmensurablemente!

A mi abuela María Estela Meléndez, por su apoyo y ayuda económica constante durante este proceso tan largo, por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida; sin tu apoyo nada de esto sería posible. ¡Muchas gracias!

A mis hermanos Marcela Abigail Hernández, Amalia Giselle Beltrán y Edwin Ricardo Merino, gracias por el apoyo, ánimo y alegría que me brindan, gracias por aguantar mi carácter, por escucharme, ayudarme y estar siempre que los necesito. ¡Los quiero con todo mi corazón!

A mis amadas mascotas, Bambino y Rocco, por estar siempre junto a mí cuidándome y haciéndome compañía bajo la mesa en cada noche y madrugada de desvelo.

Katherin Estela Alvarenga Rivas

Dedicatoria

A Dios todo poderoso, por haberme permitido realizar mis estudios, darme la fuerza y el coraje para nunca rendirme, y por la oportunidad de conocer a personas maravillosas que siempre estuvieron apoyándome en el transcurso de mi carrera.

A mis padres José Job Mártir Ramírez y Celia Maribel de Mártir, que son mi mayor fuente de motivación para superarme, por darme la oportunidad de realizar mis estudios y graduarme como Ingeniero Agrónomo, todo el esfuerzo y paciencia que me brindaron día con día y por nunca rendirse a pesar de todas las adversidades que se presentaron.

A mis hermanos Emerson Alexander Mártir, Heriberto Antonio Mártir, Kathy Janeth Mártir y a toda mi familia por estar siempre conmigo apoyándome y aconsejándome para poder ser un profesional.

A mi abuela María Odilia Hernández (Q.E.P.D.), por confiar en mí y apoyarme siempre, por todas las noches que pedía a nuestro padre todopoderoso por mi bienestar y que me brindara fuerza para terminar mis estudios, siempre te llevaré en mi corazón.

.

Jonathan Ernesto Mártir Pineda

Agradecimientos

A Dios todo poderoso, que para su honra y gloria me permitió llegar hasta este momento, porque a pesar de las dificultades siempre me iluminó para seguir adelante, gracias porque todo lo logrado se lo debo a él.

A mi madre Ana Verónica Meléndez y a mi abuelita Ana Julia Palacios (Q.E.P.D.), gracias por siempre confiar en mí y apoyarme en cada decisión.

A mis hermanos Tania Valeria Sánchez y Jorge Antonio Sánchez por apoyarme y alentarme a no rendirme. ¡Los amo!

A Marcos Eduardo Aragón Beltrán, gracias por estar día tras día apoyándonos en cada etapa de la tesis, por motivarme siempre a no rendirme y ayudarme cuando el cansancio era demasiado, gracias por todo tu amor. Gracias a sus padres Ester Beltrán y Lucio Aragón, y a su hermana Elsy Aragón por sus consejos en todo momento y su motivación a siempre superarme.

A nuestro asesor Ing. Álvaro Cesar Vanegas Matheu en el Ministerio de Agricultura y Ganadería por su apoyo, confianza, amistad y ayuda durante todo este proceso, muchas gracias por siempre alentarnos a no rendirnos, por cada aventura y experiencia vivida durante todo este tiempo.

A nuestros asesores Ing. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Oscar Alonso Rodríguez en la Universidad, gracias por siempre ayudarnos a resolver cada problema que se nos presentaba, por ser tan pacientes y comprensivos.

A los Ing. Pedro Medrano e Ing. Oscar Franco en el Ministerio de Agricultura y Ganadería, gracias por un gran apoyo en todo momento, por su paciencia al explicarnos cuando buscábamos su ayuda y por esa valiosa amistad que nos brindaron en todo momento.

A mi compañera de tesis Katherin Estela Alvarenga Rivas, gracias por nunca rendirte a pesar de que siempre tuvimos grandes retos que enfrentar, fueron días difíciles de mucha presión y estrés pero ahora podemos decir ¡Lo logramos!

A mis amigos, a todos que de manera muy especial siempre me apoyaron, me motivaron, aconsejaron y nos ayudaron también en más de alguna actividad durante la fase de campo, gracias por todo, los quiero mucho.

A las Licenciadas Cecilia Flores y Lic. Marlene Galdámez, por su ayuda y auxilio cuando necesitamos apoyo técnico, muchas gracias.

A todo el personal en el Ministerio de Agricultura y Ganadería, don Benjamín y sus compañeros vigilantes y a don Alirio por la amistad brindada durante toda la fase de campo.

A la Universidad de El Salvador y a la Facultad de Ciencias Agronómicas, por ser mí casa de estudios y formarme para lograr ser Ingeniera Agrónomo.

Mayra Alejandra Murcia Meléndez

Agradecimientos

A Jehová Dios por estar conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza, sabiduría, perseverancia y paciencia para llegar hasta este momento tan importante. Le agradezco desde el fondo de mi corazón por su infinita bondad y amor.

A nuestro asesor Ing. MSc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, le estoy enormemente agradecida por acceder a ser nuestro tutor desde el inicio. Gracias por su paciencia, tiempo, motivación y dedicación a lo largo de esta investigación, ha sido un privilegio poder contar con su guía.

A nuestro asesor Ing. Agr. Álvaro César Vanegas Matheu, por permitirnos trabajar en un ambiente cálido y alegre, por hacernos sentir siempre cómodas y comprendernos desde el día uno, por hacernos sentir parte de su equipo y compartirnos sin ningún recelo todos sus conocimientos en acuaponía, por motivarnos a ser mejores, por permitir que lo acompañáramos a sus visitas técnicas para aumentar nuestras experiencias, valoro mucho su paciencia, confianza y cada consejo. ¡Recordaré por siempre cada aventura!

A nuestro asesor Ing. Agr. Oscar Alonso Rodríguez Gracias, por permitirnos recurrir a su capacidad y conocimientos estadísticos. Gracias por sus importantes sugerencias, aportes y valioso tiempo que nos dedicó en cada asesoramiento.

Al Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA), por financiar nuestro proyecto y confiar en nuestro trabajo. A la Licda. Marlene Galdámez, por su gran labor logística, a la Licda. Cecilia Flores y a la Licda. Jasmín Cárdenas por su valiosa colaboración científica a nuestro proyecto, al Ing. Pedro Medrano e Ing. Oscar Franco por su inestimable amistad y asistencia técnica. Y a todo el personal de la institución en general, haciendo mención especial a Don Alirio, conserje y al personal de seguridad por su valioso servicio, entrega y honradez hacia nosotras.

A la Universidad de El Salvador y a la Facultad de Ciencias Agronómicas, por haber sido mi segundo hogar durante estos años y por permitir concretar mis estudios universitarios como Ingeniera Agrónomo.

A Mayra Alejandra Murcia Meléndez, por no solo ser mi compañera de tesis, sino mi amiga, gracias por tu paciencia, cuidados y por emprender conmigo este largo camino de aventuras, aprendizaje y desafíos. ¡Mil gracias por todo tu cariño y amistad!

A mi compañero y amigo Marcos Eduardo Aragón Beltrán, por su apreciable apoyo y constancia, por sus consejos y buscar la mejor solución en las horas más difíciles presentadas en la fase de campo. Te agradezco por formar parte de este equipo y compartir con nosotras esta maravillosa aventura ¡Gracias de todo corazón!

A Juan José Flores, por su valiosa colaboración en los momentos que no encontrábamos ninguna alternativa, porque sin dudarlo estuvo dispuesto a ayudarme y enseñarnos la mejor manera para solucionar los obstáculos presentados en la fase de campo.

A mi familia, les estoy profundamente agradecida por ser mi fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida, sin su ayuda hubiese sido imposible culminar mi formación profesional.

A mis amigos y compañeros, que de una u otra manera estuvieron a mi lado brindándome apoyo, ánimo y colaboración.

A todos y todas ustedes, un millón de gracias...

Katherin Estela Alvarenga Rivas

Agradecimientos

A mis amigos que siempre estuvieron apoyándome en los momentos de mayor dificultad por nunca dejarme solo y hacer más amena esta trayectoria, por la cual les estaré eternamente agradecido.

A nuestros asesores Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Ing. Agr. César Vanegas Matheu, Ing. Agr. Oscar Alonso Rodríguez Gracias, por guiarnos y por la paciencia durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

A mis compañeras Mayra Alejandra Murcia y Katherin Estela Alvarenga, por formar parte de este equipo y por confiar en mí para la realización de este proyecto.

A las personas del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), por su colaboración, por compartir sus conocimientos y permitirnos realizar la investigación dentro de sus instalaciones.

A todas las personas que me ayudaron de una u otra manera durante mis años académicos en la Universidad.

Jonathan Ernesto Mártir Pineda

ÍNDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	3
2.2. Desarrollo rural.....	3
2.3. Agricultura sostenible	4
2.4. Cultivos hidropónicos	4
2.4.1. Clasificación de los sistemas hidropónicos	5
2.4.2. Contenedores usados en hidroponía	6
2.4.3. Sustratos utilizados en hidroponía	6
2.5. Acuicultura	6
2.6. Acuaponía.....	7
2.6.1. Tecnología Biofloc	8
2.7. Precios actuales de la tilapia, tomate y chile dulce	8
2.8. Costos de producción de un módulo acuapónico	9
2.9. Tilapia	9
2.9.1. Morfología externa de la tilapia	9
2.9.2. Ciclo de vida de la tilapia	10
2.9.3. Reproducción de la tilapia.....	11
2.9.4. Requerimientos medio ambientales de la tilapia	11
2.9.5. Alimentación de las tilapias.....	13
2.9.6. Aspectos nutricionales de la tilapia	15
2.9.7. Sistemas de producción de la tilapia.....	15
2.10. Huertos familiares	16
2.11. Cultivo de tomate	16
2.11.1. Cultivares de tomate.....	17
2.12. Cultivo de chile dulce	17

2.12.1. Cultivares de chile	18
3. OBJETIVOS	19
3.1. Objetivo General	19
3.2. Objetivos Específicos	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1. Ubicación de la investigación	20
4.2. Metodología de campo.....	20
4.2.1. Diseño y montaje de los sistemas acuapónicos.....	21
4.2.2. Limpieza y llenado de agua de los estanques.....	27
4.2.3. Siembra de alevines	27
4.2.4. Muestreo de peces	28
4.2.5. Manejo del alimento.....	29
4.2.6. Manejo de enfermedades presentadas en las tilapias	30
4.2.7. Manejo de los cultivos de tomate y chile dulce	31
4.2.8. Fertilización	32
4.2.9. Muestreo de plantas	33
4.2.10. Mantenimiento de los sistemas acuapónicos.....	34
4.3. Metodología de laboratorio.....	35
4.4. Metodología estadística	36
4.4.1. Análisis descriptivo e inferencial.....	37
4.5. Metodología económica	37
4.5.1. Inversión en la construcción de los módulos.....	37
4.5.2. Presupuesto parcial.....	38
4.5.2.1. Rendimiento promedio (RM)	38
4.5.2.2. Rendimiento ajustado (RA)	39
4.5.2.3. Beneficio bruto de campo (BBC)	39
4.5.2.4. Costos que varían (CV).....	39
4.5.2.5. Beneficio neto de campo (BNC).....	40
4.5.3. Tasa de retorno marginal (TRMg).....	41
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42

5.1.	Efecto del factor hortalizas en su desarrollo y rendimiento	42
5.1.1.	Altura de las plantas	42
5.1.2.	Número de frutos por planta	43
5.1.3.	Peso de frutos	44
5.2.	Efecto del factor peces en su desarrollo y rendimiento.....	46
5.2.1.	Talla de los peces.....	46
5.2.2.	Ganancia de talla en los peces	47
5.2.3.	Peso de los peces	48
5.2.4.	Ganancia de peso	50
5.3.	Interacción entre densidades de peces y altura de plantas de tomate y chile dulce .	50
5.3.1.	Altura de las plantas de tomate	50
5.3.2.	Altura de las plantas de chile dulce.....	51
5.3.3.	Número de frutos de tomate por planta.....	52
5.3.4.	Número de frutos de chile dulce por planta.....	53
5.3.5.	Peso de los frutos de tomate	55
5.3.6.	Peso de los frutos de chile dulce	55
5.4.	Relación costo beneficio del establecimiento y producción del sistema acuapónico	57
5.4.1.	Tasa de retorno marginal (TRMg).....	58
6.	CONCLUSIONES.....	59
7.	RECOMENDACIONES	61
8.	BIBLIOGRAFÍA	63
9.	ANEXOS	74

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la tilapia.	9
Cuadro 2. Frecuencia de alimentación en tilapias.	15
Cuadro 3. Clasificación taxonómica del cultivo de tomate.	17
Cuadro 4. Clasificación taxonómica del cultivo de chile dulce.	18
Cuadro 5. Tratamientos evaluados en la investigación.	36
Cuadro 6. Costo de equipos.	37
Cuadro 7. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA de la altura de las plantas de tomate y chile dulce.	43
Cuadro 8. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del número de frutos en tomate y chile dulce.	44
Cuadro 9. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del peso de frutos de tomate y chile dulce.	45
Cuadro 10. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA de la talla de tilapias.	47
Cuadro 11. Medidas resumen y análisis de varianza (ANOVA) de la ganancia de talla en las tilapias.	48
Cuadro 12. Medidas resumen y análisis de varianza (ANOVA) del peso en las tilapias.	49
Cuadro 13. Medidas resumen y análisis de varianza (ANOVA) de la ganancia de peso en las tilapias.	50
Cuadro 14. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA de la altura de las plantas de tomate y chile dulce, y las densidades de tilapias.	51
Cuadro 15. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del número de frutos en tomate y chile dulce, y tilapias.	54
Cuadro 16. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del peso de los frutos de tomate y chile dulce, y tilapias.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de la investigación.....	20
Figura 2. Sistemas acuapónicos mediante el método de NFT.	21
Figura 3. Delimitación y nivelación del área de cada sistema.	21
Figura 4. Esquema de los componentes del sistema acuapónico: a) estanque; b) sistema de biofiltros; c) camas de siembra; d) sistema de aireación.....	22
Figura 5. Montaje de estanques: a) colocación de postes y electromalla; b) colocación de geomembrana; c) fijación de geomembrana.....	22
Figura 6. Colocación de malla sombra y plástico transparente sobre los estanques.	23
Figura 7. Construcción de bases para colocar los biofiltros.....	23
Figura 8. Construcción de los biofiltros: a) colocación y fijación de válvula de desagüe; b) elaboración de bolsa mosquitero; c) llenado de bolsas con material biofiltrante; d) tapado de barriles.....	24
Figura 9. Ahoyado y colocación de adaptadores en tubos de PVC: a) perforación de tubos de PVC de 4 pulgadas; b) colocación de tapones machos al inicio y final del tubo; c) cortado de tapaderas de PVC; d) colocación de tapaderas de PVC.....	25
Figura 10. Colocación y nivelación de las camas de siembra sobre los estanques.....	26
Figura 11. Sistema de aireación.	26
Figura 12. Bomba sumergible de 35.5 watts con sistema venturi.....	27
Figura 13. Desinfección y llenado de estanques: a) dilución de hipoclorito de sodio; b) desinfección dentro del estanque; c) llenado de estanques con agua.	27
Figura 14. a) Transporte; b) aclimatación; c) liberación de alevines.....	28
Figura 15. Instrumentos utilizados durante los muestreos de peces: a) atarraya de nylon, balanza semianalítica y regla graduada de 30 cm.....	28
Figura 16. Medición y pesaje de muestras de peces.....	29
Figura 17. Raciones diarias de alimento concentrado a) 38%; b) 32%	29

Figura 18. Pesaje y adición del probiótico al alimento concentrado.	30
Figura 19. Peso y aplicación de Virkon.	30
Figura 20. Dilución de sal cruda en agua.	31
Figura 21. Establecimiento de plantines en tubos de PVC.	31
Figura 22. Riego de plantines en tubos de PVC.	32
Figura 23. Manejo de cultivos.	32
Figura 24. Instrumentos utilizados durante los muestreos de plantas y cosecha de frutos.	33
Figura 25. Medición de muestras.	33
Figura 26. Cosecha de frutos.	34
Figura 27. Actividades diarias: a) retiro de peces muertos; b) preparación del alimento; c) alimentación de peces; d) verificación del flujo normal de agua, obstrucciones y fugas; e) toma de parámetros físicos del agua.	34
Figura 28. Actividades semanales: a) toma de parámetros físicoquímicos del agua; b) muestreo de plantas; c) muestreo de peces; d) aplicación de sal y medicamentos.	35
Figura 29. Actividades mensuales: a) limpieza de bombas de recirculación de agua, b) limpieza de material filtrante; c) drenaje de biofiltros; d) limpieza de biofiltros.	35
Figura 30. Equipo e instrumentos utilizados para realizar toma de parámetros físicoquímicos del agua.	36
Figura 31. Efecto de las hortalizas en la ganancia de altura de la planta (cm).	42
Figura 32. Efecto del incremento de altura en las hortalizas.	42
Figura 33. Número de frutos por planta.	43
Figura 34. Peso de los frutos por planta.	45
Figura 35. Densidad de peces/m ³ en la talla promedio final.	46
Figura 36. Densidad de siembra de peces/m ³ en la talla promedio.	46
Figura 37. Peso promedio de las tilapias según las densidades en estudio.	48
Figura 38. Efecto de la densidad de siembra (peces/m ³) en el peso.	49

Figura 39. Altura de las plantas de tomate.....	50
Figura 40. Altura de las plantas de chile dulce.....	51
Figura 41. Deficiencia de nutrientes: a) deficiencia de potasio, b) deficiencia de boro y c) deficiencia de fósforo.	52
Figura 42. Número de frutos de tomate según las densidades de peces.	53
Figura 43. Número de frutos de chile dulce según las densidades de peces.	53
Figura 44. Peso de los frutos de tomate según las densidades de peces.	55
Figura 45. Peso de los frutos de chile dulce según las densidades de peces.	55
Figura 46. Curva de beneficios netos del cultivo de tomate y chile dulce.	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
A-1. Resultado de análisis de microplásticos.	74
A-2. Resultado de análisis de calidad de agua.....	76
Cuadro A-1. Alimentación recomendada para cultivos intensivos de tilapia en pilas.	77
Cuadro A-2. Costos de inversión.	78
Cuadro A-3. Presupuesto parcial y beneficios netos.....	81
Cuadro A-4. Efecto del incremento de altura en hortalizas (cm)	82
Cuadro A-5. Efecto de la densidad de siembra (peces/m ³) en la talla promedio (cm).	82
Cuadro A-6. Resultados de la medición de parámetros físicoquímicos del agua semanal. ...	82
Cuadro A-7. Efecto de la densidad de siembra (peces/m ³) en la ganancia de peso (g).	86

1. INTRODUCCIÓN

La acuaponía es un sistema de producción sostenible en donde se combina un cultivo acuícola, generalmente peces, y uno hidropónico, cultivo de vegetales en el que no se emplea suelo (Rakocy, citado por CENADAC 2011). Estos se unen en un único sistema de recirculación de flujo de agua con desechos orgánicos generados por los peces, que a la vez son convertidos a través de la acción de bacterias benéficas, de amoníaco a nitratos que funcionan como fertilizante para el crecimiento y desarrollo de los vegetales (Martínez y Albertos 2014).

En El Salvador la acuaponía es un método inusual ya que muchos productores y familias desconocen los beneficios que ofrece. La acuaponía es una alternativa viable para la reducción de costos, la diversificación productiva, brinda productos frescos y consume muy pocos recursos básicos para su desarrollo (Calderón *et al.* 2019).

El uso del espacio en la acuaponía es más productivo comparándolo con cultivos tradicionales donde es necesario tener grandes extensiones de tierra para producir alimentos, por lo tanto, son modelos donde se puede producir y cosechar dentro de las ciudades. La acuaponía permite cultivar en lugares en donde la tierra no es apta para hacerlo, ya que no precisa de fertilizantes o químicos para poder producir los alimentos, la reutilización de los residuos que genera su actividad hace que esta nueva forma de cultivo sea el futuro de la producción de alimentos en el mundo entero (Domínguez 2013).

Los sistemas acuapónicos son modelos productivos amigables con el medio ambiente, producen bienestar y desarrollo para la región donde se cultivan, gracias a este tipo de cultivos el planeta Tierra también se beneficia porque la huella de carbono es menor a la que se genera con los modelos productivos tradicionales (Colorado y Ospina 2019).

La investigación tuvo como objetivo validar cuatro densidades de tilapia (*Oreochromis sp.*) y dos variedades de hortalizas, tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) y chile dulce (*Capsicum annum* L.) para evaluar la producción, rendimientos y relación beneficio costo del sistema acuapónico mediante la técnica de la película nutritiva, en Santa Tecla, departamento de La Libertad, en El Salvador.

Para la realización de la investigación se contó con el apoyo del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador, con la finalidad de proponer una alternativa innovadora y de producción sencilla para la contribución a la microeconomía familiar y a la seguridad alimentaria y nutricional.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, fueron adoptados por todos los estados miembros en 2015 como un llamado universal para acabar con la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad para 2030 (PNUD 2019).

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible se integran porque reconocen que las acciones en un área tendrán un impacto en el desempeño en otras áreas, y que el desarrollo debe lograr el equilibrio medioambiental, económico y social (Mimbela 2022).

Esta investigación de producción acuapónica contribuye al cumplimiento del Objetivo 2: Hambre cero, busca poner fin a todas las formas de hambre y desnutrición para 2030 y garantizar que todos, especialmente los niños, tengan acceso a alimentos adecuados y nutritivos durante todo el año; y al Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento, cada vez muchos países enfrentan crisis de agua, las sequías van en aumento y la desertificación está exacerbando estas tendencias (PNUD 2019).

2.2. Desarrollo rural

La agricultura es la clave para reducir la pobreza rural, ya que permite obtener empleo a más de la mitad de toda la fuerza laboral de los países en desarrollo, cifra que puede alcanzar a la población de menores ingresos cerca de un 75%. La gran mayoría de los habitantes del mundo que enfrentan extrema pobreza dependen de la agricultura para la subsistencia, la cual tiene eslabonamientos tanto hacia atrás como hacia adelante con el sector rural no agrícola al que compra insumos como semillas y herramientas, provee de materias primas para las industrias que se sustentan en la actividad agrícola y donde genera una demanda por bienes y servicios locales como vivienda, muebles y vestuario (FAO 2001).

Como resultado, el crecimiento agrícola puede aumentar o mejorar los ingresos de los pobres de las zonas rurales de forma directa a través de un aumento en la producción y una demanda adicional de mano de obra agrícola, y también de forma indirecta mediante las relaciones con las actividades productivas que no son de carácter agrícola y que se desarrollan en las áreas rurales. Una investigación exhaustiva sobre crecimiento económico

y reducción de la pobreza en los países en desarrollo confirma que el crecimiento agrícola permite obtener mayores repercusiones en la disminución de la pobreza, contrario al crecimiento que se puede obtener en otros sectores, además; que el crecimiento rural reduce los niveles de pobreza (FAO 2001).

