



UNIVERSIDAD ESTATAL

PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

“CULTIVO DE *OREOCHROMIS NILOTICUS* (TILAPIA) Y *LACTUCA SATIVA* (LECHUGA) EN DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS DE TANQUES EN EL LABORATORIO ROSARIO DEL MAR, COMUNA DE MONTEVERDE.”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del Título de: BIÓLOGO

AUTOR:

ERICK RAÚL LIMÓN MIRABÁ

TUTORA:

Blga. DENNIS TOMALÁ SOLANO M.Sc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

“CULTIVO DE *OREOCHROMIS NILOTICUS* (TILAPIA) Y
LACTUCA SATIVA (LECHUGA) EN DOS SISTEMAS
ACUAPÓNICOS DE TANQUES EN EL LABORATORIO
ROSARIO DEL MAR, COMUNA DE MONTEVERDE”.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

Autor:

ERICK RAÚL LIMÓN MIRABÁ

Tutora

Blga. TOMALÁ SOLANO DENNIS, M. Sc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

DECLARACIÓN DEL DOCENTE

TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, “Cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) y *Lactuca sativa* (lechuga) en dos sistemas acuapónicos de tanques en el laboratorio Rosario del Mar, Comuna de Monteverde”, elaborado por Limón Mirabá Erick Raúl, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



Blga. Tomalá Solano Dennis, M. Sc.

C.I. 0922584982

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo de Integración Curricular “Cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) y *Lactuca sativa* (lechuga) en dos sistemas acuapónicos de tanques en el laboratorio Rosario del Mar, Comuna de Monteverde”, elaborado por Limón Mirabá Erick Raúl estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, éste cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.

DOCENTE DE ÁREA

C.I. 0913270153

DEDICATORIA

Concluyendo esta importante etapa en mi vida académica, que me enseñó el valor de la perseverancia y lo que es el crecimiento personal, solo me queda dedicarlo:

A Dios y a la Virgen que me dieron fortaleza e iluminación para alcanzar cada meta propuesta en mi vida.

A mi papá, Raúl Leonardo Limón Choez, por su sacrificio al alejarse de casa por meses y desempeñar su oficio de pescador para ser el sustento de nuestro hogar.

A mi mamá, Patricia Alexandra Miraba Malavé, quien me apoyó, se preocupó, y acompañó en este proceso dándome consejos y palabra de aliento.

A mi hermano, Dave Leonardo Limón Mirabá, quien me dedicó su tiempo y compañía cuando la necesité.

Siendo ellos pilares fundamentales en mi vida y las personas por las cuales trato de ser mejor cada día.

Erick Raúl Limón Mirabá

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA por permitirme formarme profesionalmente, y a las autoridades de la FACULTAD CIENCIAS DEL MAR por los conocimientos y enseñanzas que me brindaron en el transcurso de mi carrera universitaria.

A la Blga. Dennis Tómalá Solano M. Sc, por guiarme como mi tutora durante la realización de mi investigación, brindándome de su tiempo, enseñanzas y paciencia por las cuales logré culminar con mi trabajo de integración curricular.

Al laboratorio de larvas Rosario del Mar y a su gerente general, el señor Robert Arbey Limón, por abrirme las puertas de su establecimiento en donde logre realizar mi proyecto de titulación.

Erick Raúl Limón Mirabá

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Limón Miraba Erick Raúl** como requisito para la obtención del grado de Biólogo de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 15/07/2024



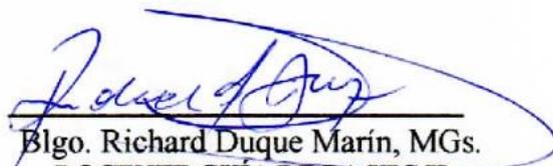
Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.
**DIRECTOR/A CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.
**PROFESOR DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Blga. Dennis Tomalá Solano, MS.c.
**DOCENTE TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Blgo. Richard Duque Marín, MGs.
**DOCENTE GUÍA DE LA UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Lcdo. Pascual Roca Silvestre Mgr.
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

YO, Erick Raúl Limón Mirabá, declaro que la presente investigación es de mi autoría, me hago responsable por las ideas, hechos, investigaciones y resultados que se presentan en esta tesis denominada “Cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) y *Lactuca sativa* (lechuga) en dos sistemas acuapónicos de tanques en el laboratorio Rosario del Mar, Comuna de Monteverde”, la cual ha sido desarrollada cumpliendo y respetando los reglamentos del laboratorio Rosario del Mar.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual de este trabajo a la UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA (UPSE), según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



Erick Raúl Limón Mirabá

C.I. 2400082380

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PROBLEMA.....	3
3.	JUSTIFICACIÓN	5
4.	OBJETIVOS	7
4.1	OBJETIVO GENERAL:.....	7
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	7
5.	HIPÓTESIS.....	8
6.	MARCO TEORICO.....	9
6.1	Acuaponía	9
6.2	Origen de los sistemas acuapónicos.....	9
6.3	Componentes de un sistema Acuapónico.....	11
6.4	Funcionamiento de un sistema acuapónico.....	11
6.5	Tipos de sistemas	12
6.6	Retos que enfrentan los sistemas acuapónicos.....	17
6.7	Relación con la sostenibilidad de los sistemas acuapónicos.....	18
6.8	Uso de peces y vegetales en acuaponía.....	19
6.9	Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	20
6.9.1	Origen.....	20
6.9.2	Taxonomía.....	20

6.9.3	Introducción de tilapia en Ecuador	21
6.9.4	Características morfológicas	21
6.9.5	Hábitos alimenticios.....	22
6.9.6	Reproducción	23
6.9.7	Parámetros requeridos para el cultivo	23
6.10	<i>Lactuca sativa</i>	24
6.10.1	Origen.....	24
6.10.2	Taxonomía.....	25
6.10.3	Factores fisicoquímicos para el cultivo de <i>L. sativa</i>	25
6.11	Bacterias nitrificantes.....	26
6.11.1	Bacterias Nitrosomonas	27
6.11.2	Bacterias Nitrobacter.....	28
6.11.3	Proceso de nitrificación y desnitrificación.....	29
7.	MARCO METOLÓGICO.....	30
7.1	Área de estudio.....	30
7.2	Tipo de investigación	31
7.3	Fase de campo	31
7.3.1	Descripción de los sistemas acuapónico-experimentales.....	31
7.3.2	Manejo del sistema acuapónico	34
7.4	Análisis de datos	35

8.	RESULTADOS.....	41
8.1	Índice de crecimiento específico, ganancia de peso y biomasa de <i>O. niloticus</i>	41
8.1.1	Índice de crecimiento específico.....	41
8.1.2	Incremento de peso y longitud.....	42
8.1.3	Supervivencia de <i>O niloticus</i>	46
8.1.4	Factor de conversión alimenticia	47
8.1.5	Biomasa.....	48
8.2	Ganancia en longitud y peso de <i>L. sativa</i>	49
8.2.1.1	Biomasa.....	51
8.2.1.2	Supervivencia.....	51
8.3	Eficiencia de los sistemas.....	52
8.4	Comparación de parámetros fisicoquímicos	54
9.	DISCUSIONES.....	60
10.	CONCLUSIONES	65
11.	RECOMENDACIONES	67
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	68
13.	ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de <i>O. niloticus</i> (Linnaeus, 1978).....	21
Tabla 2. Parámetros requeridos para el cultivo de <i>O. niloticus</i>	24
Tabla 3. Clasificación taxonómica de <i>L. sativa</i>	25
Tabla 4. Factores físicos y químicos para el desarrollo de <i>L. sativa</i>	26
Tabla 5. Índice de Crecimiento Específico y pesos promedios de <i>O. niloticus</i>	41
Tabla 6. Pesos promedio e incremento de peso de <i>O. niloticus</i>	43
Tabla 7. Longitud promedio e incremento de longitud de <i>O.</i> <i>niloticus</i>	44
Tabla 8. Supervivencia de <i>O. niloticus</i> para los sistemas acuapónicos NFT Y SRF.....	47
Tabla 9. Factor de Conversión Alimenticia por tanque de experimentación	48
Tabla 10. Incremento de Biomasa por muestreo de <i>O. niloticus</i>	48
Tabla 11. Biomasa de <i>L. sativa</i> en los dos sistemas acuapónicos.....	51
Tabla 12. Supervivencia de <i>L. sativa</i> en sistemas NFT y SRF	52
Tabla 13. Determinación de la eficiencia productiva de los sistemas acuapónicos.....	56
Tabla 14. Promedios semanales de los parámetros fisicoquímicos	56
Tabla 15. Prueba T e IC de Peces en dos muestras: NFT (g), SRF (g)....	80
Tabla 16. ANOVA de un solo factor: NFT Y SRF.....	81
Tabla 17. Prueba T e IC de dos muestras: NFT (g), SRF (g).....	82

Tabla 18. ANOVA de un solo factor: NFT, SRF.....	83
Tabla 19. Prueba T e IC de dos muestras: NFT, SRF	84
Tabla 20. ANOVA de un solo factor: NFT, SRF.....	85
Tabla 21. Comparaciones en parejas de Tukey.....	86
Tabla 22. Registro de control de peso corporal de <i>O. niloticus</i> en NFT.	88
Tabla 23. Registro de control de Longitud Total de <i>O. niloticus</i> en SR..	90
Tabla 24. Registro de control de peso corporal de <i>O. niloticus</i> en NFT..	92
Tabla 25. Registro de control de Longitud de <i>O. niloticus</i> en SRF	94
Tabla 26. Registro de control de peso de <i>L. sativa</i> en NFT y SRF	96
Tabla 27. Registro del control de longitud de <i>L. sativa</i> en NFT y SRF..	98
Tabla 28. Registro de control de parámetros físico – químicos NFT	100
Tabla 29. Registro de control de parámetros físico – químicos SRF....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Chinampas aztecas en cuerpos de agua.....	10
Figura 2. Modelos acuapónicos domésticos	13
Figura 3. Sistema horizontal NFT.....	14
Figura 4. Sistema lecho de sustrato en acuaponía.....	16
Figura 5. Sistema de cultivo de raíces flotantes.....	17
Figura 6. Morfología externa de <i>O. niloticus</i>	22
Figura 7. Proceso de las bacterias nitrificantes.....	27
Figura 8. Proceso químico y biológico en sistemas de cultivo acuapónicos	28
Figura 9. Reacción de oxidación y reducción en el proceso de tratamiento NDN.....	29
Figura 10. Ubicación geográfica del Laboratorio de larvas "Rosario del mar"	30
Figura 11. Esquema de los sistemas acuapónicos.....	33
Figura 12. Línea de tendencia del Crecimiento de <i>O. niloticus</i>	42
Figura 13. Varianza del incremento de peso de <i>O. niloticus</i>	44
Figura 14. Varianza del incremento de longitud de <i>O. niloticu</i>	45
Figura 15 Longitud promedio de <i>L. sativa</i> al inicio y final de la fase experimental.....	50
Figura 16. Pesos promedios de <i>L. sativa</i> al inicio y final de la fase experimental.....	50

Figura 17 Análisis de la varianza de los sistemas acuapónicos con un 95% de confianza	54
Figura 18. Rangos semanales de temperatura.....	57
Figura 19. Rangos semanales del pH.....	57
Figura 20. Rango semanal del Oxígeno disuelto	58
Figura 21. Rangos semanales del amonio.....	58
Figura 22. Rangos semanales de nitrito.	59
Figura 23. Tabla de alimentación para tilapias	87
Figura 24. Construcción de los sistemas acuapónicos	104
Figura 25. Sistemas acuapónicos funcionando sin la presencia de organismos	104
Figura 26. Siembra de alevines de <i>O. niloticus</i>	104
Figura 27. Siembra de plántulas de <i>L. sativa</i>	105
Figura 28. Alevines de <i>O. niloticus</i>	105
Figura 29. Biometría 1 de <i>O. niloticus</i>	105
Figura 30. Biometría 1 de <i>L. sativa</i>	106
Figura 31. Biometría final de <i>O. niloticus</i>	106
Figura 32. Biometría final de <i>L. sativa</i>	107

GLOSARIO

Desechos metabólicos: Son los desechos que produce un organismo como resultado de sus procesos metabólicos normales.

Fertiirrigación: Es el término utilizado para referirse a la práctica en donde se aplican fertilizantes solubles en agua a través de un sistema de riego que permite suministrar nutrientes de forma directa durante el riego.

Chinampas: Sistema de cultivo prehispánico utilizado especialmente en México que consistía en plataformas elevadas en zonas pantanosas donde se cultivaba una variedad de plantas.

Rizipiscicultura: Forma de acuicultura en la que se cultivan plantas y peces de forma simultánea en un sistema cerrado. Las plantas acuáticas utilizan los nutrientes producidos por los peces y ayudan a limpiar el agua. Presentan una relación raíz-peces.

Bateas: Estructuras utilizadas en acuicultura para criar y mantener peces u otros organismos acuáticos. Consisten en contenedores de poca profundidad y normalmente alargados que se ubican en cuerpos de agua como lagos, estanques o ríos.

Artesas: Canales o surcos excavados en el suelo para distribuir el agua de riego en los cultivos. También se pueden utilizar para criar peces.

ABREVIATURA

°C: Grados Celsius.

µm: micrómetros.

cm: centímetros.

g: gramos.

in: pulgada.

L: litros.

m: metros.

m²: metros cuadrados.

m³: metros cúbicos.

mg/L: miligramos por litro.

NFT: Nutrient Film Technique (Técnica de película de nutrientes).

NH₄⁺: Amonio no ionizado.

NO₂⁻: Nitrito.

OD: Oxígeno disuelto.

pH: Potencial de Hidrógeno.

ppt: partes por mil.

PVC: Cloruro de polivinilo.

RAS: Sistema de recirculación de acuicultura.

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

SRF: Sistema de raíz flotante.

T: temperatura.

RESUMEN

La acuaponía constituye una técnica de cultivo que permite producir alimentos de origen animal y vegetal aprovechando los residuos nitrogenados y optimizando el recurso agua. La presente investigación de tipo experimental se realizó en el Laboratorio de Larvas “Rosario del Mar” en la comuna Monteverde- Colonche, provincia de Santa Elena. Se compararon dos sistemas acuapónicos por medio del desarrollo de los organismos con el fin de determinar la efectividad como método de cultivo empleando alevines de *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa* durante 57 días de experimentación. Se emplearon dos sistemas, la técnica de película de nutrientes (NFT) y el sistema de raíz flotante (SRF). Para la comparación se aplicaron Anova, T student y Tukey demostrando que no existieron diferencias significativas entre los sistemas ($P>0.05$). Los alevines de *O. niloticus* registraron una ganancia en peso y supervivencia de 0.49 g/d y 92 % para NFT y de 44 g/d y 90 % para SRF, respectivamente; mientras que, *L. sativa* presentó mejores condiciones en el sistema SRF con 82% de supervivencia en comparación con 54% obtenido en NFT. Los sistemas acuapónicos permiten la producción integrada de peces y plantas, ofreciendo una solución sostenible, combinando la acuicultura y la hidroponía de manera eficiente y ecológica.

Palabras Claves: Acuaponía, sistemas, peso, supervivencia.

ABSTRACT

Aquaponics is a cultivation technique that allows the production of food of animal and plant origin by taking advantage of nitrogenous waste and optimizing the water resource. This experimental research was carried out at the "Rosario del Mar" Larvae Laboratory in the Monteverde-Colonche commune, Santa Elena province. Two aquaponic systems were compared through the development of organisms in order to determine the effectiveness as a cultivation method using *Oreochromis niloticus* and *Lactuca sativa* fingerlings for 57 days of experimentation. Two systems were used, the nutrient film technique (NFT) and the floating root system (SRF). For the comparison, Anova, T student and Tukey tests were applied, showing that there were no significant differences between the systems ($P>0.05$). The *O. niloticus* fingerlings recorded a weight gain and survival of 0.49 g/d and 92% for NFT and 44 g/d and 90% for SRF, respectively; while *L. sativa* showed better conditions in the SRF system with 82% survival compared to 54% obtained in NFT. Aquaponic systems allow the integrated production of fish and plants, offering a sustainable solution, combining aquaculture and hydroponics in an efficient and ecological way.

Keywords: Aquaponics, systems, weight, survival.

1. INTRODUCCIÓN

La acuaponía consiste en la unificación entre acuicultura e hidroponía en un sistema de recirculación de agua, donde los desechos metabólicos y restos alimenticios de la producción animal proporcionan nutrientes a las plantas para su desarrollo (Sarfraz, 2020). Este sistema ofrece ventajas sobre los sistemas de recirculación convencionales como mayor rentabilidad, reducción en el terreno de producción y menores recambios de agua, esto la focaliza como uno de los sectores de producción alimenticio con mayor desarrollo en el mundo (Palm et al ., 2018).

Los primeros registros documentados de experimentos en acuaponía datan de la década de 1970, en la cual se evidenció la viabilidad de aprovechar los desechos metabólicos generados por los peces para el cultivo hidropónico de plantas (Lewis et al ., 1978 citado en Pérez et al ., 2015). En este contexto, *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) son especies con alto potencial de crecimiento y producción, convirtiéndose en una de las especies más cultivadas a nivel mundial por su tolerancia a variaciones ambientales (Reyes-Trigueros et al., 2023).

Por su parte, *L. sativa* es uno de los cultivos de hortalizas más significativos. En países como México, se ha registrado un notable incremento en la producción y exportación. De acuerdo con datos del SIAP, la producción de *L. sativa* en México

mostró un crecimiento promedio anual del 3.6 % entre 2017 y 2019, alcanzando las 516 mil toneladas en 2019 (Gobierno de México, 2021). Por su parte, según la Cámara Nacional de Acuicultura (2022), en Ecuador, entre los años 2018 y 2022, se observaron variaciones significativas en las exportaciones de *O. niloticus*. El año de mayor exportación fue 2020, con un total de 125 mil libras, mientras que en 2022 se registró la menor cantidad exportada, con 73 mil libras, lo que representa una disminución considerable.

