



Efecto de *Arthrospira platensis* como fitoestimulante en Ají (*Capsicum annum*), en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el subtrópico occidental ecuatoriano

Andrango Lovato, Cristhian Andrés

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal PhD.

11 de septiembre del 2023

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Efecto de *Arthrospira platensis* como fitoestimulante en Aji (*Capsicum annuum*), en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el subtrópico occidental ecuatoriano**, fue realizado por el señor: **Andrango Lovato, Cristhian Andrés**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 11 de septiembre del 2023



JUAN CRISTÓBAL
ORTIZ TIRADO

Ortiz Tirado, Juan Cristóbal

C. C. 1709998163

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos



JOUIC 2023 Nanegal_Andrango Lovat...

Scan details

Scan date:
September 11th, 2023 at 13:54 UTC

Total Pages:
63

Total Words:
15632

Plagiarism Detection



Types	plagiarism	Words
Identical	0.4%	70
Minor Changes	0.6%	38
Paraphrased	6.2%	974
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
AI text
Human text

Plagiarism Results: (16)



JUAN CRISTÓBAL
ORTIZ TIRADO

Ortiz Tirado, Juan Cristóbal

C. C. 1709998163

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Andrango Lovato, Cristhian Andrés**, con cédula de ciudadanía No. 1722293923, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Efecto de *Arthrospira platensis* como fitoestimulante en Aji (*Capsicum annum*), en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el subtrópico occidental ecuatoriano**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 11 de septiembre del 2023



Andrango Lovato, Cristhian Andrés

C.C.: 1722293923



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Andrango Lovato, Cristhian Andrés**, con cédula de ciudadanía No. 1722293923 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: *Efecto de Arthrospira platensis* como fitoestimulante en Aji (*Capsicum annum*), en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en el subtrópico occidental ecuatoriano en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 11 de septiembre del 2023

Andrango Lovato, Cristhian Andrés

C.C.: 1722293923

Dedicatoria

A mi Dios por ser mi mentor en la vida, por darme la salud, cuidado, protección, bendiciones, guía y orientación para seguir mis sueños.

A mis padres, Segundo y Carmen, por ser el pilar inquebrantable en todo mi desarrollo profesional y humana, por inculcarme que pese a las situaciones difíciles uno siempre encontrará el camino, la solución ante la incertidumbre, además agradezco por orientarme en mis decisiones, como también enseñarme la perseverancia, dedicación y humildad para ser una buena persona.

A mi angelito que está en el cielo, mi tía Maricela, por brindarme todo su amor y cariño en la etapa más bonita como es la niñez.

A mis hermanos Danny y Gaby, por ser mi apoyo incondicional, siempre impulsarme a superarme a ser mejor en todos los aspectos como son la paciencia, responsabilidad y felicidad.

A mis abuelitos, tías, primas por darme todo su amor, consejos y risas en este hermoso camino de la vida.

A mis amigos José, Lily, Mario, Lenin, Sebas, Jeff, Fernando, Paúl, Sam y Santiago por acompañarme en esta etapa de mi vida y ser cómplices de aventuras, vivencias, aprendizajes y experiencias que las llevaré con mucho cariño en mi mente y corazón.

Cristhian Andrés Andrango Lovato

Agradecimientos

A la carrera de ingeniería Agropecuaria - IASA 1 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a mis estimados docentes quienes compartieron sus conocimientos y experiencias para mi instrucción académica-profesional.

Agradezco inmensamente al Ing. Juan Ortiz PhD. por brindarme la oportunidad de formar parte de su proyecto de integración curricular, en donde junto a su guía, orientación y apoyo se desarrolló a cabalidad.

A la Ingeniera Daysi Muñoz y al Licenciado Marco Taco, por su paciencia y asesoramiento durante los procesos de análisis a nivel de laboratorio.

A la piscícola "Nanegal" del Consejo Provincial de Pichincha, en especial al Ingeniero Miguel Anasi quien hizo posible esta investigación, facilitando el conocimiento, instalaciones e insumos, como también su apoyo y asesoramiento.

Un profundo y enorme agradecimiento a mis padres, que con amor, paciencia y sabiduría han sido y seguirán siendo el pilar fundamental en este efímero camino llamado vida, para quienes les quiero compartir este logro con mucho afecto.

A todos mis familiares, amigos y compañeros que durante el recorrido de esta etapa de formación académica-profesional han estado presentes con sus risas, virtudes y consejos.