2.3. Agricultura sostenible

Se entiende como aquello que, a lo largo del tiempo, conduce o contribuye a mejorar la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales asociados a la agricultura, satisfaciendo las necesidades humanas básicas de fibra y nutrición, manteniendo la sostenibilidad económica y mejorando la calidad de vida de los productores y la sociedad (TEC 2017).

La gestión sostenible de los agroecosistemas está determinada por una combinación equilibrada de tecnologías, planes y actividades basados en principios económicos y consideraciones ambientales para mantener o aumentar la producción de productos agrícolas al nivel necesario para satisfacer las necesidades y demandas de la población, pero sin dañar el medio ambiente (Ikerd 1990).

2.4. Cultivos hidropónicos

La hidroponía es una forma o técnica de producción de cultivos sin suelo, donde la planta se abastece de agua y obtiene sus nutrientes por medio de una solución nutritiva que le brinda las condiciones óptimas para un mejor crecimiento y desarrollo (Pérez 2018).

La elección de un sistema hidropónico depende de los recursos disponibles, así como de las plantas que se desean producir. Las hortalizas, hierbas y plantas ornamentales de manera hidropónica tienen muchas ventajas desde un punto de vista tanto económico como ecológico, ya que permite obtener cultivos sanos, uniformes y que se desarrollan con mayor rapidez que aquéllos producidos mediante las técnicas agrícolas convencionales (Méndez 2017).

A través de la hidroponía es posible cultivar hortalizas y plantas aromáticas, algunos ejemplos son: ajo (*Allium sativum*), berenjena (*Solanum melongena*), brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), cebolla (*Allium cepa*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), ejote (*Phaseolus vulgaris*), pepino (*Cucumis sativus*), rábano (*Raphanus sativus*), tomate

(*Solanum lycopersicum*), zanahoria (*Daucus carota*), todas las variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) y distintos tipos de chile (*Capsicum annuum*). Además, este método permite cultivar frutos como: fresa (*Fragaria vesca*), maracuyá (*Passiflora edulis*), melón (*Cucumis melo*), piña (*Ananas comosus*) y sandía (*Citrullus lanatus*) (¿Sabes qué se puede cultivar por hidroponía? 2014).

2.4.1. Clasificación de los sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos se clasifican en:

- **Sistema de cama o de raíz flotante**

En este método las plantas se encuentran en una lámina o balsa generalmente de durapax que flota sobre la solución nutritiva, de modo que sus raíces están sumergidas dentro de la solución. Una bomba de aire proporciona a las raíces el oxígeno necesario para su óptimo desarrollo. Éste es uno de los sistemas hidropónicos más simples y económicos, es muy popular en los salones de clases y en actividades con fines didácticos; sin embargo, muy pocas plantas se desarrollan adecuadamente en este sistema, entre las que destacan la lechuga y otras hojas verdes (Méndez 2017).

- **Sistema de la película Nutritiva (NFT)**

Soto (2018) menciona que este sistema se denomina Técnica de la Película Nutritiva o Nutrient Film Technique (NFT por sus siglas en inglés). Consiste en hacer circular por tubos perforados de PVC una lámina de solución nutritiva, donde se introducen plantas ya germinadas (Guerrero 2018).

Este sistema es ampliamente utilizado en todo el mundo principalmente para cultivar hortalizas de hojas como berro, lechuga, remolacha, perejil, rúcula, albahaca, entre otras, aunque también se producen hortalizas de fruto como chile, tomate, pepinos, entre otros (Ayala 2019).

- **Sistema de aeroponía**

Es una técnica donde la planta es sostenida de manera que la raíz quede al aire y la solución nutritiva es proporcionada por medio de una aspersion o nebulización de la raíz (Guerrero 2018).

- **Sistema en sustrato orgánico e inorgánico**

Este método es el más recomendado para quienes empiezan por conocer la hidroponía, es el más semejante al cultivo de tierra, con la diferencia de que este solo le aporta un soporte a la raíz de la planta y no la alimentación como lo hace la tierra (Pérez 2019).

2.4.2. Contenedores usados en hidroponía

Los contenedores pueden ser de la forma que se desee y casi de cualquier material: concreto, asbesto, madera, aluminio, poliéster, acrílico, ladrillo, polivinilo, cartón asfaltado, plástico, entre otros. No se recomienda metal oxidable que pudiera hacer reacción con la solución nutritiva. La colocación de los contenedores puede ser horizontal o vertical. Para los horizontales se recomienda que tengan de 10 a 30 cm de profundidad (dependiendo de la especie) y de 20 a 120 cm de ancho. El largo es variable, pueden tener hasta 50 m (Zárate 2014).

2.4.3. Sustratos utilizados en hidroponía

En los cultivos hidropónicos el sustrato es el material que va a reemplazar el suelo en sus funciones de sostén de la raíz y retención de humedad. El primer sustrato que se utilizó en los inicios de la técnica fue el agua, posteriormente se empezaron a usar sustratos sólidos que facilitaron el manejo, en la actualidad se practican tres tipos de cultivo: en agua, en grava y en agregados (Zárate 2014).

2.5. Acuicultura

La acuicultura se define como el conjunto de actividades encaminadas al cultivo de especies acuáticas. Incluye la producción, crecimiento y comercialización de organismos de aguas dulces, salobres o saladas, útiles para las personas y animales. Los cultivos acuícolas implican la repetición parcial o total del ciclo biológico natural de aquellas especies acuáticas seleccionadas (Bocek 2007).

En la actualidad la acuaponía ha tomado un nuevo camino como rama importante de la acuicultura, ya que se está convirtiendo en una opción para hacer más sustentable la actividad acuícola, puesto que genera concientización sobre el uso y manejo del agua para obtener su máximo aprovechamiento, por otra parte, es una alternativa para obtener productos más frescos. Otra de las ventajas que tiene la acuaponía y que de cierta manera ayuda a la acuicultura es que las plantas que se cultivan en este sistema poseen ciclos

cortos, lo cual se traduce en una obtención de recursos económicos en menor tiempo; además, funcionan como filtro del agua ya que en muchos países existen normas para su aprovechamiento, que a su vez se tiene que devolver a su cauce en mejores o iguales condiciones (Domínguez 2013).

2.6. Acuaponía

Es un sistema de producción cerrado que integra la técnica de la acuicultura con la hidroponía, es decir, es una combinación de la producción de peces y de hortalizas sin suelo por el medio común “agua”. Las plantas y los peces crean una sinergia, ya que los desechos metabólicos de los peces son aprovechados como nutrientes por los vegetales para su desarrollo, mientras que las plantas limpian el agua y eliminan los compuestos tóxicos para los peces (amonio y nitritos), reduciendo la frecuencia de renovación del agua; sin embargo, en este sistema también intervienen microorganismos que inciden en los procesos de mineralización y nitrificación, principalmente bacterias nitrificantes (INTAGRI 2017).

El agua es, sin duda, el recurso natural más indispensable para cualquier forma de vida en el planeta, siendo necesaria para cualquier asentamiento humano, y disponer de ella en la cantidad y calidad suficiente. Hacer una adecuada gestión del agua, tanto para su consumo directo como para producir alimentos, es esencial debido a que los recursos naturales son cada vez más limitados, mientras la población humana y sus necesidades siguen en aumento, la acuaponía se vuelve una alternativa como un sistema de cultivo basado en la cultura del agua y del reciclaje natural (López 2019).

Según Medina y Arijó (2019) los elementos básicos de un sistema acuapónico son:

- **Animales:** En general se usan peces como tilapias (*Oreochromis niloticus*), otros, aunque también se pueden usar invertebrados, por ejemplo: cangrejos (*Callinectes sapidus*), camarones (*Penaeus monodon*), otros. Los peces, tras digerir el alimento, generan residuos ricos en amonio (la forma principal de excreción del nitrógeno en los peces) que van directamente al agua.
- **Bacterias:** Suelen estar ubicadas en un compartimento separado (biofiltros). Se encargan de descomponer la materia orgánica producida por los peces y convertir el amonio disuelto en nitritos y nitratos. Esta última actividad es muy importante, ya que, si los

niveles de amonio y nitritos aumentan en el agua, la salud de los peces se resentiría, llegando a morir.

- Plantas: Se pueden utilizar una gran variedad de hortalizas, plantas aromáticas y medicinales, entre otras. Las plantas reciben el agua tratada en los biofiltros y asimilan como nutrientes los nitratos producidos por las bacterias a partir del amonio de los peces. Las plantas no asimilan bien el amonio, pero sí los nitratos, y es por ello que las bacterias cumplen una doble misión: eliminación del amonio y aporte de nitratos para las plantas. La asimilación del nitrato y otros nutrientes por las plantas depura el agua, permitiendo su reutilización para la cría de los peces.

2.6.1. Tecnología Biofloc

El biofloc es un agregado de algas, bacterias y otro tipo de microorganismos asociados a la materia orgánica particulada como heces y alimento no consumido, los cuales forman flóculos (Crab *et al.* 2007; Hargreaves 2013; Ahmad *et al.* 2017).

Esta tecnología describe el papel de las bacterias libres en la columna de agua, donde aprovechan el carbono disponible como fuente de energía en condiciones ricas en nitrógeno para la síntesis de proteínas que permiten el crecimiento de su biomasa (Collazos y Arias 2015).

La aplicación de este principio a la acuicultura promueve la eliminación de nutrientes del agua (el nitrógeno es importante para la salud de los organismos cultivados debido a sus efectos nocivos cuando alcanzan concentraciones elevadas) y el crecimiento de la biomasa microbiana con un importante contenido proteico, que puede ser utilizada como fuente adicional de alimento para peces (Dibello y Doassans 2013).

El beneficio de este último proceso es que reduce la cantidad de alimento que los organismos necesitan para su crecimiento normal (Avnimelech 2007).

2.7. Precios actuales de la tilapia, tomate y chile dulce

Los precios de la canasta básica y productos de origen animal como la carne roja y blanca, incluidos pescados como la tilapia, se han disparado en los últimos años, haciéndolos inasequibles para las personas de bajos recursos. En la actualidad el precio del tomate en el

mercado por unidad es de \$0.11 dólares y el valor de la caja es de \$14.00 a \$18.00 dólares; y para el chile dulce el precio por unidad es \$0.17 dólares y el valor del costal es de \$13.00 dólares. En el caso de la tilapia fresca el valor por libra es de \$1.50 dólares, estos precios tienden a variar dependiendo de la temporada.

2.8. Costos de producción de un módulo acuapónico

Para la construcción de un módulo acuapónico con capacidad de 5.04 m³ de agua y con una densidad de siembra de 100 peces/m³ se requiere una inversión de \$536.97 dólares (Cuadro A-2), con la cual es posible llevar a cabo tres ciclos productivos por año para especies acuáticas como la tilapia y tres ciclos productivos por año para hortalizas como tomate y chile dulce (Vanegas 2020).

2.9. Tilapia

Las tilapias (*Oreochromis niloticus* y *aureus*) (Steindachner 1864) (cuadro 1), son organismos tropicales dulceacuícolas principalmente, originarios de África, los cuales debido a su facilidad de adaptación se encuentran actualmente distribuidos en la mayoría de países tropicales y subtropicales con fines de cultivo (Romero y Romero 2012).

En El Salvador, los primeros estanques se cultivaron en 1960 en el departamento de Usulután, desde ese año el consumo de tilapia ha crecido constantemente, convirtiéndose en la especie acuícola más consumida a nivel nacional (Ventura 2011).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la tilapia.

Phylum	Chordata
Clase	Actinopterygii
Orden	Perciformes
Familia	Cichlidae
Género	<i>Oreochromis</i>
Especie	<i>niloticus</i> , <i>aureus</i> , <i>mossambicus</i> .
Nombres comunes	Tilapia del Nilo, tilapia azul, tilapia mozambica.

Fuente: CAR (2018).

2.9.1. Morfología externa de la tilapia

La tilapia tiene bandas longitudinales negras en la aleta caudal, un vientre blanco que se extiende desde la aleta pélvica anterior hasta la parte anterior del ano, la aleta dorsal tiene 16-18 espinas duras y 12-13 espinas blandas, la aleta caudal tiene 3 espinas duras y 8-11

espinas blandas, 31-35 escamas a lo largo de la línea lateral, 5 arriba y 12 debajo de la línea lateral (CENDEPESCA 2008).

El cuerpo es generalmente comprimido, la boca es protráctil, ancha, bordeada por labios gruesos; presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal (Calderón 2018).

Para la movilidad poseen aletas pares e impares, las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta. La aleta caudal es redonda, truncada y raramente cortada, como en todos los peces esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua (CENDEPESCA 2008).

2.9.2. Ciclo de vida de la tilapia

De acuerdo con León (2001), las tilapias tienen un ciclo de vida bien definido en las etapas de huevo, jaramugo, alevín, juvenil y adulto. Se reproducen entre 6 y 8 veces al año y requieren para ello de temperaturas mayores a los 24° C. Su talla comercial varía de 250 a 500 gramos, la que alcanzan en un lapso de 6 a 12 meses, dependiendo de factores como temperatura, alimentación, densidad de siembra, calidad genética y manejo:

- Huevos. Se incuban en la boca de la hembra y su desarrollo depende de la temperatura del agua. La temperatura óptima oscila entre los 25° C y los 29° C. Las hembras pueden poner de 6 a 8 veces al año y producir de 750 a 6,000 huevos por año. El período de incubación es de 3 a 5 días.
- Jaramugo. Peces de 2- 4 semanas de vida. Se alimentan de las reservas nutricionales contenidas en el saco vitelino y de concentrado.
- Alevines. Peces con un peso entre 1 a 25 gramos o que miden más de 2.5 a 5 cm de longitud total (Alvarenga *et al.* 2017).

- Juvenil. Cuando la tilapia tiene una talla que varía entre 6 y 10 cm, la cual alcanza a los 2 meses de edad (Pérez y Sáenz 2005).
- Adultos. Es la última etapa del desarrollo, los peces presentan tallas entre 10 y 18 cm y pesos de 70 a 100 gramos, características que obtienen alrededor de los 3.5 meses de edad (Rodríguez 2002).

2.9.3. Reproducción de la tilapia

A diferencia de otros peces cultivados, las tilapias se distinguen por su facilidad de reproducción en cautiverio sin intervención humana, y de hecho esto se puede considerar uno de los principales problemas, así como la precocidad en la que comienzan, pues al iniciar, reducen sus tasas de crecimiento y a la vez hay una sobrepoblación en los estanques, motivo por el cual se prefiere el monocultivo, principalmente de machos (Romero y Romero 2012).

Para evitar este problema solo se deben liberar peces machos en el estanque. Esta técnica se conoce como cultivo monosexual de tilapia y se utiliza cuando es necesario producir peces grandes para el mercado. Se escogen los machos porque crecen el doble de rápido que las hembras. El resultado del monocultivo es una mejor fuente de proteínas y un mayor beneficio para el piscicultor (Bocek s.f.).

2.9.4. Requerimientos medio ambientales de la tilapia

Para el óptimo desarrollo de la tilapia se requiere que en el sitio de cultivo se mantengan los siguientes requerimientos:

- Calidad del agua. Esta especie es conocida por su amplia tolerancia y adaptabilidad a diferentes condiciones de calidad del agua. Tolera perfectamente bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se adapta a un amplio rango de acidez y alcalinidad del agua, puede producirse en aguas salobres y saladas, y tolera mayores concentraciones de amoníaco (Luchini 2006).
- Temperatura. Es el factor externo que mayor influencia tiene en la regulación del ciclo reproductivo. En condiciones naturales la tilapia vive a temperaturas de 20° C a 32° C. Las tilapias suelen dejar de alimentarse cuando la temperatura desciende por debajo de los 17° C e interrumpe toda su reproducción. El cambio de temperatura afecta

directamente la tasa metabólica, a mayor temperatura mayor tasa metabólica y por ende mayor consumo de oxígeno (CENDEPESCA 2008).

- Oxígeno disuelto. La tilapia puede tolerar niveles bajos de oxígeno disuelto (1 mg/L), pero se ha demostrado que si los niveles de oxígeno no se mantienen en la concentración adecuada (por encima de 4 mg/L), dejarán de ingerir alimentos, lo que hace que los peces sean más susceptibles a las enfermedades. Este hecho aumenta la tasa de conversión alimenticia y, por lo tanto, el costo de producción, es decir, se necesita más alimento para producir la misma cantidad de peces. Cuando los niveles de oxígeno disuelto caen, la tilapia se mueve por la superficie del agua en busca de oxígeno atmosférico, a su vez abre sus labios, lo que le permite absorber oxígeno más fácilmente. Esta característica fisiológica permite tomar medidas preventivas, ya que advierte de un problema existente y es fácil de comprobar en estanques deficientes en oxígeno entre las 5 am y las 7 am, pues casi todos los peces suben a la superficie a “boquear” (FONDEPES 2004).
- pH. El pH adecuado para el cultivo de la tilapia está entre 7 a 9, y se deben controlar los cambios en el pH del medio, ya que valores por encima o por debajo de este rango pueden provocar cambios en el comportamiento de los peces, como letargo y pérdida de apetito o causar alteraciones graves en las tasas de crecimiento, reproducción y supervivencia. Valores cercanos a 5 provocan la muerte por insuficiencia respiratoria en un período de 3 a 5 horas, así como despigmentación y aumento de la secreción del mucus (CENDEPESCA 2008).
- Dureza. El rango de dureza para las tilapias es de 20- 350 mg/L (miligramos/litro) de carbonato de calcio, siendo 75 mg/L el valor óptimo (Benítez *et al.* 2020).
- Turbidez. Al impedir la libre penetración de luz solar, la turbidez limita la productividad natural del estanque, a su vez, reduce la disponibilidad de alimento para los peces (Alamilla citado por González *et al.* 2011).

Se recomienda que el agua de los estanques no sea turbia para que el fitoplancton se pueda desarrollar adecuadamente (Molina y Ramos 2008).

Se debe mantener la transparencia de lectura del disco de secchi o visión de 30 cm (Calderón 2018).

- Amoníaco. Es un compuesto excretado directamente por los peces, su presencia en determinadas concentraciones en el medio de cultivo se considera tóxica para ellos. La tilapia admite valores de 0,01 mg/L a 0,1 mg/L, se producen efectos nocivos en mucosas y branquias y a 0,5 mg/L presenta mortalidad (CTAQUA s.f.).
- Nitritos. Son altamente tóxicos porque actúan como inhibidores del transporte de oxígeno por parte de la hemoglobina. Los niveles de estas sales nitrogenadas deben mantenerse por debajo de 25 mg/L (CTAQUA s.f.).
- Nitratos. Los nitratos sólo pueden volverse tóxicos para los peces en concentraciones muy altas, por encima de 300 - 500 ppm, valor que nunca se concentrará si hay suficientes densidades de plantas en el sistema (CENADAC 2011).

2.9.5. Alimentación de las tilapias

El éxito de la piscicultura depende de la eficiencia del cultivo, particularmente del procesamiento del alimento y de las técnicas de alimentación que toman en cuenta la calidad y cantidad del alimento proporcionado (NICOVITA 2002).

Al seleccionar un alimento balanceado para dar a los peces es muy importante tener en cuenta varios aspectos como: número de peces, tamaño y forma del estanque, peso promedio de los peces; además de establecer un horario para realizar la alimentación. El alimento de tilapia posee la característica de flotar sobre la superficie del agua, esto debido a las preferencias del pez por buscar el alimento, lo que da la oportunidad a los productores de observar el comportamiento de los peces y saber cuándo detenerse (Calderón 2018).

Las formas de alimentación dependen directamente del manejo, tipo de explotación, edad y hábitos de la especie, entre las más comunes se encuentran:

- Alimentación en un solo sitio. Este es uno de los métodos de alimentación menos prácticos debido a la acumulación de materia orgánica en un solo lugar y la dificultad para que coma toda la población de peces que constituyen el lote, lo que significa que gran parte del alimento es consumido por los más grandes y que se incrementa el

porcentaje de peces pequeños. Este tipo de alimentación es muy efectivo en sistemas intensivos (300 a 500 peces/m²) y es adecuada para animales de 1 a 50 gramos, ya que no les exige una gran actividad de nado y permite una alimentación uniforme y eficiente (NICOVITA 2002).

Si el estanque es pequeño bastará con alimentar en un solo lugar, por el contrario, si el estanque es grande y la cantidad de peces también, es importante establecer dos lados del estanque para que los peces de todos tamaños puedan llegar al alimento y consumirlo (Calderón 2018).

- Alimentación en "L". Este sistema de alimentación se recomienda para animales de 50 a 100 gramos, se realiza en dos orillas continuas del estanque. Se recomienda alimentar al borde del desagüe y en uno de los lados para eliminar la mayor cantidad de heces en el momento de la alimentación (Arévalo y Marín 2011).
- Alimentación periférica. Se realiza por todas las orillas del estanque y se sugiere para peces mayores a 100 gramos, dado que por encima de este peso se acentúan los instintos territoriales de estos animales en varios sitios del estanque (NICOVITA 2002).
- Alimentadores automáticos. Existen muchos tipos de comederos automáticos como el de péndulo, con temporizador (reloj automático), bandejas, comederos vibradores, comederos de cinta, entre otros; sin embargo, debido a su alto costo, se convierten en sistemas antieconómicos y se utilizan sólo en explotaciones donde se supera la relación costo beneficio (Arévalo y Marín 2011).

Es aconsejable alimentar a las tilapias por la mañana desde las 9:00 am hasta el atardecer, es decir, a la 5:00 de la tarde. Se recomienda establecer una rutina diaria para que los peces se acostumbren a este ritmo de alimentación (FONDEPES 2004).

La frecuencia de alimentación se refiere al número de veces por día que se debe suministrar alimento a los peces (cuadro 2). Normalmente se divide la cantidad de alimento calculando para cada día en varias raciones.

Cuadro 2. Frecuencia de alimentación en tilapias.

Fase	Peso promedio (gr)	Frecuencia (número de veces)
Precría	2 – 50	8 - 10
Crecimiento	50 – 150	4 - 6
Engorde	150 – 300	3 - 4

Fuente: FONDEPES (2004).

2.9.6. Aspectos nutricionales de la tilapia

Los alimentos balanceados para tilapias (concentrados) poseen rangos de 45% a 24% de proteína, 3% a 7% de grasas, 4% a 7% de fibra con aditivo de minerales y vitaminas, los cuales deben ser suministrados en cantidades que dependen del peso y talla del pez (Calderón 2018).

El manejo de las tablas de alimentación facilita una respuesta a la cantidad de alimento que debe suministrarse a los peces según el peso promedio. Los productores deben evaluar la ganancia de peso de los peces cada 7 o 14 días y utilizar las tablas de alimentación para determinar la cantidad de alimento que se debe suministrar (cuadro A-1). Así mismo, las tablas de alimentación hacen referencia al porcentaje de proteína a emplear (CTAQUA s.f.).

