

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES
SEDE MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA.**



**TESIS DE GRADO
PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA
“DESARROLLO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO CASERO Y SU EFECTO EN EL
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) Y
HIERBABUENA (*Mentha spicata*), MASAYA, NICARAGUA 2024”**

Sustentante(s)

Br. Gian Eberardo Estrada Antúnez
Br. Arturo José Estrada Antúnez

Asesor(es)

Msc. Lucia Flores ing.
Msc. Guadalupe Centeno ing.

**Managua, Nicaragua
Diciembre del 2024**

INDICE DE CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Acuaponía	4
3.2 Hidroponía	4
3.2.1 Técnicas de hidroponía	5
3.3 Acuaponia	8
3.4 Componentes para un sistema acuaponico	9
3.4.1 Tanque de cultivo de peces	9
3.4.2 Sistema de filtracion mecanica	10
3.4.4 Bomba Sumergible	12
3.5 Organismos a utilizar	13
3.5.1 Tilapia (<i>Oreochromis Niloticus</i>)	13
3.5.2 Hierbabuena (<i>Mentha Spicata</i>)	14
3.6 Parámetros del agua	15
3.6.1 Temperatura	15
3.6.2 Potencial de hidrógeno	15
3.6.3 Oxigeno disuelto (OD)	16
3.6.4 Amonio	16
3.6.5 Nitritos Y Nitratos	17
3.7 Parametros de los peces	18
3.7.1 Factor de conversion alimenticia (FCA)	18
3.7.2 Ganancia media diaria (GMD)	18
3.7.3 Porcentaje de mortalidad	18
IV. MATERIALES Y METODOS	19
4.1 Ubicación del área de estudio.	19
4.2 Diseño metodológico	19
4.2.1 Tipo de investigación	19

4.2.2 Fase de campo	20
4.3 Formulas para los indices de los peces y costo-beneficio	25
4.4 Toma de muestras de los peces	27
4.5 Análisis De Datos	33
5.1.2. Ganancia media diaria (GMD)	35
5.1.3 Porcentaje de mortalidad	36
5.1.4 Eficiencia alimenticia	37
5.1.5 Factor de conversión alimenticia (FCA)	38
5.2 Parametros fisico-quimicos del agua	39
5.2.1 Ph	39
5.2.2 Temperatura	41
5.2.3 Oxígeno disuelto	43
5.2.4 Amonio	44
5.2.5 Nitritos	46
5.2.6 Nitratos	47
5.3 Costos de produccion	49
VI. CONCLUSIONES	54
VII. RECOMENDACIONES	56
VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	58
IX. ANEXOS	66

DEDICATORIA

Esta tesis es un reflejo del amor, esfuerzo y sacrificio de las personas más importantes en mi vida. En primer lugar, quiero dedicarla a mis padres, Cándida Marlen Antúnez y José Arturo Estrada, por su apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado, por creer en mí y en mis sueños. Gracias por ser mi motor y por hacer todo lo posible para que hoy pueda alcanzar mis metas profesionales.

También quiero dedicar estas palabras a todos aquellos familiares que, lamentablemente, no pudieron estar presentes en este momento tan especial de mi vida. Mi corazón está con ustedes, y en especial, con mis abuelos, quienes ya no están físicamente entre nosotros: Santos Antúnez, Graciela Padilla, Rosa Méndez y Francisco Estrada. Sus consejos, su sabiduría y su amor me han acompañado siempre, y aunque se han ido, su legado sigue vivo en mí. Gracias por ayudarme a ser la persona que soy hoy.

Finalmente, con todo mi amor, esta tesis está dedicada a mi primo Franklin Herrera Estrada, quien fue como un hermano para mí. Te amo y te extraño mucho. Espero que desde el cielo puedas sentirte orgulloso de este logro, que en parte también es gracias a ti.

A todos ellos, gracias por su amor, por sus enseñanzas y por ser mi inspiración constante. Esta es también su victoria.

Gian Estrada Antunez

DEDICATORIA

Dedicó mi trabajo de tesis primeramente a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia en cada fase de mi carrera.

A mi madre Candida Marlen Antúnez y a mi padre José Arturo Estrada por su gran apoyo incondicional, por sus consejos, por todo su esfuerzo y sacrificios, que me han brindado para poder culminar mi carrera profesional soñada, muchas gracias padres por su apoyo y amor.

A mi pareja sentimental Karen Melissa Salinas y mi hija Aliah Isabella Estrada por su apoyo incondicional en todos estos años, por la fortaleza y amor que diariamente me brindan.

A mis hermanos Gian Estrada y Kenneth Estrada por siempre estar a mi lado y su apoyo incondicional.

Finalmente, a mis familiares y amigos en Honduras y mis amigos que adquirí en la carrera, por su compañía, motivarme y brindarme su apoyo sin condiciones en el transcurso de mi carrera.

Muchas gracias.

Arturo Estrada Antunez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos culminar este trabajo de investigación realizado con mucho esfuerzo y dedicación.

Damos gracias infinitas a nuestros padres, por su apoyo incondicional, por acompañarnos en cada paso de nuestra carrera y siempre incentivarnos a alcanzar nuestro objetivo profesional y cumplir nuestros sueños.

De manera especial, agradecemos al Pastor Carlos Silva por ser parte fundamental en este proceso y brindarnos su apoyo.

A nuestras asesoras de tesis, Ing. Lucia Flores y la Ing. Guadalupe Centeno por aportarnos sus ideas, su conocimiento y su guía durante el desarrollo de esta investigación.

A todo el personal docente, que, con su sabiduría y valiosa cátedra, contribuyeron a nuestra formación profesional.

Gian Estrada Antunez
Arturo Estrada Antunez

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pagina
1. Operalizacion de datos	29
2. Materiales utilizados en el proyecto	¡Error! Marcador no definido.
3. Costos de los materiales utilizados para la construccion	49
4. Costos de produccion del sistema acuaponico	51

INDICE DE FIGURAS

No. Figura	Pagina
1. Diferentes técnicas hidropónicas	6
2. Sistema NFT Casero	6
3. Sistema de raiz flotante	7
4. Sistema de mecha	8
5. Tanques para acuaponia	10
6. Canales de cultivo	12
7. Bomba sumergible para fuentes	12
8. Tilapia del nilo <i>Oreochromis niloticus</i> .	13
9. Escala de colorimétrica medida del ph.	15
10. Ubicación del proyecto.	19
11. Base de madera para los canales de cultivo.	20
12. Canales de cultivo.	21
13. Creación del filtro.	21
14. Sistema NFT	22
15. Traspaso de los peces	23
16. Transplante de plantas	24
17. Establecimiento de las plantas de hierbabuena	24
18. Pesaje de los peces	28
19. Materiales de monitoreo del agua	28
20. Grafica del pH	40
21. Grafica de la temperatura	42
22. Grafica del oxigeno disuelto	44
23. Grafica del amonio	45
24. Grafica del nitrato	48

INDICE DE ANEXOS

No. Anexo	Pagina
1. Construccion de la base para los canales de cultivo.	66
2. Reforzando base de los canales de cultivo.	66
3. Haciendo agujeros para los canales de cultivo.	67
4. Canales de cultivo ya montados en la base.	67
5. Armando el filtro.	68
6. Plantas ya colocadas en los canales de cultivo.	68
7. Colocando los peces en el tanque de agua.	69
8. Tamaño de los peces al incio del proyecto.	69
9. Ultimo pesaje de los peces.	70
10. Tamaño de los peces al final del proyecto.	70

RESUMEN

La presente investigación experimental se llevó a cabo en la iglesia Valle Gothel, ubicada en el municipio de El Crucero, departamento de Managua, en Veracruz, con el objetivo de evaluar el desarrollo de un sistema acuapónico casero como alternativa para la producción de peces con baja inversión y espacio limitado, en comparación con las formas tradicionales de cultivo de peces. El sistema acuapónico utilizado consistió en un tanque de 1500 litros, un filtro de 55 galones y seis canales de cultivo con 88 huecos para plantas. Los organismos empleados fueron 120 tilapias (*Oreochromis niloticus*) con un peso promedio de 39 gramos y 88 plantas de *Mentha spicata* con una altura inicial de 10 cm. La observación del proyecto se extendió por 70 días, durante los cuales se realizó un monitoreo diario de los parámetros del agua. Los niveles de pH, oxígeno disuelto, temperatura, nitritos y nitratos se mantuvieron dentro de los rangos óptimos para un sistema acuapónico, excepto el amonio, que experimentó incrementos cada cinco días, alcanzando un máximo de 1 mg/l entre los días 20 y 23. Para contrarrestar este aumento, se realizó un cambio del 30 % del agua del tanque de los peces, lo cual también se aprovechó para el pesaje de los peces, lo que permitió un mejor manejo de los mismos. Durante el proyecto se realizaron cuatro pesajes de los peces, obteniendo un incremento promedio de 9 gramos por pez cada 23 días, lo que representa una ganancia diaria promedio de 0.40 gramos. El peso final promedio de los peces fue de 67.64 gramos, lo que resultó en una ganancia total de 28.64 gramos por pez. A pesar de este aumento en el peso de los peces, la rentabilidad del proyecto no fue suficiente, lo cual se atribuye al incremento del amonio, que provocó estrés en los peces, impidiendo que alcanzaran el incremento de peso esperado. Este estudio permitió identificar las principales fallas del sistema y proponer soluciones para mejorar su funcionamiento y lograr una rentabilidad positiva en futuros ciclos de engorde.

Palabras clave: Acuaponia, sistema acuaponico, oreochromis niloticus.

ABSTRACT

This experimental research was carried out at the Valle Gothel Church, located in the municipality of El Crucero, Department of Managua, Veracruz, with the aim of evaluating the development of a homemade aquaponic system as an alternative for fish production with low investment and limited space, compared to traditional fish farming methods. The aquaponic system used consisted of a 1500-liter tank, a 55-gallon filter, and six cultivation channels with 88 plant holes. The organisms used were 120 tilapias (*Oreochromis niloticus*) with an average weight of 39 grams and 88 *Mentha spicata* plants with an initial height of 10 cm. The project was observed over a period of 70 days, during which daily monitoring of water parameters was conducted. The levels of pH, dissolved oxygen, temperature, nitrites, and nitrates remained within the optimal ranges for an aquaponic system, except for ammonium, which showed increases every five days, reaching a maximum of 1 mg/l between days 20 and 23. To counteract this rise, 30% of the tank water was changed, which also provided an opportunity to weigh the fish, allowing for better fish management. A total of four weighings of the fish were carried out during the project, with an average increase of 9 grams per fish every 23 days, corresponding to an average daily gain of 0.40 grams. The final average weight of the fish was 67.64 grams, resulting in a total gain of 28.64 grams per fish. Although the fish showed weight gain, the profitability of the project was not sufficient, which is attributed to the increase in ammonium levels that caused stress and prevented the expected weight gain. This study helped identify the main issues in the system and propose solutions to improve its performance and achieve positive profitability in future fattening cycles.

Keywords: Aquaponic system, Homemade, *Oreochromis niloticus*, fish farming methods.

I.INTRODUCCIÓN

En Nicaragua la acuicultura es un método de producción de peces que requiere de mucha inversión, infraestructura, gran demanda de espacio y mano de obra, además de ser uno de los principales contaminantes por su abuso con los antibióticos durante la producción.

En la actualidad, uno de los principales problemas en la acuicultura convencional radica en la falta de aplicación de técnicas para gestionar los residuos generados por las especies acuícolas. Es por eso que la acuicultura controlada, como es el caso de la acuaponía, ofrece métodos de producción sin necesidad de suelo, aprovechando de manera eficiente los recursos hídricos mediante el reciclaje del agua y los desechos producidos por los peces. Esto permite obtener mayores rendimientos en cultivos tanto piscícolas como agrícolas en comparación con los sistemas tradicionales (Somerville *et al.*, 2014).

La acuaponía, que mezcla la hidroponía y la piscicultura para ser menos contaminante y de fácil acceso para grandes o pequeños productores, pudiéndose llevar a cabo en pequeños espacios, poca inversión y en localidades geográficas no costeras

Tiene un impacto social positivo al ofrecer alimentos frescos localmente, reduciendo costos de transporte y emisiones de carbono, promueve la educación y el empleo al proporcionar conocimientos en diversas áreas y crear oportunidades laborales, especialmente para grupos desfavorecidos

En términos económicos, la acuaponía mejora la eficiencia de los recursos al usar menos agua y reducir el uso de tierra, fertilizantes y energía. Esto a su vez aumenta la rentabilidad y la competitividad de los productores al permitir una mayor productividad y calidad de los productos (Wolfgang, 2024).

Por estas razones, en este proyecto se valorará el desarrollo del sistema acuapónico casero y sus efectos sobre el comportamiento productivo de los peces y las plantas, para así proporcionar información crucial sobre el equilibrio de este ecosistema, analizando la calidad del agua, el crecimiento de los peces y las plantas. Además, permitirá identificar desequilibrios o mal funcionamiento de los componentes del sistema para poder realizar ajustes y maximizar la producción, con el propósito de determinar la viabilidad de la acuaponia casera en Nicaragua.

II.OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Valorar el proceso de desarrollo de un sistema acuapónico casero y su efecto sobre el comportamiento productivo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y hierba buena (*Mentha Spicata*) en la comunidad Valle Gothel del municipio de Veracruz del departamento de Masaya año 2024.

2.2 Objetivos específicos

- 1.- Determinar los parámetros productivos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema acuapónico casero.
- 2.- Definir los parámetros fisicoquímicos del agua (*Oreochromis niloticus*) en un sistema acuapónico casero.
- 3.- Valorar el costo-beneficio de la implementación y manejo de sistema acuapónico casero como alternativa de producción de proteína a baja escala.

III.MARCO DE REFERENCIA

3.1 Acuaponía

Candarle destaca muy enfáticamente que:

La acuaponía establece la integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual juntan el componente acuícola y el componente hidropónico. En este sistema, los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal (2015).

La producción de peces en estanques es una práctica antigua, presumiblemente desarrollada por los primeros agricultores como uno de los muchos sistemas de producción primaria dirigidos a asegurar el aprovisionamiento de alimentos. Las referencias más antiguas sobre esta práctica datan de hace aproximadamente 4000 años, en china, y de 3 500 años, en la mesopotamia.