Cristhian Andrés Andrango Lovato

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	13
Índice de figuras.....	15
Resumen.....	19
Abstract.....	20
CAPÍTULO I.....	21
INTRODUCCIÓN	21
Antecedentes	21
Justificación.....	22
Objetivos.....	24
Objetivo General.....	24
Objetivos Específicos	24
Hipótesis.....	25
CAPÍTULO II.....	26
MARCO TEÓRICO.....	26
Cultivo de Ají (<i>Capsicum annum</i>)	26
Propiedades Medicinales	26

Clasificación botánica.....	26
Ají en la agricultura.....	27
Volúmenes de producción en el Ecuador	27
Variedades de ají.....	29
Composición química y valor nutricional del ají.....	29
Cianobacterias	30
Propiedades de la Espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>).....	30
<i>Arthrospira platensis</i> en los sistemas agrícolas.....	32
Efectos de la espirulina sobre los parámetros fisiológicos de las plantas	33
Parámetros de cultivo microalgal	33
Parámetros para la producción de microalgas	33
Cultivo de Tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.)	34
Origen	34
Condiciones Agroclimáticas	34
Alimentación para Tilapias	36
Tipo de alimento	36
Características bromatológicas del alimento	36
Sistema Acuapónico	39
Sistema Nutrient Film Technique (NFT)	39
Fuentes de nitrógeno y fósforo para la acuaponía	40
Proceso de nitrificación	40
Bacterias autotróficas y heterotróficas	41
Uso del té de compost en la agricultura	42
CAPÍTULO III.....	44
METODOLOGÍA.....	44

Ubicación geográfica y características del área de estudio	44
Modelo de investigación.....	44
Diseño experimental	45
Modelo Matemático	45
Delineamiento experimental.....	45
Manejo del experimento.....	46
Instalación del sistema acuapónico	46
Maduración del sistema de nitrificación	47
Parámetros de Estanques.....	47
Control de calidad de agua	48
Manejo del cultivo de Tilapia (<i>Oreochromis</i> sp.)	48
Manejo del cultivo de ají (<i>Capsicum annuum</i>)	49
Cultivo de Espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>).....	50
Obtención del Té de compost.....	51
Control preventivo de plagas	52
Despunte	53
Tutorado	53
Cosecha	54
Variables evaluadas.....	54
Calidad de agua	54
Longitud de raíz de la planta.....	54
Longitud del tallo de la planta	55
Número de brotes laterales	55
Número de hojas	56
Aparecimiento de floración.....	57

Relación fuente / demanda	57
Clorofila y Área foliar	58
Número y peso de los frutos	58
Longitud y ancho de los frutos	58
° Brix	59
Ancho de pericarpio.....	59
Número de semillas.....	60
Análisis de laboratorio	60
Análisis bromatológico (proteína).....	61
Análisis bromatológico (grasa, fibra, ceniza y humedad).....	61
Parámetros morfométricos y productivos en peces	61
Análisis estadístico	62
CAPÍTULO IV	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
Análisis de parámetros morfométricos de plantas de ají	63
Longitud de raíz.....	63
Longitud tallo	64
Brotos laterales.....	64
Hojas.....	65
Flores	66
Frutos.....	67
Análisis de parámetros productivos de las plantas de ají	69
Relación Hoja/Flor	69
Relación Hoja/Fruto.....	69
Área foliar	70

Clorofila.....	71
Características físicas de frutos de ají.....	72
Longitud de los frutos	72
Ancho del fruto.....	72
Peso del fruto.....	73
Número de semillas.....	74
Grosor del pericarpio.....	74
Grados Brix.....	75
Análisis bromatológico de la biomasa de plantas de ají	76
% Grasa.....	76
% Fibra.....	77
% Proteína	78
% Humedad.....	79
% De cenizas.....	80
Parámetros productivos de las tilapias dentro del sistema acuapónico	82
Condiciones físico-químicos de los estanques.....	82
Análisis de procesos de nitrificación	83
Análisis del desarrollo de tilapias	83
CAPÍTULO V	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
Conclusiones.....	98
Recomendaciones	99
BIBLIOGRAFÍA	100