2.9.7. Sistemas de producción de la tilapia

Dependiendo del sistema, manejo, disponibilidad de agua y cantidad de peces por área, el cultivo puede ser considerado:

- Sistema extensivo. Ideal para pequeños proyectos de subsistencia, poca o ninguna adición de agua, baja densidad de siembra de 0.5 a 2 peces por m², sin uso de concentrado, los peces se alimentan de plancton (Ríos 2012).
- Sistema semi-intensivo. Se utilizan estanques de 0,5 a 3 hectáreas, con recambios de agua diarios del 15% al 30% del volumen total del estanque y se utilizan aireadores que dependiendo de la densidad de siembra se utilizan desde 2 HP a 12 HP por hectárea. Las densidades de uso varían ampliamente y oscilan entre 4 a 15 peces/m³, y el rendimiento oscila entre 20 a 50 ton/año (Romero y Romero 2012).
- Sistema intensivo. Densidad de siembra de 6 a 20 peces/m², utiliza solo concentrado; recambios de agua superiores al 50% por día, densidad de siembra entre 21 a 50

peces/m², ideal para proyectos comerciales. Normalmente se desarrollan en piletas de concreto, estanques de tierra y jaulas de bajo volumen (Saavedra 2006, Ríos 2012).

- Sistema súper intensivo. Este cultivo es comercial e industrial, la densidad de siembra es superior a los 50 peces/m² y se desarrollan en jaulas, estanques y sistemas de tanques circulares (Altamirano y Meza 2020).

Este sistema requiere de asistencia técnica regular y uso exclusivo de concentrados. Los cambios de agua ocurren normalmente del 100% a 300% del agua total en la unidad productiva (Ríos 2012).

2.10. Huertos familiares

Un huerto es una pequeña parcela de terreno con el propósito de producir hortalizas, flores y frutos, que se pueden desarrollar en áreas rurales y urbanas con el propósito de producir alimentos nutritivos y una economía familiar mediante la siembra de semillas, plantas comestibles y medicinas, beneficiosos para las personas, permitiendo mejorar la calidad de vida de quienes están dispuestos a buscar recursos locales para generar buenas condiciones de vida (Aymacaña y Guamangate 2015).

La FAO (2000) define huerto familiar como la tierra dedicada al cultivo de hortalizas y que su producción significa la subsistencia de la familia que la cultiva, también describe que el huerto es un sistema de producción agrícola rural que combina actividades físicas, económicas y funciones sociales. Las funciones físicas incluyen el cultivo, cuidado y recolección del producto resultante. Entre las funciones económicas se encuentran el autoconsumo y la venta de productos excedentes, apoyando así la soberanía alimentaria en la región.

Según la FAO, citado por Barrero (2009), la seguridad alimentaria familiar se refiere a la capacidad de las familias para obtener los alimentos suficientes, ya sea por compra o producción de los mismos, para mantener saludables a sus integrantes.

2.11. Cultivo de tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) (cuadro 3), es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel nacional, se adapta a condiciones de clima cálido y templado, cultivándose

en lugares con alturas entre los 100 a 1,500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). En El Salvador este cultivo se puede sembrar todo el año en lugares donde se cuenta con riego (CENTA 2018).

El tomate es originario de los Andes del Perú, donde se encuentra en forma silvestre como un fruto rojo redondo. Poco a poco se fue extendiendo por Sudamérica desde donde prosiguió su viaje hacia Centroamérica (Pérez 2018 y Díaz *et al.* 2012).

Cuadro 3. Clasificación taxonómica del cultivo de tomate.

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Lycopersicum</i>
Familia	<i>esculentum</i>

Fuente: CENTA (2018).

2.11.1. Cultivares de tomate

El tipo de tomate cultivado dependerá del propósito de consumo y del mercado objetivo, ya que se clasifican como tomates para ensalada, pasta y cocina. Según el tipo de tomate seleccionado, la variedad de tomate debe cumplir con los requisitos del mercado como: buena firmeza, buen porcentaje de sólidos solubles, resistencia al manipuleo y transporte, larga vida en anaquel, entre otras. Además, el productor debe elegir variedades resistentes a enfermedades y plagas (Pérez 2018).

Entre los cultivares de cocina más sembrados en el país están el Tisey, Híbrido 61, Namib, Pony express F1, Nirvana, Phaluka, Silverado, Escudero F1, Kartier F1; los cultivares de ensalada más sembrados en el país son el Daniella, Mathias y Malinche (CENTA 2018).

2.12. Cultivo de chile dulce

El chile dulce (*Capsicum annuum* L.) (cuadro 4), es una de las especies de pimiento más cultivadas en el mundo, se adapta muy bien a altitudes de 0 hasta 2,300 m.s.n.m., dependiendo de la variedad. Es un fruto muy importante a nivel de Latinoamérica. El valor nutricional de esta hortaliza radica en su alto contenido en vitamina C, además de poseer altos contenidos de vitamina A y B, y algunos minerales (Orellana *et al.* 2000).

El chile dulce es originario de los trópicos y subtrópicos del continente americano, probablemente de Bolivia y Perú, desde dónde se habría diseminado a toda América (Chávez y Martínez 2015).

Cuadro 4. Clasificación taxonómica del cultivo de chile dulce.

División	Embriophyta, Asiphonograma
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Polemoniales
Familia	Solanácea
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Annuum</i>

Fuente: Mejicano *et al.* (2013).

2.12.1. Cultivares de chile

Los chiles se clasifican en dos grupos: dulces y picantes. La diferencia está en el contenido de capsicina que es menor en los chiles dulces, pudiendo ser el 4% del contenido total de los picantes.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Validar la producción de tilapias, tomate y chile dulce en un sistema acuapónico para contribuir a la seguridad alimentaria y la microeconomía familiar salvadoreña.

3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la producción de tilapias en diferentes densidades de siembra en un sistema acuapónico.
- Evaluar estadísticamente la producción y rendimientos del cultivo de tomate, chile dulce y tilapias en los sistemas acuapónicos.
- Determinar la relación costo beneficio del establecimiento y producción del sistema acuapónico.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el periodo de mayo a octubre de 2022 en las instalaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), ubicado en Santa Tecla, departamento de La Libertad en El Salvador (figura 1), con coordenadas geográficas Latitud $13^{\circ} 41' 3''$, Longitud $89^{\circ} 17' 12''$, a una altura de 789 metros sobre el nivel del mar (msnm), la temperatura máxima promedio es de 29°C , una temperatura mínima promedio de 18°C , una precipitación media anual de 1,492 milímetros y una humedad relativa anual de 70% (Datos tablas y gráficos mensual y anual las condiciones climáticas en Santa Tecla El Salvador 2018).



Figura 1. Ubicación de la investigación.

4.2. Metodología de campo

En la parte acuícola se cultivó tilapia (*Oreochromis sp.*) y en la parte hidropónica se cultivó tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) variedad Tacana y chile dulce (*Capsicum annum* L.) variedad Magaly R, en un sistema acuapónico bajo la técnica de la película nutritiva (NFT por sus siglas en inglés) (figura 2).



Figura 2. Sistemas acuapónicos mediante el método de NFT.

4.2.1. Diseño y montaje de los sistemas acuapónicos

La investigación se ejecutó en las instalaciones de la Dirección General de CENDEPESCA del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en una superficie de 60 m², en el cual se delimitaron y nivelaron cuatro áreas, cada una con 15 m², donde se construyó cada estanque (figura 3).



Figura 3. Delimitación y nivelación del área de cada sistema.

El sistema acuapónico contó con los siguientes componentes físicos (figura 4):

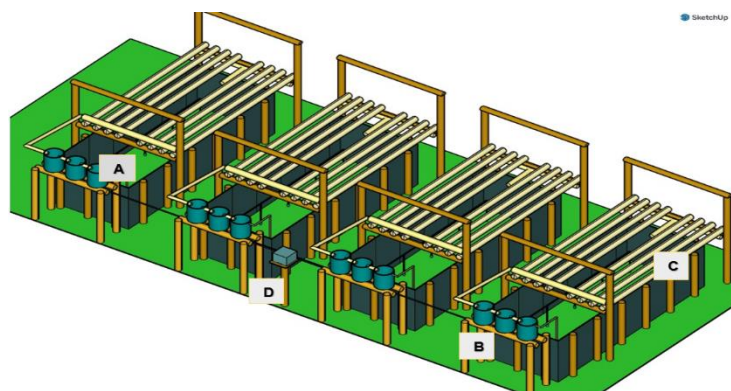


Figura 4. Esquema de los componentes del sistema acuapónico: A) estanque, B) sistema de biofiltros, C) camas de siembra, D) sistema de aireación.

Componente A. Estanque para peces: con dimensiones de 3.60 m de largo, 1.40 m de ancho y 1.10 m de profundidad, con capacidad de 5.04 m³ de agua, donde se evaluaron cuatro densidades de siembra de tilapia (40, 60, 80 y 100 peces/m³). Para la construcción de cada estanque (figura 5), se utilizaron pliegos de electromalla de 6 x 6 x 6 pulgadas, (6 m de largo por 2.35 m de ancho), los cuales se cortaron a la mitad para conformar las paredes de soporte, formando un corral rectangular, luego se realizó el ahoyado de 0.50 m de profundidad, dónde se colocaron postes de bambú de 1.5 m de altura para el soporte de la electromalla, colocados a 0.60 m de distancia entre sí.

Dentro del corral metálico se colocó una geomembrana de polietileno de alta densidad, de 0.75 mm de espesor y grado alimenticio, a la cual se le realizaron dobleces a manera de formar una caja rectangular, seguidamente se le realizó un doblez en la parte superior formando una pestaña para sujetarla a la electromalla con pernos y arandelas, a ambos lados, para mayor área de contacto y evitar romper el polietileno.

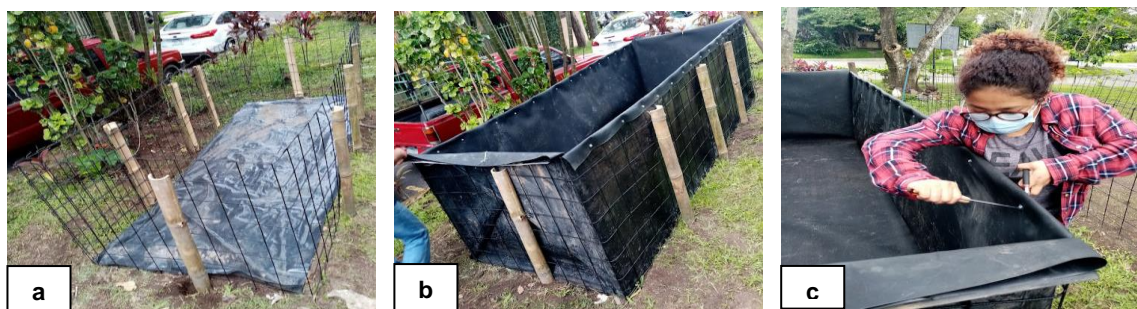


Figura 5. Montaje de estanques: a) colocación de postes y electromalla; b) colocación de geomembrana; c) fijación de geomembrana.

Posteriormente se colocó sobre los estanques malla sombra de polietileno de color negro al 75% de sombra, para: disminuir la incidencia del sol sobre el espejo de agua, disminuir la producción de microalgas y evitar la caída de hojas dentro del estanque. También se colocó cobertura de plástico de polietileno transparente para tratar de mantener las condiciones de temperatura del agua para los peces dentro del estanque, debido a que se tuvieron temperaturas de 18° C durante la noche y madrugada (figura 6).



Figura 6. Colocación de malla sombra y plástico transparente sobre los estanques.

Componente B. Sistema de biofiltros: inició con la nivelación del suelo a lo ancho del estanque, luego se colocaron bases a los extremos con tres bloques de concreto con medidas de 20 x 20 x 40 cm, sujetándolos entre sí con alambre galvanizado, sobre las bases se colocaron dos tubos de hierro galvanizado de 2 pulgadas de diámetro como vigas de soporte a una altura de 0.65 m sobre el suelo (figura 7).



Figura 7. Construcción de bases para colocar los biofiltros.

Para la elaboración de los biofiltros (figura 8), se utilizaron tres barriles plásticos, uno con capacidad de 64 galones y los dos restantes de 36 galones, el sistema cumplía con la función de filtro mecánico y biológico. En la parte inferior de cada barril los primeros 15 cm de columna de agua funcionaban como cámara sedimentadora y el resto de la columna hasta llegar al punto del drenaje superior se llenó con material inerte biofiltrante, estos materiales fueron trozos de pajillas plásticas no biodegradable cortadas de 2 a 3 cm de

longitud, bolitas de poliestireno expandible (durapax) de 3 a 4 mm de diámetro, lo cuales fueron depositados en bolsas de tela de mosquitero elaborados con dos anillos de alambre galvanizado calibre 14, separados a 4 cm entre sí para poder ajustar el saco a las paredes del barril a una altura de 15 cm del fondo y formar una cámara de agua que permitió la sedimentación de materia orgánica, favoreciendo el proceso de mineralización, la cual se drenaba cada mes a partir del segundo mes de producción. Sobre la bolsa se colocó escoria volcánica de color rojo para aumentar la superficie de alojamiento de bacterias nitrificantes y proporcionarle peso a la bolsa para evitar que flotara.

Los barriles eran abastecidos de agua desde el estanque por medio de una bomba sumergible a través de una manguera hacia un tubo de PVC de 1 pulgada de diámetro ubicado al centro del primer barril, este tubo llegaba al fondo de manera que obligaba al agua a subir a través del material biofiltrante, generando al mismo tiempo un efecto de sedimentación, por lo que las bases de los barriles fueron perforadas y se les instalaron válvulas para drenar estos sedimentos.

El agua continuaba su curso pasando entre barriles de la misma forma, por el centro de éstos hacia el fondo, por lo que los costados fueron perforados en la parte superior para colocar tubería y accesorios (codos) de PVC de 1 pulgada de diámetro, finalmente el agua salía del último barril hacia la cama de siembra a través de una manguera de 1 pulgada de diámetro. Para tapar los barriles se utilizaron cubiertas de plástico de color negro de polietileno de baja densidad.



Figura 8. Construcción de los biofiltros: a) colocación y fijación de válvula de desagüe; b) elaboración de bolsa mosquitero; c) llenado de bolsas con material biofiltrante; d) tapado de barriles.

Componente C. Camas de siembra: para su construcción se utilizaron 8 tubos de PVC de 3 m de longitud y cuatro pulgadas de diámetro, a los cuales se le realizaron 15 perforaciones de 2.25 pulgadas de diámetro en línea recta a una distancia de centro a centro de 0.20 m entre ellos, además se le realizó una perforación de ½ pulgada en la parte superior e inferior, al inicio y al final de cada tubo para el abastecimiento y drenaje del agua (figura 9).

Al inicio de los tubos de 4 pulgadas fue colocado un tubo de 2 pulgadas al cual se le realizaron en la parte baja 8 perforaciones de 1/8 de pulgada de diámetro y cada uno de estos fueron superpuestos en las perforaciones al inicio de cada tubo para dar paso al agua proveniente de los biofiltros. El agua viajaba a través de los tubos de 4 pulgadas alimentando a las plantas, pasando al agujero de drenaje al cual se le colocó un adaptador macho de PVC de ½ pulgada de diámetro para unirse al tubo de 2 pulgadas a través de perforaciones de ½ pulgada de diámetro en la parte superior, para recibir al adaptador macho.

Para mantener una lámina de agua uniforme al interior de los tubos de 4 pulgadas se colocó al drenaje trozos de manguera de 5 cm de altura. El agua drenada regresaba a cada estanque a través del tubo de 2 pulgadas en forma de “T” al final de la cama de siembra, seguidamente los tubos de 2 y 4 pulgadas se taparon en los extremos con mitades de tapaderas de drenaje.



Figura 9. Ahoyado y colocación de adaptadores en tubos de PVC: a) perforación de tubos de PVC de 4 pulgadas; b) colocación de tapones machos al inicio y final del tubo; c) cortado de tapaderas de PVC; d) colocación de tapaderas de PVC.

Las camas de siembra fueron colocadas sobre columnas y vigas de bambú sobre los estanques, separándose 1 metro de distancia de la primera pared del estanque próxima a los biofiltros para tener un área para el manejo. Las camas fueron niveladas y sujetadas al bambú con precintos plásticos (figura 10).



Figura 10. Colocación y nivelación de las camas de siembra sobre los estanques.

Componente D. Sistema de recirculación y aireación: se construyó una base de bambú al centro de los cuatro estanques para colocar una bomba aireadora marca Atman de 20 watts, la cual distribuía aire hacia los cuatro estanques a través de un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro sellados a sus extremos con tapones de PVC (figura 11).

Para llevar el aire del tubo al agua se colocaron 5 válvulas plásticas de control de flujo de aire por estanque, dando paso al aire a través de mangueras plásticas de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro, además se le colocó un aro de plomo para mantenerla a la profundidad deseada y finalizaban en una piedra aireadora con forma cilíndrica de 3 cm de largo y 1 cm de diámetro. Las piedras se colocaron en línea recta al centro del estanque y distanciadas entre sí a 0.70 m y a una profundidad de 0.50 m en la columna de agua. Adicionalmente se colocaron en los estanques bombas sumergibles marca Little Giant de $\frac{1}{8}$ de HP a las cuales se les añadió un sistema venturi artesanal construido con tubería PVC.



Figura 11. Sistema de aireación.

Para la recirculación del agua de los estanques a los barriles se utilizó una bomba sumergible de 35.5 watts (figura 12), a la cual se le colocó una manguera de 0.50 pulgadas, a esta bomba también se le añadió un sistema venturi artesanal construido con tubería PVC.

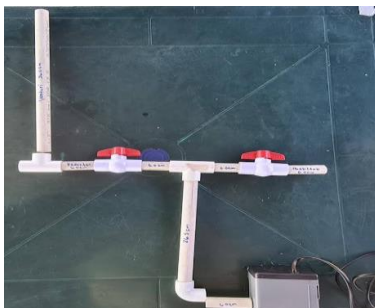


Figura 12. Bomba sumergible de 35.5 watts con sistema venturi.

4.2.2. Limpieza y llenado de agua de los estanques

Previo a la siembra de los alevines se limpiaron y desinfectaron internamente las paredes de cada uno de los estanques (figura 13), con solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 5%, la cual fue aplicada con una esponja y se dejó por un periodo de 24 horas, posteriormente se lavaron con suficiente agua hasta quitar por completo la película de solución desinfectante; luego se procedió al llenado de cada estanque con agua potable dejándola reposar 7 días para la volatilización del cloro antes de la siembra de los alevines.



Figura 13. Desinfección y llenado de estanques: a) dilución de hipoclorito de sodio; b) desinfección dentro del estanque; c) llenado de estanques con agua.

4.2.3. Siembra de alevines

Los alevines fueron trasladados desde la Estación acuícola de Atiocoyo a Santa Tecla en bolsas plásticas con 25% de agua y 75% de oxígeno puro, la siembra dio inicio (figura 14), con la aclimatación, dejando las bolsas de alevines flotando durante 30 minutos en el agua

de cada estanque para disminuir el estrés por el choque térmico, para luego proceder a agregar poco a poco agua de los estanques al interior de cada bolsa.

Para depositar los alevines en el agua se realizó el conteo de éstos en cada estanque, colocando la cantidad establecida para cada tratamiento de 40, 60, 80 y 100 peces/m³, más un 10% por posibles mortalidades. Los alevines presentaron pesos entre 5 a 10 gramos, con un promedio de 5.41 gramos por individuo.



Figura 14. a) Transporte; b) aclimatación; c) liberación de alevines.

4.2.4. Muestreo de peces

Los muestreos se realizaban semanalmente y se utilizó una atarraya para la captura de los peces, una regla graduada en centímetros y una báscula semianalítica (figura 15).



Figura 15. Instrumentos utilizados durante los muestreos de peces: a) atarraya de nylon, balanza semianalítica y regla graduada de 30 cm.

El muestreo consistió en capturar 30 peces de cada estanque, luego se midieron desde la cabeza hasta la cola y se pesaron (figura 16), el peso total de la muestra se dividió entre los 30 peces muestreados para obtener el peso promedio, éste dato sirvió para calcular la cantidad de alimento a proporcionar a los peces a través de los porcentajes que indican las tablas de alimentación según el peso de los individuos, dichas tablas establecen el porcentaje diario de alimento para cada etapa según el peso alcanzado.



Figura 16. Medición y pesaje de muestras de peces.

4.2.5. Manejo del alimento

La cantidad de alimento proporcionado se calculó mediante muestreos biométricos cada 7 días, se suministró diariamente alimento balanceado comercial en forma de pellet (figura 17), distribuido en cuatro raciones al día, por la mañana a las 9:00 am y 11:00 am, y por la tarde a la 1:00 pm y 3:00 pm. Los porcentajes de proteína utilizados fueron de 38% durante el primer mes y 32% de proteína para los tres meses restantes.



Figura 17. Raciones diarias de alimento concentrado a) 38%; b) 32%

Por problemas de falta de apetito en los peces, provocado por bajas temperaturas en el agua, se adicionó 10 gramos de probiótico por libra de alimento durante el primer mes y 5 gramos a partir del segundo mes (figura 18), esto permitió a los peces estimular la respuesta inmune, incrementar el apetito, la tasa de crecimiento y la resistencia a enfermedades.

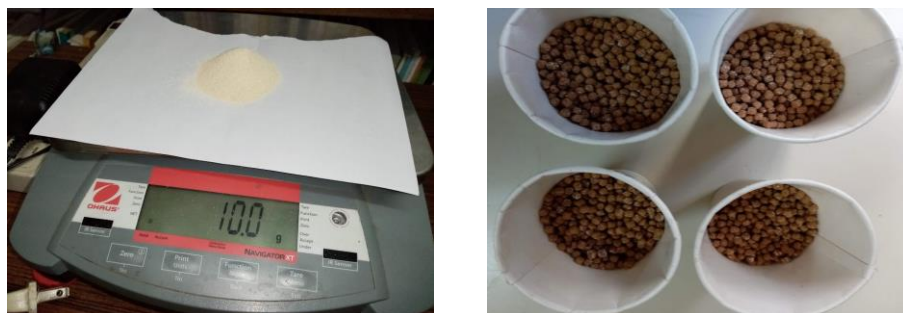


Figura 18. Pesaje y adición del probiótico al alimento concentrado.

4.2.6. Manejo de enfermedades presentadas en las tilapias

Para el manejo y control de enfermedades presentadas en los peces se realizaron aplicaciones de Virkon, el cual es un desinfectante de amplio espectro utilizado para el control efectivo y seguro contra patógenos comunes en la producción pecuaria. El producto se aplicaba directamente al agua de cada estanque cada 7 días utilizando 0.25 miligramos por cada 5,000 litros de agua, prediluidos en un litro de agua y repartido uniformemente por todo el estanque (figura 19).