La integración simbiótica aprovecha los nutrientes producidos por los peces para alimentar plantas, las cuales a su vez purifican el agua del sistema acuático. Este enfoque fomenta la eficiencia de recursos, la sostenibilidad y la producción de alimentos frescos en ambientes controlados. Cada vez más valorado en la agricultura moderna, destaca por su capacidad para mitigar el impacto ambiental y fortalecer la seguridad alimentaria global.

En Ecuador, la acuaponía ha suscitado creciente interés como método de producción sostenible en diversas investigaciones. A pesar de ello, la falta de información actualizada sobre su estado limita el desarrollo y la implementación efectiva de estos sistemas integrados en el país.

2. PROBLEMA

Los métodos tradicionales de producción acuícola y agrícola implican un alto consumo de agua y requieren grandes extensiones de tierra. La producción acuícola tradicional desperdicia grandes cantidades de agua junto con desechos de alimentos y subproductos de los organismos cultivados, dando como resultado, a bacterias y que otros asociados se multipliquen.

Diversos estudios abordan que las tasas de renovación del agua en estos sistemas de cultivos intensivos y semiintensivos implican un cambio parcial o completo del agua, prácticamente a diario. Sin embargo, una renovación diaria de agua mejora la oxigenación y mantiene la calidad del agua en niveles óptimos para el desarrollo de los organismos, conllevando a una optimización del recurso agua. En este contexto, las altas tasas de renovación del agua tienen impactos significativos, incluido el daño directo a los recursos hídricos locales. Además, requieren de una gran cantidad de recursos y energía destinados al tratamiento y mantenimiento del agua.

Otro de los aspectos a mencionar es la falta de acceso a alimentos frescos y saludables en comunidades rurales, especialmente aquellas con limitaciones de recursos hídricos y terrenos adecuados para la agricultura tradicional. Este problema puede abordarse mediante la implementación de sistemas acuapónicos, que permiten cultivar tanto peces como vegetales en un espacio reducido y de

manera sostenible, utilizando menos agua y produciendo alimentos frescos localmente.

En Ecuador, la acuaponía ha ganado interés en los últimos años como una alternativa de producción sostenible, implementándose en proyectos e investigaciones. Sin embargo, no existe información específica de su situación en la actualidad. Por ello, la falta de conocimiento y práctica en el ámbito de la acuaponía en Ecuador no permite aprovechar este tipo de sistemas integrados, lo que plantea la pregunta: ¿Cómo se desarrollarían los sistemas de acuaponía en el país? siendo necesario comparar diversos sistemas con el fin de conocer si existen o no diferencias significativas en el desarrollo de los organismos involucrados y determinar su efectividad. Por tanto, la presente investigación tiene como objetivo comparar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa* mediante el seguimiento de su desarrollo en dos sistemas acuapónicos, determinando la efectividad como métodos de crianza.

3. JUSTIFICACIÓN

La acuaponía ha surgido como una solución innovadora y prometedora en la producción de alimentos, destacada por la habilidad para transformar los desechos de los peces en nutrientes para que sean asimilados por las plantas, las cuales a su vez purifican el agua para los peces. Esta interacción representa una alternativa sostenible frente a los métodos convencionales de producción acuícola y agrícola, con notables ventajas tanto ambientales como económicas.

Entre las ventajas a destacar en los sistemas acuapónicos está la reducción significativa del consumo de agua en comparación con las técnicas convencionales de acuicultura. Otro aspecto es la eliminación del uso de pesticidas y fertilizantes químicos utilizados en la agricultura, contribuyendo a la producción de alimentos más saludables con el fin de reducir la contaminación ambiental y química sobre los recursos de suelo y agua.

Asimismo, se enfatiza en la reducción de gastos y la optimización de recursos, lo que permite obtener proteínas de origen animal y vegetal de alta calidad sin requerir de inversión sustancial. Uno de los beneficios más destacados de la acuaponía es su capacidad para lograr una producción dual, sin limitarse a un solo producto, lo que supone una mayor rentabilidad en un período de tiempo más breve.

La investigación busca fomentar la conciencia y la educación comunitaria sobre la tecnología innovadora en estos sistemas de cultivo, donde el conocimiento y la adopción de la acuaponía aún es limitado. Los resultados servirán como base para futuros proyectos agrícolas y acuícolas sustentables en la región, determinando el desarrollo de organismos y la producción de alimentos de manera responsable con el medio ambiente.

De ahí, persiste la importancia de comparar y evaluar dos sistemas acuapónicos específicos en la provincia de Santa Elena, Ecuador, con el propósito de determinar la viabilidad y eficiencia como métodos de crianza para dos especies comerciales de gran importancia a nivel nacional, *O. niloticus* y *L. sativa*. La producción combinada de peces y plantas en estos sistemas ofrece una serie de beneficios sustanciales.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL:

Comparar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa* mediante el seguimiento de su desarrollo en dos sistemas acuapónicos determinando la efectividad como métodos de crianza.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Estimar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* en sistemas acuapónicos estableciendo el índice de crecimiento específico, ganancia de peso y biomasa.
- Valorar el crecimiento de las plantas de *Lactuca sativa* mediante el registro de medidas de longitud, la ganancia de peso.
- Comparar los 2 sistemas acuapónicos funcionales determinando su eficiencia para la crianza de *O. niloticus* y *L. sativa*.

5. HIPÓTESIS

H₀: No hay diferencias significativas en el desarrollo de *O. niloticus* y en el crecimiento de *L. sativa* en los dos sistemas acuapónicos.

H₁: Existen diferencias significativas en el desarrollo de *O. niloticus* y en el crecimiento de *L. sativa* en los dos sistemas acuapónicos.

6. MARCO TEORICO

6.1 Acuaponía

La palabra acuaponía es un término que proviene de la palabra en inglés "aquaponics", la cual combina "aquaculture" (acuicultura) e "hydroponics" (hidroponía). Se define como un sistema donde se cultivan peces y plantas en un entorno controlado en un sistema de recirculación cerrado (Colorado Gómez et al., 2021).

Este sistema integra las prácticas tradicionales de la acuicultura con el cultivo hidropónico de plantas, enfocándose en la eficiente utilización de la energía a través de nutrientes por parte de todos los elementos involucrados: bacterias, peces y plantas. Además de su capacidad para generar biomasa, estos componentes colaboran activamente en mantener la pureza del medio acuático donde se desarrollan (Millares et al., 2017).

6.2 Origen de los sistemas acuapónicos

Los sistemas acuapónicos remontan sus orígenes a prácticas ancestrales, desarrollándose notablemente durante la civilización azteca con el uso de "Chinampas" (Figura 1) y de forma similar hace miles de años en China y Tailandia con la "Rizipiscicultura" (Lopez, 2022). En la actualidad, han adquirido una notable popularidad debido a su gestión simplificada en contextos comunitarios. Este

enfoque implica considerar la diversidad de género y una amplia gama de opciones para la obtención de productos saludables que tengan una alta demanda en el mercado.

Figura 1

Chinampas aztecas en cuerpos de agua



Nota. La imagen representa el sistema principal de cultivo de la comunidad azteca para el cultivo de alimentos. Fuente: Legado Azteca, (2023).

En la década de 1970, se descubrió que los residuos de pescado podían ser utilizados como fertilizantes orgánicos en sistemas acuapónicos. No obstante, fue en los años 1990 cuando James E. Rakocy, un destacado investigador en acuaponía llevó esta tecnología a un nivel más avanzado. Rakocy diseñó un sistema de camas flotantes y llevó a cabo experimentos con tilapia y tomates. Este avance marcó una inflexión que generó un gran interés tanto a nivel científico como económico en la

acuaponía, impulsando la replicación de su modelo con otras especies (Sawkar et al., 2020).

6.3 Componentes de un sistema Acuapónico

Según Millares et al. (2017) sostiene que los sistemas acuapónicos, independiente de su escala, pueden desempeñarse correctamente con diversos modelos como el NFT Nutrient Film Technique (Técnica de película de nutrientes), SRF (Sistema de Raíz Flotante) y las camas con sustrato. El funcionamiento abarca los siguientes elementos:

- Un tanque destinado a la cría de peces.
- Un sistema de aireación, ajustado según la especie seleccionada.
- Un biofiltro.
- Un tanque de mineralización.
- Un desgasificador.
- Un área de siembra, que varía dependiendo del sistema seleccionado (camas, canales, mesas, entre otros).

6.4 Funcionamiento de un sistema acuapónico

Según Cifuentes (2023) el sistema acuapónico consiste en un sistema de recirculación integrado donde las plantas obtienen nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo, provenientes de los desechos fecales de peces, la

descomposición de alimentos sobrantes y residuos, en este proceso las bacterias, alojadas en el sistema desempeñan un papel crucial al metabolizar los desechos y generar moléculas nutritivas, como los nitratos, que son absorbidos por las plantas para su crecimiento.

6.5 Tipos de sistemas

Existen diversos tipos de sistemas acuapónicos que se adaptan de acuerdo con la escala, tamaño, modelo y especies a cultivar:

6.5.1 Modelo doméstico

Alvarado Diaz et al. (2021) señalan que un modelo acuapónico doméstico es una alternativa cuando se pretende generar un aporte de alimento autoproducido en espacios reducidos (2 m² aproximadamente), están diseñados para minimizar la mano de obra y necesitar de poco tiempo de manejo, además de la posibilidad de presentarlos con fines ornamentales, al emplearse un acuario para generar un sistema acuapónico al incorporar un componente hidropónico (Figura 2).

Figura 2.

Modelos acuapónicos domésticos.



Nota. Se presentan modelos de sistemas acuapónicos domésticos en los que se utilizan diversidad de materiales. Fuente: Artaban, (2018) y Carreño, (2020).

6.5.2 Modelo comercial

Según López (2019) manifiesta que comenzaron a surgir empresas de producción comercial a medida que se dispusieron datos específicos sobre la producción en sistemas acuapónicos. Dentro de este grupo se puede mencionar a:

- S & S AquaFarm, diseñado para el cultivo de tilapia y diversas hortalizas, utilizando sistemas de camas leca.
- La Universidad de las Islas Vírgenes, con su sistema UVI, enfocado en el cultivo de tilapias y diversas hortalizas utilizando sistemas de balsas flotantes.
- Green fish, productores colombianos de alimentos frescos a través de la acuaponía y el sistema RAS.

6.5.3 Sistemas NFT

Los sistemas de película de nutrientes por sus siglas en inglés NFT (Nutrient Film Technique) se distinguen por la capacidad que posee de controlar el flujo de agua que pasa a través de los conductos, lo que resulta en un contacto directo con las raíces (Figura 3). Este caudal puede ser modulado para que circule de forma continua o mediante un temporizador, mejorando la oxigenación de las raíces de las plantas. Generalmente, estos sistemas se fabrican con canales de PVC perforados, diseñados para acomodar las plantas. (Pattillo, 2017).

Figura 3.

Sistema horizontal NFT.



Nota. Con la técnica NFT se utilizan canales perforados de PVC donde el flujo de agua circula y entra en contacto con las raíces. Fuente: Escoriego SRL (2021) y EcoInventos (2022).

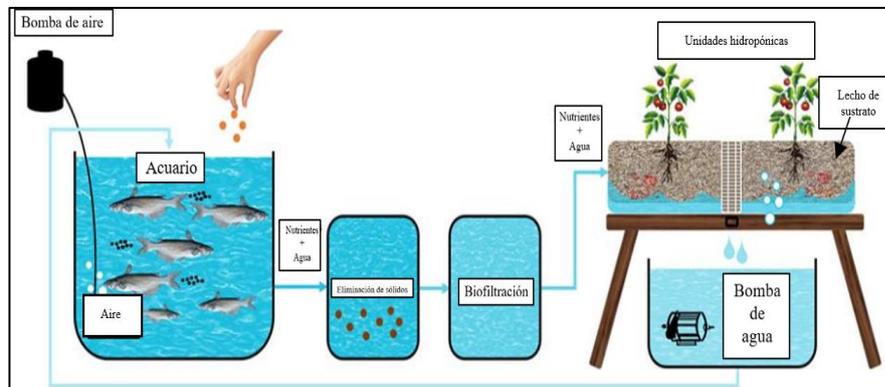
Generalmente, se instala un filtro mecánico previo a la distribución del agua a través de los tubos del sistema, con el fin de eliminar los sólidos en suspensión que podrían obstruir las raíces de las plantas, disminuyendo su capacidad de absorber nutrientes. Dado el área reducida de contacto para la adhesión bacteriana, es fundamental emplear un filtro biológico que realice la nitrificación antes de ingresar al componente hidropónico.

6.5.3.1 Lecho de sustrato

El lecho de sustrato, también conocido como "grow bed" o "media bed", consiste en recipientes como cajones o semilleros que contienen gravilla de distinto tamaño o arcilla expandida a una profundidad de entre 20-30 cm (Figura 4). Este tipo de sustrato es inerte, poroso y posee una alta capacidad de retención de humedad, lo que proporciona un soporte adecuado para las plantas de tamaño considerable y es ideal para la simbiosis necesaria para convertir los desechos de los peces en fertilizantes. Además, la semilla o plántula se puede sembrar directamente en el sustrato, este método es especialmente útil para plantas que requieren un buen sostén debido a su peso (Millares et al., 2017).

Figura 4.

Sistema lecho de sustrato en acuaponía



Nota. La figura representa la técnica de lecho de sustrato en donde se emplean diversos materiales como grava, piedras y arcillas que proporcionan un soporte físico a las raíces y ofrecen una superficie donde los microorganismos beneficiosos pueden establecerse. Tomado de Aleksic & Sustersic, (2020), editado por Limón, (2024).

6.5.3.2 Sistema de Balsa o Raíz Flotante (SRF)

Los cultivos de aguas profundas, o "balsas flotantes", utilizan grandes volúmenes de agua que actúan como reservorios y albergan los vegetales; dichos reservorios están formados por cajones, bateas o artesas, completamente llenos y cubiertos con planchas de tergotol o poliestireno perforadas para sostener los vegetales en recipientes. En escalas comerciales, estas planchas permiten que las raíces queden suspendidas en el agua, protegiéndola de la luz solar y la temperatura ambiental (Figura 5). Además, la gran masa de agua proporciona estabilidad térmica y de calidad, siendo ideal para áreas con fluctuaciones térmicas y pueden

almacenar una mayor carga de peces, mejorando los rendimientos económicos en acuicultura y facilitando el manejo de siembra y cosecha en hidroponía a escala comercial (Jiménez & Pérez, 2023).

Figura 5

Sistema de cultivo de raíces flotantes.



Nota. En el sistema SRF se utilizan plantas expuestas directamente al agua enriquecida con nutrientes mediante una plataforma que previene su hundimiento. Fuente: Somerville et al ., (2022).

6.6 Retos que enfrentan los sistemas acuapónicos

La creciente adopción de estilos de vida ecológicos y saludables ha llevado a una parte de la población a buscar alternativas productivas amigables con el medio ambiente, entre estas destaca la acuaponía no obstante esta práctica enfrenta diversos obstáculos que impactan principalmente en los ámbitos económico, social

y político, además a nivel global enfrenta desafíos como el crecimiento demográfico, la degradación del suelo, la inseguridad alimentaria, el cambio climático y la contaminación ambiental (Goddek et al., 2019).

6.7 Relación con la sostenibilidad de los sistemas acuapónicos

Según De la Luz Morales et al. (2023), la acuaponía emerge como un sistema sostenible que proporciona soluciones ambientales, biológicas, alimentarias y económicas al integrar la producción de alimentos hortícolas y acuícolas. A pesar de los importantes avances en la producción convencional de alimentos, tanto agrícolas como acuícolas, estos están limitados por prácticas de manejo inadecuadas, como el uso excesivo de agua, la aplicación de productos químicos y la generación de altos niveles de desechos (Zappernick et al., 2022).

Un aspecto clave en la acuaponía es la eliminación de fertilizantes químicos, lo que la convierte en una alternativa amigable con el medioambiente. Además, este sistema es compatible con otras tecnologías, como son los paneles solares que permiten abastecer la energía eléctrica requerida para el funcionamiento de bombas y otros dispositivos empleados en el monitoreo y optimización de un sistema acuapónico (Morales et al., 2023)

6.8 Uso de peces y vegetales en acuaponía

Existen estudios donde se evalúa la efectividad de establecer un cultivo de *O. niloticus* y producción de *L. sativa*, como menciona Geisenhoff et al., (2016), quienes evaluaron el efecto de diferentes sustratos, empleando grava y espuma de poliuretano, registrando rendimientos de plantas de 86,20 g y peces de 95,48 g, evidenciando un menor estrés durante el trasplante al utilizar espuma de poliuretano como sustrato. Estos resultados fueron contrastados con el rendimiento obtenido en un sistema hidropónico, mostrando una menor producción en el sistema acuapónico.

Según Rafiee & Saad (2006) los análisis realizados que utilizaron el sustrato mineral zeolita en el cultivo de *L. sativa* y *Oreochromis sp.* demostraron una disminución significativa en los niveles de nitrógeno y fósforo, con reducciones del 36.6 y 17.9 %, respectivamente atribuidas a la capacidad de la zeolita para el intercambio de cationes. No obstante, se resalta la influencia de los sustratos en los intercambios iónicos, lo que puede generar desafíos en las soluciones nutritivas, alteraciones en el pH y una disminución del nitrógeno disponible para el funcionamiento óptimo del filtro biológico.

6.9 Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

6.9.1 Origen

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, 1758) tiene su origen en los sistemas de agua dulce de África y Oriente Medio. Su distribución natural incluye la cuenca del Nilo, desde sus fuentes en África Oriental hasta el delta egipcio, así como los lagos y arroyos que conectan estas cuencas. En África oriental, la tilapia del Nilo se encuentra en los lagos George, Edward, Albert, Kivu, Tanganyika, Turkana y Baringo, así como en el Nilo. Debido a su relevancia para la acuicultura y la pesca, la tilapia del Nilo ha sido ampliamente introducida fuera de su área de distribución original y ahora se cultiva globalmente en regiones tropicales y subtropicales (Tesfaye et al., 2021).