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Productores integrados y áreas cultivadas en el 2008</i>	28
Tabla 2 <i>Constitución química y nutricional del ají</i>	29
Tabla 3 <i>Componentes bioquímicos de espirulina</i>	31
Tabla 4 <i>Componentes de biomasa de A. platensis en medios Zarrouk y LCMA.</i> <i>Media ± DE, n=3</i>	32
Tabla 5 <i>Parámetros ambientales del cultivo de tilapia (Oreochromis sp.)</i>	35
Tabla 6 <i>Requerimientos de proteínas para tilapia según su estadio</i>	36
Tabla 7 <i>Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia</i>	38
Tabla 8 <i>Parámetros de calidad de agua para un sistema acuapónico</i>	39
Tabla 9 <i>Ingredientes para la preparación del té de compost</i>	43
Tabla 10 <i>Compuestos inorgánicos y rangos óptimos de organismos benéficos en té</i> <i>de compost</i>	43
Tabla 11 <i>Delineamiento experimental</i>	45
Tabla 12 <i>Aplicaciones de espirulina y té de compost realizadas</i>	51
Tabla 13 <i>Medias ± DE, variables morfométricas de las plantas de ají bajo diferentes</i> <i>dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	68
Tabla 14 <i>Medias ± DE, variables productivas de plantas de ají, tratadas con diferentes</i> <i>dosis de espirulina y té de compost en un sistema NFT</i>	71
Tabla 15 <i>Medias ± DE, características físicas del fruto de ají bajo diferentes</i> <i>dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	76
Tabla 16 <i>Medias ± DE, parámetros bromatológicos de la biomasa aérea de ají</i> <i>bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	81
Tabla 17 <i>Medias ± DE, condiciones físico químicos del agua circulante en</i> <i>diferentes sitios del sistema acuapónico</i>	82

Tabla 18 <i>Medias \pm DE, variables de calidad del agua en de las plantas de ají</i> <i>bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	83
Tabla 19 <i>Parámetros morfométricos de tilapias evaluadas por semana</i>	86
Tabla 20 <i>Parámetros productivos promedios de tilapias evaluadas por semana</i>	90

Índice de figuras

Figura 1 Sistema de acuapónico	40
Figura 2 Proceso de nitrificación	41
Figura 3 Curva de niveles de amonio, nitrito y nitrato en respuesta a la oxidación bacteriana en el tiempo.....	42
Figura 4 Ubicación geográfica del lugar de estudio Centro Piscícola de Nanegal	44
Figura 5 Estanques de tilapia dentro de invernadero	46
Figura 6 Tanques de nitrificación.....	47
Figura 7 Toma de parámetros fisicoquímicos mediante el uso del equipo multiparámetro.....	48
Figura 8 Control de peso del balanceado y de peces.....	49
Figura 9 Trasplante de plántulas de ají en el sistema NFT	49
Figura 10 Recolección y liofilización de espirulina.....	50
Figura 11 Obtención del té de compost.....	51
Figura 12 Aplicación foliar de té de compost	52
Figura 13 Materiales para la elaboración del bio-insecticida.....	53
Figura 14 Plantas con tutorado.....	53
Figura 15 Recolección de frutos en fundas ziploc	54
Figura 16 Medición de parámetros morfométricos (raíz).....	55
Figura 17 Toma de longitud del tallo en las plantas de ají.....	55
Figura 18 Conteo de número de brotes laterales de cada planta investigada.....	56
Figura 19 Conteo de número de hojas.....	56
Figura 20 Contabilización de flores por planta.....	57
Figura 21 Identificación de flores, hojas y frutos para la relación fuente demanda	57
Figura 22 Toma de clorofila y cálculo de área foliar por planta	58
Figura 23 Medición del peso de frutos por tratamiento.....	58
Figura 24 Medición de longitud y ancho de los frutos.....	59

Figura 25 <i>Determinación de ° Brix por tratamiento</i>	59
Figura 26 <i>Medición del ancho del pericarpio</i>	60
Figura 27 <i>Conteo de número de semillas por cada fruto</i>	60
Figura 28 <i>Determinación bromatológica de ceniza, fibra, grasa y humedad de los tratamientos tratados con espirulina y té de compost</i>	61
Figura 29 <i>Medias ± DE, longitud de raíz en plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	63
Figura 30 <i>Medias ± DE, longitud del tallo de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	64
Figura 31 <i>Medias ± DE, brotes laterales de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	65
Figura 32 <i>Medias ± DE, número de hojas de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	66
Figura 33 <i>Medias ± DE, número de flores de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	67
Figura 34 <i>Medias ± DE, número de frutos de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	68
Figura 35 <i>Medias ± DE del parámetro hoja / flor de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	69
Figura 36 <i>Medias ± DE del parámetro hoja / fruto de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	70
Figura 37 <i>Medias ± DE del área foliar de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	70
Figura 38 <i>Medias ± DE del parámetro clorofila de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico</i>	71