Figura 19. Peso y aplicación de Virkon.

También se realizaban aplicaciones de sal cruda que ayudaba a contrarrestar el estrés ocasionado por el manejo durante los muestreos, para restaurar la osmorregulación, prevenir y controlar de enfermedades, y para mejorar el estado general de los peces; esta actividad se realizaba cada 7 días en una cantidad de 3 gramos/m³ de agua, diluidos previamente en media cubeta con agua del mismo estanque para luego ser incorporados de manera uniforme en toda la columna de agua (figura 20).



Figura 20. Dilución de sal cruda en agua.

4.2.7. Manejo de los cultivos de tomate y chile dulce

La variedad de tomate que se utilizó fue Tacana y la de chile dulce fue Magaly R, ambas son de crecimiento semideterminado. Los plantines de tomate fueron trasladados desde San Juan Opico, y los de chile dulce desde Cojutepeque en bandejas plásticas de almácigo de 22 días de edad desde su germinación.

Los plantines fueron colocados en conos fabricados de geomembrana de 0.75 mm de espesor, al cual se le colocó una tira de tela con el propósito que por capilaridad subiera el agua a la raíz, ya que el nivel de agua dentro de los tubos era bajo con respecto a la longitud de las raíces durante las primeras semanas; seguidamente fueron ubicados sobre cada agujero de los tubos de PVC de 4 pulgadas y se les agregó cascajo volcánico de color rojo para brindarle fijeza a cada planta. Los plantines fueron trasplantados a los 15 días después de haber realizado la siembra de los alevines y 15 días después se realizó el tutorado vertical de forma individual con hilo sintético de polipropileno “pita rafia”, con el fin de evitar el doblamiento y mantener un crecimiento de forma erguida para conseguir mejor iluminación y ventilación entre plantas (figura 21).



Figura 21. Establecimiento de plantines en tubos de PVC.

El riego de los plantines se realizó las 24 horas del día a través de la película nutritiva de agua de 5 cm que recirculaba por los tubos de PVC (figura 22), esta recirculación permitía el contacto de las raíces con el agua manteniendo buena oxigenación y nutrición en toda la planta.



Figura 22. Riego de plantines en tubos de PVC.

4.2.8. Fertilización

La fertilización de las plantas fue por medio de la transformación de los desechos metabólicos de los peces, convirtiendo el amonio en nitrato y de la mineralización de microelementos en el biofiltro, además se agregaron compuestos multiminerales orgánicos como fertilizantes foliares o fórmula de engrosamiento y estimulantes o fórmula enraizadora para mejorar el crecimiento radicular.

El control de plagas y enfermedades se realizó de forma mecánica a través de poda de hojas o plantas dañadas, natural o biológica a través de insectos depredadores como Coccinélidos y con el uso de repelentes orgánicos como lo fueron el alcotabaco (mezcla de alcohol y tabaco) y apichi (mezcla de ajo pimienta y chile), ambos utilizados para el control de insectos chupadores y masticadores, y agua jabonosa para el control de áfidos (figura 23).

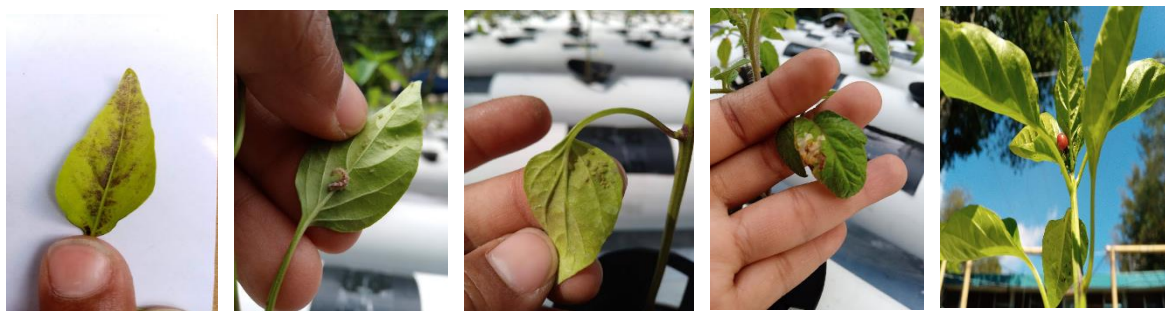


Figura 23. Manejo de cultivos.

4.2.9. Muestreo de plantas

Los muestreos se realizaban semanalmente, se utilizó una regla graduada durante las primeras 5 semanas y luego se utilizó una cinta métrica. En el momento de la cosecha de los frutos se utilizó una balanza semianalítica para el pesaje y un Vernier para medición (figura 24).



Figura 24. Instrumentos utilizados durante los muestreos de plantas y cosecha de frutos.

El muestreo consistió en medir 3 plantas por tratamiento desde la base del tallo hasta la parte más alta de la planta (figura 25).



Figura 25. Medición de muestras.

La cosecha consistió en el corte y pesaje de los frutos de las plantas seleccionadas y del total de los frutos por cada tratamiento (figura 26).



Figura 26. Cosecha de frutos.

4.2.10. Mantenimiento de los sistemas acuapónicos

Las actividades realizadas diariamente fueron (figura 27): comprobación visual del estado de salud a través del comportamiento de los peces, retiro de peces muertos, preparación de raciones de alimento y alimentación de peces, observación minuciosa de las plantas para descartar la presencia de plagas o enfermedades, control mecánico de plagas, verificación del buen funcionamiento de los equipos eléctricos (bombas de recirculación de agua, sistemas venturi, bombas de aireación y piedras aireadoras), control del nivel del agua en los estanques y llenado del agua faltante, control de fugas de agua en las tuberías o mangueras, verificación del flujo normal de agua y de posibles obstrucciones, toma de parámetros físicos del agua (oxígeno, saturación y temperatura).



Figura 27. Actividades diarias: a) retiro de peces muertos; b) preparación del alimento; c) alimentación de peces; d) verificación del flujo normal de agua, obstrucciones y fugas; e) toma de parámetros físicos del agua.

Las actividades realizadas semanalmente fueron (figura 28): recambios de agua en los estanques cada vez que se tenían niveles elevados de amonio o de turbidez, control de los parámetros físico químicos del agua (transparencia o turbidez, nitratos, nitritos, potencial de hidrógeno, alcalinidad, dureza y amonio), aplicación de nutrientes esenciales para las plantas, podas de limpieza y de formación en plantas, tutorado de plantas, limpieza de piedras aireadoras, muestreo de plantas y peces, aplicación de productos preventivos para peces (sal) y medicamentos.

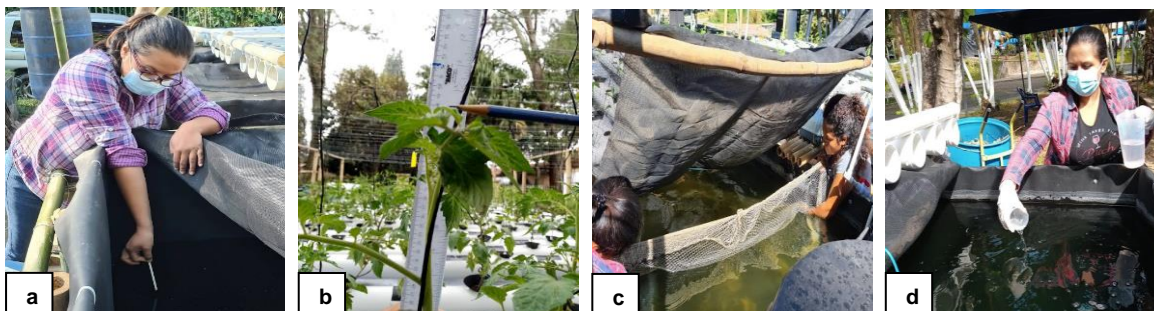


Figura 28. Actividades semanales: a) toma de parámetros físicoquímicos del agua; b) muestreo de plantas; c) muestreo de peces; d) aplicación de sal y medicamentos.

Las actividades realizadas mensualmente fueron (figura 29): limpieza de bombas de recirculación de agua, del material filtrante, de sistemas venturi, de biofiltros y su drenaje.



Figura 29. Actividades mensuales: a) limpieza de bombas de recirculación de agua, b) limpieza de material filtrante; c) drenaje de biofiltros; d) limpieza de biofiltros.

4.3. Metodología de laboratorio

Para medir el oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura del agua se utilizó un medidor de oxígeno disuelto marca YSI modelo "PRO 20"; para medir la turbidez del agua se usó un disco secchi, el cual se sumergía verticalmente en el estanque hasta que se dejaba de observar; para medir el pH, nitratos, nitritos, dureza y alcalinidad se utilizaron tiras de pruebas colorimétricas marca "Lifeguard Aquatics", las cuales se sumergían

en el agua, se giraban dos veces y al sacarlas del agua se esperaba 30 segundos para su lectura; para la prueba de amonio se utilizaron tiras del mismo tipo, se sumergían en el agua por 5 segundos y luego se esperaba 1 minuto para su lectura (figura 30).



Figura 30. Equipo e instrumentos utilizados para realizar toma de parámetros físicoquímicos del agua.

4.4. Metodología estadística

Para el análisis de los datos se aplicó un arreglo factorial de 2x4 bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), esto, por las condiciones controladas en los estanques (parámetros físicoquímicos del agua) y las características similares del material experimental (alevines de tilapia de la misma edad, hortalizas de la misma variedad, fecha de siembra y trasplante).

Los tratamientos que se evaluaron en la investigación fueron ocho: las combinaciones de dos hortalizas (tomate y chile dulce) y cuatro densidades de siembra de tilapia (40, 60, 80 y 100 peces/m³), con tres repeticiones (cuadro 5).

Cuadro 5. Tratamientos evaluados en la investigación.

Factor A (hortalizas)	Factor B (densidad de siembra)	Tratamiento	Detalle del tratamiento
H1: Tomate	D1: 40 peces/m ³	Testigo relativo o Tratamiento 1 (T1)	Tomate más 40 peces/m ³ de tilapia
H1: Tomate	D2: 60 peces/m ³	Tratamiento 2 (T2)	Tomate más 60 peces/m ³ de tilapia
H1: Tomate	D3: 80 peces/m ³	Tratamiento 3 (T3)	Tomate más 80 peces/m ³ de tilapia
H1: Tomate	D4: 100 peces/m ³	Tratamiento 4 (T4)	Tomate más 100 peces/m ³ de tilapia
H2: Chile dulce	D1: 40 peces/m ³	Testigo relativo o Tratamiento 5 (T5)	Chile dulce más 40 peces/m ³ de tilapia
H2: Chile dulce	D2: 60 peces/m ³	Tratamiento 6 (T6)	Chile dulce más 60 peces/m ³ de tilapia
H2: Chile dulce	D3: 80 peces/m ³	Tratamiento 7 (T7)	Chile dulce más 80 peces/m ³ de tilapia
H2: Chile dulce	D4: 100 peces/m ³	Tratamiento 8 (T8)	Chile dulce más 100 peces/m ³ de tilapia

4.4.1. Análisis descriptivo e inferencial

Para la organización, procesamiento y análisis estadístico de los datos se utilizó métodos descriptivos univariados como gráficas y medidas de tendencia central. A todas las variables se les aplicó el análisis de varianza (ANOVA). Previo a la aplicación del ANOVA se verificaron que los datos cumplieran con los supuestos de homogeneidad de varianza y distribución normal (Rodríguez 2021).

Se aplicó la prueba estadística de Tukey (comparación múltiple de medias) para comparar las medias de los tratamientos y determinar cuál produce los mejores efectos en las variables en estudio.

Todo el análisis se realizó con un nivel de significancia estadística (alfa α) del 5% = 0.05 y mediante la utilización de hojas de cálculo de Microsoft Excel® 2016 y el programa estadístico Infostat® 2020 (Rodríguez 2021).

4.5. Metodología económica

El cuadro 6 muestra el costo de los equipos utilizados en los cuatro sistemas acuapónicos de la investigación.

Cuadro 6. Costo de equipos.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (dólares)	Precio Total (dólares)
Oxímetro	Unidad	1	1,200.00	1,200.00
Tiras colorimétricas	Unidad	1	50.00	50.00
Aireador	Unidad	1	330.00	330.00
Bomba de 35.5 watts	Unidad	4	40.00	160.00
Bomba Little Giant de 1/6 de HP	Unidad	4	125.00	500.00
			Total	2,240.00

4.5.1. Inversión en la construcción de los módulos

Para evaluar la construcción de cada módulo acuapónico se realizó un cálculo de costos de los materiales e insumos utilizados en la investigación (cuadro A-2) con el propósito de contar con una nueva alternativa de ingresos para productores de tilapia en el país. En el estanque 1 se realizó una inversión de \$523.77 dólares, en el estanque 2 \$528.17 dólares, estanque 3 \$532.57 dólares y en el estanque 4 \$536.97 dólares, teniendo un costo total de \$2,298.63 dólares por los cuatro estanques.

4.5.2. Presupuesto parcial

El análisis económico se elaboró mediante el presupuesto parcial y beneficios netos, el cual se realizó con la finalidad de calcular el costo beneficio de la producción de los cultivos de tilapias y hortalizas (tomate y chile dulce) en cada uno de los estanques (cuadro A-3).

4.5.2.1. Rendimiento promedio (RM)

Se obtuvo cuantificando el número de peces de tilapia que sobrevivieron por estanque al final del ciclo productivo multiplicado por el peso promedio del último muestreo; en el caso de las hortalizas se obtuvo cuantificando el número total de frutos cosechados por tratamiento al final del ciclo productivo multiplicado por el peso promedio del último muestreo.

Tilapias:

T1 y T5 = 181 peces x 97.70 g. (0.2151 lb) = 38.93 lb

T2 y T6 = 260 peces x 115.30 g. (0.2539 lb) = 66.01 lb

T3 y T7 = 384 peces x 100.86 g. (0.2221 lb) = 85.28 lb

T4 y T8 = 501 peces x 109.69 g. (0.2416 lb) = 121.04 lb

Hortaliza: Tomate

T1 = 0

T2 = 0

T3 = 0

T4 = 16 tomates x 134.07 g. (0.30 lb) = 4.80 lb

Hortaliza: Chile dulce

T5 = 10 chiles dulce x 55.30 g. (0.12 lb) = 1.20 lb

T6 = 17 chiles dulce x 64.12 g. (0.14 lb) = 2.38 lb

T7 = 5 chiles dulce x 32.57 g. (0.07 lb) = 0.35 lb

T8 = 6 chiles dulce x 32.83 g. (0.07 lb) = 0.42 lb

Promedios peces y hortalizas (tomate y chile dulce)

$$T1 = 38.93 \text{ lb}$$

$$T5 = 40.13 \text{ lb}$$

$$T2 = 66.01 \text{ lb}$$

$$T6 = 68.39 \text{ lb}$$

$$T3 = 85.28 \text{ lb}$$

$$T7 = 85.63 \text{ lb}$$

$$T4 = 125.84 \text{ lb}$$

$$T8 = 121.46 \text{ lb}$$

4.5.2.2. Rendimiento ajustado (RA)

Se obtuvo multiplicando el rendimiento promedio por el 10%

$$T1 = 38.93 \times 10\%. (0.10) = 3.893; 38.93 - 3.893 = 35.04 \text{ lb}$$

$$T2 = 66.01 \times 10\%. (0.10) = 6.601; 66.01 - 6.601 = 59.40 \text{ lb}$$

$$T3 = 85.28 \times 10\%. (0.10) = 8.528; 85.28 - 8.528 = 76.75 \text{ lb}$$

$$T4 = 125.84 \times 10\%. (0.10) = 12.584; 125.84 - 12.584 = 113.26 \text{ lb}$$

$$T5 = 40.13 \times 10\%. (0.10) = 4.013; 40.13 - 4.013 = 36.12 \text{ lb}$$

$$T6 = 68.39 \times 10\%. (0.10) = 6.839; 68.39 - 6.839 = 61.55 \text{ lb}$$

$$T7 = 85.63 \times 10\%. (0.10) = 8.563; 85.63 - 8.563 = 77.07 \text{ lb}$$

$$T8 = 121.04 \times 10\%. (0.10) = 12.104; 121.46 - 12.104 = 108.93 \text{ lb}$$

4.5.2.3. Beneficio bruto de campo (BBC)

Se obtuvo multiplicando el rendimiento ajustado por el precio de campo.

- Precio de campo del tomate = \$0.11 unidad
- Precio de campo del chile dulce = \$0.17 unidad
- Precio de campo de la tilapia= \$1.50 libra

$$T1 = 35.04 \text{ lb} \times \$1.61 = \$56.41$$

$$T5 = 36.12 \text{ lb} \times \$1.67 = \$60.32$$

$$T2 = 59.40 \text{ lb} \times \$1.61 = \$95.63$$

$$T6 = 61.55 \text{ lb} \times \$1.67 = \$102.79$$

$$T3 = 76.75 \text{ lb} \times \$1.61 = \$123.57$$

$$T7 = 77.07 \text{ lb} \times \$1.67 = \$128.71$$

$$T4 = 113.26 \text{ lb} \times \$1.61 = \$182.35$$

$$T8 = 109.31 \text{ lb} \times \$1.67 = \$182.55$$

4.5.2.4. Costos que varían (CV)

Se tomó el costo del alevín, del plantín y del alimento concentrado:

- Precio del alevín en el mercado es \$0.04
- Precio del plantín de tomate en el mercado es \$0.13
- Precio del plantín de chile dulce en el mercado es \$0.10

- Precio del concentrado con 38% de proteína en el mercado es \$ 44.00 las 100 lb (45.45 kg), siendo el costo por libra de \$0.44.
- Precio del concentrado con 32% de proteína en el mercado es \$ 36.00 las 100 lb (45.45 kg), siendo el costo por libra de \$0.36.

Cantidad en libras de concentrado con 38% de proteína utilizado por cada tratamiento:

$$\text{T1 y T5} = \$ 0.44 \times 8.32 \text{ lb} = \$3.66$$

$$\text{T2 y T6} = \$0.44 \times 9.39 \text{ lb} = \$4.13$$

$$\text{T3 y T7} = \$0.44 \times 13.29 \text{ lb} = \$5.84$$

$$\text{T4 y T8} = \$0.44 \times 19.84 \text{ lb} = \$8.72$$

Cantidad en libras de concentrado con 32% de proteína utilizado por cada tratamiento:

$$\text{T1 y T5} = \$ 0.36 \times 24.29 \text{ lb} = \$8.74$$

$$\text{T2 y T6} = \$ 0.36 \times 57.34 \text{ lb} = \$20.64$$

$$\text{T3 y T7} = \$ 0.36 \times 70.24 \text{ lb} = \$25.29$$

$$\text{T4 y T8} = \$ 0.36 \times 97.17 \text{ lb} = \$34.98$$

4.5.2.5. Beneficio neto de campo (BNC)

Es el resultado de restar el Beneficios bruto de campo menos el total de costos que varían.

$$\text{BNC} = \text{BBC} - \text{TCV}$$

$$\text{T1} = \$56.41 - \$25.10 = \$31.31$$

$$\text{T2} = \$95.63 - \$41.87 = \$53.76$$

$$\text{T3} = \$123.57 - \$52.63 = \$70.94$$

$$\text{T4} = \$182.35 - \$69.60 = \$112.75$$

$$\text{T5} = \$60.32 - \$24.20 = \$36.12$$

$$\text{T6} = \$102.79 - \$40.97 = \$61.82$$

$$\text{T7} = \$128.71 - \$51.73 = \$76.98$$

$$\text{T8} = \$188.55 - \$68.70 = \$119.85$$

4.5.3. Tasa de retorno marginal (TRMg)

Participan todos los tratamientos.

$$TRmg = \frac{\Delta BN}{\Delta CV} \times 100$$

$$TRmg \text{ T1 y T2} = \frac{53.76-31.31}{41.87-25.10} \times 100 = 133.87\% = \$1.34$$

$$TRmg \text{ T3 y T4} = \frac{112.75-70.93}{69.60-52.63} \times 100 = 249.37\% = \$2.49$$

$$TRmg \text{ T5 y T6} = \frac{61.82-36.12}{40.97-24.20} \times 100 = 153.25\% = \$1.53$$

$$TRmg \text{ T7 y T8} = \frac{119.85-76.98}{68.70-51.73} \times 100 = 252.68\% = \$2.52$$

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Efecto del factor hortalizas en su desarrollo y rendimiento

5.1.1. Altura de las plantas

Según los resultados obtenidos en esta investigación, la altura promedio de las plantas de tomate fue 42.2 cm y en chile dulce 21.58 cm a los 79 días después de la siembra (cuadro A-4).

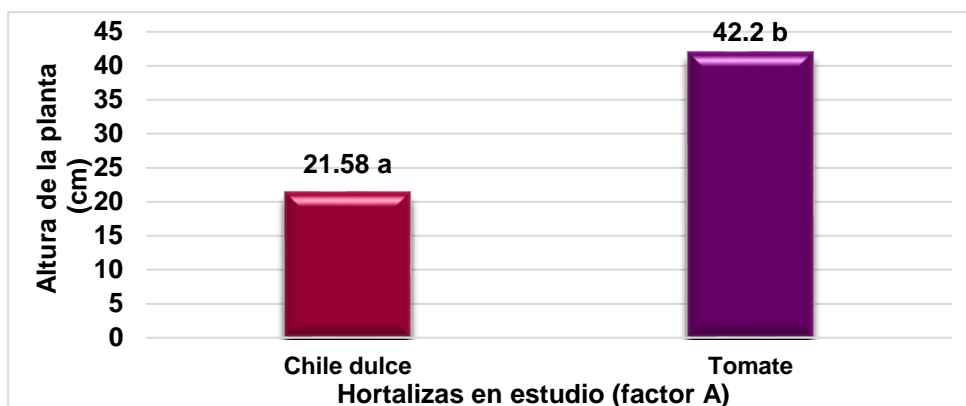


Figura 31. Efecto de las hortalizas en la ganancia de altura de la planta (cm).