6.9.2 Taxonomía

En la Tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica de *O. niloticus*, conocida comúnmente como tilapia gris, según Linnaeus, (1758).

Tabla 1.

Taxonomía de O. niloticus (Linnaeus, 1978)

Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Clase	Ctinopterygii
Orden	Perciformes
Familia	Cichlidae
Género	<i>Oreochromis</i>
Especie	<i>niloticus</i>



6.9.3 Introducción de tilapia en Ecuador

Aunque la fecha exacta de la introducción de la tilapia en Ecuador no se conoce con precisión, se ha sugerido que *O. mossambicus* fue traída desde Colombia en 1965 a Santo Domingo de los Tsáchilas, *O. niloticus* fue importada por agricultores privados de Brasil en 1974 y el híbrido rojo (*Oreochromis sp.*) se introdujo a principios de los años 80 (Zambrano et al., 2006).

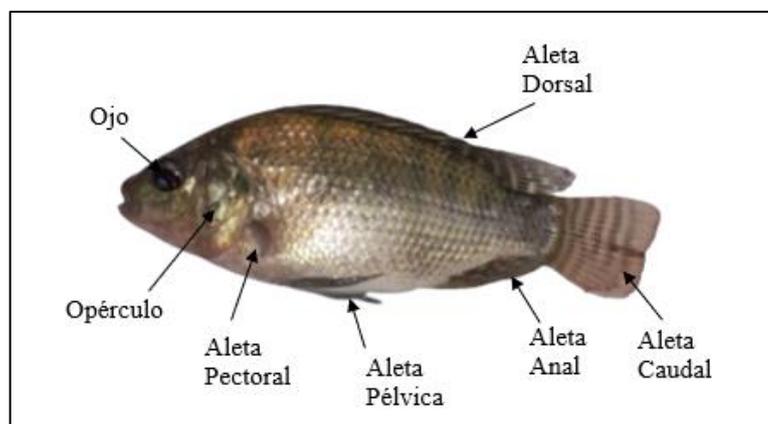
6.9.4 Características morfológicas

Las fosas nasales de cada lado de la cabeza sirven como entradas y salidas de la cavidad nasal, el cuerpo suele estar comprimido y en forma de disco, y rara vez se alarga, su boca es ancha, con labios gruesos alrededor y tentáculos, presenta dientes cónicos y en ocasiones incisivos en la mandíbula inferior (Figura 6).

Además, para la locomoción, tienen aletas emparejadas y no emparejadas, siendo las primeras las aletas pectorales y pélvicas, mientras que las aletas no emparejadas son las aletas dorsales, caudales y anales. Las aletas dorsales (forma de peine) y anal son más cortas, teniendo más espinas y puntas de radios suaves, mientras que la aleta caudal es redondeada y truncada (Luna Delgado, 2022).

Figura 6.

Morfología externa de O. niloticus.



Nota. El gráfico muestra la estructura externa de *O. niloticus* resaltando estructuras como el ojo, las aletas y el opérculo. Fuente: Legado Azteca, (2023).

6.9.5 Hábitos alimenticios

Según la FAO (2014), los hábitos alimenticios de la tilapia varían dependiendo de la edad, los juveniles son omnívoros y se alimentan de zooplancton, zoobentos, desechos y fitoplancton, al llegar a los 6 cm de longitud se convierten

en herbívoros consumiendo fitoplancton, tiene un patrón de alimentación diurno, es decir, se alimentan en el día y digieren en la noche.

6.9.6 Reproducción

Entre los 3 y 4 meses de edad el proceso de madurez sexual comienza, para este punto el cuerpo del organismo alcanza un peso aproximado de 50-100 g y una longitud de 10-12 cm. La hembra desova a una temperatura que varía entre 25-30 °C y expulsa alrededor de 100-2000 huevos. Una vez que estos son fertilizados por el macho, la hembra los recoge y los sostiene en su boca en donde se lleva a cabo su proceso de incubación. Este proceso limita la cantidad de huevos por ovoposición en comparación a otras especies y depende del peso de la hembra (Cuéllar Sáenz, 2021).

6.9.7 Parámetros requeridos para el cultivo

Según Saavedra (2006), para asegurar el crecimiento óptimo de la tilapia en el entorno de cultivo, es crucial mantener los parámetros ambientales dentro de ciertos rangos (Tabla 2).

Tabla 2.

Parámetros requeridos para el cultivo de O. niloticus.

Parámetros	Rangos
Temperatura	28-32°C. Dejan de alimentarse a 15 °C.
Oxígeno Disuelto	5-9 mg/l.
pH	6,5-9.
Salinidad	0-24 ppt.
Amonio (NH₄⁺)	0.02-0.05 mg/l
Nitrito (NO₂⁻)	<0.5 mg/l

Nota. Esta tabla muestra los parámetros necesarios para la producción óptima de *O. niloticus*. Fuente: Saavedra, (2006).

6.10 *Lactuca sativa*

6.10.1 Origen

Según Alvarez (2023), *L. sativa* tiene sus orígenes en Asia central, específicamente en la India, antes de que se comercializara a nivel mundial durante la ocupación inglesa. Históricamente *L. sativa* ya se usaba como complemento nutricional en la alimentación de romanos, egipcios y griegos, quienes la expandieron por Europa y aunque su origen exacto no es claro, se cree que proviene del Cercano Oriente.

6.10.2 Taxonomía

Linnaeus, (1758) clasifica taxonómicamente a *L. sativa* como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3.

Clasificación taxonómica de L. sativa.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliosida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>sativa</i>



6.10.3 Factores fisicoquímicos para el cultivo de *L. sativa*

En la Tabla 4 se presentan los parámetros y factores fisicoquímicos específicos para la producción de *L. sativa*.

Tabla 4.

Factores físicos y químicos para el desarrollo de la L. sativa

Factores fisicoquímicos	Descripción
Temperatura	15-20 °C tolera 4-27°C
Luz	10-12 horas
Humedad	60-70%
pH	6.0-7.0
Oxígeno disuelto	Evita anoxia en raíces
Nutrientes	N, P, K, Mg, Ca, Fe
Sistema hidropónico recomendado	Todos

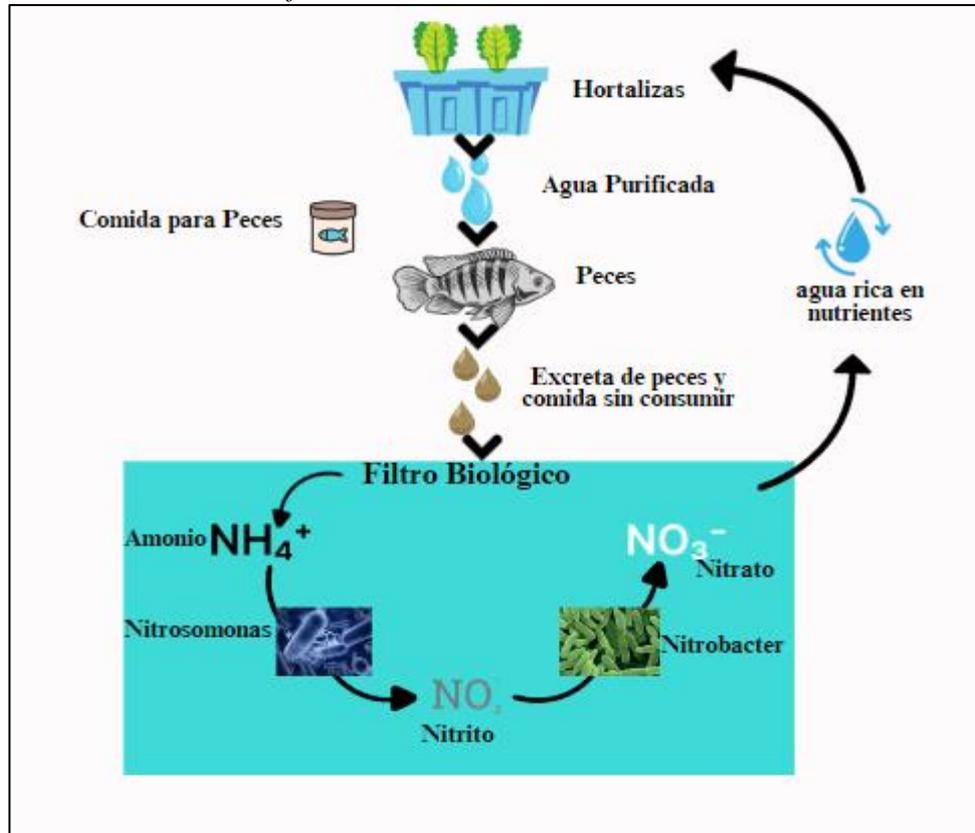
Nota. Esta tabla muestra los parámetros físicos y químicos óptimos para el cultivo de *L. sativa*. Fuente: Infoagro, (2010).

6.11 Bacterias nitrificantes

Las bacterias nitrificantes desempeñan un papel crucial en el ciclo del nitrógeno, transformando el amoníaco inicialmente en nitrito (NO_2^-) y posteriormente en nitrato (NO_3^-). Aunque las plantas pueden utilizar tanto el amoníaco como los nitritos, los nitratos son fácilmente absorbidos por sus raíces. Este proceso de nitrificación es natural y ocurre también en sistemas acuapónicos, donde las bacterias convierten el amoníaco derivado de los desechos animales, como los excrementos de los peces en los tanques de cultivo, en nitritos, propiciando nutrientes esenciales para las plantas y eliminando el amonio y los nitratos, como se muestra en la Figura 7 (Somerville, et al., 2022).

Figura 7.

Proceso de las bacterias nitrificantes.



Nota. La imagen representa el proceso realizado por las bacterias nitrificantes en un sistema acuapónico funcional, resaltando la función de las bacterias nitrosomonas y nitrobacter. Fuente: Goodman (2011) editado por Limón (2024)

6.11.1 Bacterias Nitrosomonas

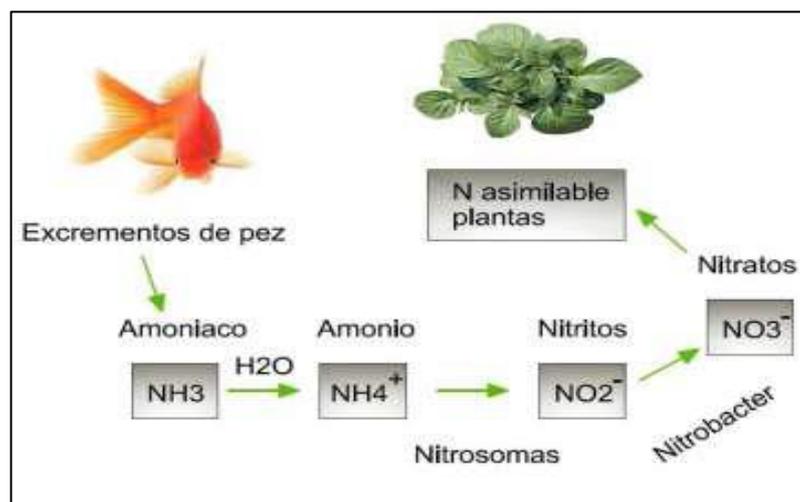
La descomposición de los restos de comida y los desechos de los peces liberan amoníaco (NH_3) al agua, donde se convierte en amonio (NH_4^+) mediante la ionización. Posteriormente, las bacterias del género *Nitrosomonas* transforman el amonio en nitrito (Guillaume, et al., 2002).

6.11.2 Bacterias Nitrobacter

Las bacterias pertenecientes al género Nitrobacter procesan el nitrito producido por las bacterias Nitrosomas, transformándolo en nitrato, una forma química apropiada para que las plantas puedan asimilar el nitrógeno y emplearlo en la producción de proteínas, promoviendo así su desarrollo (Roldán & Ramírez, 2008). En la Figura 8 se observan las reacciones químicas donde la excreta de los peces es asimilada por las bacterias del género Nitrobacter y Nitrosoma.

Figura 8.

Proceso químico y biológico en sistemas de cultivo acuapónicos.



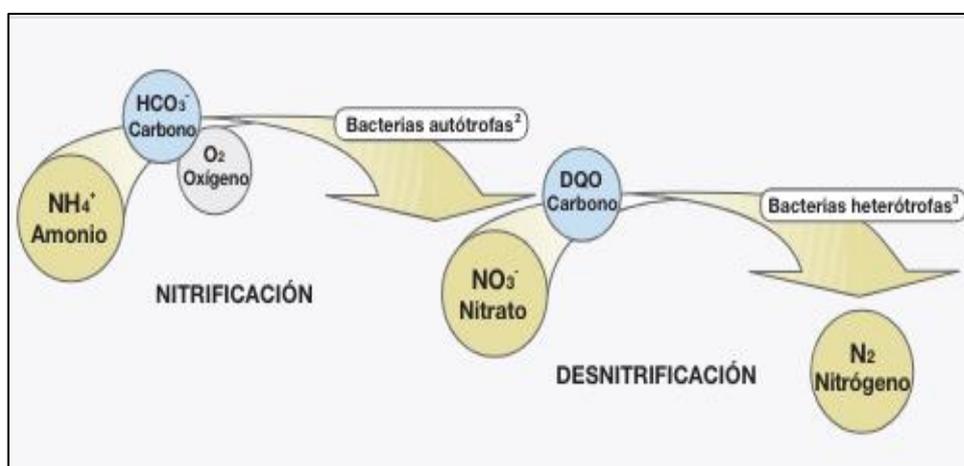
Nota. La imagen representa el proceso químico de la acuaponía en donde la excreta del pez es transformada en nitratos para la asimilación de las plantas. Fuente: Paivert, (2014).

6.11.3 Proceso de nitrificación y desnitrificación

El proceso de nitrificación-desnitrificación (NDN) es fundamental para la eliminación del nitrógeno en los residuos mediante transformaciones microbiológicas. La nitrificación implica la oxidación del amonio a nitrato en presencia de oxígeno y carbono inorgánico, realizada en dos etapas: primero, las bacterias Nitrosomonas convierten el amonio (NH_4^+) en nitrito (NO_2^-), y luego las bacterias Nitrobacter transforman el nitrito en nitrato (NO_3^-). Por otro lado, como se observa en la Figura 9, la desnitrificación ocurre en ausencia de oxígeno y en presencia de carbono orgánico, donde bacterias heterótrofas como Achromobacter, Aerobacter, Alcalibacter, Alcaligenes y Bacillus reducen el nitrato a nitrógeno molecular (N_2) gaseoso, que es liberado a la atmósfera (Filtec, 2015).

Figura 9.

Reacción de oxidación y reducción en el proceso de tratamiento NDN.



Nota: La imagen representa la reacción de oxidación o nitrificación y reducción o desnitrificación. Fuente: Generalitat de Catalunya, (2004).

7.2 Tipo de investigación

El presente estudio de investigación de enfoque experimental implicó la implementación y evaluación de dos sistemas acuapónicos con distintos métodos de filtración de residuos. El propósito consistió en recopilar datos sobre el desarrollo de los organismos piscícolas y vegetales, con el objetivo de evaluar la eficiencia de estos sistemas como métodos de crianza. Se llevará a cabo un seguimiento riguroso durante 8 semanas, aplicando parámetros controlados para la investigación y recopilación de datos.

7.3 Fase de campo

7.3.1 Descripción de los sistemas acuapónico-experimentales

La zona de experimentación estuvo delimitada con unas dimensiones de 25 m² y una altura de 2.5 m. En este espacio se implementaron dos sistemas acuapónicos de recirculación y filtración, utilizando tanques de 1 m³ (Figura 11).

Para la implementación del primer sistema, se empleó un tanque de 1 m³ para el cultivo de organismos conectado a dos tanques de 200 L que actúan como filtros mecánicos (decantador de residuos sólidos y filtro de partículas finas). A su vez estos se conectan a tres tanques de 100 L cada uno. El primero actúa como filtro biológico o biofilms, mientras que los dos restantes almacenan agua que posteriormente es empleada para el riego de plantas, las cuales están dispuestas en un diseño de muro compuesto por 5 tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 1.5

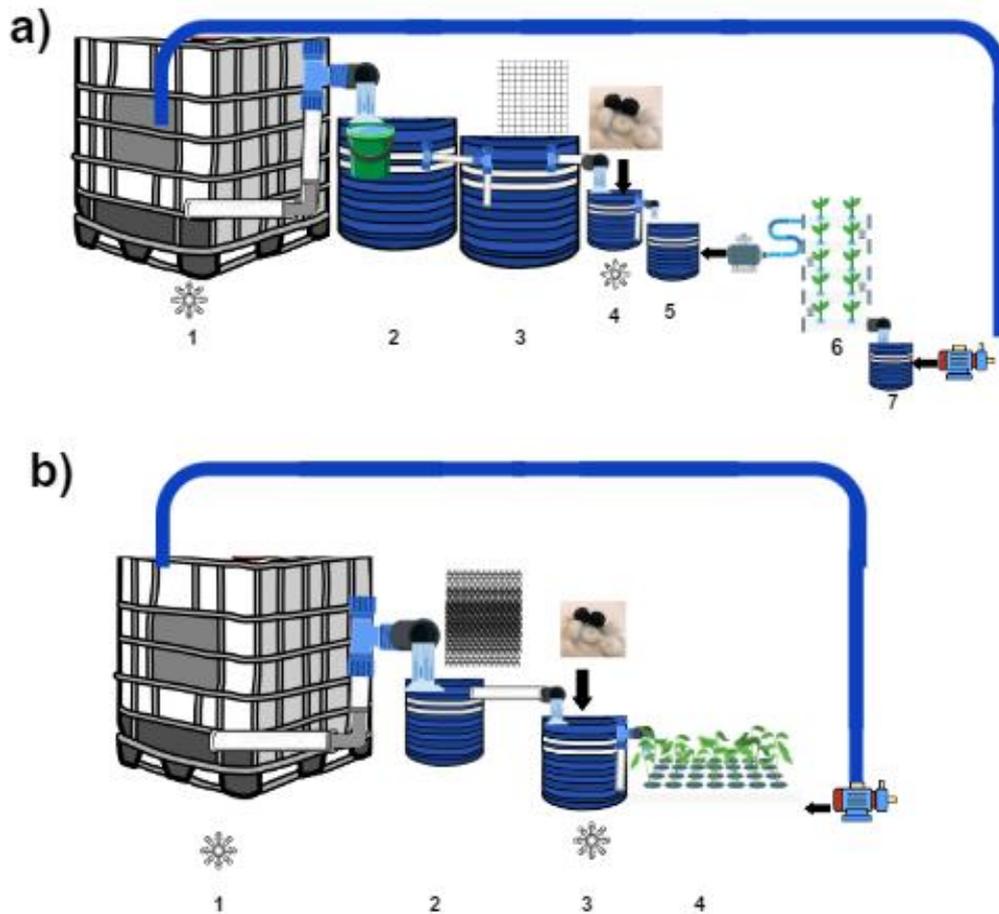
m de longitud, complementando el sistema de tipo NFT. La recirculación del agua se lleva a cabo mediante bombas de 0.5 HP con capacidad de generar un caudal de 35 l/min no obstante se regula con el fin de obtener un caudal constante de 14 l/min permitiendo la correcta filtración.