Ya, en la China antigua, durante la dinastía de Han Oriental (25 a 250 d. C.), fue documentada la producción combinada de arroz y de peces. La cría de peces también era practicada por los antiguos romanos de la época imperial, la cual, más tarde, se convertiría en parte del sistema de producción alimentaria de los monasterios cristianos de Europa Central (Food and agriculture organization, 2014 p.1).

La acuicultura implica criar seres vivos acuáticos en ambientes controlados para propósitos comerciales, recreativos o públicos. Es similar a la agricultura en términos de producción de alimentos, pero se enfoca en peces, crustáceos, mariscos, plantas acuáticas y otros organismos del agua. Este sector está experimentando un crecimiento acelerado y actualmente representa más de la mitad de la producción global de alimentos marinos, desempeñando un papel crucial en la provisión de alimentos sostenibles para una población mundial en constante aumento (COM, 2021).

3.2 Hidroponía

Los ejemplos más antiguos de la historia de la hidroponía se remontan a los jardines colgantes de Babilonia y los jardines flotantes de China. Los seres humanos utilizan

estas técnicas hace miles de años (Holandés, 2016). La hidroponía es la práctica de hacer crecer plantas utilizando solamente agua, nutrientes y un medio de cultivo. La palabra hidroponía proviene de las raíces «hidro», que significa agua, y «ponos», es decir, la mano de obra; este método de jardinería no utiliza el suelo (Holandes, 2016).

La hidroponía es una técnica novedosa de cultivo que se caracteriza por no utilizar tierra, permitiendo que las plantas crezcan directamente sobre el agua o en sustratos específicos. Estos sustratos pueden ser de origen orgánico, como el musgo de turba y la fibra de coco, o de naturaleza inorgánica, como la perlita o la vermiculita. La flexibilidad de la hidroponía se encuentra en la capacidad de emplear diversos medios de cultivo, lo que favorece su adaptación a distintos tipos de plantas (Hernandez, 2023).

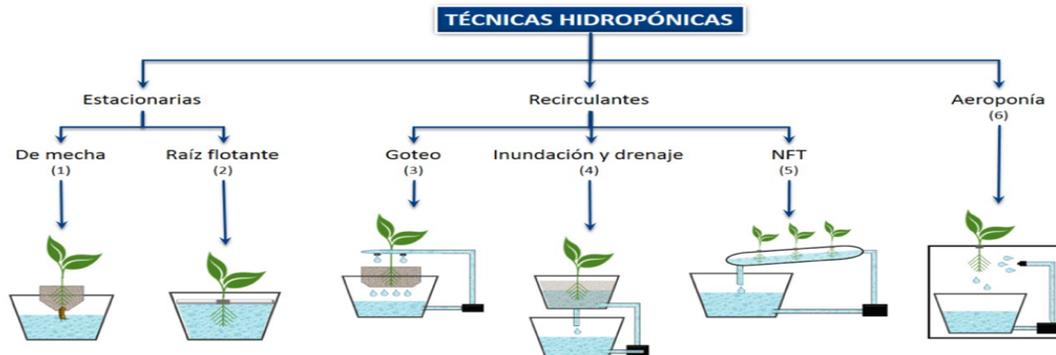
3.2.1 Técnicas de hidroponía

En la actualidad, la hidroponía puede emplearse de muchas maneras (figura 1), siendo una de las más utilizadas la técnica de película de nutrientes. El sistema comprende una serie de tubos o canales de cultivo de PVC con aberturas donde se colocan las plantas dentro de canastillas con un medio de sostén.

Dentro de los canales de cultivo discurre una película de solución nutritiva que riega las raíces (2 L/min), la cual es bombeada desde el depósito en el que se almacena, se ajustan los parámetros y se realiza la oxigenación forzada (bombas sopladoras o bombeo de agua). Los canales de cultivo no deben superar los 6 m de longitud para evitar la pérdida de oxígeno en la solución nutritiva y se sitúan en bancadas dispuestas en paralelo, con una inclinación (1,5–4%) para recoger la solución nutritiva por gravedad. Es idóneo para el cultivo de hortalizas de ciclo corto: lechuga, berro, espinaca y aromáticas (Cardador, 2017).

Figura 1

Diferentes técnicas hidropónicas



Fuente: Blog hidroponía al cubo (Cardador, 2017).

Sistema NFT

La técnica llamada “Nutrient Film Technique” (NFT) es un sistema hidropónico que recircula una solución nutritiva a través de todas las plantas en los canales de cultivo, utilizando tuberías de PVC como mecanismo de distribución. Este método es uno de los sistemas hidropónicos más populares utilizados en la agricultura comercial. Este tipo de sistema es adecuado para exteriores, interiores o en un invernadero. Algunos de los cultivos adecuados para crecer con este tipo de sistema hidropónico son las especias o hierbas (Rodríguez *et al.*, 2022).

Figura 2

Sistema NFT Casero



Fuente. Red de multiservicios regionales (RMR, s.f)

Raíz flotante

El Sistema de Raíz Flotante (SRF) es un método de producción hidropónica que consiste en desarrollar cultivos en agua con una solución nutritiva, sobre plumavit u otro material similar, excluyendo el uso de cualquier tipo de sustrato. La solución nutritiva está compuesta por sales minerales solubles que aportan, en forma balanceada, todos los elementos nutritivos que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo.

Los cultivos desarrollados en SRF se caracterizan por el significativo ahorro en el uso de agua (60-70%) y superficie de plantación (70-80%) en comparación con cultivos desarrollados directamente en el suelo; además, por las mejores condiciones fitosanitarias e inocuidad que se pueden alcanzar (Pizarro *et al.*, 2019).

Figura 3

Sistema de raíz flotante



Fuente: Sistemas hidropónicos: Tipos, diferencias, ventajas y beneficios (Jimenez, 2021).

Mecha

El sistema hidropónico de mecha (también conocido como sistema Wick en inglés) es una técnica de riego pasivo utilizada en la horticultura de distintos cultivos. Se basa en un principio simple pero efectivo: permitir que el agua y los nutrientes se muevan de manera natural desde un depósito hacia las raíces de las plantas a través de una mecha o material absorbente.

Un sistema hidropónico de mecha se considera un sistema pasivo, lo que significa que no requiere bombas ni partes mecánicas móviles. En su lugar, los nutrientes y el agua

se mueven de manera pasiva a través de una mecha, cuerda o cualquier material que pueda absorber agua desde un depósito de solución hacia el sistema de raíces de las plantas mediante la acción capilar (Barrientos, 2023).

Figura 4

Sistema de mecha



Fuente: Riego capilar por mecha (Medrano *et al.*, 2019)

3.3 Acuaponia

El origen de la acuaponia según (Formo, 2014)

Los aztecas practicaron una forma inicial de acuaponia, mediante la crianza de peces junto a las cosechas. Ellos construían islas artificiales conocidas como “chinampas” en pantanos y lagos someros, y plantaban en ellas maíz, zapallo y otras plantas. Los canales navegables que rodeaban las islas fueron usados para la crianza de peces. Los desechos de los peces que caían al fondo de los canales eran recuperados para fertilizar las plantas.

La acuaponia es un sistema de cultivo cerrado que fusiona la acuicultura con la hidroponía, combinando la cría de peces y el cultivo de plantas sin suelo utilizando el agua como medio principal. En este sistema, las plantas y los peces interactúan de manera beneficiosa: los desechos de los peces se convierten en nutrientes para las plantas, favoreciendo su crecimiento, mientras que las plantas purifican el agua al absorber compuestos tóxicos para los peces como el amonio y los nitritos, lo que reduce la necesidad de cambiar el agua con frecuencia (Intagri, 2017).

3.4 Componentes para un sistema acuaponico

3.4.1 Tanque de cultivo de peces

Según (FAO, 2020).

Los tanques de peces son un componente crucial en cada unidad. Como tal, los acuarios pueden representar hasta el 20 por ciento del costo total de una unidad acuapónica. Los peces requieren ciertas condiciones para sobrevivir y prosperar, y por lo tanto, la pecera debe elegirse sabiamente. Hay varios aspectos importantes a considerar, incluyendo la forma y el color.

Forma del tanque

Aunque cualquier forma de pecera funcionará, se recomiendan tanques redondos con fondos planos. La forma redonda permite que el agua circule uniformemente y transporta residuos sólidos hacia el centro del tanque por fuerza centrípeta. Los tanques cuadrados con fondos planos son perfectamente aceptables, pero requieren una eliminación más activa de residuos sólidos.

La forma del tanque afecta en gran medida la circulación del agua, y es bastante arriesgado tener un tanque con mala circulación. Los tanques de forma artística, con formas no geométricas y muchas curvas, pueden crear puntos muertos en el agua sin circulación.

Estas áreas pueden recolectar desechos y crear condiciones anóxicas y peligrosas para los peces. Si se va a utilizar un tanque de forma irregular, puede ser necesario añadir bombas de agua o bombas de aire para garantizar una circulación adecuada y eliminar los sólidos. Es importante elegir un tanque que se ajuste a las características de las especies acuáticas criadas, porque muchas especies de peces que habitan en el fondo muestran un mejor crecimiento y menos estrés con un espacio horizontal adecuado (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2019).

Color

Se recomienda encarecidamente el color blanco u otros colores claros, ya que permiten una visualización más fácil de los peces para comprobar el comportamiento y la cantidad de residuos depositados en el fondo del tanque. Los tanques blancos también reflejarán la luz solar y mantendrán el agua fría. Alternativamente, el exterior

de los tanques de colores más oscuros se puede pintar de blanco. En zonas muy cálidas o frías, puede ser necesario aislar aún más los tanques térmicamente (FAO, 2020).

Figura 5

Tanques para acuaponia



Fuente: acuaponia acoplada o desacoplada (Lujan, 2024).

3.4.2 Sistema de filtración mecánica

La filtración del agua es un aspecto esencial y inevitable en los sistemas de recirculación, ya que permite la separación y eliminación de los sólidos en suspensión, sean estos flotantes o no. Este proceso es fundamental para lograr diversos objetivos y beneficios, dado que las partículas suspendidas están compuestas principalmente por material fecal de los peces, restos de alimentos y otros organismos como bacterias, hongos y algas que proliferan en el sistema.

Si no se eliminan adecuadamente, los residuos sólidos pueden generar gases tóxicos al descomponerse por acción de bacterias anaeróbicas en el tanque de peces y pueden obstruir las raíces de las plantas, dificultando la absorción de nutrientes. La filtración mecánica no solo elimina estos sólidos, sino que también los retiene en una zona específica, donde se lleva a cabo otro proceso crucial: la mineralización, que libera nutrientes al agua. Este proceso es vital para el sistema y se inicia en la zona dedicada a la filtración biológica, también conocida como nitrificación (Somerville, *et al.* 2014).

3.4.3 Canales de cultivo

Los canales de siembra se han convertido en una opción muy popular entre quienes eligen los sistemas de cultivo hidropónico. Este método ofrece beneficios significativos para el desarrollo de las plantas y la calidad de los productos obtenidos. Es importante destacar que los canales de siembra facilitan una interacción continua entre todas las plantas del sistema.

El flujo constante de agua y nutrientes entre las plantas mejora su calidad. Estos canales de siembra están compuestos por conductos de plástico en los que se pueden utilizar diferentes sustratos para el cultivo, siendo la fibra de coco el más común. Este diseño permite que las plantas reciban un suministro adecuado de los elementos que necesitan para crecer.

Los canales están fabricados con plástico blanco en el exterior, lo que ayuda a reflejar los rayos del sol y proporciona luz adicional a las plantas, favoreciendo así una producción óptima. Durante el verano, el color blanco también ayuda a mantener la temperatura del sustrato bajo control. Además, esta reflexión de luz disuade a ciertos insectos y ácaros, protegiendo las plantas y evitando el crecimiento de malezas (HI, 2023).

Figura 6

Canales de cultivo



Fuente: (Parsons, 2023).

3.4.4 Bomba Sumergible

Muy comúnmente, una bomba de agua sumergible tipo impulsor se usa como el corazón de una unidad acuapónica, se podrían usar bombas externas, pero requieren más fontanería y son más apropiadas para diseños más grandes.

Es preferible utilizar bombas de agua de alta calidad para garantizar una larga vida útil y eficiencia energética. Las bombas de alta calidad mantendrán su capacidad de bombeo y eficiencia durante al menos 1-2 años, con una vida útil total de 3 a 5 años, mientras que los productos inferiores perderán su potencia de bombeo en un tiempo más corto, lo que reducirá significativamente los flujos de agua (FAO,2020).

Figura 7

Bomba sumergible para fuentes



Fuente: (Tienda del jardin, 2024).

3.5 Organismos a utilizar

3.5.1 Tilapia (*Oreochromis Niloticus*)

El cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) puede rastrearse hasta los antiguos tiempos egipcios, como lo indican los bajo-relieves de una tumba egipcia que data de más de 4,000 años atrás y que muestra peces en estanques ornamentales. Mientras tanto, la tilapia, principalmente *Oreochromis mossambicus*, se distribuyó ampliamente por todo el mundo durante las décadas de 1940 y 1950.

La tilapia del Nilo procedente de Costa de Marfil se introdujo en Brasil en 1971 y, desde allí, se envió a Estados Unidos en 1974. En 1978, la tilapia del Nilo se introdujo en China, actualmente el principal productor mundial, que ha producido continuamente más de la mitad de la producción global de 1992 a 2003.(FAO, 2024).

Figura 8

Tilapia del nilo Oreochromis niloticus.



Fuente: Fishbase (Stiassny, 2020).

La tilapia es la especie más comúnmente empleada en los sistemas acuapónicos. Una vez introducidos los peces en el tanque, las bacterias nitrificantes como *Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp., presentes en la naturaleza, comienzan a colonizar los sustratos de manera natural y espontánea.

En un sistema acuapónico, la presencia y actividad de estas bacterias pueden detectarse mediante análisis de muestras de agua, que revelan los niveles de amonio, nitritos y nitratos. Las bacterias *Nitrosomonas* sp. son las primeras en colonizar el sistema y convierten el amonio en nitrito, lo que disminuye la concentración de amonio y aumenta la de nitritos (FAO, 2014).

3.5.2 Hierbabuena (*Mentha Spicata*)

Mentha spicata considerada la más antigua de las mentas, la hierbabuena ha sido utilizada durante siglos por sus beneficios digestivos. Ya en la antigua Babilonia (1800 a.C.) se producen registros escritos que vinculan a esta planta con el tratamiento de malestares digestivos.