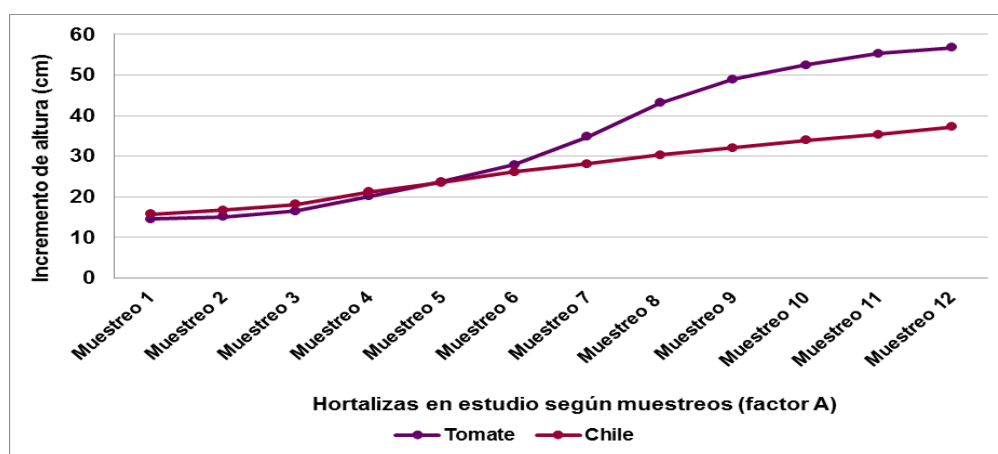


Figura 32. Efecto del incremento de altura en las hortalizas.

Se demostró estadísticamente con valores de probabilidad (p-valor) de 0.0044, menor que la significancia estadística (α)= 0.05, por lo tanto, los incrementos de altura (cm) mostraron diferentes efectos en la longitud de las plantas (cm) (cuadro 7).

Cuadro 7. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA de la altura de las plantas de tomate y chile dulce.

Hortaliza	Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	p-valor
Tomate	Altura promedio	14.51	2.10	14.48	0.1227
Chile dulce	muestreo 1	15.68	1.39	8.86	
Tomate	Altura promedio	27.86	3.97	14.23	0.3276
Chile dulce	muestreo 6	26.15	4.38	16.76	
Tomate	Altura promedio	56.71	20.10	35.45	0.0044
Chile dulce	muestreo 12	37.25	6.81	18.39	

López (2019) menciona que en un sistema acuapónico se debe tener un pH óptimo entre 6.0 y 7.0 para que el crecimiento de las plantas no se vea afectado, en pH mayores las raíces de las plantas se ven afectadas en la absorción de los nutrientes disponibles.

Orellana *et al.* (2000) en la guía técnica para el cultivo de chile dulce menciona que las variedades de híbridos cultivados en El Salvador de manera convencional alcanzan una altura de 0.60 m a 1.50 m. En esta investigación usando la técnica NFT se obtuvo un promedio de 21.58 cm, siendo este inferior a lo mencionado por Orellana.

5.1.2. Número de frutos por planta

La mayor cantidad de frutos por planta se obtuvo en el tomate con 1.78 frutos y en el chile dulce fue de 1.69 frutos.

Se demostró con un valor de probabilidad (p-valor) de 0.9067, mayor que el valor de significancia (α) =0.05, que el tomate y chile dulce no presentaron diferencias significativas en el número de frutos por planta (cuadro 8).

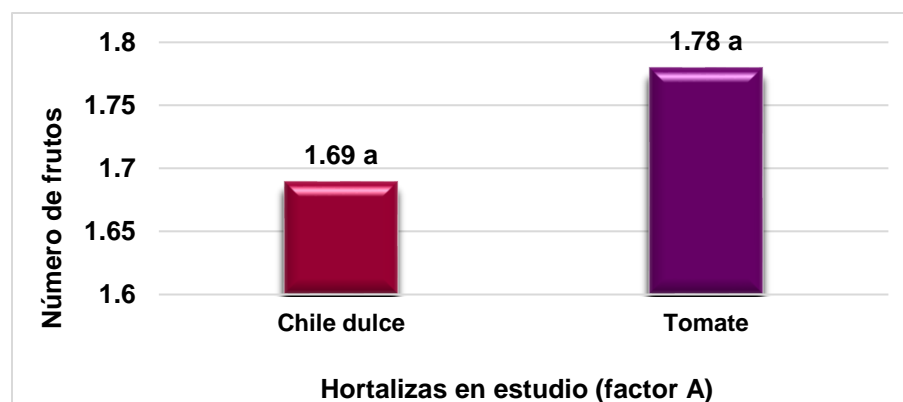


Figura 33. Número de frutos por planta.

Cuadro 8. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del número de frutos en tomate y chile dulce.

Hortaliza	Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	p-valor
Tomate	Número de frutos	1.78	2.53	142.44	0.9067
Chile dulce		1.69	0.88	51.97	

En esta investigación se obtuvo una producción baja de frutos de tomate y de chile dulce debido a que en las primeras semanas las raíces no tuvieron contacto directo con la lámina de agua que circulaba por los tubos, causando estrés en las plantas, lo que provocó una floración y fructificación temprana.

Wang *et al.* (2018) mencionan que el rendimiento de los frutos de tomate depende en gran medida de la disponibilidad de agua y nutrientes, ya que afectan la fase vegetativa y reproductiva, por lo que optimizando estos aspectos se puede mejorar significativamente el rendimiento.

Mariscal *et al.* (2012), Pickens (2015) y Roosta y Hamidpour (2011), no encontraron diferencias significativas en el rendimiento y en el número de frutos de tomate entre cultivos de carácter hidropónico y acuapónico. Esto lo atribuyen a las concentraciones bajas de elementos nutritivos, pero estables y constantes que evitan la toxicidad y el estrés por deficiencias nutricionales.

Rakocy *et al.* (2006) mencionan que las soluciones acuapónicas contienen cantidades relativamente altas de materia orgánica disuelta y metabolitos orgánicos que contribuyen a la disponibilidad, absorción y rendimiento de nutrientes en los cultivos.

5.1.3. Peso de frutos

El chile dulce presentó el mayor peso de frutos con 46.21 g y el tomate con 33.52 g.

Se demostró con un valor de probabilidad (p-valor) de 0.5566, mayor que el valor de significancia (α) = 0.05, que el fruto de tomate y de chile dulce no presentaron diferencias significativas en el peso (cuadro 9).

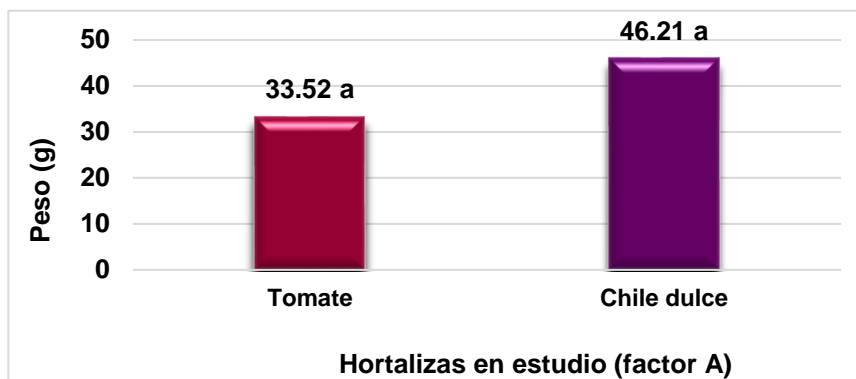


Figura 34. Peso de los frutos por planta.

Cuadro 9. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del peso de frutos de tomate y chile dulce.

Hortaliza	Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	p-valor
Tomate	Peso de frutos por planta	33.52	69.48	207.3	0.5566
Chile dulce		46.21	24.34	52.68	

Graber y Junge (2009) citados por Villalobos y González (2016), mencionan que la concentración de potasio en el agua de los sistemas acuapónicos es 45 veces menor que en los sistemas convencionales, lo cual puede dañar el crecimiento de las plantas y afectar la calidad del fruto.

En esta investigación el peso de los frutos por planta es inferior a lo esperado, teniendo en tomate 33.52 g y en chile dulce 46.21 g; ya que según las guías técnicas en la variedad de tomate Tacana el peso por fruto varía entre 90 a 100 g y en la variedad de chile dulce Magaly R el peso estimado es 260 g, los bajos pesos se atribuyen a la baja concentración de nutrientes absorbidos por la planta durante las primeras semanas (Bejo 2023 y SAKATA 2023).

Roosta y Hamidpour (2011) recomiendan que es necesario complementar de manera foliar el suministro de nutrientes como potasio, calcio y hierro, los cuales son necesarios para evitar el aborto de flores y la disminución del tamaño y peso de los frutos.

5.2. Efecto del factor peces en su desarrollo y rendimiento

5.2.1. Talla de los peces

La mayor talla de los peces de tilapia se obtuvo a los 120 días después de la siembra con la densidad 2 (60 peces/m³) con 10.96 cm; seguido por la densidad 4 (100 peces/m³) con 9.91 cm; luego la densidad 1 (40 peces/m³) con 9.71 cm; y por último la densidad 3 (80 peces/m³) con 9.24 cm.

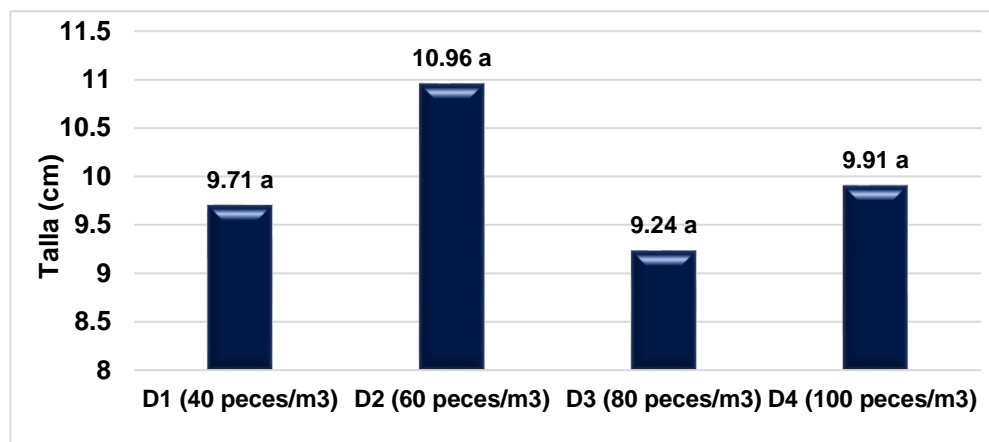


Figura 35. Densidad de peces/m³ en la talla promedio final.

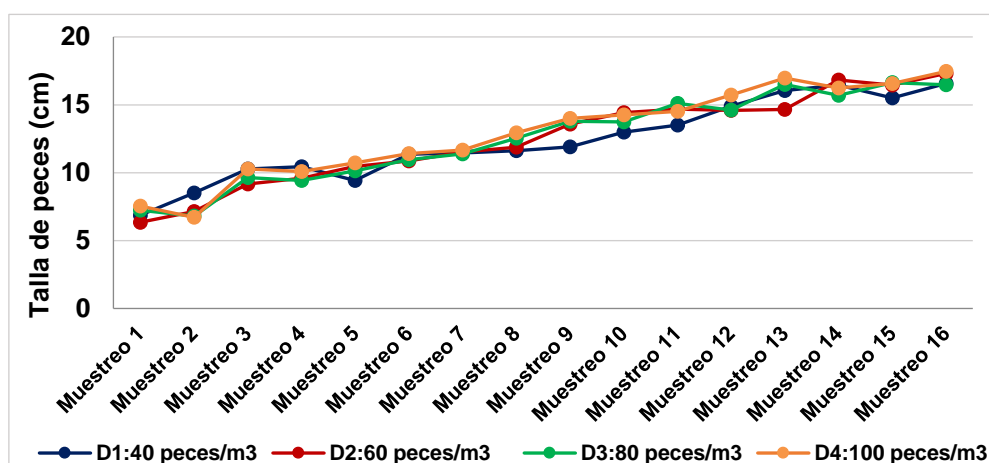


Figura 36. Densidad de siembra de peces/m³ en la talla promedio.

Se demostró estadísticamente con valores de probabilidad (p-valor) de 0.7465, mayor que la significancia estadística (α)= 0.05, que las densidades de siembra de 60 y 100 peces/m³ mostraron similares efectos en la talla de los peces (cuadro 10) (cuadro A-5).

Cuadro 10. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA de la talla de tilapias.

Densidad de peces/m ³	Variables	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	p-valor
D1		6.87	0.76	11.08	
D2	Talla de peces muestreo 1	6.35	0.41	6.44	0.0024
D3		7.23	0.29	4.07	
D4		7.55	0.33	4.33	
D1		11.61	0.77	6.64	
D2	Talla de peces muestreo 8	11.87	0.68	5.75	0.0246
D3		12.53	0.46	3.7	
D4		12.93	0.99	7.67	
D1		16.57	1.07	6.48	
D2	Talla de peces muestreo 16	17.31	2.33	13.47	0.7465
D3		16.47	1.8	10.93	
D4		17.46	2.22	12.74	

Estos resultados difieren con lo reportado por Ascencio *et al.* (2019), quienes evaluaron un modelo de acuaponía en la producción de biomasa de tilapia y lechuga en la Estación Acuícola de Santa Cruz Porrillo del Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador, ubicada a 35 msnm y con temperatura de 37° C, obteniendo una talla promedio de 14.1 cm para una densidad de siembra de 50 peces/m³ durante 120 días; esta diferencia se atribuye a las condiciones ambientales en las que se realizó la investigación con una altitud de 789 msnm y temperaturas de 18° a 29° C (cuadro A-6).

Juárez (2016) menciona que en sistemas acuapónicos usando la técnica NFT se obtienen las mejores ganancias de tallas de peces de tilapia que en sistemas convencionales con sustratos.

Saavedra (2006) afirma que los peces deben encontrarse en rangos óptimos de temperatura (25° a 32° C) para que su crecimiento y salud no se vea afectado por la aparición de enfermedades a causa de las bajas temperaturas.

5.2.2. Ganancia de talla en los peces

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.4540, mayor que la significancia estadística (α) = 0.05, que las densidades de siembra D₁ (40 peces/m³), D₂ (60 peces/m³), D₃ (80

peces/m³) y D₄ (100 peces/m³), no presentaron diferencias estadísticas significativas en la ganancia de talla de las tilapias (cuadro 11).

Cuadro 11. Medidas resumen y análisis de varianza (ANOVA) de la ganancia de talla en las tilapias.

Densidad de peces/m ³	Variabes	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	p-valor
D1		9.71	0.66	6.81	
D2	Ganancia de talla (cm)	10.96	2.18	19.92	0.4540
D3		9.24	1.99	21.49	
D4		9.91	2.19	22.12	

5.2.3. Peso de los peces

El mayor peso de los peces de tilapia se obtuvo a los 120 días después de la siembra con la densidad 2 (60 peces/m³) con 111.18 g, seguido por la densidad 4 (100 peces/m³) con 102.81 g, luego la densidad 3 (80 peces/m³) con 95.20 g, y por último la densidad 1 (40 peces/m³) con 91.74 g (cuadro A-7).

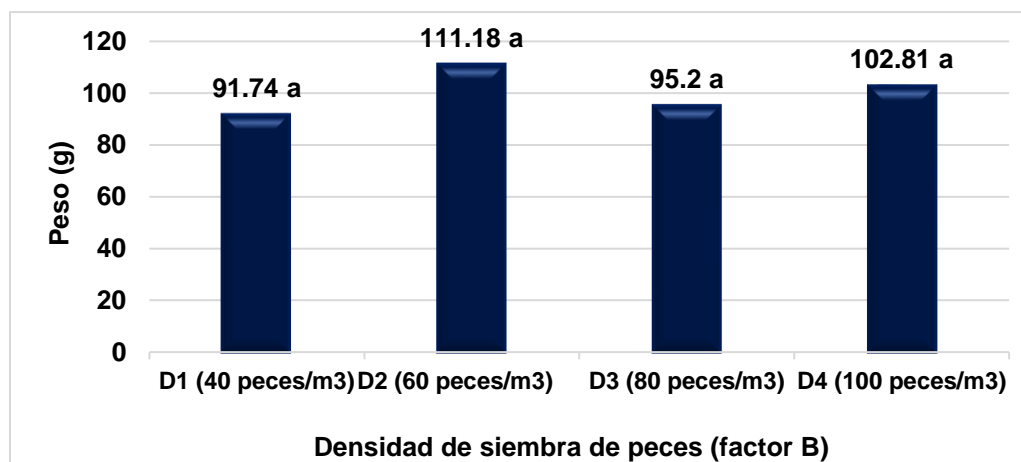


Figura 37. Peso promedio de las tilapias según las densidades en estudio.

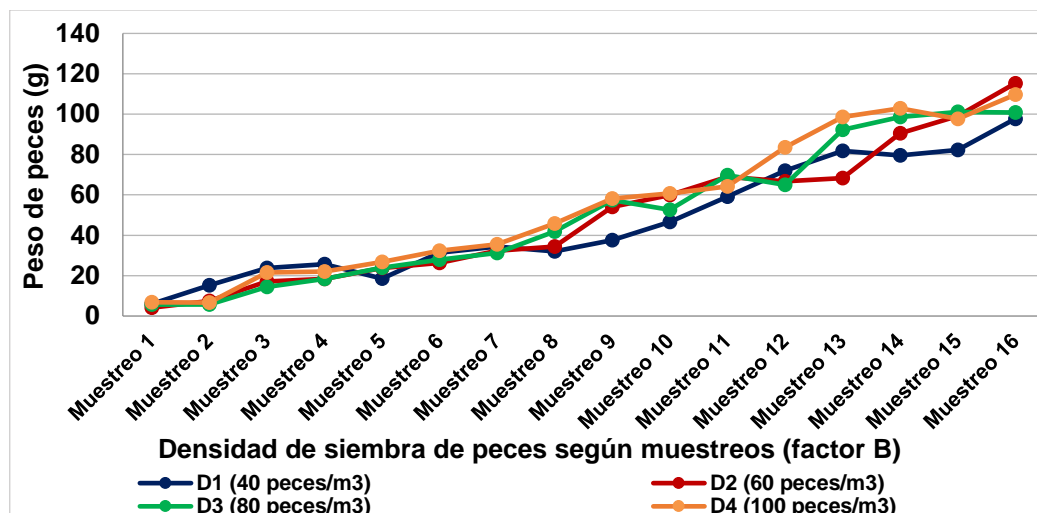


Figura 38. Efecto de la densidad de siembra (peces/m³) en el peso.

Se demostró estadísticamente con valores de probabilidad (p-valor) de 0.8177, mayor que la significancia estadística (α)= 0.05, que las densidades de siembra de 60 y 100 peces/m³ mostraron similares efectos en el peso de los peces (cuadro 12).

Cuadro 12. Medidas resumen y análisis de varianza (ANOVA) del peso en las tilapias.

Densidad de peces/m ³	Variables	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	p-valor
D1		97.7	14.91	15.26	
D2	Peso muestreo 16	115.3	41.51	36	0.8177
D3		100.86	29.45	29.2	
D4		109.69	47.15	42.98	

Juárez (2016) evaluó parámetros biológicos de la tilapia gris en un sistema acuapónico en la granja acuícola El Alevín, Veracruz, México, ubicada entre 10 - 500 msnm, con temperatura anual de 22 - 26° C, pH 7.2 - 8.0, oxígeno disuelto 5.7 mg/L al inicio y 4.3 mg/L al final, obteniendo como resultado una ganancia de peso de 100.30 g para una densidad de siembra de 45 peces/m³ durante un periodo de 120 días; esta similitud en ganancia de peso se debe a los parámetros fisicoquímicos del agua y la temperatura en la que se realizó esta investigación que fue de 19-26° C, pH 8.50, oxígeno disuelto de 6.37 mg/L al inicio y al final del ciclo 4.55 mg/L.

Baños *et al.* (2020) afirman que la ganancia de peso en los peces depende principalmente de la alimentación y del oxígeno disuelto presente en el agua.

5.2.4. Ganancia de peso

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.7868, mayor que la significancia (α)= 0.05, que las densidades de siembra D₁ (40 peces/m³), D₂ (60 peces/m³), D₃ (80 peces/m³) y D₄ (100 peces/m³), no presentaron diferencias estadísticas significativas en la ganancia de peso de las tilapias (cuadro 13).

Cuadro 13. Medidas resumen y análisis de varianza (ANOVA) de la ganancia de peso en las tilapias.

Densidad de peces/m ³	Variables	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	p-valor
D1		91.74	14.33	15.62	
D2	Ganancia de peso (g)	111.18	41.51	37.34	0.7868
D3		95.2	29.94	31.45	
D4		102.81	47.31	46.02	

5.3. Interacción entre densidades de peces y altura de plantas de tomate y chile dulce

5.3.1. Altura de las plantas de tomate

La mayor altura de las plantas de tomate se obtuvo a los 79 días después de la siembra con el tratamiento 4 (100 peces/m³) con 69.9 cm; seguido del tratamiento 3 (80 peces/m³) con 48 cm; luego el tratamiento 1 (40 peces/m³) con 31.4 cm y por último el tratamiento 2 (60 peces/m³) con 19.5 cm.

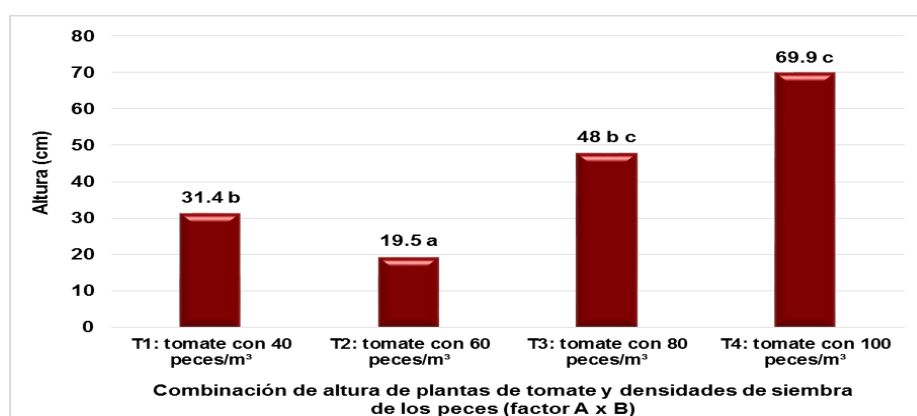


Figura 39. Altura de las plantas de tomate.

5.3.2. Altura de las plantas de chile dulce

La mayor altura de las plantas de chile dulce se obtuvo a los 79 días después de la siembra con el tratamiento 5 (40 peces/m³) con 23.63 cm, seguido por el tratamiento 7 (80 peces/m³) con 22.17 cm; luego el tratamiento 8 (100 peces/m³) con 22 cm, y por último el tratamiento 6 (60 peces/m³) con 18.5 cm.