El segundo sistema consta de un tanque de 1 m³ que está conectado a dos tanques de 200 L, el primero contará con tres mallas de diferente micraje (50-100, 300-500, 500-700 µm) reteniendo residuos sólidos y partículas finas y el segundo posee el filtro biológico, el agua obtenida provee el riego para las plantas en el sistema SRF y posteriormente regresa al tanque de producción con un caudal de 17 l/min.

Ambos sistemas estarán equipados con aireación constante, suministrada por un compresor de aire JAD modelo ACQ-012 y líneas de aire conectadas a una manguera difusora. Se utilizará un termómetro como método de medición de la temperatura del agua.

Figura 11.

Esquema de los sistemas acuapónicos



Nota. Esquema de los sistemas acuapónicos. a1: Tanque de 1000 l (Organismos), a2: Tanque decantador de residuos sólidos, a3: Filtro de partículas finas, a4: Biofiltro, a5: Balde para riego, a6: sistema NFT, a7: Balde de reserva de agua. b1: Tanque de 1000 l (Organismos), b2: filtrador por micraje, b3: Biofiltro, b4: sistema SRF.

7.3.2 Manejo del sistema acuapónico

Se utilizaron 100 alevines de *O. niloticus* con un peso promedio de 2-4 g aproximadamente y una longitud de 2-4 cm. Los alevines fueron adquiridos en la Finca NATURALFISH C.A, ubicada en Yaguachi, Km 25.5 de la vía Durán-Juján. La densidad de siembra en cada sistema fue de 50 alevines/m³, los cuales fueron aclimatados a las condiciones del medio.

La evaluación biométrica se realizó cada 11 días dando inicio un día posterior a la siembra, efectuándose por medio de una balanza digital para peso y un ictiómetro para la medición de talla. En total, se realizaron 6 evaluaciones durante las 8 semanas de estudio. Los organismos fueron distribuidos al azar.

La alimentación de *O. niloticus* fue suministrada utilizando un balanceado comercial de forma manual siguiendo la tabla de piscicultura Ecosostenible Chireno (Figura 23). Determinando la cantidad de alimento diaria en función a la biomasa y temperatura del medio, siendo en promedio 26 °C la alimentación fue entre 5-3 % del total de la biomasa en el transcurso de la fase experimental.

Se utilizaron semillas comerciales de *L. sativa* que tenían 21 días de germinación. Estas plántulas fueron colocadas en los sistemas NFT y SRF (50 plántulas cada uno).

Para llevar a cabo la evaluación de *L. sativa*, y siguiendo el método empleado por Loy-Bravo (2021), se utilizó un calibrador Vernier para medir la longitud de la roseta, y una balanza digital para el peso de los vegetales, realizándose al inicio y al final del proyecto.

Se establecerá un período de 7 días con recirculación de agua sin la presencia de los organismos y se añadirá Probiotech plus para promover la proliferación de la colonia bacteriana, permitiendo que colonicen las superficies de las tapas de plástico y fragmentos de plástico corrugado reciclado empleados como medio filtrante.

La calidad del agua se determinó por medio de mediciones diarias de temperatura por medio de un termómetro, el pH utilizando un pHmetro digital de la marca Ohaus, el amonio no ionizado y nitrito con el Kit Api de colorimetría y el oxígeno disuelto por un oxigenómetro Apera.

7.4 Análisis de datos

7.4.1 Número mínimo de la muestra

Para efectuar los registros biométricos de los organismos se estimó el cálculo de la muestra utilizando la fórmula de Aguilar-Barojas (2005).

$$n = \frac{N * Z^2 * pq}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * pq}$$

Donde:

n: Número mínimo de la muestra.

N: Población total en el estanque en el momento del muestreo.

Z: Nivel de confianza 95% = 1.96

e: Error de estimación máxima aceptado

p: Proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (0.5).

q: Proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1 -p).

7.4.2 Índice de crecimiento específico

Se calculó el Índice o tasa de crecimiento específico (ICE), utilizando la fórmula empleada por García-Ulloa, (2004).

$$ICE = \frac{\ln Pf - \ln Pi}{\Delta t} * 100$$

Donde:

ln Pf: Logaritmo natural del peso final.

ln Pi: Logaritmo natural del peso inicial.

Δt : Tiempo (días).

7.4.3 Factor de conversión alimenticia

El Factor de Conversión Alimenticia (FCA) se calculará según Licamele (2009), mediante la fórmula:

$$FCA = \frac{\text{Alimento suministrado (g)}}{\text{Incremento neto de Biomasa (g)}}$$

7.4.4 Incremento de peso

Obtenidos los resultados de pesos inicial y final y siguiendo lo propuesto por Delgado-Gavilano, (2020) se determina el aumento en gramos.

$$\text{Ganancia de peso(g)} = W_f - W_i$$

Donde:

W_f : Peso promedio final (g)

W_i : Peso promedio inicial (g)

7.4.5 Incremento de longitud

Para la ganancia de la longitud total del pez se realizaron mediciones desde la punta de la boca hasta el final de la aleta caudal.

Ganancia de longitud (cm) = Longitud final – Longitud inicial

7.4.6 Biomasa

La estimación de la biomasa se determinó con la siguiente fórmula:

$$Biomasa = \text{Número de organismos} * \text{Peso promedio}$$

7.4.7 Supervivencia

Según Huamán-Silva (2016) para la supervivencia se utiliza la siguiente ecuación.

$$Supervivencia = \frac{N^{\circ} \text{ PC} * 100}{N^{\circ} \text{ PS}}$$

Donde:

N° PC: número de peces final o número de peces cosechados.

N° PS: número de peces inicial o número de peces sembrados.

7.4.8 Análisis del crecimiento de *L. sativa*

7.4.8.1 Ganancia de Longitud

La estimación de ganancia en longitud de las plántulas de *L. sativa* se utilizó la ecuación:

$$\text{Ganancia de Longitud (cm)} = \text{Longitud final} - \text{longitud inicial}$$

7.4.8.2 Ganancia de peso

Para la estimación de la ganancia en peso se aplicará la fórmula

$$\text{Ganancia de peso (gr)} = \text{Peso final} - \text{Peso inicial}$$

7.4.8.3 Biomasa

La biomasa se determinará con la siguiente fórmula:

$$\text{Biomasa} = \text{Número de plántulas} * \text{Peso promedio}$$

7.4.8.4 Supervivencia

La supervivencia de peces al final del proyecto se determinará con la siguiente ecuación.

$$\text{Supervivencia} = \frac{\text{Número de organismos cosechados} * 100}{\text{Número de organismos sembrados}}$$

7.4.9 Eficiencia de los sistemas

Para determinar la eficiencia como sistema de crecimiento se empleó la ecuación (Tapia-Diaz, 2018).

$$\text{Eficiencia productiva} = \frac{\text{Cantidad de biomasa producida}}{\text{Superficie del área}}$$

Donde:

- Cantidad de biomasa total producida es la suma del peso total en kg de *L. sativa* y *O. niloticus*.
- Superficie del área es la superficie en m² donde se implementará el sistema (25 m²).

Para finalizar, se llevaron a cabo pruebas estadísticas empleando Excel y Minitab 18 con el propósito de identificar discrepancias significativas en el desarrollo de *L. sativa* y *O. niloticus*. Se aplicaron pruebas T student para 2 muestras de datos independientes y Anova, más Tukey para clasificarlos en grupos.

8. RESULTADOS

8.1 Índice de crecimiento específico, ganancia de peso y biomasa de *O. niloticus*

8.1.1 Índice de crecimiento específico

Con base en los datos recopilados, la tasa de crecimiento específico fue similar para ambos sistemas, pero se observaron ligeras diferencias para el sistema NFT, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Índice de crecimiento específico y pesos promedios de O. niloticus

Días	ICE			
	NFT		SRF	
	Peso promedio (g)	ICE (%)	Peso promedio (g)	ICE
2	2.98	0	2.89	0
13	5.71	5.91	4.94	4.88
24	8.66	3.79	8.27	4.69
35	14.25	4.52	13.70	4.59
45	22.12	4.00	20.64	3.73
57	30.92	3.04	28.4	2.90
Promedio		4.25		4.16

Nota. En la tabla se muestran variaciones del ICE de 3.04 - 5.91 en el T1 y de 2.90 - 4.88 en el T2 en función a los registros quincenales.

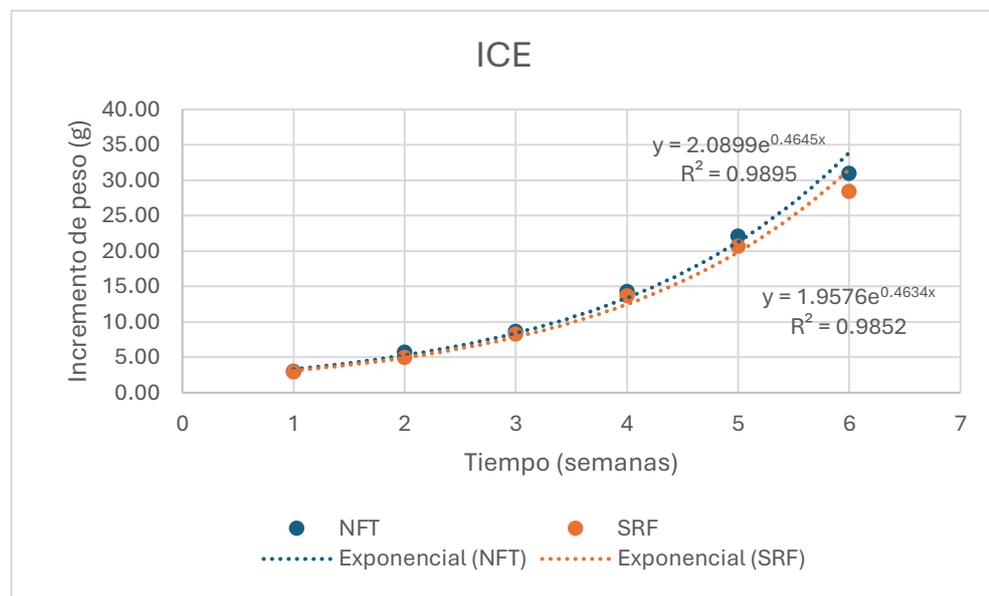
En la Figura 12 se refleja un crecimiento exponencial de *O. niloticus* presentando un coeficiente de determinación de 0.98 para los sistemas NFT Y SRF, existiendo una relación directamente proporcional en el incremento en peso versus el tiempo de cultivo. Se obtuvo las ecuaciones:

$$\text{Incremento en peso} = 2.0899 e^{0.4645 (\text{tiempo})} \text{ para el NFT}$$

$$\text{Incremento en peso} = 1.9576 e^{0.4634 (\text{tiempo})} \text{ para el SRF}$$

Figura 12

Línea de tendencia del crecimiento de O. niloticus.



Nota. En la imagen se presenta una relación directamente proporcional de la ganancia en peso y el tiempo.

8.1.2 Incremento de peso y longitud

Según los datos obtenidos (Tabla 6) el mayor incremento de peso para *O. niloticus* fue para el Sistema NFT llegando a 30.92 g en 57 días en comparación

con los 28.4 g del SRF, teniendo una diferencia no significativa ($P>0.05$) según la prueba T student, mientras que la prueba ANOVA determinó un valor F de tabla de 3.95, siendo mayor a la F calculada de 2.68, afirmando la inexistencia de una diferencia significativa. En promedio, el sistema NFT aumentó 5.59 g por muestreo, mientras que en el SRF aumentó en 5.10 g (Figura 13). Del mismo modo, ocurrió para el aumento de longitud, alcanzando en NFT 12.22 cm y SRF 11.92 cm (Tabla 7) aumentando en promedio 1.79 y 1.73 cm por muestreo (Figura 14).

Tabla 6.

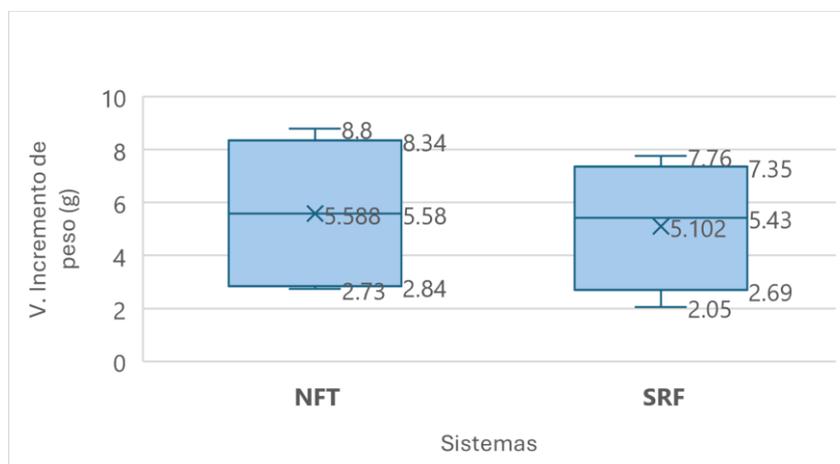
*Pesos promedio e incremento de peso de *O. niloticus**

Días	Incremento de peso			
	NFT		SRF	
	Pesos promedios (g)	Incremento de peso (g)	Pesos promedios (g)	Incremento de peso (g)
2	2.98		2.89	
13	5.71	2.73	4.94	2.05
24	8.66	2.95	8.27	3.33
35	14.25	5.59	13.7	5.43
45	22.12	7.87	20.64	6.94
57	30.92	8.8	28.4	7.76
Promedio. M		5.59		5.10
Promedio. D		0.49		0.44

Nota. En la tabla se reflejan los pesos promedios del sistema NFT y SRF junto a su crecimiento en gramos, evidenciando la ganancia suscitada entre cada muestreo.

Figura 13.

Varianza del incremento de peso de O. niloticus



Nota. En la figura se muestra la varianza del incremento de peso en los sistemas acuapónicos, presentando una variabilidad similar entre ambos.

Tabla 7.

Longitud promedio e incremento de longitud de O. niloticus

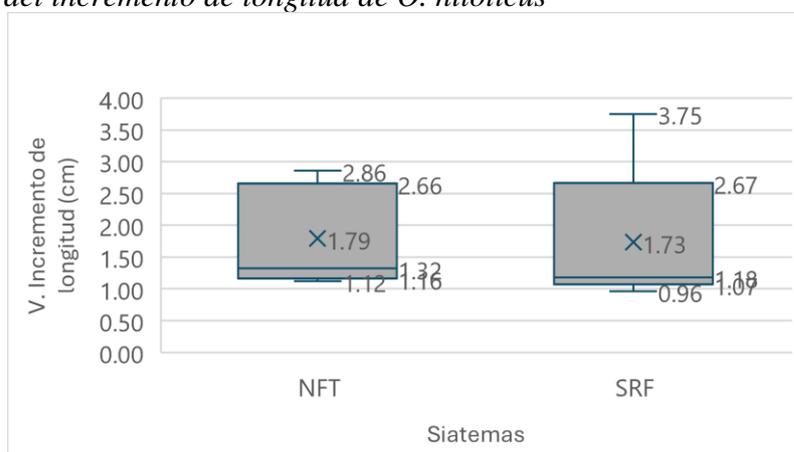
Incremento de longitud				
Muestreo	NFT		SRF	
	Longitud T promedio (cm)	Incremento de longitud (cm)	Longitud T promedio (cm)	Incremento de longitud (cm)
2	3.26		3.27	
13	5.72	2.45	4.85	1.58
24	8.58	2.86	8.60	3.75

35	9.70	1.12	9.78	1.18
45	10.90	1.20	10.74	0.96
57	12.22	1.32	11.92	1.18
Promedio. M		1.79		1.73
Promedio. D		0.15		0.15

Nota. En la tabla se reflejan las longitudes promedias de los sistemas NFT SRF y su aumento en centímetros, reflejando la ganancia suscitada entre cada muestreo.

Figura 14.

Varianza del incremento de longitud de O. niloticus



Nota. En la figura se muestra la varianza del incremento de longitud en los tratamientos NFT y SRF mediante gráficos de cajas, teniendo mínimos de 1.12 y 0.96, cuartiles 1 de 1.16 y 1.07, cuartiles 2 de 1.32 y 1.18, cuartil 3 de 2.66 y 2.67, un valor máximo de 2.86 y 3.75 y medias aritméticas de 1.79 y 1.73 respectivamente teniendo una variabilidad similar en longitud entre ambos.

8.1.3 Supervivencia de *O niloticus*

Se registran los valores de supervivencia en los dos sistemas de producción (Tabla 8).