Si avanzamos en el tiempo hasta la edad media, podemos encontrar los primeros usos documentados de la hierbabuena como enjuague bucal. Gilbertus Anglicus, médico del siglo XIII, recomendaba en su obra *Compendium medicinae* mezclar las hojas de hierbabuena con vino o incluso masticarlas directamente (Muñoz, 2022).

La menta puede cultivarse en cualquier tipo de sistema hidropónico, siempre y cuando se cumplan las condiciones adecuadas, como los nutrientes, el espacio y el pH del agua. La combinación de todos estos elementos ofrecerá la mejor menta hidropónica posible, la menta crece bien en hidroponia.

Para la menta hidropónica, se recomienda mantener el nivel de pH entre 6.0 y 7.0. Esto significa que el agua es neutral y se considera balanceada, ya que no es demasiado alcalina ni ácida. Mantener un pH neutral facilita el cultivo de otras variedades de hierbas y verduras, como plantas de tomate o albahaca hidropónicas (Barrientos, 2023).

3.6 Parámetros del agua

3.6.1 Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues, por lo general, influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden ocasionar fluctuaciones en la temperatura del agua. El rango óptimo es de 28-32°C; cuando disminuye a los 15°C, los peces dejan de comer. Durante los meses fríos, los peces dejan de crecer y el consumo de alimento disminuye. Las temperaturas letales se ubican entre los 10 y 11°C (Intagri,2020).

3.6.2 Potencial de hidrógeno

El ph es una medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución. La “p” es por “potencial”, por eso el pH se llama: potencial de hidrógeno, se expresa como el logaritmo negativo de base 10 de la concentración de iones hidrógeno. las disoluciones ácidas tienen una alta cantidad de iones hidrógeno. Esto significa que tienen bajos valores de ph y, por tanto, su nivel de acidez es alto.

Así, una disolución será más ácida o menos ácida dependiendo de la cantidad de iones hidrógeno que tenga. Por otra parte, las disoluciones básicas (alcalinas) tienen bajas cantidades de iones hidrógeno. Esto significa que tienen elevados valores de pH y, por tanto, su nivel de acidez es bajo (Ondarse , 2021).

Figura 9

Escala de colorimétrica medida del ph.



Fuente: (Ondarse, 2021).

Es una variable fundamental que indica el grado de acidez o alcalinidad del agua. El pH interviene en la calidad del agua, determinando si un cuerpo de agua es duro o blando; es decir, evalúa los niveles de carbonatos presentes para el desarrollo del cultivo de una especie acuícola. El crecimiento de la tilapia se reduce en aguas ácidas; toleran un pH de 5. Los valores óptimos son de 6.5 a 9 (Intagri, 2019).

3.6.3 Oxígeno disuelto (OD)

Uno de los gases esenciales para los peces en el agua es el oxígeno. El oxígeno disuelto en un cuerpo acuático es crucial para la supervivencia de los organismos que habitan en él. Para asegurar un adecuado desarrollo, la concentración óptima de oxígeno se sitúa entre 4 y 6 mg/L, ya que tanto el metabolismo como el crecimiento se ven afectados negativamente cuando los niveles son bajos o se mantienen así durante períodos prolongados.

La tilapia tiene la habilidad de extraer el oxígeno disuelto; por ello, no se recomienda mantener una alta producción de plantas acuáticas superficiales en los mismos estanques, ya que ellas impiden la entrada de oxígeno de la atmósfera, por efecto de los vientos. Para aguas cálidas, deberá tenerse alrededor de 5 ppm. La elevada concentración de plancton trae como consecuencia, por la noche, bajas concentraciones de oxígeno disuelto (2 mg/L), haciéndose más crítico al amanecer (1 mg/L), lo que puede ocasionar la muerte de los peces (Centro de investigación biológica, 2017).

3.6.4 Amonio

El amoníaco o el amonio no ionizado (NH_3) es el producto principal del metabolismo de proteínas en peces, crustáceos y otros organismos acuáticos. También, las bacterias excretan NH_3 como producto de la descomposición de la materia orgánica en medios acuosos.

El amoníaco en el agua existe en dos formas: como iones de amonio (NH_4^+), los cuales no son tóxicos, y como amoníaco tóxico no ionizado (NH_3). La proporción relativa de uno u otro depende de la temperatura del agua y el pH. Tan solo 1.0 mg/L de amoníaco libre (NH_3) puede ser tóxico para muchos tipos de peces y camarones, causando irritación de las branquias y problemas respiratorio (Proain,2020).

3.6.5 Nitritos Y Nitratos

El nitrato y el nitrito son dos compuestos de nitrógeno que las plantas y los animales necesitan para vivir y crecer. Se presentan de manera natural en la tierra, el agua y el aire. El nitrato y el nitrito también se producen en el cuerpo (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2017).

Los nitritos son tóxicos para los peces, y su acumulación debe ser minimizada en los sistemas acuapónicos. En los sistemas bien establecidos, donde las bacterias nitrificantes convierten eficientemente el amonio en nitritos y luego en nitratos, los niveles de nitritos deben mantenerse lo más cerca posible de 0 mg/L. Idealmente, 0 mg/L es el nivel óptimo, ya que cualquier aumento significativo en los niveles de nitritos puede inducir estrés y enfermedades en los peces, e incluso llevar a la mortalidad (Moraes *et al.*, 2020).

El rango de nitratos seguro para peces es 0-50 mg/litro. Para los peces, los niveles de nitratos deben mantenerse por debajo de 50 mg/litro. Niveles superiores pueden ser perjudiciales, especialmente para especies sensibles. En concentraciones superiores a 100 mg/litro, los nitratos pueden causar problemas de salud en los peces, como dificultades respiratorias (Hernández *et al.*, 2020).

En la industria comercial, la mayoría de los nitratos se usan como fertilizantes para cultivos o césped. El nitrato y el nitrito también se usan en la conservación de alimentos, algunos medicamentos y en la producción de municiones y explosivos (ATSDR, 2017).

3.7 Parámetros de los peces

3.7.1 Factor de conversión alimenticia (FCA)

El Factor de Conversión Alimenticia (FCA), o FCR en inglés (sigla de Feed Conversion Rate), es un indicador que expresa la ganancia en peso del organismo cultivado en relación con el peso del alimento utilizado. En resumen, indica cuánto alimento se necesita para obtener 1 kg de músculo. En cultivos de tilapia, por ejemplo, el FCA se mantiene en promedio en 1:1,6, lo que significa que, por cada kg de pescado que obtenemos, debemos proporcionar 1,6 kg de alimento. El FCA varía dependiendo de las condiciones del cultivo, como la calidad del agua, el manejo alimenticio, el tipo de alimento y la etapa de vida del animal.

Para calcular el FCA, es necesario realizar biometrías periódicas. Una biometría es una medición del peso y la longitud de una muestra de peces de los tanques, para conocer el peso y la talla de la población (AFO, 2020).

"El Factor de Conversión Alimenticia se determinó con la cantidad de alimento suministrado y el delta de la biomasa: $FCA = \text{Cantidad de alimento dividido por la biomasa}$ " (Arnaldoa, 2019).

3.7.2 Ganancia media diaria (GMD)

La ganancia de peso es la capacidad de un animal de acumular tejido (proteína, grasa y minerales) y agua en un tiempo determinado, generalmente medido en base diaria (Ganancia Media Diaria o GMD) e influye en gran medida en el rendimiento. Animales con elevada ganancia de peso presentan un mayor rendimiento comparado con animales con bajas ganancias de peso sin importar la edad, principalmente debido a la modificación de las microfibras musculares, el mayor engrosamiento de las fibras musculares y una mayor acumulación de grasa intramuscular (García, 2023).

3.7.3 Porcentaje de mortalidad

"La mortalidad es un indicador clave para medir la salud y el bienestar de los peces a lo largo de los ciclos de producción. También es un indicador clave del rendimiento y la eficiencia de la producción" (Camanchaca, 2020).

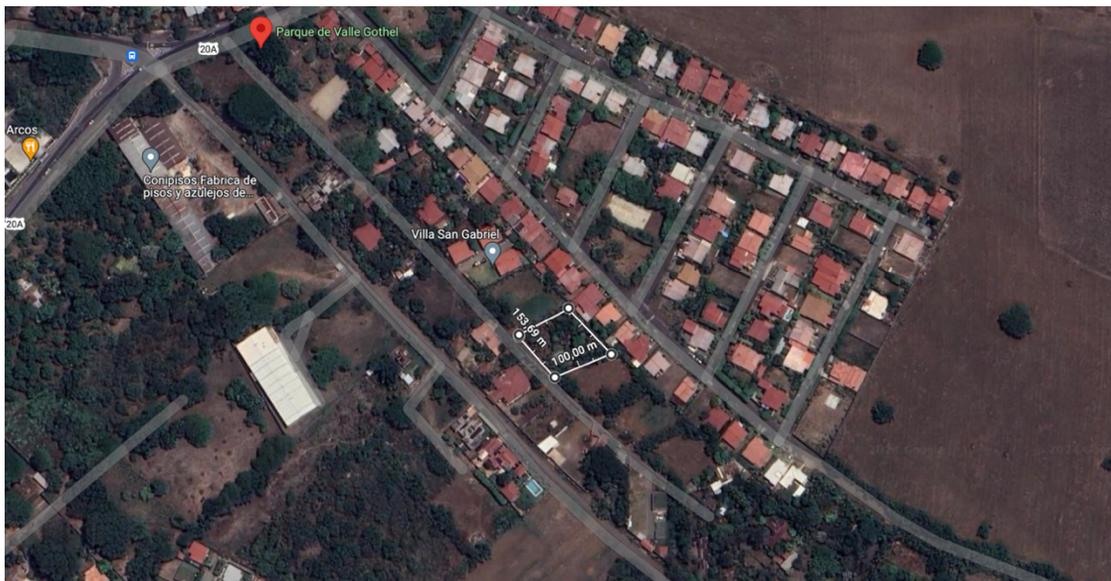
IV.MATERIALES Y METODOS

4.1 Ubicación del área de estudio.

El establecimiento del sistema se realizó en la iglesia Valle Gothel, ubicada en Veracruz municipio de Managua “latitud 12.074159 -Norte y 86° 20’ 39” de longitud oeste, a una altitud de 123 m s. n. m. y longitud 86.175442 O” (Google Maps, s.f.).

Figura 10

Ubicación del proyecto.



Nota: Vista satelital de la ubicación donde se llevo a cabo el proyecto en la comunidad Valle Gothel, Veracruz, Managua, Nicaragua. Fuente: Tomado de Google Maps (s.f.)

4.2 Diseño metodológico

4.2.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo mixta, descriptivo-exploratorio y lineal en el tiempo. Se realizó un estudio en el cual se recolectó la información sobre las variables del agua de un sistema acuapónico casero y el comportamiento productivo de los peces en este sistema, con el fin de documentar los efectos de los parámetros del agua sobre la viabilidad del sistema en cuestión.

4.2.2 Fase de campo

Establecimiento del ensayo

El sistema se trabajó con un promedio de 120 peces, con un peso promedio de 39 g y 11.5 cm de longitud, que estuvieron 70 días bajo supervisión para el estudio y 30 días para la construcción de las instalaciones. Los peces fueron colocados en una estructura de concreto y cemento con dimensiones de 1.73 m de largo, 1.30 m de ancho y 90 cm de profundidad de agua, lo que equivale a mil litros de agua. El sistema contó con dos bombas periféricas para la circulación del agua, alimentadas por una fuente de 110 voltios.

Figura 11

Base de madera para los canales de cultivo.



Nota: construcción de la base de madera para los canales de cultivo. *Fuente:* Elaboración propia.

Instalación y acondicionamiento del sistema acuapónico casero

Se realizó la instalación y acondicionamiento del sistema acuapónico casero, el cual se inició con la instalación del sistema acuapónico NFT, para el cual se utilizaron tubos de PVC de 3 metros de largo y 3 pulgadas de ancho, dispuestos a una distancia de 25 cm entre tubo y tubo.

La irrigación de la película de agua se realizó desde un tanque con capacidad de 1,500 litros, donde se encontraban los peces. El agua se trasladó desde el tanque a través

de un tubo de PVC de 1 ½ pulgada hacia el biofiltro, el cual contenía piedra volcánica roja y gris, lo que ayudó al establecimiento de colonias de bacterias nitrificantes dentro del sistema. El sistema debe contar con una bomba periférica, alimentada por una fuente de 110 voltios, la cual permitirá la recirculación de agua para completar el ciclo cerrado del sistema.

Figura 12

Canales de cultivo.



Nota: Construcción de los canales de cultivo. *Fuente:* Elaboración propia.

Figura 13

Creación del filtro.



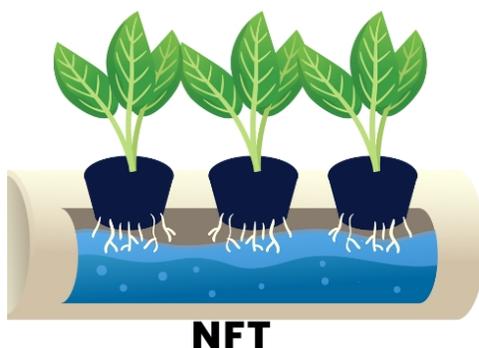
Nota: Relleno del filtro con piedra volcánica y hormigón rojo. *Fuente:* Elaboración propia.

Tipo de sistema

El sistema que se instaló es un sistema de película nutritiva (NFT), también conocido como "película de agua", el cual consiste en la utilización de un sistema de tuberías por las cuales corre una fina película de agua de aproximadamente 3 cm, cargada con nutrientes provenientes de las aguas donde permanecen los peces.

Figura 14

Sistema NFT



Nota: Vista interior de los canales de cultivo. *Fuente:* (Inverfarms, 2024).

Traspaso de los peces

Los peces fueron adquiridos en la Iglesia Valle Gothel, a través del pastor Don Carlos Silva, quien proporcionó un total de 120 ejemplares jóvenes. Cada pez tenía una longitud promedio de 11.5 cm y un peso de 39 g. Para garantizar su adaptación, los peces fueron aclimatados en estanques con agua del mismo origen que el tanque en el que finalmente se desarrollarían, evitando así cambios bruscos en la temperatura y el pH. Antes de su desarrollo, fueron trasladados a un tanque de 1500 litros.