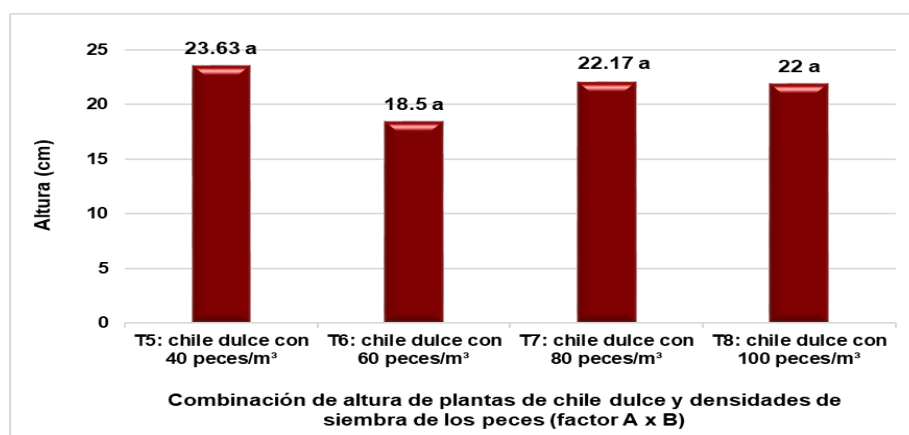


Figura 40. Altura de las plantas de chile dulce.

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.0023, menor que el nivel de significancia (α) = 0.05, que la combinación de los cultivos de tomate y chile dulce, y las densidades de peces de tilapia presentaron diferencias estadísticas significativas en la ganancia de altura de la planta (cuadro 14).

Cuadro 14. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA de la altura de las plantas de tomate y chile dulce, y las densidades de tilapias.

Combinación de hortalizas con densidad de peces (factor AxB)	Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	p-valor
T1: tomate con 40 peces/m ³	Ganancia de altura (cm) muestreo 12	47.17	14.51	30.77	0.0023
T2: tomate con 60 peces/m ³		35.00	5.89	16.84	
T3: tomate con 80 peces/m ³		62.5	6.38	10.21	
T4: tomate con 100 peces/m ³		82.17	8.43	10.26	
T5: chile dulce con 40 peces/m ³		39.5	6.24	15.81	
T6: chile dulce con 60 peces/m ³		33.83	10.68	31.51	
T7: chile dulce con 80 peces/m ³		37.50	6.26	16.71	
T8: chile dulce con 100 peces/m ³		38.17	6.05	15.85	

Durante la investigación las plantas de tomate presentaron deficiencias nutricionales de potasio, lo que provocó quemaduras en los bordes de las hojas, arrugamiento y encogimiento de las hojas; la deficiencia de boro ocasiona malformaciones en brotes nuevos y frutos pequeños originando bajo crecimiento y desarrollo en ambos cultivos; y las plantas de chile con deficiencia de fósforo presentaron coloración violeta en las hojas (figura 41).



Figura 41. Deficiencia de nutrientes: a) deficiencia de potasio, b) deficiencia de boro y c) deficiencia de fósforo.

McCauley *et al.* (2011) afirman que la deficiencia de potasio puede reducir el crecimiento de las plantas y la deficiencia de magnesio puede causar problemas durante el proceso de la fotosíntesis, provocando quemaduras en las hojas.

Graber citado por Villalobos y Gonzales (2016), menciona que el requerimiento de potasio es bajo para el desarrollo de los peces, por lo que en la dieta no se incluye; por lo tanto, es necesario aplicar los nutrientes requeridos para el desarrollo de las plantas de manera foliar para que no afecte el bienestar de los peces, ya que las cantidades demandadas de nutrientes por las hortalizas de fruto son mayores.

5.3.3. Número de frutos de tomate por planta

El mayor número de frutos en las plantas de tomate se obtuvo con el tratamiento 4 (100 peces/m³) con 4.11 frutos; los tratamientos 1 (40 peces/m³), tratamiento 2 (60 peces/m³) y tratamiento 3 (80 peces/m³) no produjeron.

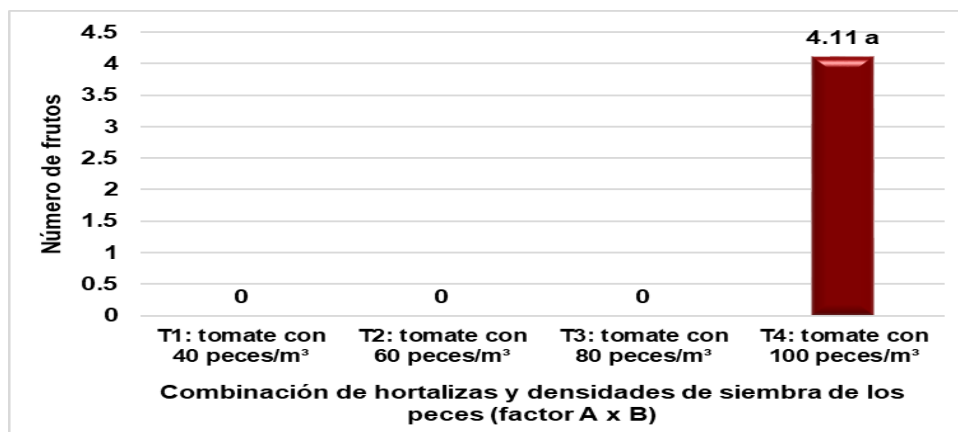


Figura 42. Número de frutos de tomate según las densidades de peces.

En esta investigación no se produjeron muchos frutos de tomate debido a que en las primeras semanas las raíces no tuvieron contacto directo con la lámina de agua que circulaba por los tubos de PVC, causando estrés en las plantas, lo que provocó una floración y fructificación anticipada sin que llegara a cuajar.

5.3.4. Número de frutos de chile dulce por planta

El mayor número de frutos en las plantas de chile dulce se obtuvo con el tratamiento 6 (60 peces/m³) con 2.28 frutos; seguido por el tratamiento 5 (40 peces/m³) con 2.07 frutos; luego el tratamiento 8 (100 peces/m³) con 1.40 frutos, y por último el tratamiento 7 (80 peces/m³) con 1.0 frutos.

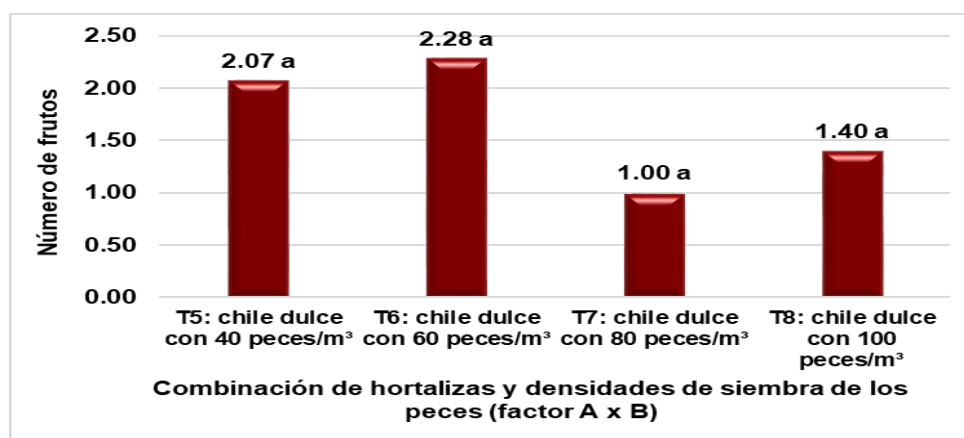


Figura 43. Número de frutos de chile dulce según las densidades de peces.

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.0166, menor que el nivel de significancia de (α) = 0.05, que el cultivo de tomate y chile dulce presentaron diferencias significativas en cuanto al número de frutos (cuadro 15).

Cuadro 15. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del número de frutos en tomate y chile dulce, y tilapias.

Combinación de hortalizas con densidad de peces (factor AxB)	Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	p-valor
T1: tomate con 40 peces/m ³		0.00	0.00	–	
T2: tomate con 60 peces/m ³		0.00	0.00	–	
T3: tomate con 80 peces/m ³		0.00	0.00	–	
T4: tomate con 100 peces/m ³	Número de frutos	4.11	2.53	61.44	0.0166
T5: chile dulce con 40 peces/m ³		2.07	0.9	43.64	
T6: chile dulce con 60 peces/m ³		2.28	1.17	51.22	
T7: chile dulce con 80 peces/m ³		1.00	0.00	0.00	
T8: chile dulce con 100 peces/m ³		1.40	0.69	49.49	

En esta investigación el valor de pH del agua de los estanques se mantuvo entre 8 y 9, lo que condujo a una absorción insuficiente de nutrientes por parte de las plantas, esto ocasionó un bajo rendimiento de frutos de tomate y chile dulce, ya que estos cultivos requieren pH de 5.5 a 6.5, como lo menciona López (2019).

Leal (2017) en su estudio sobre los rangos óptimos de pH para el desarrollo de tomate y tilapia en acuaponía estableció 3 tratamientos en intervalos de pH de 6 a 7; 7 a 8, y de 8 a 9, mencionando que en el pH de 6 a 7 se mantuvo sin diferencia estadística en el número de frutos por racimo; los tratamientos de pH de 6 a 7 y de 7 a 8 fueron diferentes estadísticamente solo en el tercer racimo en rendimiento y en el primer racimo en número de frutos. El tratamiento de pH de 8 a 9 siempre fue el peor respecto a los demás tratamientos.

5.3.5. Peso de los frutos de tomate

El mayor peso de los frutos en las plantas de tomate se obtuvo con el tratamiento 4 (100 peces/m³) con 134.07 g; los tratamientos 1 (40 peces/m³), tratamiento 2 (60 peces/m³) y tratamiento 3 (80 peces/m³) no produjeron.

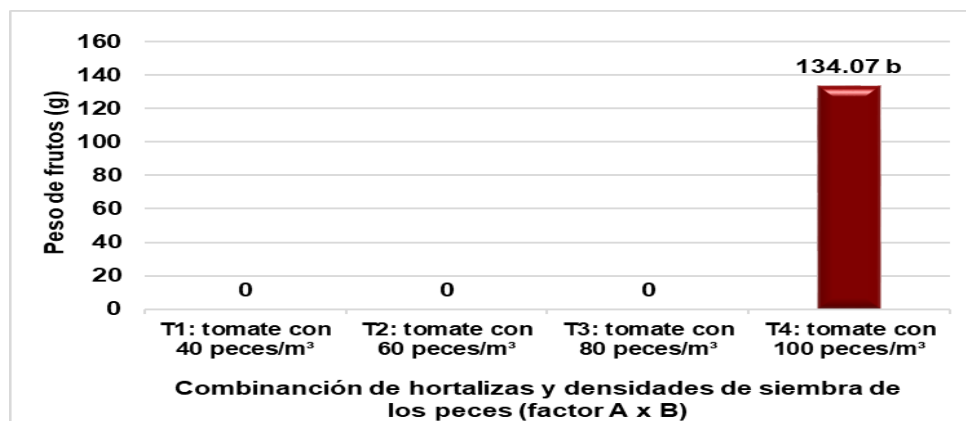


Figura 44. Peso de los frutos de tomate según las densidades de peces.

5.3.6. Peso de los frutos de chile dulce

El mayor peso de los frutos en las plantas de chile dulce se obtuvo con el tratamiento 6 (60 peces/m³) con 64.12 g; seguido por el tratamiento 5 (40 peces/m³) con 55.30 g; luego el tratamiento 8 (100 peces/m³) con 32.83 g y por último el tratamiento 7 (80 peces/m³) con 32.57 g.

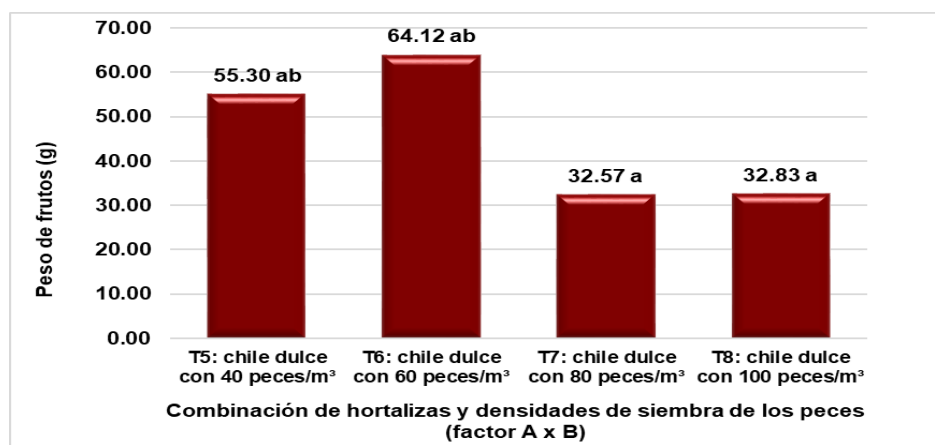


Figura 45. Peso de los frutos de chile dulce según las densidades de peces.

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.0014, menor que el nivel de significancia (α) = 0.05, que el cultivo de tomate y chile dulce presentaron diferencias estadísticas significativas en el peso de los frutos (cuadro 16).

Cuadro 16. Medidas resumen y análisis de varianza ANOVA del peso de los frutos de tomate y chile dulce, y tilapias.

Combinación de hortalizas con densidad de peces (factor AxB)	Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	p-valor
T1: tomate con 40 peces/m ³		0.00	0.00	-	
T2: tomate con 60 peces/m ³		0.00	0.00	-	
T3: tomate con 80 peces/m ³		0.00	0.00	-	
T4: tomate con 100 peces/m ³		134.07	79.57	59.35	
T5: chile dulce con 40 peces/m ³		55.3	16.21	29.32	
T6: chile dulce con 60 peces/m ³	Peso de frutos (g)	64.12	23.98	37.39	0.0014
T7: chile dulce con 80 peces/m ³		32.57	18.56	56.98	
T8: chile dulce con 100 peces/m ³		32.83	30.40	95.92	

En esta investigación los cultivos de tomate y chile dulce no lograron producir muchos frutos ni los pesos indicados en las fichas técnicas, ya que las plantas presentaban síntomas de deficiencias nutricionales.

Juárez (2016) evaluó los parámetros biológicos de la tilapia gris al implementar un sistema acuapónico utilizando los sistemas NFT y cama con sustratos, obteniendo que las plantas de tomate y chile trasplantadas al sistema NFT no se desarrollaron correctamente debido a que los vegetales que dan frutos requieren mayor demanda nutricional, como lo menciona Masser (2002) citado por Juárez (2016).

Diver (1996) y, Villalobos y Gonzáles (2016), afirman que las plantas que producen frutos necesitan de sistemas más complejos, ya que el agua en acuaponía no logra suplir las necesidades nutricionales para el cultivo de tomate ya que es más demandante en cantidad de nutrientes comparados con los cultivos de hojas.

5.4. Relación costo beneficio del establecimiento y producción del sistema acuapónico

Como resultado de la investigación se demuestra que los sistemas acuapónicos son altamente rentables, esto se atribuye principalmente al cultivo de tilapia, siendo las hortalizas un valor agregado en el sistema de producción.

En los tratamientos donde se cultivó tomate con las diferentes densidades de tilapia, el mayor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 4 (tomate con 100 peces/m³) con \$112.75 dólares, y el menor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 1 (tomate con 40 peces/m³) con \$31.31 dólares.

En los tratamientos donde se cultivó chile dulce con las diferentes densidades de tilapia, el mayor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 8 (chile dulce con 100 peces/m³) con \$119.85 dólares, y el menor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 5 (chile dulce con 40 peces/m³) con \$36.12 dólares.

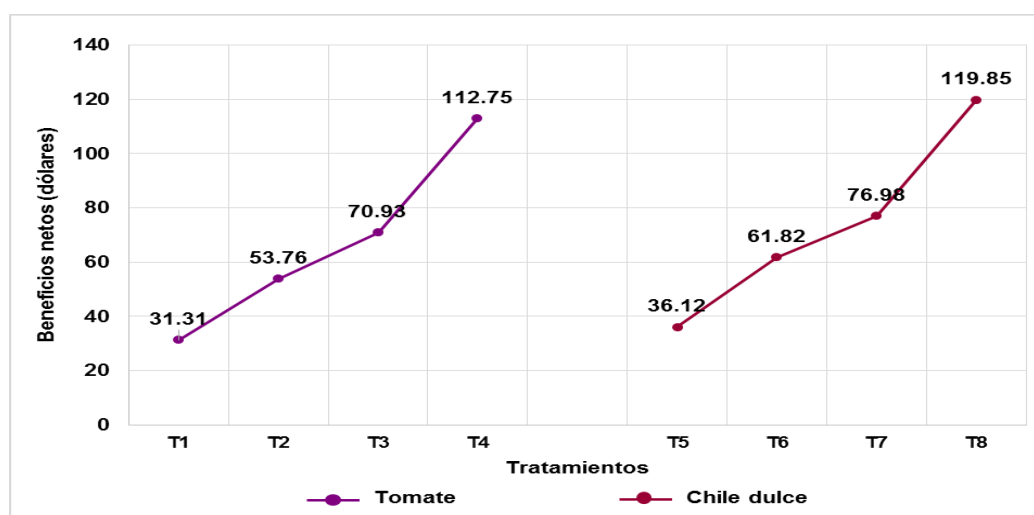


Figura 46. Curva de beneficios netos del cultivo de tomate y chile dulce.

5.4.1. Tasa de retorno marginal (TRMg)

Se determinó que por cada dólar que se invierte en el cultivo de tomate con una densidad de 100 peces/m³ el productor recupera el dólar invertido y obtiene \$2.49 dólares adicionales; es decir que el productor obtendrá una TRMg del 249.37% de su inversión total.

Se determinó que por cada dólar que se invierte en el cultivo de chile dulce con una densidad de 100 peces/m³ el productor recuperará el dólar invertido y obtiene \$2.52 dólares adicionales; es decir que el productor obtendrá una TRMg del 252.68% de su inversión total.

6. CONCLUSIONES

El mayor peso de las tilapias (111.18 gramos) y la mayor talla (10.96 cm) se obtuvo con la densidad de siembra de 60 peces/m³ a los 120 días después de la siembra de los alevines.

En el tratamiento 4 (100 peces/m³) se obtuvo el mayor número de frutos de tomate (4.11 unidades), el mayor peso de los tomates (134.07 gramos) y la mayor altura de la planta de tomate (69.9 cm).

En el tratamiento 6 (60 peces/m³) se obtuvo el mayor número de frutos de chile dulce (2.28 unidades) y el mayor peso de los chiles (64.12 gramos).

La mayor altura de las plantas de chile dulce se obtuvo con el tratamiento 5 (40 peces/m³) con 23.63 cm.

El mayor beneficio neto en el cultivo de tomate y tilapia, y en el cultivo de chile dulce y tilapia se obtuvo con la densidad de 100 peces/m³, para tomate con \$112.75 dólares y una tasa de retorno marginal de 249.37% o \$2.49 dólares; y para el chile dulce de \$119.85 dólares y una tasa de retorno marginal de 252.68% o \$2.52 dólares.

La acuaponía permite producir de forma orgánica, continua y simultánea ya que los residuos de las tilapias son aprovechados para la nutrición de las plantas de tomate, chile dulce y otras hortalizas principalmente las de hojas, además permite mejorar la economía familiar y la seguridad alimentaria y nutricional de las familias.

Las bajas temperaturas debilitan el sistema inmunológico de las tilapias provocando la aparición de enfermedades y reducen el consumo de alimento retardando su crecimiento y desarrollo.

Las medidas de bioseguridad y desinfección antes de la siembra de los alevines y durante cada muestreo o actividad de mantenimiento permiten evitar la propagación de enfermedades dentro y entre estanques.

El uso de fertilizantes foliares y repelentes químicos de síntesis natural es muy importante para complementar la nutrición de las plantas y prevenir plagas y enfermedades que pueden causar daños a hojas, flores y frutos en sistemas acuapónicos usando la técnica de la película nutritiva.

Se evidenció que, si las raíces no tienen contacto directo con la lámina de agua, esto afecta el desarrollo y rendimiento de la planta ya que es de ahí donde recibe los nutrientes necesarios.

En ambientes fríos es necesario complementar el alimento de los peces con probióticos para fortalecer el sistema inmunológico, estimular el apetito de los peces y mejorar la conversión alimenticia.

7. RECOMENDACIONES

Establecer el cultivo de tomate y chile dulce con densidades de tilapia de 100 peces/m³, ya que se demostró que se obtiene un mayor beneficio neto con \$112.75 y \$119.85 dólares respectivamente, y una mayor tasa de retorno marginal de 249.37% y 252.68% respectivamente.

Establecer sistemas acuapónicos en zonas donde la temperatura oscile entre 28° a 32° C para proporcionar a los peces de tilapia las condiciones favorables para su crecimiento y desarrollo.

Asegurar que la lámina de agua en el interior de los tubos de las camas de siembra en los sistemas acuapónicos haga contacto directo con las raíces de las plantas para evitar deficiencias nutricionales que afectan el crecimiento y la producción.

No utilizar materiales plásticos de polietileno de baja densidad (por ejemplo, pajillas) como elementos alojadores de bacterias nitrificantes por existir desprendimiento de colorantes y de partículas microplásticas que se alojan en el intestino de los peces.

No utilizar poliestireno expandido (durapax) y bolsas de malla de mosquitero en los biofiltros por existir desprendimiento de partículas que se alojan en el intestino de los peces.

Utilizar escoria volcánica de color rojo porque tiene un alto nivel de porosidad en el cual se alojan las bacterias nitrificantes y cuando hay desprendimiento de partículas estas se sedimentan.

Antes de la siembra de los alevines y de las hortalizas realizar un análisis del agua para ver si el sistema ha logrado producir bacterias nitrificantes, y antes de la fase de floración de los cultivos de hortalizas para determinar la disponibilidad de nutrientes en el agua.

Garantizar la disponibilidad de energía eléctrica las 24 horas del día y sin interrupciones durante todo el ciclo productivo de los peces y las hortalizas para el funcionamiento de las bombas de recirculación del agua y aireación en el sistema.

Colocar válvulas de drenaje gate o globo de bronce a un costado de los biofiltros para facilitar la manipulación y el retiro de sedimentos los cuales deben ser drenados cada 7 días como máximo.

En los tubos de PVC ubicados en los extremos de las camas de siembra utilizar tapones completos de PVC para evitar rebalse de agua.

Mantener en funcionamiento los dos tipos de sistemas de aireación, el de venturi y el de aireación, para mantener una oxigenación óptima y continua en la columna de agua y por si hubiera desperfecto en alguno de los sistemas.

Utilizar equipos de bombeo de impulsor abierto para permitir el paso de la mayor cantidad de desechos posibles hacia el filtro mecánico.

Combinar los sistemas biofloc y acuapónico en altas densidades de peces de tilapia (80 a 100 peces/m³) para controlar los niveles de amonio en el tanque de los peces y trasladar la cantidad de agua requerida para las camas de siembra de los cultivos.