Tabla 8.

Supervivencia de O. niloticus para los sistemas acuapónicos NFT Y SRF

Peso	Sistemas	
	NFT	SRF
Pi	50	50
PF	46	45
Supervivencia	92%	90%

Nota. La tabla muestra los porcentajes de supervivencia que se dieron después del proceso de adaptación a los sistemas acuapónicos.

En el sistema NFT existe una supervivencia de un 92 %, mientras que en el SRF es de 90 %. Estos resultados indican un buen nivel de supervivencia en ambos sistemas acuapónicos, además de no presentar diferencia significativa, no obstante, se destaca que en la primera semana perecieron 3 organismos por cada sistema representando el 6 %, mientras que en la segunda semana en el sistema NFT

perecieron 1 organismos representando el 2% de la población, mientras que en el SRF perecieron 2 organismos representando 4 %.

8.1.4 Factor de conversión alimenticia

El FCA en el sistema NFT resultó en (0.76:1) y en el SRF (0.80:1), demostrando que el primer sistema necesita de 0.76 g de alimento para que el organismo gane 1 g de peso, mientras que en el segundo sistema necesita de 0.80 g de alimento para que gane 1 g de peso, teniendo en ambos casos una conversión alimenticia moderada (Tabla 9).

Tabla 9.

Factor de conversión alimenticia por tanque de experimentación

Factor de conversión alimenticia			
Sistemas	Alimento suministrado (g)	Incremento de Biomasa (g)	FCA
NFT	968.22	1273.24	0.76
SRF	934.83	1161.99	0.80

Nota. En la tabla se muestra la FCA por medio del alimento suministrado y el incremento de biomasa.

8.1.5 Biomasa

Aunque ha existido una mortalidad del 8 y 10 % respectivamente, la biomasa ha aumentado considerablemente, teniendo en el sistema NFT un aumento de 1273.24 g y en SRF de 1161.99 g (Tabla 10).

Tabla 10.

Incremento de biomasa por muestreo de O. niloticus

Muestreo	NFT Biomasa(g)	SRF Biomasa (g)
1	149.06	144.40
2	262.67	222.32
3	398.44	372.23
4	655.30	616.65
5	1017.72	928.99
6	1422.30	1277.99
I.B	1273.24	1161.99

Nota. En la tabla se muestra el incremento de biomasa existente entre cada muestreo.

8.2 Ganancia en longitud y peso de *L. sativa*

El desarrollo de las plantas de *L. sativa* tanto en longitud como en peso resultó positivo, es decir aumento considerablemente tanto en el sistema NFT como en el SRF. Sin embargo, se observó un mejor rendimiento en el segundo con un mayor aumento de longitud y de peso. La longitud media final del SRF fue de 15.62 cm, mientras que en el NFT fue de 14.34 cm, superando su ganancia por 1.28 cm (Figura 15). De la misma forma, la ganancia de peso fue superior en el sistema SRF con un peso final de 72.88 g en comparación al sistema NFT que obtuvo 65.68 g (Figura 16). No obstante, utilizando la prueba T Student, no se evidencian diferencias significativas relevantes entre ambos métodos de cultivo ($P > 0.05$), mientras que empleando la prueba ANOVA se determinó una F de tabla de 3.98, siendo mayor a la F calculada de 0.43, lo cual reafirma la inexistencia de una diferencia.

Figura 15

Longitud promedio de L. sativa al inicio y final de la fase experimental.

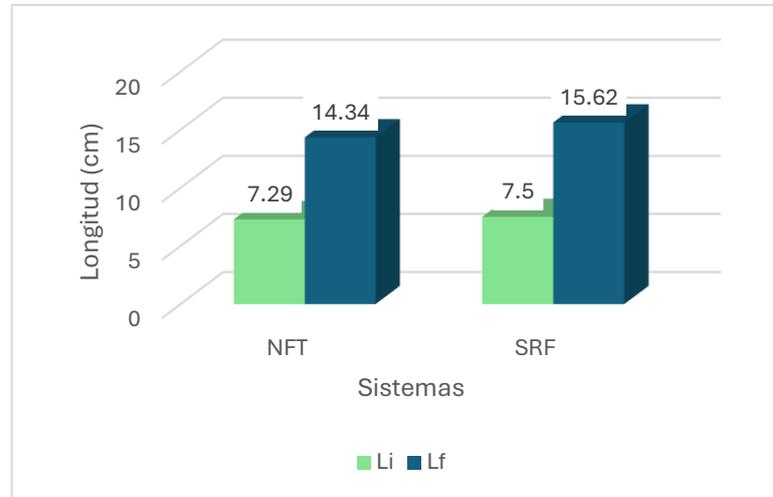


Figura 16.

Pesos promedios de L. sativa al inicio y final de la fase experimental.



8.2.1.1 Biomasa

A pesar de existir una supervivencia de 54 y 82%, respectivamente entre ambos sistemas, el aumento de biomasa sufrió un aumento significativo, teniendo en el sistema NFT 1674.65 g y en el SRF con 2,886.95 g, teniendo una diferencia entre 1,212.3 g (Tabla 11).

Tabla 11.

Biomasa de L. sativa en los dos sistemas acuapónicos.

Muestreo	NFT	SRF
	(g)	(g)
1	98.42	101.06
2	1,773.32	2,987.95
A	1,674.9	2,886.89
biomasa		

8.2.1.2 Supervivencia

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la Tabla 12, *L. sativa* en el sistema NFT tuvo una tasa de supervivencia inferior al SRF con un 28%. Esto se debe al incremento de temperatura que suscitó al ser un sistema cerrado con periodos de recirculación de 3 minutos cada 2 horas, llevando a que en los tubos de

PVC el agua alcanzara temperaturas de hasta 30°C, ocasionando un menor desarrollo y mortalidad mayor.

Tabla 12.

Supervivencia de L. sativa en sistemas NFT y SRF

Peso	NFT	SRF
Pi	50	50
PF	27	41
Supervivencia	54%	82%

Nota. La tabla muestra los porcentajes de supervivencia de *L. sativa* durante el periodo de la fase experimental.

8.3 Eficiencia de los sistemas

Los valores finales de eficiencia productiva, reflejan que el sistema de raíz flotante es más eficiente en comparación al sistema NFT, teniendo una diferencia de 11.9 g por metro cuadrado, destacando que en el primer sistema se ha visto un mayor desarrollo en los peces, no obstante, la mortalidad de *L. sativa* ocasionó una disminución considerable en la eficiencia productiva, mientras que aunque en el

SRF el desarrollo de los organismos fue inferior, generó una mayor biomasa total de las especies (Tabla 13).

Tabla 13.

Determinación de la eficiencia productiva de los sistemas acuapónicos

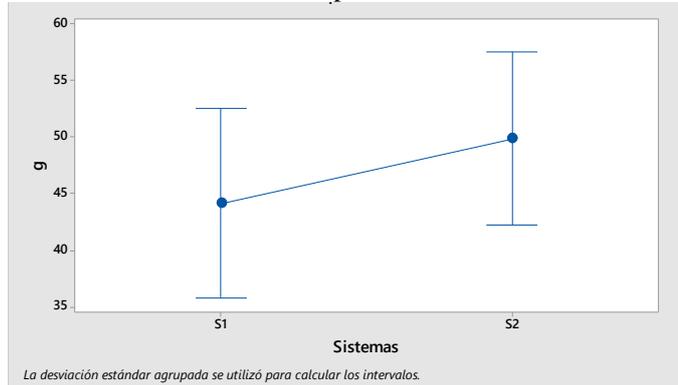
Eficiencia de sistemas		
	NFT	SRF
Cantidad de Biomasa producida(g)	2948.14	4048.88
Superficie del Área(m²)	12.50	12.50
Eficiencia productiva (g/m²)	235.85	323.91

Nota. La tabla muestra la eficiencia productiva de cada sistema por medio de la cantidad producida de biomasa y el área donde se desarrolla.

Se aplicó la prueba T student y para la corroboración de datos se utilizó Anova y Tukey empleando Excel y Minitab 18. Los resultados mostraron un valor P (>0.05) (Tabla 19) y un valor F tabla de 3.90 y F calculada de 1.001 (Tabla 20) en conjunto con una agrupación de la prueba de Tukey al 5% en un rango representado por la letra A (Tabla 21) y una gráfica de intervalos en la Figura 17. Estos resultados respaldan la aceptación de la hipótesis nula, indicando que no se presenta una diferencia significativa entre las medias de los sistemas comparados.

Figura 17

Análisis de la varianza de los sistemas acuapónicos con un 95% de confianza



Nota. La figura muestra la varianza entre los sistemas acuapónicos teniendo en el eje Y la variable de gramos y como punto central los promedios de la muestra.

8.4 Comparación de parámetros fisicoquímicos

Los cambios en los parámetros fisicoquímicos durante las 8 semanas distribuidas en 57 días se presentan en la Tabla 14. Teniendo en cuenta que estos datos son el promedio semanal, se observó una temperatura promedio final en el T1 de 26.57 ± 0.27 °C y en el T2 de 26.51 ± 0.22 °C, un pH en T1 de 7.51 ± 0.12 y en el T2 de 7.43 ± 0.09 , un oxígeno disuelto en el T1 de 5.74 ± 0.75 mg/l y en T2 de 5.70 ± 0.74 mg/l. Para el amonio no ionizado (NH_4^+), se determinó una concentración promedio de 0.37 ± 0.06 mg/l en el T1 y 0.36 ± 0.03 mg/l en el T2; y para la variable nitritos (NO_2^-), se obtuvo una concentración promedio de 0.16 ± 0.03 mg/l para T1 y 0.18 ± 0.03 para T2.

El parámetro de pH se mantuvo dentro del rango óptimo (6.5-9) para el cultivo de *O. niloticus* (Figura 19), no obstante, la temperatura, concentración de oxígeno disuelto, amonio no ionizado y nitrito tuvieron variaciones significativas que los alejan de los rangos óptimos presentados por Saavedra M (2006) representados en la Tabla 2. Los parámetros variaron con mínimos y máximos entre el sistema NFT y SRF de la siguiente manera, para temperatura tenemos 25.9-25.7 °C mínimos y máximos de 26.89-26.83 °C (Figura 18), el OD osciló entre un mínimo 4.8-4.81 mg/l y un máximo de 6.42-6.48 mg/l (Figura 20), para el amonio se determinó un mínimo de 0.15-0.2 mg/l a un máximo de 0.46 y 0.4 mg/l (Figura 21) y el nitrito de un mínimo de 0.1-0.15 mg/l a un máximo de 0.2-0.24 mg/l (Figura 22), independientemente de estos factores, la mortalidad registrada no superó el 90 %; no obstante, si se registra una deficiencia en el desarrollo normal del organismo.

Tabla 14.*Promedios semanales de los parámetros fisicoquímicos*

Semanas De muestreo	Parámetros									
	T(°C)		pH		OD (mg/l)		NH₄⁺ (Mg/l)		NO₂⁻ (mg/l)	
	NFT	SRF	NFT	SRF	NFT	SRF	NFT	SRF	NFT	SRF
1	26.81	26.74	7.39	7.29	5.06	5.08	0.28	0.31	0.1	0.24
2	26.61	26.57	7.56	7.44	4.8	4.84	0.31	0.35	0.19	0.15
3	26.61	26.46	7.56	7.43	4.8	4.81	0.34	0.4	0.2	0.19
4	26.04	26.13	7.34	7.41	5.7	5.41	0.38	0.36	0.18	0.19
5	26.89	26.83	7.54	7.36	6.42	6.34	0.46	0.35	0.18	0.18
6	26.6	26.49	7.46	7.59	6.34	6.34	0.38	0.36	0.14	0.19
7	26.64	26.57	7.46	7.38	6.42	6.31	0.40	0.36	0.16	0.18
8	26.34	26.3	7.73	7.51	6.36	6.48	0.41	0.4	0.15	0.15
Promedio	26.57	26.51	7.51	7.43	5.74	5.70	0.37	0.36	0.16	0.18
V. Max	26.89	26.83	7.73	7.59	6.42	6.48	0.46	0.4	0.2	0.24
V. Mín	26.04	26.13	7.34	7.29	4.8	4.81	0.28	0.31	0.1	0.15
D. E	0.27	0.22	0.12	0.09	0.75	0.74	0.06	0.03	0.03	0.03

Nota. La tabla muestra los valores promedios de parámetros entre cada muestreo con su valor máximo, valor mínimo y desviación estándar correspondiente.

Figura 18.

Rangos semanales de temperatura

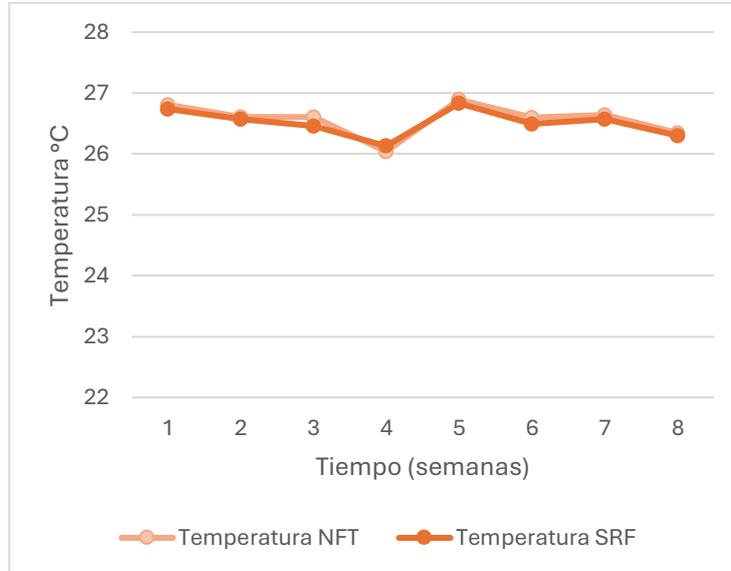


Figura 19.

Rangos semanales del pH

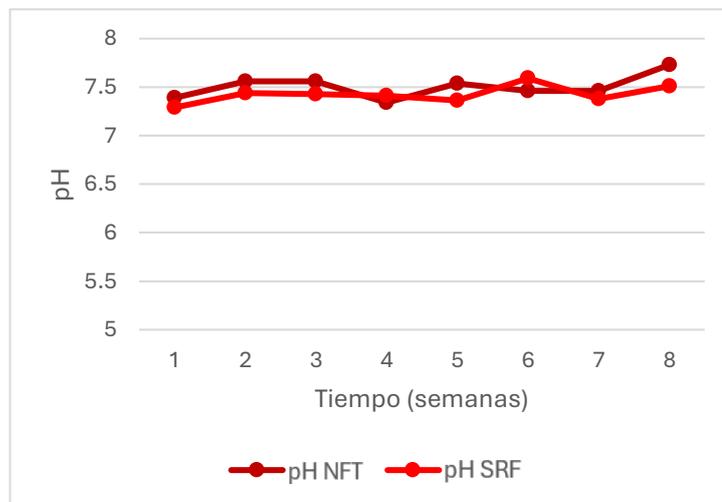


Figura 20.

Rango semanal del Oxígeno disuelto

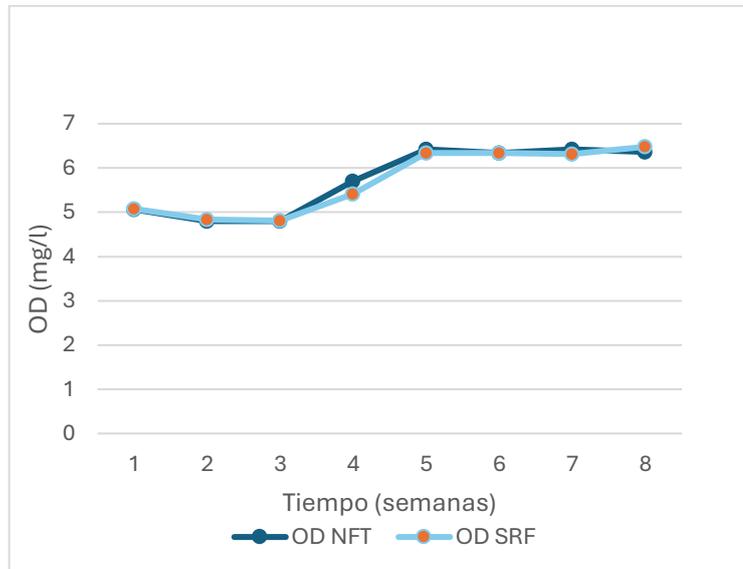


Figura 21.

Rangos semanales del amonio

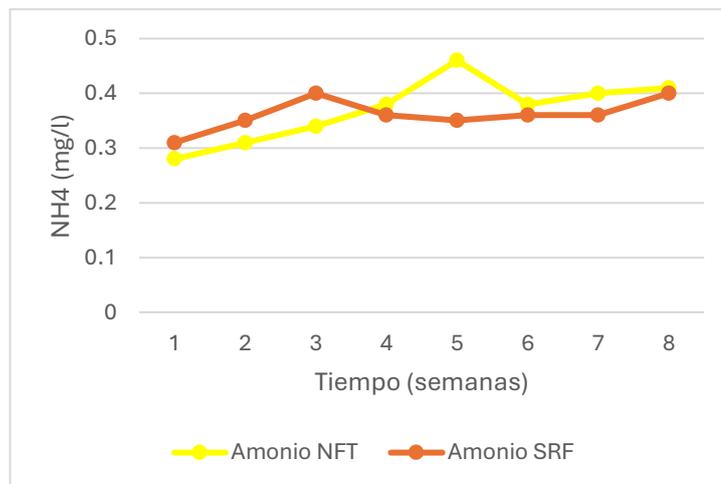
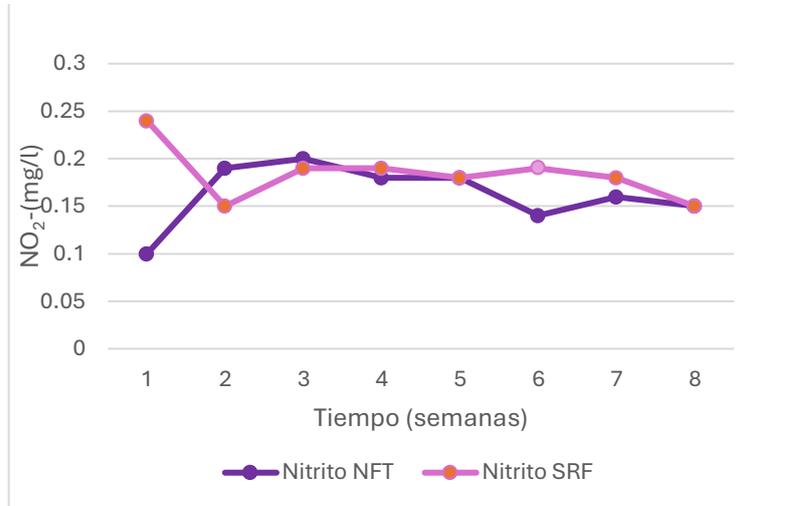


Figura 22.