Figura 15

Traspaso de los peces



Nota: Traspaso de los peces al tanque de 1500 litros. *Fuente:* elaboración propia.

Trasplante de la planta de hierbabuena

El trasplante consistió en recortar ramas de una planta adulta, aproximadamente de 10 cm de longitud, dejando de 2 a 3 hojas por cada rama. Se utilizaron vasos de tamaño #6, los cuales contaban con un orificio en la parte inferior y una esponja en el interior para proporcionar soporte. Al extraer la planta del sustrato, se lavó cuidadosamente y se colocó en el vaso, asegurando que el tallo sobresaliera por la parte inferior. Al ubicarla en los canales de cultivo, se verificó que tres cuartos del tallo estuvieran sumergidos.

Figura 16 Transplante de plantas



Nota: Plantas recortadas de 10 cm con 3 hojas. *Fuente:* elaboración Propia.

Figura 17 Establecimiento de las plantas



Fuente: Elaboración propia.

Alimentación

La alimentación de los peces en el estudio se realizó mediante las fórmulas propuestas por Ormaza (2023), donde se indica la cantidad suministrada según el peso total de los peces. Los peces fueron alimentados con un extrusado para levante de 32% de proteína, producido en la ciudad de Granada, Nicaragua, por la tienda Aquamundo. Los suministros de alimento se repartieron en 2 tiempos al día en raciones de 1 lb, dando un total de 140lbs suministradas durante todo el periodo.

4.3 Formulas para los índices de los peces y costo-beneficio

4.3.1 Factor de conversión alimenticia (FCA)

Este índice expresa la relación entre la cantidad de alimento suministrado y la ganancia de peso total de los peces, es decir, la cantidad de alimento utilizado para la producción de 1 lb de carne. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$FCA: \frac{\text{Alimento total suministrado (140lb)}}{\text{Peso total de los peces en lb (17.9lb)}} = 7.77lb$$

Nota: Formula para el factor de conversión alimenticia *Fuente:* (Ormaza, 2023).

4.3.2 Ganancia media diaria (GMD)

Este valor nos indica la ganancia de peso del pez en un día; se obtiene dividiendo el peso adquirido por el pez entre el número de días.

$$GMD: \frac{\text{Peso Final (67.64gr)} - \text{Peso Inicial (39gr)}}{\text{Numero de dias (70 dias)}} = 0.40gr$$

Nota: Formula para la ganancia media diaria *Fuente:* (Rojas *et al.*, 2019)

4.3.3 Ganancia de peso final (GPF)

Se realizaron pesajes sistemáticos al final del período de estudio, lo que nos permitió obtener datos precisos sobre el crecimiento de los organismos. Estos registros fueron fundamentales para calcular la ganancia de peso promedio total, lo que a su vez nos brindó una comprensión más clara de la eficacia del sistema acuapónico en términos de productividad y salud de los peces. Este análisis es esencial para evaluar el desempeño del sistema y determinar posibles áreas de mejora en futuras implementaciones.

4.3.4 Eficiencia alimenticia (EA)

Para determinar la eficiencia alimenticia, que es la capacidad de los peces de convertir el alimento consumido en crecimiento y producción de biomasa, se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia alimenticia: } \frac{\text{Peso total de todos los peces (17.9 lb)}}{\text{Total de alimento suministrado (140lb)}} \times 100 = \%12.8$$

Nota: Fórmula de Eficiencia Alimentaria *Fuente:* (Viña, 2019)

4.3.5 Porcentaje de mortalidad

La tasa de mortalidad, que fue causada por un mal manejo o alguna intoxicación, se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ mortalidad: } \frac{\text{Cantidad de peces muertos (2)}}{\text{Cantidad de peces total (120)}} \times 100 = \%1.66$$

Nota: Fórmula para el porcentaje de mortalidad *Fuente:* (Ormaza, 2023)

4.3.6 Costo beneficio

La fórmula para calcular el costo-beneficio (o índice de costo-beneficio, ICB) es una herramienta utilizada para evaluar la viabilidad económica de un proyecto o inversión. Se calcula comparando los beneficios generados por la inversión con los costos involucrados en su implementación. La fórmula básica es:

$$\text{Índice de Costo – Beneficio: } \frac{\text{Beneficios totales (136.3 DOL)}}{\text{Costos totales (310.15 DOL)}} = (-173.85 \text{ DOL})$$

Nota: Fórmula para el índice de costo beneficio *Fuente:* (Rios *et al.*, 2021).

4.3.7 Formula valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) se utiliza para calcular la rentabilidad de un proyecto de inversión, tomando en cuenta los flujos de efectivo futuros descontados al valor presente. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$VAN: \frac{Rt}{(1+i)t}$$

Fuente: (Sanchez *et al.*, 2019).

4.3.8 Formula tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto y se utiliza para comparar la rentabilidad de diferentes proyectos de inversión. La fórmula para la TIR es:

$$TIR: \frac{Rn}{(1+r)n}$$

Fuente: (Gomez *et al.*, 2020).

4.4 Toma de muestras de los peces

Se realizó el pesaje de los peces cada 23 días, para lo cual se vaciaba alrededor del 30% - 35% del agua en el tanque para facilitar el manejo de los peces y contrarrestar los parámetros alterados del agua al rellenar con agua limpia. Se tomaron el peso de los peces con una balanza gramera y la longitud y el ancho con una regla métrica. Estos pesajes se realizaban temprano por la mañana para evitar las temperaturas altas y el estrés de los peces.

Figura 18 Pesaje de los peces



Nota: Primer pesaje de los peces. *Fuente:* Elaboración propia.

4.4.1 Las técnicas e instrumentos de recolección de información

Se realizó un control del sistema acuapónico, donde diariamente se midió la calidad del agua utilizando el kit de test de agua dulce de la marca API, el cual mide pH, nitritos, nitratos y amonio. El oxígeno disuelto (OD) se midió utilizando el test de colorimetría de la marca SERA, y la temperatura fue tomada con un termómetro. Cada 23 días se realizó el pesaje y medición de los peces utilizando una balanza gramera y una regla métrica.

Figura 19 Materiales de monitoreo del agua



Nota: Kits de colorimetría para el manejo de parámetros del agua. *Fuente:* elaboración propia.

Tabla 1 Operalización de datos

Objetivo	Variable	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento de medicion	Metodo de recoleccion de datos	Frecuencia de medicion
1. Determinar los parámetros productivos de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) en un sistema acuapónico casero.	Ganancia de peso final (GPF)	Aumento de peso durante el ciclo de cultivo	Gramos (g)	Balanza digital	pesaje de los peces	Al final de las 10 semanas
	Ganancia media diaria (GMD)	Promedio de aumento de peso por día	Gramos por día (g/día)	Balanza digital	Pesaje de los peces	Cada 23 días durante las 10 semanas
	Tasa de mortalidad	Porcentaje de peces muertos	%	Registro de mortalidad	Conteo de peces muertos	Al final del ciclo de cultivo
	Eficiencia alimenticia (EA)	Porcentaje de alimento utilizado por los	%	Registro de alimento	Cálculo basado en consumo de alimento y peso final	Al final del ciclo de cultivo

		peces para crecimiento		suministrado y pesajes		
	Factor de conversion alimenticia (FCA)	Relación entre la cantidad de alimento consumido y el peso ganado por los peces	Libras (Lb)	Registro de alimento suministrado y pesajes	Cálculo basado en consumo de alimento y peso final	Al final del ciclo de cultivo
2. Definir los parámetros fisicoquímicos del agua en el sistema acuapónico casero.	Potencial de oxígeno (pH)	Acidez o alcalinidad del agua	pH	Kit de test de pH (API)	Análisis del agua	Diariamente
	Temperatura	Temperatura del agua	°C	Termómetro	Medición directa	Diariamente
	Oxígeno disuelto (OD)	Concentración de oxígeno en el agua	mg/litro	Test colorimétrico de oxígeno disuelto (SERA)	Análisis del agua	Diariamente

	Amoníaco (NH ₃)	Concentración de amoníaco en el agua	mg/litro		Kit de test de amoníaco (API)	Análisis del agua	Diariamente
	Nitritos y Nitratos	Concentración de nitratos en el agua	mg/litro		Kit de test de nitratos (API)	Análisis del agua	Diariamente
3. Valorar el costo-beneficio de la implementación y manejo de un sistema acuapónico casero como alternativa de producción de proteína a baja escala.	Costos de producción	Gastos en materiales, equipo, alimentación y energía	Dólares (\$)		Registro de gastos	Análisis de los costos de inversión y operativos	Al final del ciclo de cultivo
	Beneficios	Ingresos generados por la venta de peces y plantas	Dólares (\$)		Registro de ventas	Análisis de los ingresos generados	Al final del ciclo de cultivo

Costo- beneficio	Relación entre costos y beneficios	Ratio (costos/beneficios)	Cálculo de costo- beneficio	Fórmulas VAN, TIR Y Costos/Beneficios	Al final del ciclo de cultivo
---------------------	--	------------------------------	-----------------------------------	--	--

4.5 Análisis De Datos

Todos los datos obtenidos fueron registrados en tablas de Excel, donde se analizaron con un enfoque cualicuantitativo descriptivo-exploratorio para evaluar la relación entre los valores y la viabilidad del sistema.

4.6 Materiales y equipos

Tabla 2

Materiales y equipos utilizados	
Tubos PVC ½ “ 6 m	Bomba sumergible
Tubos PVC 3 “ 6 m	Vasos poroplast #6
Tapones PVC 3”	Barril de plástico 55 galones
Codos PVC ½ “	Balde de plástico 75 lts
Teflon	Pesa gramera
Conector Macho 2”	Cinta métrica
Tubo PVC 4”	Peces tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)
Tapon PVC ½ “	Tanque capacidad 2000 litros
Conector hembra 2”	Marco y sierra metálica
Piedra volcánica o Hormigon rojo	Barra de Silicone
Plantas (100)	Taladro
Martillo	Camara celular

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Comportamiento productivo de la tilapia

5.1.1 Ganancia de peso final (GPF)

La ganancia de peso final (GPF) de 67.64 gramos alcanzada por los peces al final de las 10 semanas de engorde en el sistema acuapónico es un resultado positivo que indica un crecimiento sostenido de los organismos. Este aumento de 28.64 gramos, partiendo de un peso promedio de 39 gramos, es representativo de un rendimiento moderado en condiciones de cultivo acuapónico, aunque no alcanza los niveles observados en sistemas acuapónicos intensivos o comerciales.

En estudios previos, como el de (Tacon *et al.* 2015), se reporta que en sistemas más controlados y optimizados, la tilapia puede alcanzar un peso final de entre 150 y 200 gramos en un período similar de cultivo, lo que sugiere que la GPF en el presente estudio se encuentra por debajo de esos valores, lo que podría atribuirse a varios factores, como la calidad de la alimentación, el manejo del sistema, y las condiciones ambientales subóptimas.

A pesar de que la GPF obtenida en este estudio es menor en comparación con los resultados de sistemas intensivos, es importante destacar que el sistema acuapónico estudiado muestra un rendimiento razonable dentro de las limitaciones de un sistema casero, donde los recursos son compartidos entre los peces y las plantas. Esta información es esencial para evaluar la viabilidad comercial del sistema acuapónico, dado que incluso una ganancia de peso más modesta puede ser rentable si se optimizan otros factores, como el costo de producción y la calidad de los productos cosechados.

(Love *et al.* 2015) sugieren que la mejora en la dieta de los peces, junto con un manejo adecuado del agua y las condiciones ambientales, son fundamentales para incrementar la GPF y, por ende, mejorar la eficiencia del sistema. En este sentido, la investigación futura debe enfocarse en la optimización de estos factores para alcanzar un mayor rendimiento productivo, lo que podría permitir a sistemas acuapónicos caseros y de pequeña escala ser más competitivos desde una perspectiva comercial.

5.1.2. Ganancia media diaria (GMD)

La ganancia media diaria (GMD) observada en este estudio fue de 0.40 gramos por día, un valor que indica un crecimiento moderado de los peces durante las 10 semanas de cultivo en el sistema acuapónico. Este dato proporciona una visión general de la salud y el bienestar de los peces, sugiriendo que, en términos generales, se encontraban en un ambiente adecuado para su desarrollo. Un valor de 0.40 gramos por día puede considerarse un buen indicador de que los peces no sufrieron con las condiciones del sistema, tales como la calidad del agua, la oxigenación y la temperatura, fueron satisfactorias para un crecimiento aceptable.

Sin embargo, al comparar estos resultados con estudios previos en sistemas acuapónicos o de cultivo intensivo de tilapia, se observa que la GMD en este estudio es relativamente baja. Investigaciones previas han reportado tasas de crecimiento superiores, entre 0.8 y 1.2 gramos por día, en sistemas de cultivo intensivo bien gestionados (Ficke *et al.*, 2016).

Esta diferencia podría atribuirse a las características del sistema acuapónico en el que se realizó el estudio, donde los recursos se distribuyen tanto para el crecimiento de los peces como de las plantas, lo que puede limitar la cantidad de nutrientes disponibles para los peces. A pesar de este crecimiento moderado, la GMD de 0.40 gramos por día sigue siendo un indicador de un rendimiento aceptable dentro de las condiciones del sistema implementado, sin que se presentaran factores extremos que afectaran negativamente la salud de los peces.

5.1.3 Porcentaje de mortalidad

El porcentaje de mortalidad observado en este estudio fue de 1.66%, un valor considerablemente bajo que sugiere que las condiciones del sistema acuapónico y el manejo de los peces fueron adecuadas durante el ciclo de cultivo. Este resultado es un buen indicativo de la eficiencia en el manejo de factores clave, como la calidad del agua, la temperatura y la oxigenación. La tasa de mortalidad registrada está dentro de los márgenes aceptables reportados en la literatura, lo que refleja un sistema estable y un cuidado adecuado de los organismos.

Además, este valor es consistente con otros estudios de sistemas acuapónicos y acuícolas bien gestionados, donde las tasas de mortalidad suelen mantenerse bajas cuando se implementan prácticas de manejo eficientes.

Estudios previos han reportado tasas de mortalidad similares en sistemas acuáticos controlados. Por ejemplo, Kassam *et al.*, (2017) encontraron una tasa de mortalidad del 2.1% en sistemas de acuicultura intensiva, lo que resalta la efectividad de un manejo adecuado en términos de condiciones ambientales y alimentación.