Capacitar productores y técnicos para que adquieran las habilidades y conocimientos necesarios para la multiplicación y divulgación de la técnica de acuaponía en el país, ya que de esta manera se logrará una producción sostenible para los salvadoreños.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, I; Babitha Rani, AM; Verma, AK; Maqsood, M. 2017. Tecnología Biofloc: una vía emergente en el cuidado de la salud y la nutrición de los animales acuáticos (en línea). *Acuicultura internacional: revista de la sociedad Europea de Acuicultura* 25(3):1215–1226. Consultado 13 abr. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0108-8>.
- Altamirano Bucardo, VD; Meza Castillo, YA. 2020. Manual de bioseguridad para granjas piscícolas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Managua (en línea). Tesis. LMVZ. Managua, Nicaragua. UNA. 14 p. Consultado 21 jun. 2022. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/4386/1/tnm01a465.pdf>
- Alvarenga Pérez, MS; Escobar Machuca, AG; Flores Hernández, FB. 2017. Evaluación de tres niveles de sustitución con harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como fuente proteica, en la alimentación de alevines de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) (en línea). Tesis. LMVZ. San Salvador, El Salvador. UES. 5 p. Consultado 18 dic. 2019. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14642/1/13101642.pdf>
- Arévalo Villalta, TJ; Marín, AG. 2011. Comparación del requerimiento del cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) utilizando machos reversados versus machos genéticamente mejorados (súper machos) criados en sistema intensivo (en línea). Tesis. Ing. Agr. San Miguel, El Salvador, UES. Consultado 19 dic. 2019. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/7179/1/50107585.pdf>
- Ascencio Quintanilla, SV; Del Valle Campos, GE; Velásquez Alfaro, GA. 2019. Evaluación de un modelo de acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador (en línea). Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salvador, UES. Consultado 31 oct. 2022. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19029/1/13101681.pdf>
- Avnimelech, Y. 2007. Alimentación con flóculos microbianos por tilapia en estanques con tecnología de bioflóculos de descarga mínima (en línea). *Acuicultura (Ámsterdam, Países Bajos)* 264(1–4):140–147. Consultado 13 abr. 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>.

Ayala Apaza, BV. 2019. Evaluación de dos niveles de cloruro de potasio (KCl) óptimos para evitar la fitotoxicidad del cloruro en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el sistema hidropónico NFT (en línea). Tesis. Ing. Agr. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. Consultado 07 nov. 2022. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/22217/T2680.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aymacaña Tasinco, MN; Guamangate Ante, DM. 2015. Los huertos familiares y su incidencia en la seguridad alimentaria de los estudiantes del tercer grado de educación general básica de la escuela fiscal "Mariscal Antonio José de Sucre" del cantón Saquisilí, en el año lectivo 2013-2014 (en línea). Tesis. Lic. Ciencias de la educación. Latacunga, Ecuador. Universidad Técnica de Cotopaxi. Consultado 27 dic. 2019. Disponible en <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2463>

Baños Sánchez, DJ; Carrillo Galdámez, LE; López Alvarenga, CA; Portillo Pérez, CB; Sáenz Nolasco, NE. 2020. Análisis comparativo del rendimiento de la tilapia de la línea híbrido gift (*Oreochromis niloticus*) utilizando estanques sobre suelo con geomembrana blanca vs negra (en línea). Tesis Ing. Agr. San Miguel, El Salvador, UES. Consultado 01 nov. 2022. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/23353/1/ANALISIS%20COMPARATIVO%20DEL%20RENDIMIENTO%20DE%20TILAPIA%20EN%20ESTANQUES%20SOBRE%20SUELO.pdf>

Barrero Ramírez, AM. 2009. Estudio Etnobotánico de las huertas familiares en el municipio de San Francisco de Sales, Cundinamarca (en línea). Tesis. Pontificia Universidad Javeriana. Consultado 27 dic. 2019. Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11880>

Bejo Zaden B.V. 2023. Tacana F1 (en línea, sitio web). Consultado 21 feb. 2023. Disponible en <https://www.bejogt.com/tomate/tacana-f1>.

Benítez Estrada, DV; Gonzales García, RM; Romero Segovia, CG; Villatoro Osorto, OJ. 2020. Análisis comparativo del rendimiento productivo de la tilapia de la línea híbrido Gift (*Oreochromis niloticus*), utilizando diferentes densidades de siembra y volumen de agua (en línea). Tesis. Ing. Agr. San Miguel, El Salvador, UES. Consultado 27 dic. 2019. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/22770/1/Tesis%2C%20Densidad%20de%20siembra%20y%20volumen%20de%20agua.pdf>

- Bocek, A. s.f. Cultivo de machos de tilapias sexados a mano (en línea). Alabama, Estados Unidos de América, Universidad de Auburn. Consultado 19 dic. 2019. Disponible en <http://www.tilapiasdelsur.com.ar/downloads/CultivodemachosSexadosaMano.pdf>
- Bocek, A. 2007. Acuicultura (en línea, sitio web). Consultado 19 nov. 2022. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/60-acuicultura.pdf
- Dibello, J; Doassans, C. 2013. Crecimiento y sobrevivencia de carpa común (*Cyprinus carpio*) y carassius (*Carassius auratus*) (*Osteichthys, Cyprinidae*) en un sistema super intensivo con aplicación de Biofloc, comparando con sistema de filtro biológico y sistema tradicional con aireación (en línea). Tesis de grado. MVDr. Uruguay. ADUR. p. 11-13. Consultado 13 abr. 2023. Disponible en <https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/2175/FV30530.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calderón García, DM; Olivas García, JM; Luján Álvarez, C; Ríos Villagómez, SH; Hernández Salas, J. 2019. Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 27(77):5-11. Consultado 16 mar. 2020. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7163180.pdf>
- Calderón Orellana, MY. 2018. Análisis del proceso productivo de Tilapia (*Oreochromis sp.*) en la estación experimental Monterrico del centro de estudios del Mar y Acuicultura (en línea). Tesis. Ing. Guatemala, USAC. 12 p. Consultado el 17 dic. 2019. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9957/>
- CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Colombia). 2018. Plan de prevención, control y manejo de la Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en Jurisdicción CAR Cundinamarca (en línea). Bogotá, Colombia. 6 p. Consultado el 17 dic. 2019. Disponible en <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b90332505307.pdf>
- CENADAC (Centro Nacional de Desarrollo Acuícola, Argentina). 2011. Introducción a la acuaponía (en línea). San Cosme, Argentina. Consultado 08 mar. 2020. Disponible en <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>

- CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador). 2008. Manual sobre Reproducción y Cultivo de Tilapia. Santa Tecla, El Salvador. 12- 52 p. Consultado el 17 dic. 2019. Disponible en <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova, El Salvador). 2018. Cultivo de Tomate (en línea). La libertad, El Salvador. 17 p. Consultado el 03 jun. 2021. Disponible en http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf
- Colorado Gómez, MA; Ospina Correa M. 2019. La acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz (en línea). Bogotá, Colombia. 61 p. Consultado 22 abr. 2020. Disponible en https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5555/acuaponia_como_herramienta_de_formaci%C3%B3n.pdf?sequence=3
- Chávez de Majano, CT; Martínez Hernández, EG. 2015. Efecto del plástico ultravioleta (UV) Y mulch sobre el rendimiento productivo y vegetativo del cultivo de “Chile Verde” (*Capsicum annuum*) variedad Nathalie (en línea). Tesis. Ing. Agr. San Miguel, El Salvador. 2 p. Consultado 09 ago. 2022. Disponible en <http://opac.fmoues.edu.sv/infolib/tesis/50108546.pdf>
- Collazos Lasso, LF; Arias Castellanos, JA. 2015. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia (en línea). Una revisión. Orinoquia, 19(1), 77–86. Consultado 13 abr. 2023. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/896/89640816007.pdf>.
- Crab, R; Avrimelech, Y; Defoirdt, T; Bossier, P; Verstraete, W. 2007. Técnicas de eliminación de nitrógeno en acuicultura para producción sostenible (en línea). *Acuicultura* 270(1-4):1-14. Consultado 13 abr. 2023. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848607004176?via%3Dihub>
- CTAQUA (Centro Tecnológico de la Acuicultura, España). s.f. Alimentación optimizada para tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) de Senegal: Características ambientales. Senegal, España. 6 p. Informe N° 2. Consultado 15 mar. 2020. Disponible en <https://www.ong-aida.org/wp-content/uploads/2017/06/Informe-Alimentaci%C3%B3n-Tilapia-v2.pdf>

Datos tablas y gráficos mensual y anual las condiciones climáticas en Santa Tecla El Salvador. 2018. (en línea, sitio web). Consultado 3 feb. 2023. Disponible en <http://hikersbay.com/conditions/elsalvador/santatecla/clima-en-santa-tecla.html?lang=es>.

Díaz Larín, A; Reyes Hernández, JS; Salamanca Villalobos, JG. 2012. Evaluación comparativa del rendimiento del cultivo de Tomate (*Lycopersicon sculentum*) Variedad Sheriff F1, bajo dos modalidades de siembra; microtunel y tradicional (en línea). Tesis. Ing. Agr. San Miguel, El Salvador. 4 p. Consultado el 03 jun. 2021. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6580/1/50108020.pdf>

Domínguez, R. 2013. Acuaponía = Sustentabilidad Acuícola, México (en línea). Revista Divulgación Acuícola (11):11-15. Consultado 9 mar. 2021. Disponible en https://issuu.com/divulgacionacuicola/docs/revista_divulgacion_acuicola__agost

Diver, S. 1996. Integración de la hidroponía con la acuicultura. Tecnología apropiada transferencia para zonas rurales y centro nacional de tecnología apropiada (en línea). ATTRA. 163(1): 1-20. Consultado 18 nov. 2022. Disponible en <https://backyardaquaponics.com/Travis/aquaponic.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma). 2000. Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares: Manual de capacitación para trabajadores de Campo en América Latina y el Caribe. Italia, Roma (en línea). Consultado 27 dic. 2019. Disponible en http://redmujeres.org/wp-content/uploads/2019/01/mejorando_nutricion_huertos_granjas.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma). 2001. El desafío de terminar con la pobreza (en línea). Consultado 21 de dic 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/Y3733S/y3733s04.htm>

FONDEPES (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, Perú). 2004. Manual de Cultivo de Tilapia (en línea). Lima, Perú. Consultado el 20 dic. 2019. Disponible en http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_tilapia.pdf

- González Martínez, VV; Sánchez Zamora, BR; Rodríguez López, RA. 2011. Efecto de dos alimentos comerciales sobre el crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques de plástico (en línea). Tesis. Ing. Acuícola. León, Nicaragua. UNAM. 26 p. Consultado 28 dic. 2019. Disponible en <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6336/1/219624.pdf>
- Guerrero de la Rosa, E. 2018. Automatización de la irrigación de un sistema hidropónico NFT (en línea). Tesis. Ing. IMEC. Zacatecas, México. Instituto Politécnico Nacional. Consultado 07 nov. 2022. Disponible en <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27235/Guerrero%20de%20la%20Rosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hargreaves, J. 2013. Sistemas de producción de biofloc para acuicultura (en línea). SRAC publicación 45(3):1-12. Consultado 13 abr. 2023. Disponible en https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_4503_biofloc_production_systems_for_aquaculture.pdf
- Ikerd, J. 1990. Agricultura Sostenible (en línea). Consultado 14 dic. 2019. Disponible en <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/AgriSos.html>
- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, México). 2017. Acuaponía: Producción de Plantas y Peces, México (en línea). Serie Horticultura Protegida (32): 1- 6. Consultado 18 dic. 2019. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces?p=registro>
- Juárez Carballo, LE. 2016. Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico (en línea). Tesis. M. Sc. SNP. Veracruz, México, UV. Consultado 31 oct. 2022. Disponible en <https://www.uv.mx/pozarica/egia/files/2017/05/Luis-Enrique-Juarez.pdf>
- Leal, OG. 2017. Rango de pH óptimo para el desarrollo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en acuaponía (en línea). Tesis M.Sc. Montecillo, Texcoco. Estado de México, COP. Consultado 08 nov. 2022. Disponible en http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/3983/1/Leal_Ayala_OG_MC_Edafologia_2017.pdf

- León Sánchez, R. 2001. Caracterización biológica y productiva de cinco líneas de Tilapia del género *Oreochromis spp.* (Pisces: Cichlidae), que se cultivan en México (en línea). Tesis. Dr. C.B. Guadalajara, México. CUCBA. 6 p. Consultado 18 dic. 2019. Disponible en http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5156/Leon_Sanchez_Rafael.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López Jaime, JA. 2019. Cultivo acuapónico: guía especializada (en línea). Málaga, España. CIFAL. Consultado 02 nov. 2022. Disponible en <https://cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Luchini, L. 2006. Tilapia: Su cultivo y sistemas de producción (en línea). Argentina. Consultado 20 dic. 2019. Disponible en [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/especies/_archivos/000008Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20\(Parte%2001\).pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/especies/_archivos/000008Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20(Parte%2001).pdf)
- Mariscal, M; Páez, F; Esquer, J; Guerrero, I; del Vivar, A; Gastelum, R. 2012. Cultivo integrado de camarón blanco (*Lycopenaeus vannamei*) y tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) con aguas subterráneas de baja salinidad; Manejo y producción (en línea). *Aquacultura*. 366-367:76-84. Consultado 06 nov. 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848612005376?via%3Dihub>
- Martínez Yañez, R; Albertos Alpuche, PJ. 2014. La Acuaponía como herramienta didáctica (en línea). San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Consultado 08 mar. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/272167344_La_acuaponia_como_herramienta_didactica_para_la_ensenanza_de_la_ciencia_y_la_tecnologia
- McCauley, A; Jones, C; Jacobsen, J. 2011. Nutriente vegetal funciones y deficiencia y síntomas de toxicidad (en línea). 9:1-14. Consultado 07 nov. 2022. Disponible en <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24770/1/T-IASA%20I-005599.pdf>
- Medina, A; Arijo, S. 2019. Acuaponía. La producción circular de alimentos terrestres y acuáticos (en línea). Consultado 13 dic. 2019. Disponible en <http://www.mispecies.com/nav/actualidad/reportajes/reportaje/Acuapona.-La-produccion-circular-de-alimentos-terrestres-y-acuaticos/>

- Mejicano, J; Rivera, E; Umaña, D. 2013. Evaluación comparativa de dos variedades de Chile Dulce (*Capsicum annuum L.*); Nathalie Vrs. Magali R; Utilizando la técnica de macrotúneles en diferentes densidades de siembra (en línea). Tesis. Ing. Agr. San Miguel, El Salvador. Universidad de El Salvador. 2 - 3 p. Consultado el 03 jun. 2021. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6588/1/50108021.pdf>
- Méndez, E. 2017. Tipos de sistemas hidropónicos para cultivar (en línea). Consultado 14 dic. 2019. Disponible en <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos/>
- Mimbela Cuadros, YP. 2022. La presencia de la mujer en la función pública (en línea, sitio web). Consultado 11 jun. 2022. Disponible en <https://lpderecho.pe/la-presencia-de-la-mujer-en-la-funcion-publica/>
- Molina Gutiérrez, GW; Ramos Pérez, MF. 2008. Adaptación progresiva a la salinidad de alevines masculinizados de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), bajo condiciones de precría intensiva (en línea). Tesis. Ing. Agr. San Vicente, El Salvador, UES. Consultado 21 dic. 2019. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8273/1/Tesis%20Molina%20Gutierrez,%20German%20Wilfredo.pdf>
- NICOVITA. Perú. 2002. Manual de Crianza de Tilapia. Lima, Perú. Consultado 21 dic. 2019. Disponible en <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- Orellana Benavides, FE; Escobar Betancourt, JC; Morales de Borja, AJ; Méndez de Salazar, IS; Cruz Valencia, RA; Castellón Hernández, ME. 2000. Cultivo de chile dulce (en línea). La Libertad, El Salvador. Consultado 02 nov. 2022. Disponible en <http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/201412011299.pdf>
- Pérez, M. 2018. Generalidades de la Hidroponía. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. San Salvador, El Salvador. 1 p.
- Pérez, M. 2019. Clasificación de los Sistemas de Hidroponía según medio de cultivo. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. San Salvador, El Salvador. 3 p.

- Pérez Muñoz, MM; Sáenz Ramos, MI. 2005. Crecimiento de las tilapias *Oreochromis niloticus* en cultivo Monosexual y ambos sexos, en sistemas de producción semi-intensivos. Tesis. Ing. Acuícola. León, Nicaragua. UNAN. Consultado 18 dic. 2019. Disponible en <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3501/1/228251.pdf>
- Pickens, JM. 2015. Integración de efluentes de sistemas acuícolas de recirculación con producción de pepino y tomate en invernadero (en línea). Tesis PHD. Auburn, Alabama, AU. Consultado 06 nov. 2022. Disponible en <https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/4782/Jeremy%20M.%20Pickens%20Dissertation%202015.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, s. l.). 2019. Objetivos de desarrollo sostenible (en línea). Consultado 18 dic. 2019. Disponible en <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Rakocy, JE; Masser, M; Losordo, T. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics- Integrating fish and plant culture. USDA 454:1-16. Consultado 06 nov. 2022. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/284496499_Recirculating_aquaculture_tank_production_systems_Aquaponics-Integrating_fish_and_plant_culture
- Ríos, R. 2012. Cartilla práctica para el cultivo de tilapia (*Oreochromis sp*) (en línea). Chiriquí, Panamá. Consultado 25 dic. 2019. Disponible en <https://www.oceandocs.org/handle/1834/8121>
- Rodríguez Alemán, S. 2002. Engorde de tilapias (en línea). Tesis. Ing. Agr. Coahuila, México. UAAAN. 16 p. Consultado 18 dic. 2019. Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5795/T13163%20RODR%C3%8DGUEZ%20ALEMAN%2C%20SERJIO%20%20%20MONOG.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- Rodríguez Gracias, O.A. 2021. Análisis descriptivo e inferencial (entrevista). San Salvador, El Salvador.

- Romero Monge, MY; Romero Rivera, MH. 2012. Determinación del perfil bacteriológico de *Oreochromis niloticus* (Tilapia) fresca y su respectiva agua de estanque proveniente del cantón Atiocoyo municipio de San Pablo Tacachico, La Libertad (en línea). Tesis. Lic. San Salvador, El Salvador, UES. 26 p. Consultado 17 dic. 2019. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/2338/>
- Roosta, H; Hamidpour, M. 2011. Efectos de la aplicación foliar de algunos macro y micronutrientes en plantas de tomate en sistemas acuapónicos e hidropónicos (en línea). Ciencia horticultura. 129(3): 396-402. Consultado 06 nov. 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423811001816>
- Saavedra Martínez, MA. 2006. Manejo del cultivo de tilapia (en línea). Managua, Nicaragua. CIDEA. Consultado 21 dic. 2019. Disponible en <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- SAKATA. 2023. Chile Lamuyo Magaly R (en línea, sitio web). Consultado 21 feb. 2023. Disponible en <https://www.sakata.com.gt/pdf/chile-magali.pdf>.
- ¿Sabes qué se puede cultivar por hidroponía? 2014. (en línea, blog). México. Consultado 23 ene. 2020. Disponible en <http://hidroponia.mx/sabes-que-se-puede-cultivar-por-hidroponia/>
- Soto Bravo, F. 2018. Producción de lechuga con la técnica de lámina de nutrientes modificada (NFT) (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 07 nov. 2022. Disponible en <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/86391/T%c3%a9cnica%20lamina%20de%20nutrientes%20NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- TEC (Tecnológico de Costa Rica). 2017. Agricultura sustentable: volver al origen (en línea, sitio web). Costa Rica. Consultado 21 dic. 2019. Disponible en <https://www.tec.ac.cr/pensis/articulos/agricultura-sustentable-volver-origen>
- Vanegas Matheu, A.C. 2020. Costos de producción de un módulo acuapónico (entrevista). Santa Tecla, El Salvador.

- Ventura Santos, SD. 2011. Innovación en productos de consumo humano de tilapia y camarón cultivado en El Salvador (en línea). Santa Tecla, El Salvador. ITCA-FEPADE. 9 p. Consultado 16 de dic. 2019. Disponible en <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2011-Innovacion-en-productos-de-consumo-humano-de-tilapia.pdf>
- Villalobos Reyes, S; González Pérez, E. 2016. Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon sculentum* L.) en sistema de acuaponía (en línea). Rev. Méx. Ciencias Agrícolas 7:983-992. Consultado 03 nov. 2022. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000500983
- Wang, X; Yun, J; Shi, P; Li, Z; Li, P; Xing, Y. 2018. Crecimiento de raíces, rendimiento de frutos y eficiencia en el uso del agua de tomates cultivados en invernadero bajo diferentes regímenes de riego y niveles de nitrógeno (en línea). Revista de regulación del crecimiento vegetal 38:400-415. Consultado 06 nov. 2022. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-018-9850-7>
- Zárate, M. 2014. Manual de Hidroponía (en línea). México. Distrito Federal. Consultado 12 dic. 2019. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf

9. ANEXOS

A-1. Resultado de análisis de microplásticos.

Informe sobre microplásticos en la cavidad estomacal de tilapia, Santa Tecla, La Libertad, El Salvador

Elaborado por: Br. Karla Burgos, Br. Marcos Hernández. Estudiantes de la Licenciatura en Biología.

Asesora del Servicio Social, MSc. Ana Martha Zetino.

El presente informe da a conocer la presencia de microplásticos en la cavidad estomacal de las Tilapias examinadas.

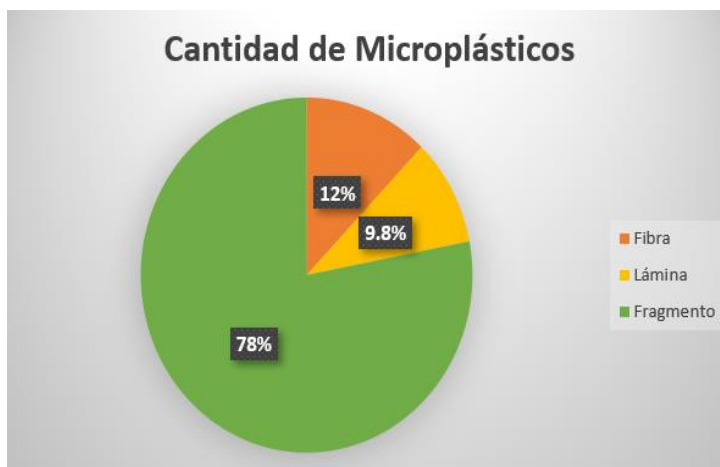
Resultados

Las tilapias analizadas presentaron un peso promedio de 123.22 gramos, debido al número de la muestra, no fue posible establecer estadísticamente, la relación entre el peso y los microplásticos encontrados.

Resumen de datos colectados para cada espécimen, distribuido por peso en gramos (g), cantidad de microplásticos (MPS) encontrados, cantidad según el tipo de microplásticos (Fibra, Lámina y Fragmento).