Rangos semanales de nitrito.



9. DISCUSIONES

Los sistemas implementados en este trabajo de investigación resultaron efectivos para la producción de *O.niloticus* y *L.sativa*, teniendo como punto de partida una siembra con relación 1:1 para Peces-Plantas, siendo igual a la relación empleada por Moreno-Simón & Zafra-Trelles (2014). Por su parte, Martínez (2020) empleó una relación 1:2, estas relaciones peces-plantas están determinadas por la necesidad del sistema de buscar un equilibrio de nutrientes, aportando lo necesario a las plantas y evitando una sobrecarga en el agua debido a que valores elevados resultan perjudiciales para los peces.

Los datos obtenidos del proyecto presentaron en el sistema NFT y SRF una mortalidad del 8% y 10%, respectivamente, no existiendo una diferencia significativa entre ambos sistemas, presentándose en los 11 primeros días y posteriores a la siembra, coincidiendo con la Estación Piscícola de Gigante (2015), quienes mencionaron que la mortalidad de alevines de tilapia se da durante su adaptación, comprendiendo el periodo de las 2 primeras semanas.

El ICE mostró valores de 4.25 y 4.16 % en un periodo de 57 días para NFT y SRF. Estos datos son superiores a los establecidos por Naranjo & Quijije (2021), quienes obtuvieron un ICE entre 2.65 - 2.89 % en 124 días, y a los datos de Botello et al., (2022), que registraron 2.56 - 3.14 %; esto es, debido al tiempo y a la fase de

desarrollo de los alevines, al tener condiciones que favorecen su crecimiento y encontrarse en una etapa temprana, el ICE será mayor a comparación de periodos largos u organismos maduros.

De acuerdo con la información obtenida, los alevines de los sistemas NFT y SRF con una densidad de siembra de 50 alevines/m³ de un peso promedio de 2.98 g y 2.89 g aumentaron en peso promedio 0.49 y 0.44 g/d y una longitud total de 0.15 cm/d en un periodo de 57 días, siendo datos superiores a los datos mostrados por Morales Morales (2019) y Rueda-Liberato (2023) quienes sembraron a diferentes densidades por 42 días y obtuvieron un promedio de 0.37 g/d y 0.29 - 0.32 g/d con un aumento de longitud total de 0.12 cm/d y 0.046 - 0.061 cm/d. No obstante, estos valores son inferiores a los mostrados por Delgado-Gavilano (2020) quien obtuvo un crecimiento de 1.04 g/d con una densidad de siembra de 57 ejemplares/m³ empleando organismos de 3-6 meses de edad en 90 días, determinando que el incremento de peso y longitud está relacionado con la etapa de desarrollo de la tilapia y la densidad de siembra.

En el presente estudio se obtuvo una relación inversamente proporcional en función a la densidad de siembra y las variables productivas (peso - talla); por lo tanto, se evidencia que a mayor densidad de siembra se obtiene un menor peso y tamaño del animal. Una vez que el animal llega a su talla comercial de 230 g o 20

cm de largo se suministra alimentación con el fin de obtener ganancia considerable en peso más no en talla.

En el factor de conversión alimenticia tenemos un promedio de 0.76 y 0.80, siendo un valor similar a lo mostrado por Marín-Minga (2019), quien tuvo FCA entre 0.21-0.91, pero inferior a lo mostrado por Zapata, (2020) quien mostró una conversión alimenticia de 1.34 y 1.61. Destacando que la fase de conversión alimentaria se refiere a la relación entre la cantidad de alimento suministrado y el incremento de biomasa, valores inferiores benefician al productor, expresando que una mejor asimilación del alimento aumenta la biomasa, resultando en una mayor eficiencia alimentaria y unos menores costos de producción.

Por otro lado, respecto a la germinación de plántulas de *L. sativa* ocurrió posterior a los 21 días, fueron sembradas en los sistemas NFT y SRF, obteniendo una supervivencia del 54 y 82 % en 38 días, siendo datos inferiores a los obtenidos por Arriaza-Castañeda & Martínez-Cabrera (2009), quienes obtuvieron una supervivencia del 100 %. Esta variación en la tasa de supervivencia se da por un aumento de temperatura presente en los sistemas, en especial en el NFT, quien al ser cerrado y recircular cada 2 horas ocasionó una mortalidad del 46 %.

Al finalizar la fase experimental, se obtuvo una longitud total promedio de 14.34 y 15.62 cm, resultandos inferiores a los obtenidos por Arriaza-Castañeda &

Martínez-Cabrera (2009), quienes obtuvieron una longitud promedio de 26 y 25 cm. Estos datos están relacionados con la ganancia de peso promedio en los sistemas NFT y SRF, existiendo una ganancia de 1.67 g/d y 1.86 g/d, respectivamente, siendo superiores a los 1.05 g/d en 90 días y 1.34 g/d en 105 días obtenidos por Moreno-Simón & Zafra-Trelles (2014) y por Cáceres-Guarniz, (2013) e inferiores a los obtenidos por Delgado-Gavilano (2020).

Los valores de ganancia de peso están determinados por factores físicos y químicos tales como temperatura, oxígeno disuelto, luz, dióxido de carbono y tiempo. A mayor temperatura, el desarrollo de la *L. sativa* se ve afectado porque influye en el metabolismo, el oxígeno disuelto tiende a disminuir, afectando las raíces y el equilibrio microbiano puede comprometerse. En cuanto al tiempo, las *L. sativa* finalizaron su desarrollo en un periodo de 45-70 días. Según los resultados de los autores mencionados anteriormente, al mantener las plantas por mayor tiempo en el sistema, y una vez que han obtenido su talla comercial, puede generar una disminución en la relación peso - tiempo.

Al evaluar la eficiencia productiva de los sistemas, se mostró que el sistema NFT alcanzó una eficiencia de 235.85 g/m² y en el SRF logró 323.01 g/m², evidenciando una mayor productividad en el segundo sistema. Aunque ambos fueron tratados de forma similar. Respecto al cambio en el sistema de filtración de filtros decantadores a mallas de filtración no mostraron diferencias significativas en

la remoción de los sólidos. Además, las bacterias nitrificantes mostraron una efectividad equiparable entre ellas; la diferencia en productividad puede estar relacionada con la variación de la eficiencia de filtración, la colonización inicial de bacterias o el sistema hidropónico utilizado. La mayor productividad del sistema SRF sugiere que las mallas de filtración pueden proporcionar un ambiente más favorable para el crecimiento de los organismos al gestionar mejor los nutrientes y conservar la temperatura, propiciando un ambiente adecuado para las plantas.

10. CONCLUSIONES

El índice de crecimiento específico, el aumento de peso y la biomasa reflejan un crecimiento saludable de *O. niloticus* en ambos sistemas con una ligera superioridad en el sistema NFT, sin embargo, no se encontró una diferencia entre ambos métodos.

Ambos sistemas muestran un progreso comparable en longitud y ganancia de peso de *L. sativa*, no obstante, el SRF exhibe una ventaja al término del estudio.

La investigación muestra que ambos sistemas de acuaponía (NFT y SRF) se pueden cultivar eficazmente *O. niloticus* y *L. sativa*, aunque cada sistema tiene ventajas únicas, el sistema NFT mantiene una buena aireación al estar recirculando constantemente y tener varios puntos de caída de agua y en el sistema SRF se conserva la temperatura, lo que se reflejó en una mayor eficiencia en climas cálidos para las especies cultivadas.

Los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, pH, OD, amonio no ionizado y nitrito se mantuvieron dentro de rangos normales en el sistema, manteniendo la supervivencia de los organismos.

Los análisis estadísticos Anova y Tukey confirman la equivalencia estadística entre los sistemas, validando su similitud para la crianza de *O. niloticus* y *L. sativa*, reforzando la aceptación de la hipótesis nula, mencionando que ambos sistemas tienen un desarrollo de organismos similar.

11. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones que tengan como objetivo la implementación de sistemas acuapónicos en climas cálidos, deberían enfocarse en cuantificar de forma detallada las diferencias en la eficiencia de los sistemas de filtración y explorar la influencia de otros factores, como la calidad del agua y la distribución de nutrientes, con el fin de reducir la mortalidad de los organismos vegetales y mejorar su eficiencia productiva.

Evaluar nuevos cultivos de especies vegetales que puedan tener mejor rendimiento y desarrollo en los sistemas NFT y SRF adaptándose a las condiciones y características establecidas.

La implementación de mallas de filtración parece ofrecer ventajas sobre los filtros decantadores, implicando una mayor optimización y sugiriendo una revisión de las técnicas de filtración con el fin de mejorar la productividad de los sistemas actuales.

Es necesario integrar tecnologías de sensores y sistemas de automatización para monitorear parámetros físicos, químicos y nutricionales en tiempo real, permitiendo que la gestión de los sistemas acuapónicos sea más precisa y oportuna, aumentando así la eficiencia y reduciendo el riesgo de error humano.

12. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 333-338.

Aleksic, N., & Sustersic, V. (2020). Analysis of Application of Aquaponic System as a Model of the Circular Economy - A Review. *Recycling and Sustainable Development*, 73-86.

Alvarado Diaz, M., González Gutiérrez, B., & Allende Peña, J. (2021). Diseño y construcción un sistema de recirculación acuapónico para casa-habitación “Water Fish”. *Investigación Aplicada, un Enfoque en la Tecnología*, 545-553.

Alvarez, L. (2023). Producción de lechuga por el método hidropónico: evaluación económica y perspectivas. Año 2023. *Revista Científica de la Universidad Nacional de Asunción*, 34-45.

Arriaza-Castañeda, A., & Martínez-Cabrera, J. (2009). *Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro*. Obtenido de Universidad de San Carlos.

Artaban, R. (2018). *Acuaponie*. Obtenido de Wordpress: <https://unconocientomas.wordpress.com/2018/05/16/anteproyecto-produccion-de-recursos-en-sistemas-acuaponicos/aquaponie/>

- Botello, L. A., Martínez, A. Y., Viana, M., Ortega, O. M., Morán, M. C., Pérez, C. K., . . . Velázquez, M. (2022). Efecto del palmiste en la nutrición de alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *MVZ Córdoba*, 27(2).
- Caballero-Sevilla, M. (2017). *Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala*. Obtenido de SILO.TIPS: <https://silo.tips/download/instalacion-y-manejo-de-sistemas-de-cultivo-acuaponicos-a-pequea-escala>
- Cáceres-Guarniz, D. (2013). *Efecto del agua residual del cultivo de Oreochromis niloticus "tilapia" sobre el crecimiento de Lactuca sativa "lechuga" en sistema acuapónico continuo*. Obtenido de Universidad Nacional de Trujillo.
- Camara Nacional de Acuicultura . (2022). *Estadística* . Obtenido de Camara Nacional de Acuicultura : <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Carreño, J. (2020). *Acuaponia: La Agricultura del futuro*. Obtenido de Cepaim: <http://voluntariadosocial.cepaim.org/acuaponia-la-agricultura-del-futuro/>
- Cifuentes, A., Leguizamón, A., Zambrano , J., & Landines, M. (2023). Factores clave y tendencias en los sistemas acuapónicos: revisión de literatura. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. doi:<https://doi.org/10.15446/rfmvz.v70n3.107673>
- Colorado Gómez, M. A., M, H. M., & Lancheros Gonzáles, J. A. (2021). Los sistemas acuapónicos como fuente de alimento con la implementación de nuevas tecnologías. *Ripie*, 245-255.

- Cuaspa-Benavides, J., Guerrero-Bastidas, D., & Burgos-Arcos, A. (2019). Sistemas acuapónicos como alternativa sustentable en la acuicultura. *REVIP*, 95-103.
- Cuéllar Sáenz, J. (2021). Ciclo reproductivo de la tilapia. *Veterinaria Gigital*.
- De la Luz Morales, G., Serna-Lagunez, R., & Cebada-Merino, M. (2023). La acuaponía y su implementación como un escenario de aprendizaje. *Bioagrobiencias*, 16(1).
- Delgado-Gavilano, N. (2020). *Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de Tilapia (Oreochromis sp.) en Acuaponía*. Obtenido de repositorio.lamolina: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4446>
- EcoInventos. (2022). *Cómo hacer un sistema hidropónico casero con 168 plantas*. Obtenido de Ecoinventos: <https://ecoinventos.com/como-crear-un-sistema-hidroponico-casero-con-168-plantas/>
- Escoriego SRL. (2021). *Sistema NFT para hidroponía*. Obtenido de AgrosHOW: <https://agrosHOW.info/productos/hidroponia/sistemas-hidroponicos/sistema-de-riego-nft-para-hidroponia/>
- Estación Piscícola de Gigante. (2015). *Corporación universitaria de la costa (CUC) autoridad nacional de acuicultura y pesca (AUNAP) (estación piscícola de gigante)*. Obtenido de Universidad de la Costa: <https://www.aunap.gov.co/documentos/OGCI/18-INFORME-FINAL-DE-GIGANTE.pdf>

- FAO. (2014). *Tilapia del Nilo - Alimentación natural y hábitos alimenticios*.
Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/nile-tilapia/alimentacion-natural-y-habitos-alimenticios/es/>
- Filtec. (2015). *Biotecnología: Nitrificación y Desnitrificación*. Obtenido de
Depuradoras.es: https://www.depuradoras.es/blog/265_biotecnologia-nitrificacion-y-desnitrificacio
- Fimbres Acedo, Y. (2019). *Acuicultura de Oreochromis niloticus en SAR y TBF integrada con horticultura Hidropónica en sistemas sin recirculación*.
Obtenido de CIB:
<https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/1644>
- García-Ulloa, M. (2004). Efecto de la ración alimenticia en el crecimiento de juveniles de tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner) bajo condiciones experimentales de cultivo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 8(1),0.
- Geisenhoff, L. O., Jordan, R., Santos, R. C., Oliveira, F. C., & Gomez, E. P. (2016). Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. *Eng Agr*, 291-299. doi:<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p291-299/2016>
- Generalitat de Catalunya. (2004). *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas*. Barcelona: Agència de Residus de Catalunya.

- Gobierno de México. (2021). *Al alza, producción y exportación de lechuga mexicana*. Obtenido de gob.mx: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/al-alza-produccion-y-exportacion-de-lechuga-mexicana?idiom=es>
- Goddek S, Joyce A, Kotzen B y Burnell GM. (2019). *Aquaponics Food Production Systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Cham: Springer Nature.
- González González, E. (2023). *Efecto de la harina de moringa moringa oleífera en el crecimiento de Alevines de Tilapia del Nilo oreochromis niloticus*. Obtenido de UPSE: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10099>
- Goodman, E. (2011). *Aquaponics: community and economic development*. Recuperado el 14 de Abril de 2024, de Massachusetts Institute of Technology: <http://hdl.handle.net/1721.1/67227>
- Google Earth. (2023). *Laboratorio de larvas "Rosario del Mar"*. Obtenido de Google Earth: <https://earth.google.com/web/@-2.0640043,-80.73544102,7.08999996a,999.25111297d,35y,359.99824618h,0t,0r/data=OgMKATA>
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., & Métailler, R. (2002). *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Recuperado el 13 de Abril de 2024, de Ed. Grupo Mundi-Prensa: <https://www.fao.org/3/AB492S/AB492S12.htm>
- Huamán-Silva, K. (2016). *Evaluación y validación de la inclusión de pasta de coco (Cocus nucifera) en una dieta para el crecimiento de juveniles de*

Colossoma macropomum, Bello Horizonte, San Martín – 2015. Obtenido de Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

Infoagro. (2010). *El cultivo de la lechuga*. Obtenido de Infoagro: <https://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>

Jiménez, O., & Pérez, A. (2023). Acuaponía: Una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos. *Agricultural Sciences Research*.

Juárez Carballo, L. (2016). *Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapiagrís *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico*. Obtenido de Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/pozarica/egia/files/2017/05/Luis-Enrique-Juarez.pdf>

Legado Azteca. (2023). *Chinampas Aztecas: La antigua técnica agrícola que sigue siendo un ecosistema protegido*. Obtenido de Legado Azteca: Legado Azteca <https://www.legadoazteca.com/arquitectura/chinampas-aztecas/>

Lewis, W. M., Yopp, J. H., schramm, H. L., & Brandeburg, A. M. (1978). Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of the American Fisheries Society*, 92-99.