Agh *et al.*, (2020) también documentaron una mortalidad del 1.5% en sistemas de recirculación de agua para tilapia, lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio. La mortalidad registrada en este estudio se debió principalmente a errores en el manejo de los peces durante los pesajes, lo que resalta la importancia de una manipulación adecuada en cada fase del proceso de cultivo.

Aunque el porcentaje de mortalidad fue bajo, algunos estudios sugieren que una mayor atención a los detalles en las etapas de manejo puede permitir una reducción aún mayor de la mortalidad, lo que podría mejorar la viabilidad del sistema en futuras implementaciones (Hernández *et al.*, 2020).

5.1.4 Eficiencia alimenticia

El porcentaje de eficiencia alimenticia (EA) registrado en este estudio, de 12.8%, indica que una proporción relativamente baja del alimento suministrado se está utilizando eficazmente para el crecimiento de los peces. Este valor es considerablemente bajo en comparación con los resultados reportados en otros estudios sobre sistemas acuapónicos y acuicultura recirculante.

Por ejemplo, en sistemas intensivos de cultivo de tilapia, la eficiencia alimenticia suele oscilar entre 30% y 40% He *et al.*, (2021). De manera similar, Verma *et al.*, (2019) reportaron valores de eficiencia alimenticia de entre 20% y 25% en sistemas recirculantes. El valor de 12.8% observado en este estudio sugiere que hay margen significativo para mejorar el aprovechamiento del alimento en el sistema estudiado, lo que podría conducir a una mayor productividad con un menor costo en recursos.

Una posible explicación de la baja eficiencia alimenticia podría estar relacionada con la naturaleza del sistema acuapónico, en el cual los recursos, como el nitrógeno y otros nutrientes, se deben compartir tanto entre los peces como las plantas. En este contexto, la competencia por estos nutrientes podría estar limitando el aprovechamiento del alimento por parte de los peces. Además, se ha observado que las condiciones del agua, como la temperatura, el pH y los niveles de oxígeno disuelto, influyen en la digestibilidad del alimento y la eficiencia en su conversión en biomasa (Cao *et al.*, 2022).

En este estudio, los peces pudieron no haber tenido acceso a una cantidad óptima de nutrientes debido a subóptimas condiciones del agua o a la calidad del alimento. Esto abre la puerta a futuras investigaciones que podrían abordar la optimización de la dieta y el manejo del sistema, lo que permitiría una mejora sustancial en la eficiencia alimenticia y, por ende, en la rentabilidad del sistema acuapónico.

5.1.5 Factor de conversión alimenticia (FCA)

El FCA indica que se necesitaron 7.77 libras de alimento para producir una libra de carne de los peces. Este valor es crucial, ya que refleja la eficiencia con la que los peces convierten el alimento en masa corporal. Un FCA relativamente alto puede sugerir que hay margen para mejorar la eficiencia alimentaria, ya sea mediante la optimización de la dieta o mejorando las condiciones del sistema acuapónico.

El valor de 7.77 libras de alimento por libra de carne obtenido en este estudio es considerablemente más alto en comparación con los resultados reportados en la literatura sobre la tilapia, donde los índices de conversión alimentaria (ICA) típicamente varían entre 1.3 y 2.5 libras de alimento por libra de peso corporal. Por ejemplo, en sistemas intensivos de cultivo, se ha documentado que se requieren solo 1.3 a 2.0 libras de alimento para producir una libra de carne de tilapia (Ghanawi *et al.*, 2020).

En sistemas acuapónicos, aunque los ICA tienden a ser algo más altos debido a la competencia por nutrientes entre peces y plantas, los valores reportados no superan generalmente las 2.5 libras Dumas *et al.*, (2018). El FCA de 7.77 libras observado en este estudio sugiere que existe un margen considerable para mejorar la eficiencia alimentaria, posiblemente mediante una mejor optimización de la dieta, el manejo adecuado de las condiciones del sistema acuapónico o la selección de cepas de tilapia con mayor potencial de conversión de alimentos.

5.2 Parámetros fisicoquímico del agua

5.2.1 pH

En el presente estudio, los resultados del pH en el sistema acuapónico fluctuaron entre 7.5 y 8 durante los 70 días de cultivo, lo que se considera un rango adecuado tanto para la tilapia como para el proceso biológico de nitrificación en el biofiltro. Este rango de pH se encuentra dentro de los valores óptimos reportados en diversos estudios previos, como los de Ravindran *et al.*, (2020) y Gutiérrez *et al.*, (2019), quienes señalaron que un pH ligeramente alcalino favorece tanto la salud de los peces como la actividad de los microorganismos nitrificantes.

De hecho, varios estudios, como el de Tassou *et al.*, (2016), han destacado que un pH entre 7.5 y 8 es ideal para el crecimiento de tilapia en sistemas acuapónicos, ya que este rango favorece tanto la absorción de nutrientes por las plantas como la eficiencia del proceso de nitrificación. En este sentido, los resultados obtenidos en este estudio coinciden con lo señalado por los autores mencionados, lo que refuerza la idea de que el pH es un parámetro crucial para el buen funcionamiento de los sistemas acuapónicos.

Las fluctuaciones de pH observadas en este estudio fueron relativamente pequeñas y se mantuvieron dentro de los rangos considerados adecuados para la tilapia y los microorganismos nitrificantes. Estas variaciones, aunque fueron inevitables debido a factores operativos como el manejo del agua y las interacciones entre peces y plantas, no parecieron representar un riesgo significativo para la salud de los peces ni para la eficiencia del sistema.

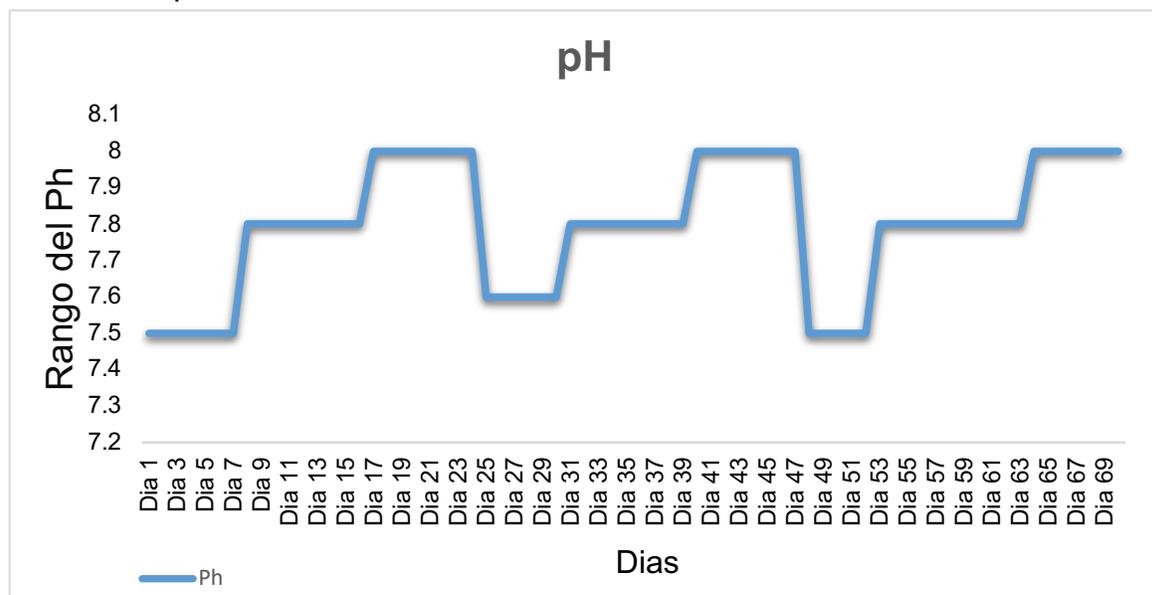
Este fenómeno está en línea con las observaciones de Ali *et al.*, (2020), quienes reportaron fluctuaciones similares en sistemas acuapónicos de tilapia sin consecuencias adversas siempre que se mantuvieran dentro de los rangos óptimos. Además, aunque Moussa *et al.*, (2020) destacaron que las fluctuaciones del pH pueden alterar el equilibrio químico del agua y afectar la eficiencia de la nitrificación, en este estudio las variaciones no fueron suficientemente amplias como para reducir la eficacia del proceso de conversión de amoníaco.

Es relevante señalar que, según Ohtsuka *et al.*, (2017), la estabilidad del pH es fundamental para la actividad de los microorganismos nitrificantes. Incluso pequeñas fluctuaciones fuera de los rangos recomendados pueden reducir la eficiencia de la conversión de amoníaco, lo que podría afectar la calidad del agua. En este estudio, las fluctuaciones se mantuvieron dentro de los límites aceptables, lo que contribuyó a que no se observaran efectos negativos en la nitrificación ni en la calidad del agua.

Este hallazgo está en consonancia con las investigaciones previas, como las de Zhang *et al.*, (2021), quienes indicaron que los picos o valles pronunciados de pH pueden inducir estrés fisiológico en los peces, afectando su tasa de crecimiento y salud general. No obstante, los valores registrados en este estudio no fueron tan extremos como para causar efectos adversos en los peces, lo que sugiere que el manejo del pH fue adecuado para prevenir el estrés en los organismos.

Figura 20

Grafica del pH



Nota: Registros diarios del Ph agua del tanque, biofiltro y canales de cultivo en un periodo de 70 dias.

5.2.2 Temperatura

Los resultados obtenidos en este estudio respecto a la temperatura del agua en el sistema acuapónico muestran que se mantuvo dentro del rango de 25 a 30 grados Celsius, lo que es considerado óptimo para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Este intervalo coincide con lo reportado en la literatura científica, como en los estudios de Othman *et al.*, (2017) y Tacon *et al.*, (2018), quienes coinciden en que la tilapia prospera mejor en ambientes cálidos, con temperaturas cercanas a los 28°C. Este rango de temperatura favorece el metabolismo de los peces y, por ende, su tasa de crecimiento, lo que sugiere que el sistema acuapónico estudiado estuvo dentro de las condiciones adecuadas para el desarrollo de los organismos acuáticos.

Sin embargo, a pesar de que las temperaturas se mantuvieron en niveles óptimos, se observó que existieron fluctuaciones mínimas en la temperatura a lo largo del ciclo de cultivo. Este fenómeno es común en sistemas acuapónicos, especialmente aquellos que no están completamente controlados en términos de climatización. Factores externos como la exposición directa al sol o cambios en la temperatura ambiente pueden generar pequeñas variaciones en el rango térmico del sistema.

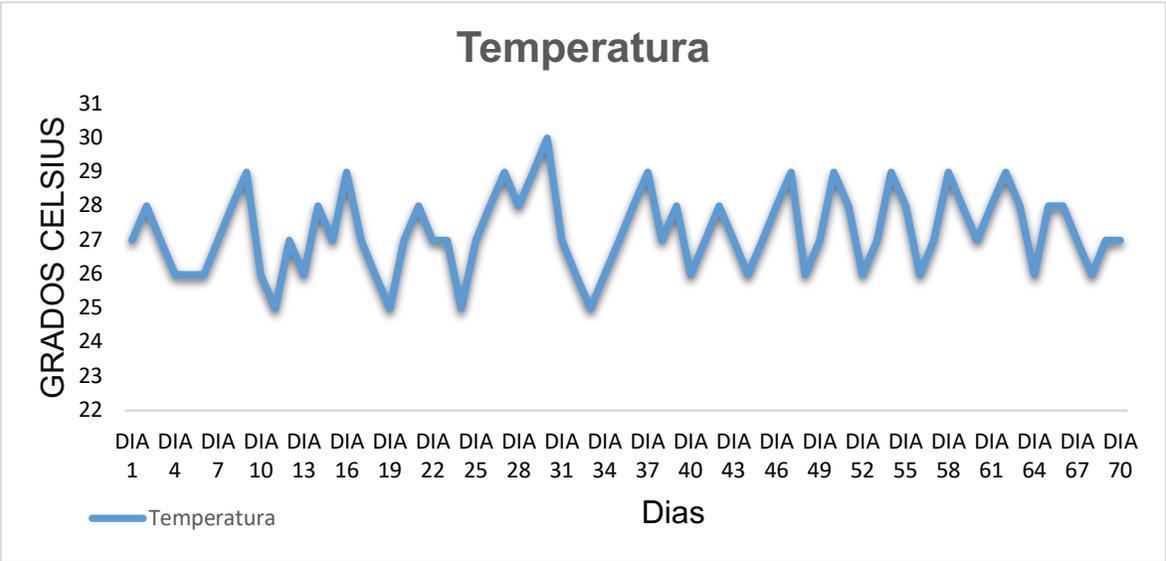
Aunque en este estudio las fluctuaciones no fueron significativas, estudios previos como los de Badiola *et al.*, (2020) y Santos *et al.*, (2021) han señalado que incluso pequeñas variaciones pueden afectar la eficiencia del sistema acuapónico, particularmente cuando las temperaturas se acercan a los límites extremos de confort para los peces (22°C a 32°C). Las temperaturas fuera de este rango pueden inducir estrés en los peces, lo que afecta su salud y crecimiento.

En general, los resultados de este estudio indican que el rango de temperatura observado fue adecuado para el desarrollo de la tilapia y los procesos biológicos de nitrificación en el sistema acuapónico. No obstante, las fluctuaciones de temperatura, aunque pequeñas, subrayan la importancia de gestionar y monitorear continuamente este parámetro en sistemas acuapónicos.

La literatura respalda esta necesidad de control térmico, como lo evidencian los estudios de Yavuz *et al.*, (2019), quienes resaltan la relevancia de mantener condiciones térmicas estables para garantizar el buen funcionamiento del sistema, optimizando tanto el crecimiento de los peces como el rendimiento de las plantas. En este sentido, el manejo adecuado de las fluctuaciones térmicas será crucial para asegurar la salud de los organismos y el éxito en futuros cultivos.

Figura 21

Grafica de la temperatura



Nota: Rangos de temperatura registrados durante los 70 dias.

5.2.3 Oxígeno disuelto

En este estudio, los niveles de oxígeno disuelto en el sistema acuapónico se mantuvieron entre 5 y 6 mg/L durante los 70 días de cultivo, lo cual se encuentra dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia y para los procesos biológicos del sistema. Estos valores coinciden con lo reportado en investigaciones previas, como el trabajo de Moraes *et al.*, (2019), quienes afirman que este rango es adecuado tanto para la salud de los peces como para la actividad de las bacterias nitrificantes.