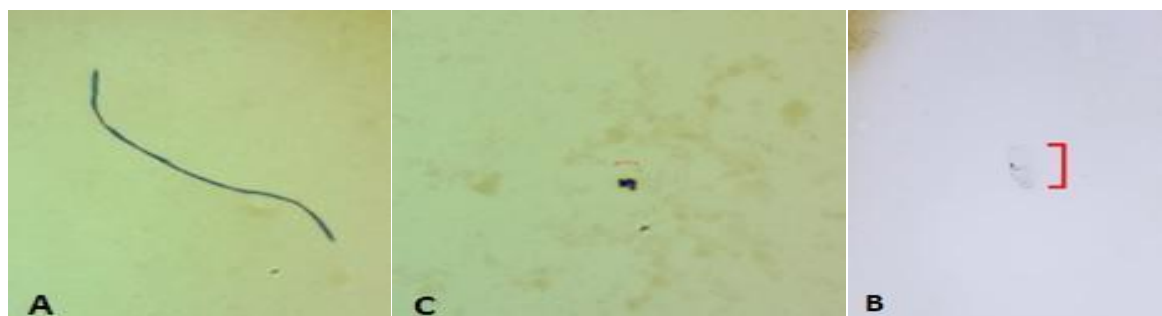
Órgano de espécimen	Peso (g)	Cantidad MPS	Tipo de Microplástico		
			Fibra	Lámina	Fragmento
Estómago 1	110	1	-	1	-
Estómago 2	120	2	1	-	1
Estómago 3	110	1	-	1	-
Estómago 4	149	1	-	-	1
Estómago 5	115	2	1	-	1
Estómago 6	115	2	-	-	2
Estómago 7	120	4	1	2	1
Estómago 8	150	3	1	-	2
Estómago 9	120	25	1	-	24
Total		41	5	4	32

Se encontraron 41 microplásticos en total, en su mayoría fueron fibra (12.2%), lámina (9.8%), fragmento (78%).



Proporción para cada tipo de microplástico en su totalidad.

En la figura se presentan los tipos de microplásticos encontrados en los 9 individuos.



Microplásticos registrados de la cavidad estomacal de Tilapias según su forma. Fibras (A), Lámina (B) y Fragmento (C).

A-2. Resultado de análisis de calidad de agua.



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA (CENDEPESCA)
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN PESQUERA Y ACUÍCOLA
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN ACUÍCOLA
LABORATORIO DE PATOLOGÍA
Estación Acuicola Santa Cruz Porrillo
Carretera del Litoral, Km. 73.5, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente
Tel. (+503) 2697-0168

Determinación de calidad de agua por método de espectrofotometría.

Informe de Análisis.

Fecha de muestreo: 07-10-2022

Nombre de la Muestra: Agua del estanque 1

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
Nitritos	0.027 mg/L	0.002 – 0.300 mg/L
Nitratos	11.3 mg/L	0.3 – 30.0 mg/L
Alcalinidad	196.8 mg/L	10 – 4000 mg/L
pH	8.04	
Amonio	0 mg/L	0.01 – 0.50 mg/L

Nombre de la Muestra: Agua del estanque 2

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
Nitritos	0.045 mg/L	0.002 – 0.300 mg/L
Nitratos	7.1 mg/L	0.3 – 30.0 mg/L
Alcalinidad		10 – 4000 mg/L
pH	7.73	
Amonio	0.17 mg/L	0.01 – 0.50 mg/L

Nombre de la Muestra: Agua del estanque 3

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
Nitritos	0.194 mg/L	0.002 – 0.300 mg/L
Nitratos	9.9 mg/L	0.3 – 30.0 mg/L
Alcalinidad	192.0 mg/L	10 – 4000 mg/L
pH	7.82	
Amonio	0 mg/L	0.01 – 0.50 mg/L

Nombre de la Muestra: Agua del estanque 4

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
Nitritos	Arriba del rango	0.002 – 0.300 mg/L
Nitratos	8.2 mg/L	0.3 – 30.0 mg/L
Alcalinidad	268.4 mg/L	10 – 4000 mg/L
pH	7.83	
Amonio	0 mg/L	0.01 – 0.50 mg/L

Licda. Ana Cecilia Rodríguez
Encargada de Laboratorio



Cuadro A-1. Alimentación recomendada para cultivos intensivos de tilapia en pilas.

Peso (gramos)	Edad (semanas)	Porcentaje de alimento
2 – 4	1	10.0
5 – 10	2	9.0
11 – 15	3	6.0
16 – 20	4	5.0
21 – 30	5	4.0
31 – 40	6	3.5
41 – 60	8	3.2
61 – 80	10	3.0
81 – 105	12	2.5
106 -.120	14	2.2
121 – 160	16	1.8
161 -225	18	1.5

Fuente: CENDEPESCA (2008).

Cuadro A-2. Costos de inversión.

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario (dólares)	Estanque 1 (40 peces/m3)	Estanque 2 (60 peces/m3)	Estanque 3 (80 peces/m3)	Estanque 4 (100 peces/m3)	Valor total (dólares)
Materiales del estanque								
Pliego de electromalla 6 x 6 x 6	Pliego	4	\$45.93	\$45.93	\$45.93	\$45.93	\$45.93	\$183.72
Geomembrana 0.75 mm espesor	m ²	90	\$2.95	\$66.38	\$66.38	\$66.38	\$66.38	\$265.50
Geomembrana 0.75 mm espesor	m ²	5	\$2.95	\$3.68	\$3.68	\$3.68	\$3.68	\$14.75
Juego de tornillo estructural/arandelas	Unidad	80	\$0.17	\$3.40	\$3.40	\$3.40	\$3.40	\$13.60
Postes y vigas de bambú 3 metros	Unidad	32	\$2.00	\$16.00	\$16.00	\$16.00	\$16.00	\$64.00
Postes y vigas de bambú 4.10 metros	Unidad	8	\$2.70	\$5.40	\$5.40	\$5.40	\$5.40	\$21.60
Alambre galvanizado calibre 14	Libra	32	\$1.00	\$8.00	\$8.00	\$8.00	\$8.00	\$32.00
Malla sombra de polietileno	Yarda	20	\$7.50	\$37.50	\$37.50	\$37.50	\$37.50	\$150.00
Cobertura plástica transparente de polietileno	m ²	20	\$6.30	\$31.50	\$31.50	\$31.50	\$31.50	\$126.00
Total				\$217.79	\$217.79	\$217.79	\$217.79	\$871.17
Materiales del biofiltro								
Bloques de concreto 20 x 20 x 40	Unidad	24	\$0.84	\$5.04	\$5.04	\$5.04	\$5.04	\$20.16
Tubo galvanizado para soporte	Unidad	2	\$26.25	\$13.13	\$13.13	\$13.13	\$13.13	\$52.50
Barriles plásticos de 36 galones	Unidad	8	\$25.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$200.00
Barriles plásticos de 64 galones	Unidad	4	\$40.00	\$40.00	\$40.00	\$40.00	\$40.00	\$160.00
Válvulas de drenaje	Unidad	12	\$2.12	\$6.36	\$6.36	\$6.36	\$6.36	\$25.44
Tubo de PVC 1 pulgada	Unidad	1	\$5.48	\$1.37	\$1.37	\$1.37	\$1.37	\$5.48
Codos de PVC 1 pulgada	Unidad	12	\$0.52	\$1.56	\$1.56	\$1.56	\$1.56	\$6.24
Adi-flex blanco sellador poliuretano	Unidad	3	\$8.45					\$25.35
Manguera 1 pulgada	Yarda	4	\$1.75	\$1.75	\$1.75	\$1.75	\$1.75	\$7.00
Manguera 1 1/4 pulgada	Yarda	7	\$3.75	\$6.56	\$6.56	\$6.56	\$6.56	\$26.25
Tela mosquitero	Yarda	12	\$1.80	\$5.40	\$5.40	\$5.40	\$5.40	\$21.60
Cascajo rojo volcánico	Saco	1	\$10.00	\$2.50	\$2.50	\$2.50	\$2.50	\$10.00

Pajillas plásticas no biodegradables	Paquete	20	\$4.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$80.00
Bolitas de poliestireno (durapax)	Libra	2	\$10.00	\$5.00	\$5.00	\$5.00	\$5.00	\$20.00
Cobertura plástica negra de polietileno	Yarda	2	\$1.25	\$0.63	\$0.63	\$0.63	\$0.63	\$2.50
Total				\$159.30	\$159.30	\$159.30	\$159.30	\$662.52
Materiales para cama de siembra								
Tubos de PVC 4 pulgadas	Unidad	16	\$19.50	\$78.00	\$78.00	\$78.00	\$78.00	\$312.00
Tubos de PVC 2 pulgadas	Unidad	2	\$7.95	\$3.97	\$3.97	\$3.97	\$3.97	\$15.90
Adaptador macho de PVC 1/2 pulgada	Unidad	64	\$0.15	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$2.40	\$9.60
Tapaderas de drenaje de PVC de 4 pulgadas	Unidad	16	\$2.80	\$11.20	\$11.20	\$11.20	\$11.20	\$44.80
Tapaderas de drenaje de PVC de 2 pulgadas	Unidad	16	\$0.95	\$3.80	\$3.80	\$3.80	\$3.80	\$15.20
Postes y vigas de bambú 2 metros	Unidad	24	\$1.35	\$8.10	\$8.10	\$8.10	\$8.10	\$32.40
Postes de tutoreo 3 metros	Unidad	8	\$2.00	\$4.00	\$4.00	\$4.00	\$4.00	\$16.00
Silicón en tubo	Unidad	7	\$4.11					\$28.77
Cincho sujetador plástico	Unidad	2	\$2.50					\$5.00
Total				\$111.47	\$111.47	\$111.47	\$111.47	\$479.67
Materiales para sistema de aireación								
Tubo de PVC 1/2 pulgada	Unidad	1	\$2.87					\$2.87
Tapones de PVC 1/2 pulgada	Unidad	2	\$0.20					\$0.40
Válvulas plásticas de control de flujo	Unidad	20	\$0.75	\$3.75	\$3.75	\$3.75	\$3.75	\$15.00
Manguera plástica 1/4 pulgada	Metros	45	\$0.89	\$10.01	\$10.01	\$10.01	\$10.01	\$40.05
Plomada para atarraya	Unidad	20	\$0.26	\$1.30	\$1.30	\$1.30	\$1.30	\$5.20
Piedra aireadora	Unidad	20	\$0.89	\$4.45	\$4.45	\$4.45	\$4.45	\$17.80
Adhesivo epóxico (Epoxi-mil)	Unidad	1	\$2.75					\$2.75
Total				\$19.51	\$19.51	\$19.51	\$19.51	\$84.07

Costos de insumos								
Alevines	Unidad	1540	\$0.04	\$8.80	\$13.20	\$17.60	\$22.00	\$61.60
Alimento 38%	Quintales	0.5	\$44.00					\$22.00
Alimento 32%	Quintales	2.5	\$36.00					\$90.00
Plantines de tomate	Unidad	120	\$0.13	\$3.90	\$3.90	\$3.90	\$3.90	\$15.60
Plantines de chile dulce	Unidad	120	\$0.10	\$3.00	\$3.00	\$3.00	\$3.00	\$12.00
Total				\$15.70	\$20.10	\$24.50	\$28.90	\$201.20
Total por estanque				\$523.77	\$528.17	\$532.57	\$536.97	
Total								\$2,298.63

Fuente: Vanegas (2020)

Cuadro A-3. Presupuesto parcial y beneficios netos

Componente	Testigo relativo o Tratamiento 1 (dólares)	Tratamiento 2 (dólares)	Tratamiento 3 (dólares)	Tratamiento 4 (dólares)	Testigo relativo o Tratamiento 5 (dólares)	Tratamiento 6 (dólares)	Tratamiento 7 (dólares)	Tratamiento 8 (dólares)
Detalle del Tratamiento	Tomate más 40 peces/m ³ de tilapia	Tomate más 60 peces/m ³ de tilapia	Tomate más 80 peces/m ³ de tilapia	Tomate más 100 peces/m ³ de tilapia	Chile dulce más 40 peces/m ³ de tilapia	Chile dulce más 60 peces/m ³ de tilapia	Chile dulce más 80 peces/m ³ de tilapia	Chile dulce más 100 peces/m ³ de tilapia
RM (Rendimiento promedio) (lb)	38.93	66.01	85.28	125.84	40.13	68.39	85.63	121.46
RA (Rendimiento ajustado) (10%)	35.04	59.40	76.75	113.26	36.12	61.55	77.07	108.93
BBB (Beneficio Bruto de Campo) (Precio Campo x Rendimiento ajustado)	56.41	95.63	123.57	182.35	60.32	102.79	128.71	182.55
Costo del alevín	8.80	13.20	17.60	22.00	8.80	13.20	17.60	22.00
Costo del plantín	3.90	3.90	3.90	3.90	3.00	3.00	3.00	3.00
Costo del alimento (38%)	3.66	4.13	5.84	8.72	3.66	4.13	5.84	8.72
Costo del alimento (32%)	8.74	20.64	25.29	34.98	8.74	20.64	25.29	34.98
£ CV (Sumatoria de los costos que varían)	25.10	41.87	52.63	69.60	24.20	40.97	51.73	68.70
BN (Beneficios Netos) (\$/lb)	31.31	53.76	70.94	112.75	36.12	61.82	76.98	119.85

Cuadro A-4. Efecto del incremento de altura en hortalizas (cm)

Hortalizas en estudio	Muestreo											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tomate	14.51	15.03	16.44	20.13	23.73	27.86	34.83	43.12	48.92	52.46	55.29	56.71
Chile dulce	15.68	16.73	18.11	21.21	23.46	26.15	28.08	30.33	32.08	33.92	35.38	37.25

Cuadro A-5. Efecto de la densidad de siembra (peces/m³) en la talla promedio (cm).

Densidad de siembra (peces/m ³)	Muestreo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
D1: 40 peces/m ³	6.87	8.50	10.27	10.45	9.42	11.37	11.45	11.61	11.90	12.99	13.50	14.89	16.05	16.45	15.50	16.57
D2: 60 peces/m ³	6.35	7.15	9.17	9.60	10.47	10.87	11.52	11.87	13.57	14.42	14.68	14.60	14.65	16.84	16.45	17.31
D3: 80 peces/m ³	7.23	6.80	9.65	9.42	10.13	10.95	11.38	12.53	13.78	13.74	15.10	14.61	16.50	15.69	16.63	16.47
D4:100 peces/m ³	7.55	6.71	10.27	10.08	10.73	11.41	11.67	12.93	14.00	14.26	14.53	15.71	16.97	16.25	16.58	17.46

Cuadro A-6. Resultados de la medición de parámetros físicoquímicos del agua semanal.

Fecha	Oxígeno	Saturación	Temperatura	pH	Alcalinidad	Dureza	Amonio	Nitritos	Nitratos	Transparencia	Mortalidad
04 julio 2022	Muestreo 1										
	6.85	86.46	20.74	9.00	300.00	180.00	3.00	0.00	20.00	90.00	28.00
	6.52	81.28	20.86	9.00	300.00	240.00	3.00	0.50	20.00	92.00	28.00
	6.09	77.01	21.02	8.50	240.00	180.00	3.00	0.00	0.00	88.00	11.00
11 julio 2022	Muestreo 2										
	7.75	92.85	19.21	9.00	300.00	240.00	1.00	3.00	80.00	91.00	10.00
	7.54	92.31	19.44	8.50	180.00	240.00	3.00	3.00	80.00	85.50	8.00
	7.12	86.33	19.79	9.00	300.00	240.00	3.00	5.00	160.00	94.50	22.00
	6.53	79.52	20.19	9.00	300.00	240.00	3.00	0.00	20.00	82.00	24.00

18 julio 2022	Muestreo 3										
	6.72	82.86	20.45	8.50	240.00	240.00	0.50	5.00	160.00	87.50	1.00
	6.64	82.60	20.70	8.50	240.00	240.00	0.50	5.00	160.00	93.50	6.00
	6.45	81.24	21.33	9.00	240.00	240.00	0.50	10.00	200.00	98.00	35.00
	5.78	73.46	21.77	9.00	300.00	240.00	6.00	1.00	40.00	92.00	19.00
25 julio 2022	Muestreo 4										
	6.65	81.07	19.83	9.00	300.00	240.00	0.50	10.00	200.00	93.00	2.00
	6.71	82.44	20.20	7.50	240.00	240.00	0.50	10.00	200.00	85.00	7.00
	6.95	86.14	20.63	9.00	240.00	240.00	0.50	10.00	200.00	93.00	18.00
	5.49	69.22	21.54	8.00	180.00	240.00	3.00	1.00	40.00	73.00	31.00
01 agosto 2022	Muestreo 5										
	6.65	81.46	19.97	8.50	240.00	240.00	0.50	10.00	160.00	87.00	1.00
	6.48	79.49	20.12	8.50	240.00	240.00	0.50	5.00	160.00	91.50	2.00
	6.59	81.12	20.30	8.50	240.00	240.00	1.00	10.00	200.00	90.50	11.00
	5.03	63.32	21.61	8.50	300.00	240.00	0.50	10.00	200.00	90.50	16.00
08 agosto 2022	Muestreo 6										
	6.14	71.35	20.93	8.50	240.00	240.00	0.50	5.00	160.00	96.00	4.00
	6.02	75.46	21.11	9.00	240.00	240.00	0.50	3.00	80.00	95.50	9.00
	6.50	80.08	25.77	8.00	240.00	180.00	0.50	10.00	200.00	85.50	12.00
	5.52	69.66	21.99	8.50	300.00	240.00	1.00	10.00	200.00	68.50	9.00
22 agosto 2022	Muestreo 7										
	7.66	92.84	19.50	8.00	240.00	240.00	0.50	10.00	160.00	94.00	0.00
	6.78	83.24	20.20	8.50	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	95.00	4.00
	5.82	72.14	20.59	8.00	240.00	240.00	0.00	10.00	200.00	92.00	13.00
	5.85	73.19	21.13	8.50	240.00	240.00	0.50	10.00	200.00	60.00	13.00

29 agosto 2022	Muestreo 8										
	7.28	88.74	19.77	7.00	240.00	240.00	0.50	0.50	20.00	94.50	2.00
	6.61	81.55	20.36	8.50	240.00	240.00	0.50	0.50	20.00	97.00	3.00
	4.94	61.70	20.93	8.50	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	65.00	10.00
05 septiembre 2022	Muestreo 9										
	7.14	87.58	20.16	8.50	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	83.00	1.00
	6.09	75.78	20.93	8.50	240.00	240.00	0.50	0.50	20.00	96.00	3.00
	5.41	68.49	21.59	8.50	240.00	240.00	0.00	0.00	0.00	60.00	1.00
12 septiembre 2022	Muestreo 10										
	6.81	85.02	20.97	7.00	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	87.00	4.00
	5.76	73.14	22.06	8.00	240.00	240.00	0.00	0.00	0.00	96.50	5.00
	5.98	75.35	22.81	8.00	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	65.50	0.00
19 septiembre 2022	Muestreo 11										
	7.09	85.74	20.37	7.00	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	87.50	0.00
	5.67	71.12	21.54	8.00	240.00	240.00	0.00	0.00	0.00	95.00	0.00
	6.00	76.67	22.24	8.00	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	66.00	0.00
26 septiembre 2022	Muestreo 12										
	6.27	80.98	22.61	8.50	240.00	240.00	0.00	0.00	0.00	80.50	0.00
	4.43	58.50	23.80	8.50	240.00	240.00	0.00	0.00	0.00	94.00	0.00
	5.20	67.73	24.09	8.50	240.00	240.00	1.00	0.50	20.00	71.00	1.00
	3.95	52.21	23.83	8.50	300.00	240.00	3.00	3.00	80.00	60.00	0.00

03 octubre 2022	Muestreo 13										
	5.43	70.49	22.94	8.50	240.00	240.00	1.00	0.00	0.00	78.50	0.00
	3.91	51.66	23.84	8.50	240.00	240.00	1.00	0.00	20.00	92.00	0.00
	4.57	60.62	23.99	8.50	240.00	240.00	1.00	0.00	20.00	77.00	0.00
	3.51	46.11	23.51	8.50	240.00	240.00	3.00	1.00	20.00	63.50	1.00
10 octubre 2022	Muestreo 14										
	5.09	68.60	23.51	8.50	240.00	240.00	0.00	0.00	20.00	77.50	0.00
	4.86	65.09	24.64	8.50	240.00	240.00	0.50	0.00	20.00	69.30	0.00
	4.07	55.06	24.97	7.50	240.00	240.00	3.00	0.50	20.00	64.00	0.00
	3.87	51.69	24.40	7.50	240.00	240.00	1.00	1.00	40.00	42.00	0.00
17 octubre 2022	Muestreo 15										
	6.02	80.17	24.19	8.50	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	87.00	0.00
	5.06	68.52	25.11	8.50	240.00	240.00	0.00	0.50	20.00	26.50	0.00
	3.96	53.72	25.17	8.50	240.00	240.00	1.00	0.50	20.00	60.00	1.00
	3.28	43.21	24.46	8.50	240.00	240.00	3.00	0.50	20.00	55.00	0.00
24 octubre 2022	Muestreo 16										
	4.82	66.02	25.16	8.50	240.00	240.00	0.00	0.00	0.00	67.00	0.00
	4.82	66.01	25.69	8.00	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	61.00	0.00
	4.02	55.25	25.80	8.50	240.00	240.00	3.00	0.50	20.00	57.50	0.00
	4.24	57.80	25.36	8.00	240.00	240.00	6.00	0.50	20.00	57.00	2.00
31 octubre 2022	Muestreo 17										
	5.07	68.72	25.07	8.50	240.00	240.00	0.00	0.00	0.00	69.00	0.00
	4.62	59.24	25.54	8.50	240.00	240.00	0.50	0.00	0.00	63.50	0.00
	4.01	55.21	25.97	8.50	240.00	240.00	3.00	0.50	20.00	53.50	0.00
	4.50	61.45	25.54	8.50	240.00	240.00	3.00	0.50	20.00	50.00	0.00

Cuadro A-7. Efecto de la densidad de siembra (peces/m³) en la ganancia de peso (g).

Densidad de siembra (peces/m ³)	Muestreo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
D1:40 peces/m ³	5.96	15.16	23.85	25.68	18.52	31.39	34.37	31.99	37.58	46.61	59.1	72.04	81.78	79.5	82.3	97.7
D2:60 peces/m ³	4.12	7.47	17.05	18.32	23.73	26.24	32.27	34.44	54.1	59.87	68.92	66.75	68.27	90.47	99.15	115.3
D3:80 peces/m ³	5.66	5.75	14.38	18.33	23.93	27.96	31.2	41.79	57.38	52.58	69.75	65.04	92.22	98.53	101.08	100.86
D4:100 peces/m ³	6.88	6.65	21.53	22.02	26.72	32.36	35.52	45.79	58.23	60.65	64.22	83.51	98.61	102.92	97.72	109.69