Licamele, J. (2009). *Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system*. Obtenido de UA: https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/193835/azu_etd_10779_sip1_m.pdf?sequence=1

- Lizcano, C., Chamorro, D., Vega, E., & Cachimuel, R. (2022). Disposiciones legales de las gestión comunitaria del agua y los pueblos indígenas en el Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 514-522.
- Lopez J. (2019). *Cultivo Acuapónico- Guía especializada*. México: Aula del mar.
Recuperado el 12 de Abril de 2012
- Lopez, E. G. (2022). *Antecedentes de La Acuaponía*. Obtenido de Scribd:
<https://es.scribd.com/document/568440018/Antecedentes-de-la-acuaponia>
- Loy-Bravo, E. (2021). *Productividad de lechuga (Lactuca sativa l.) en asociación con la tilapia bajo un sistema de acuaponía en el cantón Guayaquil, Provincia Guayas*. Obtenido de Repositorio Universidad de Guayaquil.
- Luna Delgado, H. (2022). *Cultivo de Tilapia (Oreochromis niloticus)*. Obtenido de UNICA: <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4907>
- Marín-Minga, L. (2019). *Eficiencia de sustratos artificiales en un sistema de recirculación de agua en el crecimiento de Oreochromis spp.* Obtenido de UPSE: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4909>
- Martínez, J. (2020). *Sistema acuapónico para la producción de lechuga (Lactuca sativa) y tilapia (Oreochromis niloticus), Santa Ana-2020*. Obtenido de ULEAM:
<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3349/3/ULEAM-AGRO-0103.pdf>

- Millares, N., Pérez, L., Ceballos, B., Flores, E., & Mercedes, I. (2017). Un método alternativo para incrementar la productividad en el cultivo acuícola-agrícola en proyectos comunitarios con enfoque de género: la acuaponía. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 84-89.
- Morales, A. (2019). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico prototipo, aplicado a tilapia gris (oreochromis niloticus) y albahaca (ocimum basilicum)*. Obtenido de Unfv: <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/4126?show=full>
- Morales, G., Lagunes, R., & Merino, M. (2023). La acuaponía y su implementación como un escenario de aprendizaje. *Bioagrociencias*. Recuperado el 12 de Abril de 2024, de file:///C:/Users/wfernandez/Downloads/4814-21776-1-PB-4.pdf
- Moreno-Simón, E., & Zafra-Trelles, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *REBIOL*, 60-72.
- Naranjo, I., & Quijije, M. (2021). *Evaluación de cuatro densidades de tilapia roja (Oreochromis sp A. Smith) durante la etapa de alevinaje mediante la técnica de acuaponía*. Obtenido de ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec:8080/browse?type=author&value=Quijije+Mancilla%2C+Marjorie+Paola>
- Ortiz, J., & Córdova, J. (2019). *Valoración de dos sistemas acuapónicos para el cultivo de fresa (Fragaria vesca) y su estimulación mediante bioproductos*

algales. Obtenido de ESPE:

<https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15729>

Paivert. (2014). *Acuaponia en los jardines verticales*. Recuperado el 14 de Abril de 2024, de Paivert: <https://www.paivert.com/acuaponia-en-los-jardines-verticales/>

Palm, H., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S., Vermeulen, T., . . .

Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquacult Int*, 813–842.

Pattillo, D. (2017). An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components.

NCRAC Technical Bulletins, 23-32. Recuperado el 12 de Abril de 2024, de <https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/55937>

Perdomo-Carrillo, D. A., Corredor, Z., & Ramirez, L. (2012). Características físico-químicas y morfométricas en la crianza por fases de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*). *Zootecnica Tropical*, 99-108.

Pérez, M., Téllez, R., Avelino, R., & Tenorio, F. (2015). Sistema Acuapónico.

Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias, 538-544.

Piscicultura ecosostenible chireno. (2021). *Como calcular la racion diaria de*

alimento para mis tilapias. Obtenido de Piscicultura ecosostenible chireno: <https://www.pisciculturaecososteniblechireno.com/blog/entradas/como-calculer-la-racion-diaria-de-alimento-para-mis-tilapias>

- Rackoy, J., Masser, M., & Losordo, T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. *Southern Region Aquaculture Center. SRAC(405)*.
- Rafiee, G., & Saad, C. (2006). The effect of natural zeolite (clinoptiolite) on aquaponic production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) and lettuce (*Lactuca sativa var. longifolia*), and improvement of water quality. *Agric Sci Technol*, 313-322. Recuperado el 12 de Abril de 2024
- Reyes-Trigueros, L., Monroy-Dosta, M., Torres-Ochoa, E., Cortés-Sánchez, A., & Espinosa-Chaurand, L. D. (2023). Parámetros reproductivos en la producción+ de crías tilapia *Oreochromis niloticus*. *La Granja*, 124-137.
- Rivas, D., Silva-Acuña, R., Barrios, R., & Noriega, A. (2021). Recambio de agua, su efecto sobre características Físico-Químicas y crecimiento en juveniles de tilapia roja. *ESPAMCIENCIA 12(1)*, 8-16.
- Roldán, P., & Ramírez, R. (2008). edición. Ed. Universidad de Antioquía. 2^a edición. *Ed. Universidad de Antioquía.*, 242. Recuperado el 14 de Abril de 2024, de https://www.academia.edu/41460514/FUNDAMENTOS_DE_LIMNOLOGIA_NEOTROPICAL_2DA_ED_ROLDAN_RAMIREZ
- Rueda-Liberato, A. (2023). *Evaluacion de tres densidades de cultivo de Oreochromis niloticus (tilapia nilotica) en acuaponia en condiciones de laboratorio.* Obtenido de UNAS: <https://repositorio.unas.edu.pe/items/0909e76d-f49e-4a87-ae7b-59b21827b7fa>

- Saavedra, M. (2006). Manejo de cultivo de tilapia. *USAID*. Recuperado el 13 de Abril de 2024, de <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Sarfraz, U. (2020). Review on Aquaponics System as A Sustainable Food Production Source. *Lahore Garrison University Journal of Life Sciences*, 330-348.
- Sawkar R, Hiregoudar L & Bharadwaj S. (2020). Aquaponics: A Modern Agriculture Technology to Overcome Water Scarcity and Drought. *Journal of the Geological Society of India*, 108-109.
- SINAVIMO. (2017). <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/lactuca-sativa>.
Obtenido de SINAVIMO: <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/lactuca-sativa>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2022). *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala: Cultivo integral de peces y plantas*. (Vol. No. 589.). FAO. doi:<https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Tapia-Díaz, C. (2018). *Rediseño de reactores acuapónicos unifamiliares para el autoconsumo*. Obtenido de UISEK: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3090?locale=es>
- Tesfaye, G., Curto, M., Meulenbroek, P., Englmaier, G., Tibihika, P., Alemayehu, E., . . . Meiberg, H. (2021). Genetic structure of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) populations in East Africa. *BMC Ecology and Evolution*, 113.

- Vargas, O., Pineda, J., Barrigas, D., & Pineda, C. (2021). Bioprocess for production of tilapia fish (*Oreochromis* spp.) through aquaponics. *Biorrefinería*.
- Villa Ruíz, J. (2020). *Formulación de un sistema acuapónico para el aprovechamiento de nutrientes utilizando el agua proveniente de los acuarios en el Zoológico de Cali*. Obtenido de Universidad Autónoma de Occidente: <http://red.uao.edu.co//handle/10614/12612>.
- Zambrano, L., Martínez-Meyer, E., Menezes, N., & Peterson, A. (2006). Invasive potential of common carp (**Cyprinus carpio**) and Nile tilapia (**Oreochromis niloticus**) in American freshwater systems. *Canadian Science Publishing*.
- Zapata, A. (2020). *Alevinaje de Oreochromis niloticus, (Linneus, 1758) "Tilapia Nilótica" con densidades de siembra de 100 y 200 alevines/m3 en jaulas, en Viñas de Curumuy - Piura 2016*. Obtenido de Renati: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2807318>
- Zappernick, N., Nedunuri, K. V., Islam, K. R., Khanal, S., Worley, T., Laki, S., & Shah, A. (2022). Technoeconomic analysis of a recirculating tilapia-lettuce aquaponics system. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132>

13. ANEXOS

Prueba T student Para peces

Tabla 15.

Prueba T e IC de Peces en dos muestras: NFT (g), SRF (g)

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
NFT (g)	44	30.92	8.10	1.2
SRF (g)	44	28.40	6.20	0.93

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
2.52	(-0.54, 5.58)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p
,1.64	80	0.105

Prueba ANOVA para peces

Tabla 16.

ANOVA de un solo factor: NFT Y SRF

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
NFT	44	1360.46	30.92	65.6		
SRF	44	1249.59	28.40	38.4		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	139.68	1	139.68	2.69	0.10	3.95
Dentro de los grupos	4473.92	86	52.02			
Total	4613.60	87				

Prueba T student para plantas

Tabla 17.

Prueba T e IC de dos muestras: NFT (g), SRF (g)

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
NFT gr	27	65.7	43.3	8.3
SRF gr	41	72.9	44.4	6.9

Estimación de la diferencia

IC de 95%

para la

Diferencia diferencia

-7.2	(-28.9, 14.5)
------	------------------

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0.66	56	0.51

Prueba ANOVA para plantas

Tabla 18.

ANOVA de un solo factor para L. sativa: Nft, SRF

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
NFT	27	1773.32	65.68	1877.82
SRF	41	2987.95	72.88	1970.39

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	843.53	1	843.53	0.44	0.51	3.99
Dentro de los grupos	127639.10	66	1933.93			
Total	128482.62	67				

Sistemas Acuapónicos

Tabla 19.

Prueba T de dos muestras: NFT, SRF

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error Estándar de la Media
NFT	71	44.10	32	3.80
SRF	85	49.90	38.20	4.10

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la Diferencia
-5.72	(-16.82, 5.39)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1.02	153	0.311

Prueba ANOVA

Tabla 20.

ANOVA de un solo factor: NFT, SRF

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
NFT (gr)	71	3133.78	44.14	1026.59
SRF (gr)	85	4237.54	49.85	1457.76

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1263.82	1	1263.82	1.001	0.32	3.90
Dentro de los grupos	194313.43	154	1261.78			
Total	195577.254	155				

Tabla 21.

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
SRF	85	49.85	A
NFT	71	44.14	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 23.

Tabla de alimentación para tilapias

 TABLA DE ALIMENTACIÓN PARA TILAPIAS									
% DE PROTEÍNA DEL ALIMENTO	PESO DEL PEZ (GR)	TAMAÑO DEL ALIMENTO (MM)	TEMPERATURA DEL AGUA °C						ALIMENTACIÓN DIARIA
			20°C	22°C	24°C	26°C	28°C	30°C	
			RACIÓN (% DE BIOMASA/DIA)						
40 - 45 %	<0.5	Triturado	4%	5%	6%	7%	7.5%	8%	12 Veces
	0.5-5	06-1 mm	3%	4%	4.5%	5%	5.5%	6%	8 Veces
38- 40 %	5-10	2 mm	2%	3%	3.5%	4%	4.5%	5%	6 Veces
	10-20	2 mm	1.8%	2.7%	3.1%	3.6%	4%	4.5%	
	20-50	2 mm	1.6%	2.2%	2.7%	3%	3.4%	4%	
30 - 34 %	50-75	5 mm	1.4%	1.9%	2.2%	2.4%	2.9%	3.1%	3 Veces
	75-110	5 mm	1.3%	1.6%	1.9%	2%	2.3%	3%	
	110-150	5 mm	1.1%	1.4%	1.6%	1.8%	2%	2.3%	
	150-200	5 mm	0.9%	1.2%	1.4%	1.6%	1.8%	2%	
24 - 30 %	200-250	5 mm	0.85%	1.15%	1.35%	1.55%	1.7	1.9%	2 Veces
	250-325	5 mm	0.8%	1.1%	1.3%	1.5%	1.65	1.8%	
	325-400	5 mm	0.75%	1.05%	1.25%	1.45%	1.6	1.7%	
	>400	5 mm	0.7%	1%	1.2%	1.4%	1.5	1.6%	

Fuente: (Piscicultura ecosostenible chirano, 2021)

Tabla 22.*Registro de control de peso corporal de O. niloticus en NFT*

NFT Peso						
	30/03/2024	10/04/2024	21/04/2024	02/05/2024	13/05/2024	24/05/2024
N° de organismos	Peso (gr)					
1	1.97	3.2	5.94	8.76	13.86	17.4
2	2.08	4.06	6.02	9.02	14.7	19.22
3	2.08	4.06	6.38	9.56	15.02	19.38
4	2.26	4.11	6.42	9.94	15.6	20.7
5	2.32	4.12	6.44	10.04	16.02	20.74
6	2.34	4.24	6.48	10.5	16.08	21.66
7	2.35	4.38	6.52	10.58	16.08	21.86
8	2.4	4.44	6.54	11.14	16.16	23
9	2.42	4.48	6.58	11.26	16.22	23.3
10	2.44	4.56	6.78	11.74	16.64	24.22
11	2.47	4.56	6.82	11.92	17.24	24.38
12	2.51	4.66	6.9	12	17.96	24.56
13	2.52	4.9	6.96	12.04	18.34	25.08
14	2.53	4.98	7.04	12.18	18.36	25.22
15	2.63	5.01	7.16	12.32	19	25.56
16	2.66	5.26	7.28	12.54	19.12	26.42
17	2.81	5.26	7.36	12.64	19.14	27.94
18	2.86	5.36	7.38	12.75	19.52	29.34
19	2.87	5.42	7.42	13.06	19.96	29.44
20	2.9	5.5	7.5	13.28	20.6	29.86
21	2.94	5.54	7.72	13.7	21.04	31.04
22	3.02	5.64	8.06	13.76	21.1	31.16
23	3.07	5.7	8.06	13.96	21.76	31.46
24	3.08	5.82	8.1	13.98	21.82	32.24
25	3.13	5.88	8.16	14.12	21.86	32.32
26	3.15	6.02	8.18	14.58	22.02	32.6
27	3.18	6.12	8.26	14.76	22.94	32.8
28	3.23	6.12	8.4	14.92	23.4	33.12
29	3.24	6.12	8.4	15.16	23.74	33.34
30	3.26	6.14	8.84	15.36	24.38	33.84
31	3.28	6.18	9	15.4	24.58	34.08
32	3.31	6.28	9.2	15.5	24.82	34.78
33	3.32	6.42	9.46	15.8	25.04	34.78
34	3.37	6.46	9.54	16.06	25.63	35.18

35	3.47	6.52	9.62	16.12	26.34	35.18
36	3.52	6.58	11.1	16.84	27.42	37.08
37	3.52	6.66	11.2	17.02	27.84	38.46
38	3.59	6.73	11.64	17.72	28.18	38.6
39	3.61	7.08	11.92	18.3	28.34	38.8
40	3.76	7.62	11.92	18.86	29.96	41.14
41	3.8	8	13.36	19.08	30.18	41.38
42	3.94	8.03	14.72	19.12	30.3	42.58
43	3.98	8.45	15.06	23.12	36.18	51.64
44	3.98	8.58	15.28	26.3	38.98	53.58
Total	131.17	251.25	381.12	626.81	973.47	1360.46
Pp	2.98	5.71	8.66	14.25	22.12	30.92
D. estandar	0.55	1.25	2.48	3.58	5.73	8.10
Organismos	50	46	46	46	46	46
Supervivencia	100%	92%	92%	92%	92%	92%
Biomasa	149.06	262.67	398.44	655.30	1017.72	1422.30
Alimento Diario	7.45	10.51	15.94	23.59	30.53	42.67
Incremento de peso		2.73	2.95	5.59	7.87	8.8

Tabla 23.*Registro de control de Longitud Total de O. niloticus en SRF*

Tilapia Longitud						
	30/03/24	10/04/24	21/04/24	02/05/24	13/05/24	24/05/24
N° de organism	Longitud T (cm)					
0						
1	2.5	4.1	7.9	8.6	9.2	10.8
2	2.6	4.8	7.5	8.3	9.5	10.8
3	2.7	5.1	7.3	9.2	9.9	10.5
4	2.3	4.7	7.9	8.2	10.1	10.9
5	3.1	5.2	8	8.6	10	10.6
6	3.1	4.3	8.1	8.2	9.8	11.1
7	3.5	4.8	7.6	9.2	10	11.5
8	3.7	5.1	7.7	9.4	9.7	11.5
9	3.2	4.3	7.6	9.7	10	12
10	3.6	5.5	7.8	9.4	10	11
11	2.9	4.9	7.6	9.1	9.8	11.5
12	3.1	4.8	8.2	9	10.5	11.7
13	3.7	5.2	8.4	9.3	10.5	11.5
14	3.1	5.3	8.5	9.4	11	11
15	3.8	4.9	7.6	9.5	10	11.6
16	2.9	5.1	8.5	9.4	10.6	11.9
17	3.6	5.5	8.6	9.2	11	11.5
18	3.8	5.4	8.3	9.5	10.6	11.9
19	3.1	5.7	8.1	9.9	10.4	12
20	2.8	5.8	8.3	9.5	11	12
21	3.5	5.8	7.9	9.5	11	12.5
22	3.5	5.4	7.6	9.8	10.6	12.5
23	3.8	5.8	8.1	9.9	11	12.5
24	2.9	5.9	8.6	9.5	10.5	12.6
25	3	5.8	8.1	10.5	11.1	12.5
26	3.9	5.4	9.7	9.8	11	12.9
27	3.5	6.1	8.6	10.2	11	12.6
28	3.7	5.8	8.8	9.6	11.2	12.5
29	3.4	6.3	8.1	10	11.4	12.5
30	3.1	6.2	9.1	9.9	11	12.9
31	2.9	5.9	9.1	9	11.5	12.7
32	2.8	5.9	9.1	9.5	11	12.9
33	3.7	6.5	8.8	10.1	11.4	12.5

34	3.2	6.5	8.8	10.5	11.5	12.9
35	3.5	6.3	9	9.9	11.7	12.7
36	3.4	5.9	9.5	10.5	11.5	12.96
37	3	6.3	9.6	10.5	12	13.5
38	2.9	6.9	9.3	10.2	12	13.5
39	3.1	6.4	9.7	10.5	12	12.8
40	3.3	6.8	10	11.4	11.4	13.1
41	3.5	7	9.5	10.5	12	13
42	3.2	7.1	10.2	10.2	12	13.6
43	3.7	7.3	10.2	11	12.6	13.8
44	3.9	7.7	10.6	11.6	13.5	14.5
total	143.5	251.5	377.5	426.7	479.5	537.76
Lp	3.26	5.72	8.58	9.70	10.90	12.22
I.		2.45	2.86	1.12	1.20	1.32
longitud						