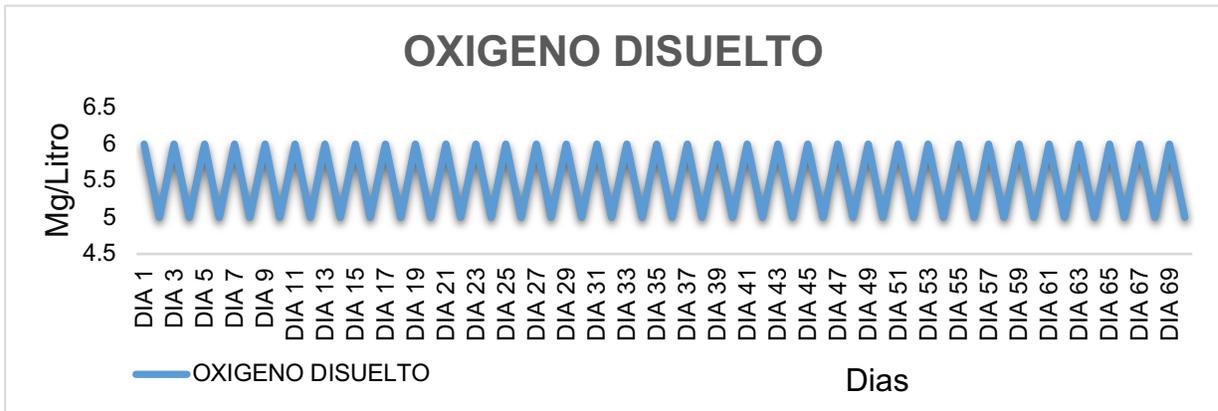
Estas bacterias requieren oxígeno para llevar a cabo el proceso de conversión del amoníaco en nitratos, que a su vez son nutrientes esenciales para las plantas en el sistema acuapónico. Así, la estabilidad en los niveles de oxígeno disuelto no solo favorece el bienestar de los peces, sino también asegura un adecuado ciclo de nitrificación, crucial para el funcionamiento equilibrado del sistema.

La estabilidad de los niveles de oxígeno disuelto observada en este estudio sugiere un control eficiente en la circulación y aireación del agua, aspectos clave para el buen funcionamiento de un sistema acuapónico. Este hallazgo es consistente con el estudio de Li *et al.*, (2021), que enfatiza que una adecuada oxigenación no solo favorece el bienestar de los peces, sino que también optimiza la interacción entre los organismos acuáticos y las plantas, resultando en un mejor crecimiento y rendimiento general del sistema.

De acuerdo con este estudio, mantener niveles estables de oxígeno es esencial para el éxito del cultivo acuapónico, ya que garantiza un ambiente saludable para ambos componentes del sistema. En resumen, los resultados de este estudio confirman que el manejo eficiente de los niveles de oxígeno disuelto fue adecuado, asegurando condiciones propicias para el desempeño tanto de los organismos acuáticos como para los procesos biológicos clave en el sistema.

Figura 22

Grafica del oxigeno disuelto



Nota: Registro del oxigeno disuelto durante todo el periodo.

5.2.4 Amonio

Durante el transcurso del estudio, se observó un aumento progresivo en los niveles de amonio en el sistema acuapónico, lo que tuvo un impacto significativo en el rendimiento general del sistema. En los primeros días, los niveles de amonio se mantuvieron en 0.00 mg/litro, lo que inicialmente indicaba un ambiente adecuado. Sin embargo, a partir del sexto día, se registró un aumento gradual de 0.25 mg/litro, alcanzando 1.00 mg/litro al día 23.

Este incremento en los niveles de amonio se puede atribuir a la acumulación de desechos metabólicos de los peces, superando los umbrales óptimos para el sistema y afectando la estabilidad de los parámetros acuáticos.

Según Moussa *et al.*, (2021), niveles superiores a 0.5 mg/litro de amonio son una fuente de estrés para los sistemas acuapónicos, lo que se traduce en una disminución de la eficiencia general del sistema. En este caso, la acumulación de amonio contribuyó a una disminución en la eficiencia del sistema en cuanto a la conversión de recursos y el equilibrio entre los organismos acuáticos y las plantas. Este fenómeno se encuentra en línea con lo señalado por Al-Hafedh *et al.*, (2021), quienes subrayan que los niveles elevados de amonio son uno de los factores limitantes en la productividad de los sistemas acuapónicos cuando no se controlan adecuadamente.

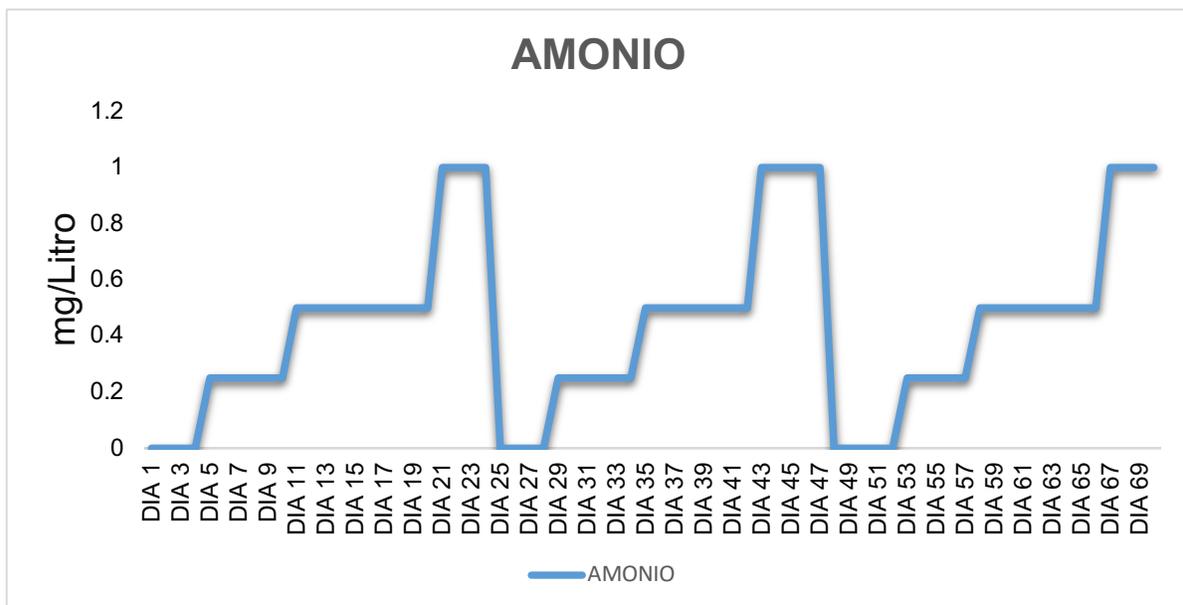
A pesar de la implementación de un programa de manejo que incluyó cambios regulares de agua del 30% cada 23 días, la reducción en los niveles de amonio no fue suficiente para mitigar completamente su impacto en el sistema. Pérez *et al.*, (2018) destacan que la frecuencia de los cambios de agua es crucial, pero en sistemas con alta carga biológica o con biofiltros de eficiencia limitada, estos cambios pueden no ser suficientes para mantener los niveles de amonio dentro de los rangos ideales.

En este estudio, a pesar de los esfuerzos por controlar este parámetro, los niveles de amonio permanecieron elevados, lo que afectó la eficiencia global del sistema.

El aumento progresivo de amonio en el sistema reflejó un desafío importante en el manejo del sistema acuapónico, contribuyendo a la ineficiencia en la conversión de recursos y afectando la rentabilidad del proyecto. Este fenómeno destaca la necesidad de un control más riguroso de los parámetros fisicoquímicos, especialmente los relacionados con los desechos metabólicos, para garantizar un funcionamiento más eficiente en futuros cultivos acuapónicos.

Figura 23

Grafica del amonio



Nota: Registros del amonio obtenidos durante los 70 días.

5.2.5 Nitritos

Los niveles de nitritos en el sistema acuapónico se mantuvieron consistentemente en 0 mg/litro durante todo el estudio, lo que es un indicativo de un sistema bien equilibrado y saludable. La ausencia de nitritos es un resultado altamente positivo, ya que estos compuestos pueden ser tóxicos para los peces si alcanzan concentraciones elevadas así como lo menciona el estudio de (Moraes *et al.*, 2020).

La estabilidad de los niveles de nitritos en 0 mg/litro también sugiere que el sistema estaba correctamente manejado en términos de oxigenación, alimentación y densidad de peces, factores clave que favorecen el éxito de la nitrificación.

Según Abdallah *et al.*, (2019), un adecuado manejo de estos parámetros reduce significativamente los riesgos de acumulación de nitritos, lo que puede ser tóxico para los peces, afectando su tasa de crecimiento y supervivencia. La correcta oxigenación del agua, en particular, es esencial para las bacterias nitrificantes, ya que estas requieren oxígeno para realizar el proceso de conversión del amonio en nitratos esto coincide con la investigación de (Ali *et al.*, 2020).

Los niveles estables de nitritos en 0 mg/litro reflejan un adecuado manejo del sistema acuapónico y la funcionalidad del biofiltro. Este resultado sugiere que el sistema estuvo bien equilibrado hasta cierto punto, lo que benefició tanto a los peces como a las plantas, y contribuyó a que no hubiera la toxicidad de los nitritos.

5.2.6 Nitratos

Los niveles de nitratos (NO_3^-) en el sistema acuapónico mostraron una tendencia variable durante el estudio. En los primeros 10 a 11 días, los nitratos se mantuvieron en 0.00 mg/litro, lo que indica que la conversión del amonio a nitritos y, posteriormente, a nitratos aún no estaba completamente establecida. Sin embargo, a partir del día 12, se observó un aumento en los niveles de nitratos, alcanzando 5.00 mg/litro, y para el día 19, los niveles aumentaron a 10.00 mg/litro, lo que indica que el proceso de nitrificación estaba en marcha, favorecido por la actividad de las bacterias nitrificantes en el biofiltro.

A pesar de la acumulación de nitratos, los niveles disminuyeron a 5.00 mg/litro después del día 19, lo cual se puede atribuir a los cambios de agua programados cada 23 días, que reemplazaron el 30% del agua del sistema. Este manejo se implementó como parte de la estrategia para controlar los niveles de amonio elevados y evitar la toxicidad en el agua.

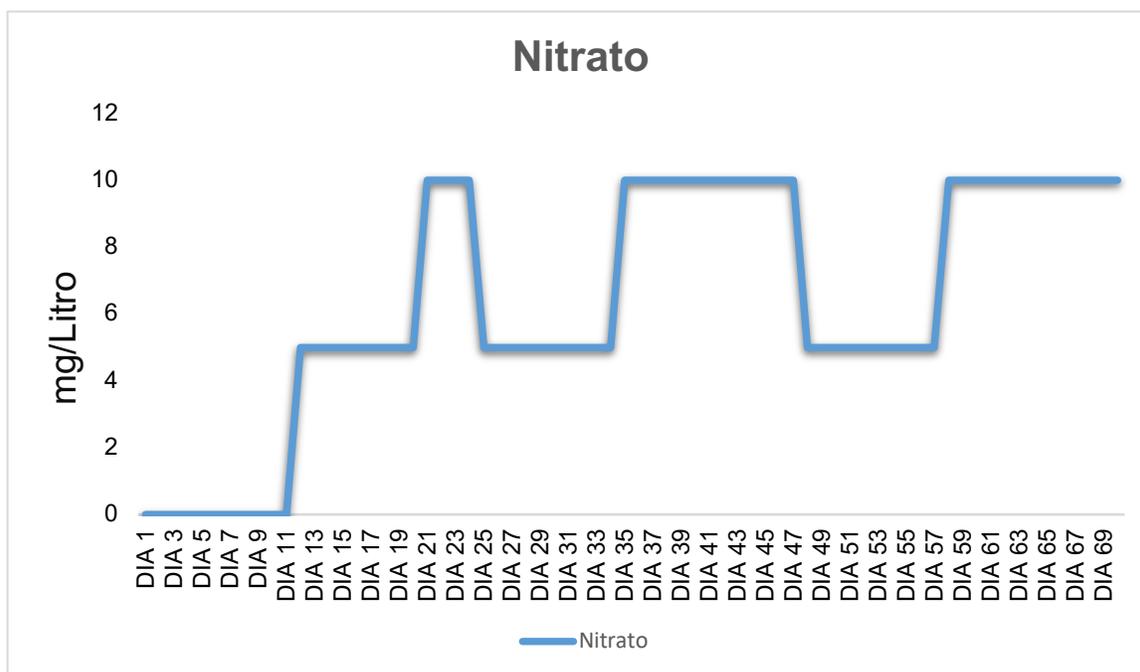
Según Gómez *et al.*, (2017), los cambios regulares de agua son una técnica efectiva para controlar la concentración de compuestos tóxicos como el amonio, pero también tienen un impacto directo en la concentración de nitratos, ya que parte de estos nutrientes son removidos durante el proceso de renovación del agua. La reducción de nitratos en este estudio, por lo tanto, es un reflejo de esa práctica de manejo que ayudó a mantener el equilibrio y evitar la toxicidad del amonio para la salud del sistema.

La fluctuación observada en los niveles de nitratos subraya la importancia de un manejo adecuado en los sistemas acuapónicos. En el estudio de Rana *et al.* (2020) indican que las fluctuaciones en los niveles de nitratos pueden ser resultado de varios factores, como el ciclo de nutrientes entre los peces, el biofiltro y las plantas, así como las prácticas de manejo, como los cambios de agua. Aunque las fluctuaciones son normales en los sistemas acuapónicos, su monitoreo y ajuste son fundamentales para evitar desequilibrios que puedan afectar tanto el bienestar de los peces como el crecimiento de las plantas.

Los resultados de nitratos en este estudio reflejan la dinámica típica de los sistemas acuapónicos, donde los niveles aumentan gradualmente a medida que se establece la actividad de las bacterias nitrificantes y el equilibrio del sistema. Aunque se observaron fluctuaciones en los niveles de nitratos, estas variaciones fueron gestionadas adecuadamente mediante los cambios de agua, lo que permitió mantener un entorno favorable para los organismos acuáticos y las plantas.

Figura 24

Grafica del nitrato



Nota: Registros obtenidos del nitrato durante los 70 días

5.3 Costos de construcción

Tabla 3 Costos de los materiales utilizados para la construcción

Material	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio unitario (C\$)	Total (\$)
Tubos PVC ½ “ 6 m	7	3.32	121.67	23.24
Tubo PVC 4” 1 m	1	6.82	250	6.82
Tubos PVC 3 “ 6 m	8	7.82	286.46	62.58
Tapones PVC 3”	16	0.49	18.10	7.90
Tapon PVC ½ “	8	0.09	3.64	0.79
Codos PVC ½ “	6	0.15	5.52	0.90
Codos PVC 3”	6	2.38	87.34	14.31
Conector Macho 2”	2	0.61	22.51	1.22
Conector hembra 2”	2	0.64	23.64	1.28
Reductor liso 2”	1	0.74	27.38	0.74
Reductor Liso ½ “	1	0.22	8.08	0.22
Teflón	1	0.54	20	0.54
Latas de hormigón rojo	4	0.81	30	3.27
Bomba sumergible para fuente	2	60	2,197	120
Vasos poroplast #6	100	14.63	535.47	14.63
Barril de plástico 55 galones	1	55	2,014.1	55
Tanque de plástico 75 lts	1	20	732.4	20
Extrusado %32 proteína engorde	2	71	2600	142
Kit test Freshwater API	1	40	1,464.8	40
Oxygen test SERA	2	20	732.4	40
Hoja para sierra	1	1.75	64.3	1.75
Sellador transparente	1	6.73	246.7	6.73
Costos totales			20,661	564.2

En la presente investigación, el costo de construcción del sistema acuapónico casero para la producción de tilapia y plantas de hierbabuena se estimó en 564.2 dólares, lo que incluye todos los elementos esenciales como los tanques, bombas de agua, sistema de tuberías, biofiltro y otros materiales de instalación.

Este valor se encuentra dentro de un rango competitivo en comparación con estudios recientes sobre la construcción de sistemas acuapónicos caseros. Por ejemplo, un estudio realizado por (González *et al.*, 2019) en Ecuador sobre sistemas acuapónicos de pequeña escala reportó costos de construcción que varían entre 400 y 600 dólares, dependiendo de los materiales utilizados y el tamaño del sistema.

Igualmente, en un análisis realizado por (Hernández *et al.*, 2017) en México, se estimó un costo aproximado de 500 dólares para la instalación de sistemas acuapónicos de bajo costo, lo que coincide con los hallazgos de esta investigación.

Al comparar estos costos con los resultados obtenidos por otros autores en los últimos diez años, se observa que la construcción de sistemas acuapónicos caseros sigue siendo una opción económicamente viable para proyectos de pequeña escala. Estos estudios demuestran que el costo de 564.2 dólares de este proyecto se encuentra dentro de los rangos establecidos en la literatura, destacando que, en general, la construcción de un sistema acuapónico casero sigue siendo accesible para pequeños productores interesados en adoptar este tipo de producción sostenible, con una relación costo-beneficio favorable para el cultivo simultáneo de peces y plantas.

Tabla 4 Costos de producción del sistema acuapónico

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario(\$)	Precio unitario (C\$)	Total (\$)
Costos fijos de operación					
Consumo eléctrico de las bombas de agua	kWh	40.32	0.21	7.29	8.46
Costos variables					
Plantas de menta	Unidad	30	0.82	30	24.59
Tilapia joven 30gr	Unidad	120	0.68	25	81.96
Consumo de agua	m3	2.02	0.84	31	1.71
Extrusado %32 proteína	Lbs	140	0.70	26	98
Costos totales de la construcción					
Costos fijos					8.46
Costos variables					206.26
Total de egresos					310.15
Cálculo económico de la utilidad de un sistema acuapónico					
Biomasa(Tilapia)	Lbs	17.89	2.73	100	48.87
Menta	Unidad	80	1.09	40	87.43
Ingreso total					136.3
Indicador económico / costo beneficio					
Beneficio total					136.3
Costos totales					310.15
Total					-173.85

En el análisis de costo-beneficio realizado para el sistema acuapónico casero, los resultados indican que los costos de producción fueron mayores que los beneficios obtenidos. El costo total de construcción del proyecto fue de 564.2 dólares, con costos operativos recurrentes de 310.15 dólares durante el ciclo de cultivo. Los ingresos por los beneficios generados por la venta de tilapia fueron de 136.30 dólares, lo que resultó en una pérdida neta de -173.85 dólares en este primer ciclo de producción.

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se calcularon el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) utilizando una tasa de descuento del 10%. El VAN fue negativo(-634.76USD), lo que indica que el valor presente de los flujos de caja futuros es menor que la inversión inicial, lo que sugiere que el proyecto no ha sido rentable en este período de análisis.

La TIR se calculó como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. En este caso, como el VAN resultó negativo con una tasa de descuento del 10%, describiendo U\$ 45.75 podemos inferir que la TIR es superior al 10%. La TIR en este proyecto supera el costo de capital, lo que indica que el sistema no ha sido rentable hasta el momento para el año 1.

Los resultados obtenidos en este análisis coinciden con la expectativa de que los sistemas acuapónicos caseros, especialmente en sus primeras fases, tienden a no ser rentables debido a los altos costos de inversión y los gastos operativos recurrentes. La inversión inicial de 564.2 dólares en materiales, equipos e infraestructura, sumada a los costos operativos recurrentes de 310.15 dólares, no fue suficiente para generar los ingresos necesarios para cubrir estos gastos y generar una ganancia.

Estos resultados son consistentes con estudios previos que señalan que los sistemas acuapónicos caseros, especialmente aquellos de pequeña escala, enfrentan desafíos financieros en sus primeras fases de operación. (Goddek *et al.*, 2019) y otros investigadores han destacado que la rentabilidad de estos sistemas puede no ser inmediata y que, a menudo, los beneficios no cubren los costos en los primeros ciclos de producción, lo que afecta negativamente el VAN y la TIR en el corto plazo.

Aunque los resultados no fueron rentables en esta etapa inicial, el sistema acuapónico tiene un potencial de sostenibilidad y eficiencia a largo plazo. A medida que se optimicen los parámetros operativos (como la eficiencia alimenticia, el manejo de los nutrientes y la escala del sistema) y se incremente la producción, podría esperarse una mejora en la rentabilidad en ciclos futuros. Esto sugiere que, aunque la inversión no se ha recuperado en este primer ciclo, un ajuste en la operación y un mayor tiempo de funcionamiento pueden permitir alcanzar una rentabilidad positiva a largo plazo.

VI. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió cumplir con los tres objetivos establecidos, brindando una visión detallada del desempeño de un sistema acuapónico casero con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y sus implicaciones en términos de producción, calidad del agua y viabilidad económica.

Determinación de los parámetros productivos de la tilapia: Aunque los parámetros productivos de la tilapia fueron determinados con éxito, los resultados obtenidos no alcanzaron los niveles deseados en términos de crecimiento de los peces. A pesar de ello, el estudio evidenció que el sistema fue capaz de mantener un crecimiento moderado, lo que sugiere que los peces se desarrollaron en un entorno adecuado, aunque no óptimo.

La eficiencia alimentaria y el factor de conversión alimenticia fueron menores de lo esperado, lo que limitó el rendimiento general. Estos resultados sirven como base para identificar áreas de mejora en el manejo de los peces, especialmente en cuanto a la optimización de la alimentación y la gestión del espacio.

Definición de los parámetros fisicoquímicos del agua: Se lograron definir y controlar los parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH en un rango de 7.5 - 8, la temperatura se mantuvo entre los 25 – 30°C, el oxígeno disuelto manteniéndose en un rango de 5 – 6 mg/L durante los 70 días y los niveles de amoníaco como el principal desafío en este estudio, ya que fluctuó en niveles de 1.0mg/L en niveles que afectaron el crecimiento de los peces.

Este problema subraya la importancia de un manejo más riguroso de este parámetro, lo cual fue aprendido a lo largo del ciclo de cultivo. Las fluctuaciones del amoníaco, aunque gestionadas parcialmente, fueron uno de los factores limitantes en el desempeño del sistema y en la salud de los peces. A partir de este estudio, ahora se conocen las medidas correctivas necesarias para contrarrestar este tipo de fluctuaciones y mejorar el control de la calidad del agua.

Valoración del costo-beneficio del sistema acuapónico casero: En cuanto al análisis de costo-beneficio, los resultados mostraron que los costos de producción superaron los beneficios obtenidos, lo que resultó en una pérdida económica al final del ciclo de cultivo. Este desajuste fue principalmente debido al bajo rendimiento de los peces, que afectó la rentabilidad del sistema.

Sin embargo, los datos obtenidos en este estudio ofrecen una base sólida para futuros cultivos, pues al implementar las mejoras necesarias en la gestión de la alimentación, el control de los parámetros del agua, y el manejo general del sistema, es posible que en futuros ciclos se logren mejores rendimientos y, por lo tanto, una mayor rentabilidad.

En resumen, aunque el rendimiento de este sistema acuapónico casero no fue rentable en este primer ciclo debido a las limitaciones en la producción de peces y los desafíos con el control de amoníaco, el estudio proporcionó valiosos aprendizajes. Con las modificaciones adecuadas y la optimización de los parámetros de manejo, se espera que en un segundo ciclo de cultivo, la rentabilidad del sistema sea factible y el proyecto pueda convertirse en una alternativa viable para la producción de proteína a pequeña escala.

VII. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema acuapónico, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar la eficiencia y rentabilidad del proyecto en futuras cosechas, y optimizar los aspectos clave que afectaron su desempeño en esta etapa.

1. **Aprovechamiento del material vegetal para replantación:** Para reducir costos y optimizar los recursos, se sugiere utilizar las plantas cosechadas como fuente de material para la replantación. En particular, se recomienda seguir la misma metodología aplicada en este estudio, que consiste en utilizar ramas de aproximadamente 10 cm de longitud con 2-3 hojas. Esta práctica permitirá mantener un ciclo continuo de producción sin necesidad de adquirir nuevas plantas, lo que contribuirá a una reducción significativa de los costos operativos.
2. **Cosecha temprana de plantas adultas:** Durante el desarrollo del proyecto se observó que las plantas alcanzan su tamaño adulto entre los días 40 y 50. Se recomienda realizar la cosecha en este rango de tiempo, lo cual no solo incrementará el rendimiento general del sistema al permitir una segunda cosecha en el mismo ciclo, sino que también será más rentable, dado que las plantas se comercializan por unidad en lugar de por peso. Esta estrategia optimiza el uso del espacio y mejora la productividad total.
3. **Producción propia de alevines:** Para minimizar los costos relacionados con la compra de alevines o peces jóvenes, se sugiere implementar un sistema de reproducción interna. Esto permitiría mantener un suministro constante de alevines, reduciendo la dependencia de proveedores externos y, por ende, los gastos asociados con la compra de nuevos peces. Esta medida también permitiría un mayor control sobre las condiciones de cría, mejorando la salud y el crecimiento de los peces a largo plazo.
4. **Monitoreo y optimización de parámetros del sistema:** Es fundamental seguir monitoreando los parámetros del sistema acuapónico, tales como la calidad del agua, los nutrientes, la temperatura y el pH. Realizar ajustes basados en los datos obtenidos durante el monitoreo continuo puede mejorar la salud de los peces y el crecimiento de

las plantas. Además, es importante implementar protocolos de ajuste dinámico de los parámetros para asegurar que el sistema funcione de manera óptima, reduciendo riesgos de desequilibrios que afecten la producción.

5. **Optimización del biofiltro para manejar el amonio:** Uno de los factores clave que limitó la productividad en este proyecto fue el aumento constante de amonio, lo que generó estrés en los peces y afectó su desarrollo. Se recomienda construir un biofiltro de mayor tamaño para evitar estos picos de amonio, permitiendo un proceso de conversión de amonio a nitritos más eficiente. El biofiltro debe ser dimensionado adecuadamente en función de la cantidad de peces y la carga orgánica generada, lo que garantizará una mejor calidad del agua y, por ende, un entorno más saludable para los peces.

La implementación de estas recomendaciones tiene el potencial de aumentar la rentabilidad del proyecto acuapónico al optimizar los costos y mejorar el rendimiento tanto de los peces como de las plantas. Al maximizar el uso de los recursos disponibles y mejorar la gestión de los parámetros críticos del sistema, se asegurará una producción más sostenible y eficiente, lo que hará que este modelo sea más competitivo y viable económicamente en el largo plazo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Abdallah, M., Jafari, A., Zainal, F. (2019). Nitrite levels and their impact on fish growth in aquaponics systems. *Aquaculture Research*, p.50.
- Al-Hafedh, Y., Abujamra, S., Ahmed, A. (2021). The effect of aeration and ammonia management on fish growth in aquaponic systems. *Aquaponics Science and Technology*, p.16.
- Ali, M., Ranjan, R., Hossain, S. (2020). Nitrite toxicity and management strategies in aquaponics. *Aquaponics Journal*, p.14.
- Ali, M., Ranjan, R., Hossain, S. (2020). Challenges and solutions in managing ammonia toxicity in aquaponics. *Aquaponics Journal*, p.14.
- Ali, H., Shah, M., Rizvi, S. (2020). Review on the optimization of aquaponics system: Managing nutrient and water quality. *Aquaponics Review*, p13.
- AFO Acuaponia. (2020). *¿Qué es el Factor de Conversión Alimenticia FCA?*
<https://afoacuaponia.medium.com/qué-es-el-factor-de-conversión-alimenticia-fca-9b11632d751d>
- Agh, N., Keshavarzi, H., Hashemi, S. (2020). *Feed efficiency and growth performance of tilapia in intensive aquaculture systems*. *Aquaculture Reports*, 18.
- Arnaldoa. (2019). *Conversión y eficiencia alimenticia de Oreochromis aureus var. suprema (Cichlidae) con diferente alimento balanceado en sistema cerrado*.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n2/a19v26n2.pdf>
- ATSDR - Agencia para sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2017). *Nitrato y Nitrito (Nitrate/Nitrite)*.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts204.html
- Aquaculture Advisory Council. (2021). *Directrices estratégicas para una acuicultura de la UE más sostenible y competitiva para el período 2021-2030*. <https://aac-europe.org/es/sobre-nosotros/que-es-la-acuicultura/>
- Badiola, M., Mendiola, D., & Rodríguez, J. (2020). The impact of temperature fluctuations on aquaponic system efficiency. *Aquaponics Systems*, 34
- Barrientos, D. (2023a). *Sistema hidropónico de mecha o pabito: Qué es y cómo funciona*. https://hidroponiaencasa.pro/sistema-hidroponico-de-mecha/#¿Que_es_el_sistema_hidroponico_de_mecha