Tabla 24.*Registro de control de peso corporal de O. niloticus en NFT*

N° de organismos	T2 Peso					
	30/03/24	10/04/24	21/04/24	02/05/24	13/05/24	24/05/24
	Peso (gr)					
1	1.83	3.04	5.34	9.06	13.08	17.4
2	1.89	3.08	5.66	9.18	13.92	17.88
3	1.98	3.16	5.76	9.32	14.4	19.89
4	2.12	3.25	5.86	9.48	14.43	19.95
5	2.23	3.28	5.92	9.54	14.58	20.8
6	2.33	3.34	6	9.64	15.09	20.94
7	2.34	3.42	6.32	9.68	15.18	21.05
8	2.35	3.56	6.4	9.9	15.36	21.1
9	2.4	3.63	6.46	10.06	15.54	21.5
10	2.42	3.67	6.52	10.2	15.73	22.1
11	2.43	3.74	7.02	11.02	16.7	23.27
12	2.45	3.93	7.08	11.12	16.86	23.63
13	2.5	3.94	7.1	11.44	17	24.27
14	2.52	4.08	7.36	11.7	18.1	24.3
15	2.54	4.1	7.36	11.98	18.12	25.26
16	2.55	4.11	7.56	11.98	19.12	25.37
17	2.56	4.22	7.64	12.2	19.38	25.56
18	2.59	4.27	7.68	12.55	19.4	25.81
19	2.59	4.42	7.74	13.1	19.42	26.38
20	2.61	4.42	7.78	13.18	19.68	26.74
21	2.73	4.53	7.82	13.22	20.38	27.14
22	2.79	4.56	7.84	13.44	20.62	27.96
23	2.81	4.56	7.94	13.6	20.92	28.22
24	2.83	4.66	8.16	14.32	20.98	28.86
25	2.87	4.88	8.36	14.98	21.32	29.02
26	2.93	4.98	8.44	14.98	21.34	29.22
27	2.97	5	8.58	15.38	22.54	30.35
28	3.01	5.01	8.6	15.7	22.82	31.14
29	3.1	5.12	8.72	15.74	23.02	32.7
30	3.2	5.12	9.1	15.88	23.04	32.8
31	3.31	5.23	9.34	16.14	24.14	33.4
32	3.34	5.26	9.5	16.2	24.24	33.56
33	3.42	5.44	9.6	16.56	24.52	34.16
34	3.42	5.99	9.7	16.6	24.8	34.22

35	3.45	6.13	9.84	16.64	25	34.38
36	3.47	6.22	10.12	16.68	25.1	34.39
37	3.52	6.28	10.18	16.72	25.28	34.73
38	3.54	7.44	10.36	16.74	25.36	34.9
39	3.73	7.47	10.38	16.74	25.52	35.5
40	3.76	7.63	11.1	16.9	26.06	35.9
41	3.87	7.7	11.24	17.22	26.98	36.19
42	3.9	7.74	11.32	18.4	27.06	38.69
43	3.93	7.83	11.5	18.46	27.36	38.76
44	3.94	7.93	11.66	19.38	28.86	40.2
Total	127.07	217.37	363.96	602.95	908.35	1249.59
Pp	2.89	4.94	8.27	13.70	20.64	28.40
D. estandar	0.59	1.47	1.77	3.03	4.39	6.20
Organismos	50	45	45	45	45	45
Supervivencia	100%	90%	90%	90%	90%	90%
Biomasa	144.40	222.31	372.23	616.65	928.99	1277.99
Alimento Diario	7.22	11.36	15.22	22.69	38.49	39.19
Incremento de peso		2.05	3.33	5.43	6.94	7.76

Tabla 25.*Registro de control de Longitud Total de O. niloticus en SRF*

Tilapia Longitud						
	30/03/24	10/04/24	21/04/24	02/05/24	13/05/24	24/05/24
N° de organismo	Longitud T (cm)					
1	2.5	3.7	7.6	8.4	9.5	10.5
2	2.6	3.8	7.5	8.5	9.4	10.5
3	2.3	3.1	7.5	8.5	10	10.5
4	2.1	3.5	7.7	9.5	10	10.9
5	3.3	2.9	7.7	8.7	9.6	10.9
6	3	2.8	8.2	8.6	10	11
7	3.2	3.3	8.2	9	10.3	10.7
8	3.6	3.1	8	9.1	10	11.5
9	3.3	3.3	8.1	9.6	9.7	11.1
10	3.8	3.7	7.8	9.1	10.4	11.5
11	3.3	3.1	8.1	10	10	11.6
12	2.9	2.9	8.2	9.5	10	11.5
13	3.1	4	8.2	9	10	11.5
14	3.4	4.3	8.5	9.5	10.5	11.6
15	3.3	5.1	8.6	9.5	11	12.5
16	2.8	4.6	8.6	9.3	10.2	11.6
17	3.2	4.3	8.1	9.1	10.3	12
18	3.7	4.5	8.2	9.6	10.7	11.5
19	3.3	4.2	8.5	9.6	10	11.9
20	3.4	4.3	8.2	10.2	10	12
21	3.4	4.8	8.7	9.5	10.5	11.16
22	2.9	5	8.5	9.6	10.6	11.5
23	3.8	5.1	8.2	9.9	11	12
24	3.3	4.9	8.2	9.2	11	12
25	3.5	5.5	8.7	10.5	11	12.1
26	2.6	4.9	8.5	10.1	11	11.8
27	3.3	5.63	8.5	10.4	11	11.5
28	3.2	5.2	8.8	10	11.3	12.6
29	3.6	5.5	8.7	10.2	11.3	12.6
30	3.6	5.3	8.5	10.7	11.8	12.6
31	3.4	4.9	8.6	10.6	11.5	12.2

32	3.7	6	9.1	10.3	11.5	12
33	3.3	6.4	9.2	10.3	11.1	12.6
34	3.5	5.9	9.5	10.4	11.5	12.5
35	3.6	6.3	9.1	10.2	11.5	12.6
36	3	5.9	9.2	10.5	11.5	12.5
37	3.3	6.5	9.5	10.5	11.5	12.6
38	3.1	6.2	9.4	10	11.5	13
39	3.7	6.6	10	10.2	11.4	12.5
40	3.9	6.3	10	10.1	11.3	12.7
41	3.1	6.4	9.7	10.7	11	13
42	3.7	6.8	9.3	10.4	11	13.5
43	3.9	6.5	9.6	10.8	12	13
44	3.2	6.3	9.5	11.1	12.3	13.1
Total	143.7	213.33	378.5	430.5	472.7	524.46
Lp	3.27	4.85	8.60	9.78	10.74	11.92
I. longitud		2.45	2.86	1.12	1.20	1.32

Tabla 26.*Registro de control de peso de L. sativa en NFT y SRF*

N° de organismos	NFT		SRF	
	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
1	1.92	56.82	2.06	42.14
2	2.08	113.84	2.32	75.94
3	2.46	90.68	2.52	69.12
4	1.76	73.54	2.44	87.30
5	1.64	71.16	1.44	224.36
6	1.6	69.82	3.28	82.88
7	2.5	45.72	1.70	66.18
8	1.74	47.84	1.60	219.14
9	1.88	24.02	3.20	73.12
10	1.66	77.22	2.00	137.08
11	1.7	65.36	2.56	35.42
12	1.54	51.5	2.20	103.04
13	1.46	24.84	2.42	29.50
14	2.42	61.48	1.65	50.20
15	2.12	11.76	1.73	96.32
16	1.72	17.6	1.72	14.46
17	1.8	18.32	1.70	48.00
18	1.88	58.42	1.48	113.64
19	1.26	17.22	1.92	48.96
20	1.84	49.34	2.32	38.46
21	1.96	127.3	1.75	87.98
22	2.02	111.9	2.15	60.72
23	2.3	219.14	1.83	74.90
24	2.48	96.32	1.92	19.58
25	2.14	74.9	1.67	28.88
26	2.54	49.26	2.50	49.26
27	1.8	48	1.56	83.68
28	1.88		2.12	39.66
29	1.8		2.01	67.04
30	1.68		1.88	47.74
31	2.36		1.26	80.28
32	1.92		2.37	79.12
33	2.12		2.08	111.38
34	1.52		1.96	37.48
35	2.1		1.93	89.98
36	2.22		2.17	46.86

37	2.4		2.34	88.75
38	1.84		1.68	21.82
39	2.33		2.16	42.98
40	2.54		2.33	106.76
41	1.64		1.78	67.84
42	2.08		1.72	
43	2.34		2.03	
44	1.62		1.47	
Total	86.61	1773.32	88.93	2987.95
Promedio	1.97	65.68	2.02	72.88
I. Peso		63.71		20.86
Organismo	50.00	27.00	50.00	41.00
Supervivencia	1.00	0.54	1.00	0.82
Biomasa	98.42	1773.32	101.06	2987.95

Tabla 27.*Registro del control de longitud de L. sativa en NFT y SRF*

N° de organismos	NFT		SRF	
	Longitud (cm)	Longitud (cm)	Longitud (cm)	Longitud (cm)
1	5.5	10.4	6.20	13.10
2	5.5	10.9	6.20	13.10
3	5.6	11.5	6.20	13.70
4	6.2	11.5	6.20	14.00
5	6.2	11.6	6.40	14.10
6	6.2	12.9	6.50	14.40
7	6.2	13	6.50	14.60
8	6.2	13.1	6.60	14.70
9	6.3	13.2	6.60	14.80
10	6.5	13.4	6.70	14.80
11	6.5	13.6	6.80	14.80
12	6.5	13.8	6.80	14.90
13	6.7	14.1	7.10	14.90
14	6.9	14.1	7.20	14.90
15	7	14.6	7.30	14.90
16	7	14.7	7.30	15.00
17	7.1	14.9	7.40	15.10
18	7.1	14.9	7.40	15.10
19	7.1	15.1	7.50	15.10
20	7.2	15.2	7.50	15.10
21	7.2	16.6	7.50	15.30
22	7.3	16.6	7.60	15.50
23	7.3	16.6	7.70	15.60
24	7.3	16.8	7.70	15.60
25	7.4	17.7	7.80	15.70
26	7.7	17.8	7.80	15.80
27	7.7	18.6	7.80	15.90
28	7.8		7.90	16.10
29	7.8		7.90	16.50
30	7.8		7.90	16.60
31	7.9		8.00	16.60
32	8		8.00	16.70
33	8		8.10	16.80
34	8		8.10	17.00
35	8.2		8.10	17.10

36	8.2		8.20	17.30
37	8.2		8.20	17.60
38	8.4		8.30	17.60
39	8.4		8.30	17.70
40	8.4		8.30	17.70
41	8.4		8.40	18.60
42	8.5		8.60	
43	8.6		8.70	
44	8.8		8.70	
Total	320.80	387.20	330.00	640.40
Promedio	7.29	14.34	7.50	15.62
I.longitud		7.05		8.12

Tabla 28.*Registro de control de parámetros físico-químicos NFT*

Control diario de parámetros Físico y químicos					
Día	Temperatura (°C)	PH	Oxígeno disuelto (OD)	Amonio	Nitrito
29/03/2024	26.9	7.15	5.5	0.25	0.00
30/03/2024	26.8	8.03	5.23	0.50	0.10
31/03/2024	26.8	7.45	4.12	0.15	0.20
01/04/2024	27.1	7.89	5.38	0.20	0.10
02/04/2024	25.8	6.75			
03/04/2024	27.2	7.61			
04/04/2024	27.1	6.87			
05/04/2024	26.7	8.24	5.21	0.15	0.20
06/04/2024	26.5	7.06	3.56	0.50	0.25
07/04/2024	26.3	7.28	5.17	0.35	0.10
08/04/2024	26.3	7.8	5.26	0.25	0.20
09/04/2024	26.5	6.94			
10/04/2024	26.7	7.47			
11/04/2024	27.3	8.15			
12/04/2024	27.3	7.53	4.13	0.25	0.10
13/04/2024	26.5	7.02	4.88	0.50	0.25
14/04/2024	27	7.66	5.23	0.35	0.20
15/04/2024	26.1	8.12	4.97	0.25	0.25
16/04/2024	27.1	7.1			
17/04/2024	26.3	7.29			
18/04/2024	26	8.2			
19/04/2024	25.7	7.59	5.17	0.25	0.10
20/04/2024	26	6.58	5.38	0.40	0.15
21/04/2024	25.5	8.07	6.15	0.35	0.20
22/04/2024	26.1	6.92	6.1	0.50	0.25
23/04/2024	26.5	7.68			
24/04/2024	26	7.18			
25/04/2024	26.5	7.35			
26/04/2024	27.1	8.25	6.46	0.50	0.50
27/04/2024	26.5	7.05	6.32	0.50	0.20
28/04/2024	27.1	7.92	6.27	0.35	0.25
29/04/2024	27	6.82	6.64	0.50	0.10
30/04/2024	26.9	8.1			
01/05/2024	26.5	7.39			

02/05/2024	27.1	7.25			
03/05/2024	26.5	7.83	6.23	0.35	0.20
04/05/2024	26.7	6.99	6.52	0.25	0.15
05/05/2024	27	7.56	6.36	0.40	0.10
06/05/2024	26.5	8.17	6.23	0.50	0.10
07/05/2024	26.1	7.04			
08/05/2024	26.3	7.74			
09/05/2024	27.1	6.9			
10/05/2024	26.5	7.67	6.18	0.50	0.20
11/05/2024	27	7.09	6.32	0.25	0.10
12/05/2024	26.3	8.08	6.54	0.35	0.20
13/05/2024	26	7.37	6.62	0.50	0.15
14/05/2024	27.1	6.8			
15/05/2024	26.5	8.01			
16/05/2024	27.1	7.22			
17/05/2024	26.3	7.79	6.75	0.40	0.20
18/05/2024	26.7	6.97	6.33	0.50	0.10
19/05/2024	26.8	7.49	6.12	0.25	0.15
20/05/2024	26.3	8.3	6.23	0.50	0.15
21/05/2024	26.2	8.1			
22/05/2024	26	7.33			
23/05/2024	26.1	8.1			

Tabla 29.*Registro de control de parámetros físico-químicos SRF*

Control diario de parámetros Físico y químicos					
Día	Temperatura (°C)	PH	Oxígeno disuelto (OD)	Amonio	Nitrito
29/03/2024	27	6.95	5.34	0.25	0.2
30/03/2024	26.6	7.33	5.5	0.15	0.1
31/03/2024	26.8	8.22	4.08	0.35	0.25
01/04/2024	27.3	7.01	5.38	0.50	0.4
02/04/2024	25.3	7.85			
03/04/2024	27	6.47			
04/04/2024	27.2	7.19			
05/04/2024	26.5	8	5.11	0.50	0.2
06/04/2024	26.3	7.73	4.83	0.25	0.1
07/04/2024	26.4	6.76	4.1	0.15	0.2
08/04/2024	26.3	8.05	5.33	0.50	0.1
09/04/2024	26.7	6.91			
10/04/2024	26.5	7.5			
11/04/2024	27.3	7.13			
12/04/2024	27.5	8.18	5.32	0.25	0.2
13/04/2024	26.2	7.63	3.88	0.50	0.1
14/04/2024	26.9	7.03	5.12	0.50	0.25
15/04/2024	25.8	6.59	4.93	0.35	0.2
16/04/2024	26.3	7.21			
17/04/2024	26.4	8.06			
18/04/2024	26.1	7.31			
19/04/2024	25.6	6.81	4.1	0.35	0.2
20/04/2024	26	7.95	5.36	0.50	0.15
21/04/2024	25.1	7.07	6.01	0.25	0.25
22/04/2024	26.6	7.64	6.16	0.35	0.15
23/04/2024	26.3	6.88			
24/04/2024	26.5	8.13			
25/04/2024	26.8	7.36			
26/04/2024	27	7.99	6.56	0.25	0.2
27/04/2024	26.3	6.5	6.23	0.50	0.25
28/04/2024	27	7.41	6.26	0.40	0.15
29/04/2024	26.7	6.84	6.32	0.25	0.1
30/04/2024	26.9	8.09			
01/05/2024	26.7	7.11			

02/05/2024	27.2	7.57			
03/05/2024	26	8.28	6.34	0.35	0.2
04/05/2024	26.5	7.24	6.27	0.50	0.15
05/05/2024	26.9	7.82	6.46	0.25	0.25
06/05/2024	26.5	6.93	6.29	0.35	0.15
07/05/2024	26	7.44			
08/05/2024	26.5	8.26			
09/05/2024	27	7.14			
10/05/2024	26.3	6.79	6.45	0.35	0.2
11/05/2024	27	7.77	6.16	0.50	0.15
12/05/2024	26.5	8.23	6.25	0.25	0.25
13/05/2024	26	7.16	6.37	0.35	0.1
14/05/2024	27	7.54			
15/05/2024	26.3	6.89			
16/05/2024	26.9	7.27			
17/05/2024	26.3	8.11	6.3	0.35	0.2
18/05/2024	27	7	6.57	0.50	0.15
19/05/2024	26	7.7	6.32	0.25	0.1
20/05/2024	26.2	6.6	6.74	0.50	0.15
21/05/2024	26	7.41			
22/05/2024	26.5	7.44			
23/05/2024	26.1	8.28			

Figura 24.

Construcción de los sistemas acuapónicos



Figura 25.

Sistemas acuapónicos funcionando sin la presencia de organismos



Figura 26.

*Siembra de Alevines de *O.niloticus**



Figura 27.

Siembra de plántulas de L.sativa



Figura 28.

Alevines de O. niloticus



Figura 29.

Biometría 1 de O. niloticus.



Figura 30.

Biometría 1 de la L.Sativa



Figura 31.

Biometría final de O. niloticus.



Figura 32.

Biometría final de la L.sativa