- Barrientos, D. (2023b). *Guía para cultivo de menta hidróponica: Todo lo que necesitas saber*. <https://hidroponiaencasa.pro/menta-hidroponica/>
- Cardador, M. (2017). *Técnicas Hidroponicas*. <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/tecnicas/>
- Cao, L., Zhang, H., Li, Y. (2022). Optimizing feed and water quality in tilapia-based aquaponic systems for improved feed efficiency and growth performance. *Aquaculture Engineering*, 96.
- Candarle, P. (2015). *Técnicas de acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo agrícola,(CENADAC), Dirección de acuicultura*.
- Camanchaca. (2020). *Mortalidad de peces*. <https://salmonescamanchaca.cl/sostenibilidad/indicadores/alimento-saludable-y-nutritivo/mortalidad-de-peces/>
- Centro de Investigacion Biologica CIB. (2017). *Calidad del agua para la tilapia en estanques rústicos*.
- Chia, A., Lim, S., Tan, S. (2019). *Optimizing water quality and nutrient availability for improving feed conversion ratios in aquaponic systems*. *Journal of Aquatic Systems*, 40.
- Dumas, A., Boujard, T., Jahan, M., Espe, M. (2018). *Influence of dietary composition on feed conversion and growth of tilapia in controlled systems*. *Aquaculture Nutrition*, 24.
- Evers, J. B., Baumgartner, S., & Tacon, A. G. J. (2015). Water quality parameters for the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in aquaponic systems. *Aquaculture Research*, 46
- FAO. (2014a). *Algunos Elementos Básicos de la Acuicultura*. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/00000_0_Información%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/170424_Historia%20de%20la%20Acuicultura%20FAO.pdf
- FAO. (2014b). *Small-scale aquaponic food production*. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf&ved=2ahUKEwiKrpWu6PuFAxXwmbAFHX5hDugQFnoECBIQAQ&usg=AOvVaw26Uf7XqLN0LEtKJ5RddxDx>

- FAO. (2024). *Oreochromis niloticus*.
https://www.fao.org/fishery/es/culturedspecies/oreochromis_niloticus_es/es
- FAO. (2020). *Componentes esenciales de una unidad acuapónica*.
<https://learn.farmhub.ag/es/resources/small-scale-aquaponic-food-production/4-design-of-aquaponic-units/componentes-esenciales-de-una-unidad-acuaponica/>
- Ficke, A., Litherland, A., McGinnis, P. (2016). *Comparing the feed conversion ratios of tilapia in traditional and recirculating aquaculture systems*. *Aquaculture*.
- Formo. (2014). *Historia de la acuaponia*. <https://acuaponia-argentina.blogspot.com/2012/01/historia-de-la-acuaponia.html>
- Gómez, P., Rodríguez, J. (2020). *Análisis financiero para la toma de decisiones en proyectos de inversión*. Editorial Financieros.
- González, J., Martínez, P., & Sánchez, A. (2019). *Costos y viabilidad de sistemas acuapónicos de pequeña escala en Ecuador*. *Revista de Ciencias Agrarias*, 45(3), 150-160.
- Ghanawi, J., El-Sayed, M., Ghoneim, T. (2020). *Efficiency of feed conversion in tilapia aquaculture*. Obtenido en revista *Aquaculture Research*, 51.
- Gómez, P., Ruiz, M., Salazar, M. (2017). The role of nitrates in integrated aquaponic systems. *Aquaculture Engineering*, p.73.
- Gómez, P., Ruiz, M., Salazar, M. (2017). Ammonia accumulation and its effects on fish growth in closed aquaponic systems. *Aquaculture Engineering*, p.74.
- Goddek, S., Delaide, B., & Sene, L. (2019). Economic feasibility and sustainability of aquaponic systems: A review. *Aquaculture Economics & Management*, 23(4), 1-23.
- Google Maps. (s/f). *Universidad de Ciencias Comerciales*. Recuperado el 13 de julio de 2023, de https://www.google.com/maps/place/Universidad+de+Ciencias+Comerciales/@12.1267071,-86.2448842,15z/data=!4m6!3m5!1s0x8f712020ca0d110d:0xc89050d5e28e4a3d!8m2!3d12.1230358!4d-86.2499053!16s%2Fm%2F03d8_b5?entry=ttu
- Gutiérrez, A., García, R., Álvarez, M. (2019). Nitrogen dynamics in aquaponics and its impact on feed conversion efficiency. *Aquaponics Science & Technology*, p.22.

- Hi, K. (2023,). *Conoce el sistema de cultivo hidropónico en canales de siembra con sustrato*. <https://hidroponiaindustrial.com/2023/03/16/conoce-el-sistema-de-cultivo-hidroponico-en-canales-de-siembra-con-sustrato/>
- He, Z., Li, Y., Li, Q., Xu, Y., Li, X. (2021). *Feed conversion efficiency of tilapia (Oreochromis niloticus) in recirculating aquaculture systems*. *Aquaculture*, 543.
- Hernández, M., & Pérez, L. (2017). *Evaluación de costos en sistemas acuapónicos de bajo costo en México*. *Ciencia y Tecnología en Agricultura*, 39(2), 125-134.
- Hernandez, A. (2023). *¿Qué es la acuaponia y cuales son sus desventajas?* <https://thereasonbehind.es/la-acuaponia-y-sus-ventajas/>
- Hernández, A., García, A., Martínez, L. (2020). *Nutrient management and feed conversion efficiency in tilapia aquaponics: A review*. *Aquaponics Sustainability*, 28.
- Holandes. (2016). *La historia de la hidroponia*. <https://elholandespicante.com/plantas/la-historia-la-hidroponia/>
- INVERFARMS. (2024). *Explorando las ventajas del sistema hidropónico dutch bucket frente al NFT*. <https://inverfarms.com/explorando-las-ventajas-del-sistema-hidropónico-dutch-bucket-frente-al-nft/>
- INCAP. (2019). *Sistemas acuapónicos*. p.4. *Sistemas%20Acuapónicos.pdf*
- INTAGRI. (2017). *Acuaponia para la Producción de Plantas y Peces*. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>
- INTAGRI. (2019). *Requerimientos del Cultivo de Tilapia: Calidad del Agua*. <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/requerimientos-del-cultivo-de-tilapia?p=registro>
- INTAGRI. (2020). *Requerimientos del Cultivo de Tilapia: Calidad del Agua*. <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/requerimientos-del-cultivo-de-tilapia#:~:text=El%20rango%20óptimo%20es%20de,10%20y%2011°C>.
- Jimenez, S. (2021). *Sistemas hidropónicos: tipos, diferencias, ventajas y beneficios* <https://agrotendencia.tv/agropedia/agricultura/cultivos/tipos-de-sistemas-de-hidroponia/>

- Kassam, L., Mather, P., Gutteridge, R. (2017). *Survival rates and management practices in intensive tilapia aquaculture systems*. *Aquaculture Research*, p.48.
- Lujan, M. (2024). Acuaponia acoplada o desacoplada: ¿Cuál es mejor? <https://aquahoy.com/acuaponia-acoplada-desacoplada-cual-es-la-mejor/>
- Li, Y., Wang, Z., & Zhang, M. (2021). Dissolved oxygen control and its effect on aquaponic system performance. *Aquaponics Journal*, p.19.
- Love, D., Fry, J., Li, X., Kent, A. (2015). *Aquaponics research and commercialization: Challenges and opportunities*. *International Journal of Environmental Sustainability*
- Medrano, P., Chipana, R., Moreno, M. Roldan, J. (2019). Capillary irrigation by wick in the lettuce crop in a combined system of hydroponic solution and soil, as an alternative in urban agriculture of Bolivia.
- Moussa, A., Bedhiaf, S., Ghedira, M. (2020). Optimization of water quality in integrated aquaponic systems: The effect of pH and temperature. *Aquaculture Engineering*, p.85.
- Moussa, A., Bedhiaf, S., Ghedira, M. (2021). Control of ammonium levels in aquaponic systems and its impact on fish growth. *Aquaculture Engineering*, p.90.
- Moraes, L., Sampaio, A., Lima, M. (2020). Nitrite management in aquaponic systems: A review of processes and effects on fish and plants. *Aquaponics Science and Technology*, p.18.
- Moraes, L., Sampaio, A., Lima, M. (2019). Impact of dissolved oxygen on fish growth and nitrification in aquaponics. *Aquaponics Science and Technology*, 12.
- Muñoz. (2022). *Aceite esencial de hierbabuena: beneficios, usos e historia*. <https://dmg.es/aceite-esencial-de-hierbabuena-beneficios-usos-e-historia/>
- Ondarse, D. (2021). *Ph*. <https://concepto.de/ph/>
- Ohtsuka, T., Sakai, T., Nakano, K. (2017). Stability of pH and its effect on feed conversion efficiency in recirculating aquaponic systems. *Aquaponic Systems and Sustainability*, p.28.

- Othman, A., Siahaan, P. (2017). Temperature effects on tilapia growth and feed conversion efficiency in aquaponic systems. *Aquaponics Journal*, p.13.
- Parsons, A. (2023). Como montar tu propio sistema hidropónico con la técnica de película de nutrientes <https://www.zamnesia.es/blog-como-montar-sistema-hidropónico-n2884>
- Pérez, J., Rivas, M., López, R. (2018). The dynamics of ammonium in integrated aquaponic systems: Implications for fish health and system productivity. *Aquaculture*, p.491.
- Perez, L. (2023). *Consideraciones sobre el rendimiento en canal del ganado de engorda*. <https://www.ganaderia.com/destacado/consideraciones-sobre-el-rendimiento-en-canal-del-ganado-de-engorda>
- Proain Tecnología agrícola. (2020). *PRODUCCIÓN ACUICULTURA EN MÉXICO: PRINCIPALES PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA*. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/produccion-acuicultura-en-mexico-principales-parametros-de-calidad-del-agua>
- Pizarro, V. - Constanza Jana A. - Gonzalo Ibacache A. Cornelio Contreras S. - Luis Leris G. - Víctor Alfaro E., I. I. (2019). *Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF): diseño, construcción y costos*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4972/Informativo%20INIA%20N%2086?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20Sistema%20de%20Raíz%20Flotante,de%20cualquier%20tipo%20de%20sustrato>.
- Rana, K., Purnama, A., Tan, Y. (2020). Nutrient cycling and nitrate dynamics in aquaponics: Key factors for plant growth. *Aquaponics Science and Technology*, p.21.
- Ranjan, R., Karthik, R., Kumar, A. (2018). Economic viability and cost-benefit analysis of aquaponic systems: A review. *Aquaponics Journal*, 12.
- Rojas, A., Mendoza, A. (2019). *Efecto de un modificador orgánico (Modivitasan) sobre parámetros productivos de cerdos de engorde en la unidad de producción porcina DUEP-UNA- 2018*. <https://repositorio.una.edu.ni/3922/1/tnl02r741.pdf>

- Rios, M., & Garcia, A. (2021). *Cost-benefit analysis of small-scale aquaponics systems in Latin America*. *Aquaculture Economics & Management*, 25(3), 231-247. <https://doi.org/10.1080/13657305.2021.1907365>.
- Ricardo Hernandez. (2023). *Hidroponía ¿Qué es? Y 8 puntos para Conocerla*. https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=27
- Rodríguez, Condado de Polk, J. Bosques, Condado de Hardee. (2022). *Hidropónicos: SISTEMA NFT*. <https://blogs.ifas.ufl.edu/polkco/2022/07/29/hidroponicos-sistema-nf/#:~:text=La%20Técnica%20llamada%20“Nutrient%20Film,como%20el%20mecanismo%20de%20distribución>.
- Ravindran, V., Nair, S., Srinivasan, R. (2020). Water quality management in aquaponic systems: Challenges and opportunities. *Aquaculture Systems*, 34.
- Sánchez, J., Martínez, A., & Pérez, R. (2019). *Evaluación de proyectos: Conceptos y métodos*. Editorial ABC.
- Stiassny. (2020). *Fishbase Oreochromis Niloticus* .
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589
- Tassou, S., Koutsou, C., Polycarpou, M. (2016). Review of water quality and feed conversion ratios in tilapia-based aquaponic systems. *Aquaculture Research*, p.47.
- Tacon, A., Hasan, M., Metian, M. (2018). The role of feed in sustainable aquaculture: Improving productivity and food security. *Journal of the World Aquaculture Society*, p.46
- Uwe, W. (2024). *Impacto social y económico de los sistemas de acuaponía en ciudades y comunidades*. <https://es.linkedin.com/pulse/impacto-social-y-económico-de-los-sistemas-acuaponía-en-höring-wxqtc>
- Verma, A., Goh, M., Lee, K. (2019). *Performance of aquaponic systems for tilapia and lettuce production: Effects of dietary protein and water quality management*. *Aquaponics Journal*, p.15.

- Viña, C. (2019). *Eficiencia Alimentaria en vacas de leche, su importancia y como mejorarla* . <https://nutrinews.com/download/nutriNews-Nov2018-NUTCAT-Eficiencia-alimentaria-en-vacas-lecheras.pdf>
- Zhang, Y., Xie, C., Luo, Y. (2021). Effects of water quality and pH stability on growth and stress response of tilapia in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, p.52.
- Zhang, H., Li, Y., Zhang, X. (2018). Water quality optimization for aquaponics systems: A review. *Aquaculture Research*, p.49.

IX. ANEXOS

Anexo 1

Construcción de la base para los canales de cultivo.



Fuente: Autor propio.

Anexo 2

Reforzando base de los canales de cultivo.



Fuente: Autor propio.

Anexo 3

Haciendo agujeros para los canales de cultivo.



Fuente: Autor propio.

Anexo 4

Canales de cultivo ya montados en la base.



Fuente: Autor propio.

Anexo 5

Armando el filtro.



Fuente: Autor propio.

Anexo 6

Plantas ya colocadas en los canales de cultivo.



Fuente: Autor propio.

Anexo 7

Colocando los peces en el tanque de agua.



Fuente: Autor propio.

Anexo 8

Tamaño de los peces al inicio del proyecto.



Fuente: Autor propio.

Anexo 9

Ultimo pesaje de los peces.



Fuente: Autor propio.

Anexo 10

Tamaño de los peces al final del proyecto.



Fuente: Autor propio.