Figura 39 <i>Medias \pm DE largo del fruto de ají, tratado con distintas dosis de espirulina y té de compost en un sistema NFT.....</i>	72
Figura 40 <i>Medias \pm DE, ancho del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	73
Figura 41 <i>Medias \pm DE del peso del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	73
Figura 42 <i>Medias \pm DE, número de semillas del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	74
Figura 43 <i>Medias \pm DE del grosor del pericarpio de frutos de ají, bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	75
Figura 44 <i>Medias \pm DE, ° Brix del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	75
Figura 45 <i>Valores de % de grasa de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	77
Figura 46 <i>Valores de % de fibra de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	78
Figura 47 <i>Valores de % de proteína de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	79
Figura 48 <i>Valores de % de humedad de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	80
Figura 49 <i>Valores de % de ceniza de la biomasa de plantas de ají, bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico.....</i>	81
Figura 50 <i>Promedio peso que describe el crecimiento de las tilapias durante 70 días.....</i>	84
Figura 51 <i>Promedio longitud total que describe el crecimiento de las tilapias durante 70 días.....</i>	85

Figura 52 <i>Promedio longitud parcial que representa el crecimiento de las tilapias durante 70 días.....</i>	85
Figura 53 <i>Promedio del ancho que detalla el crecimiento de las tilapias durante 70 días</i>	86
Figura 54 <i>Ganancia de peso promedio que describe el crecimiento de tilapias durante 63 días.....</i>	87
Figura 55 <i>Tasa de crecimiento específico promedio que detalla el desarrollo de tilapias durante 63 días</i>	88
Figura 56 <i>Factor de conversión alimenticia promedio que describe el crecimiento de tilapias durante 63 días</i>	88
Figura 57 <i>Eficiencia alimenticia promedio que detalla el crecimiento de tilapias durante 63 días.....</i>	89
Figura 58 <i>Mortalidad de tilapias durante 70 días</i>	90

Resumen

Se realizó la evaluación de espirulina más té de compost como bio-fertilizante foliar a diferentes concentraciones, obteniendo 8 tratamientos: T0 (Testigo), T1 (Espirulina 5 g/L), T2 (Espirulina 7 g/L), T3 (Espirulina 9 g/L), T4 (Espirulina 5 g/L + Té de compost 10%), T5 (Espirulina 7 g/L + Té de compost 10%), T6 (Espirulina 9 g/L + Té de compost 10%) y T7 (Té de compost 10%) en plantas de ají cultivadas en un sistema acuapónico con efluentes de tilapias. La evaluación se llevó a cabo para parámetros productivos y bromatología de las plantas de *Capsicum annuum*. A los 93 días luego del trasplante en el sistema acuapónico, las plantas de ají no tuvieron respuesta a la aplicación de *Arthrospira platensis* en la producción de flores, frutos, longitud de raíz, relación hoja: fruto, hoja; flor, cantidad de semillas, clorofila y área foliar; sin embargo, se presentó un mayor desarrollo en la longitud del tallo en las plantas tratadas con 7g de espirulina (T2) a comparación de las plantas con 5 g (T1). Así mismo, las plantas manejadas a una concentración de 7g/L de espirulina (T2), obtuvieron mayor número de hojas que los tratamientos T1, T3 y T4. La aplicación de *Arthrospira platensis* en concentraciones de 5 g/L + Té de compost 10% (T4) aumentó el porcentaje de grasa (6,20%), humedad (82,68%) y ceniza (17,12%). De igual manera, la aplicación de espirulina 7 g/L (T2) y espirulina 9 g/L (T3) obtuvieron el mayor porcentaje de proteína, en la biomasa aérea de plantas de ají.

Palabras clave: ACUAPONÍA, TILAPIA, ESPIRULINA

Abstract

The evaluation of spirulina plus compost tea as foliar bio-fertiliser at different concentrations was carried out, obtaining 8 treatments: T0 (Control), T1 (Spirulina 5 g/L), T2 (Spirulina 7 g/L), T3 (Spirulina 9 g/L), T4 (Spirulina 5 g/L + Compost tea 10%), T5 (Spirulina 7 g/L + Compost tea 10%), T6 (Spirulina 9 g/L + Compost tea 10%) and T7 (Compost tea 10%) on chilli plants grown in an aquaponic system with tilapia effluent. The evaluation was carried out for productive parameters and bromatology of *Capsicum annuum* plants. At 93 days after transplanting in the aquaponic system, the chilli plants had no response to the application of *Arthrospira platensis* in flower production, fruit, root length, leaf: fruit, leaf; flower ratio, number of seeds, chlorophyll and leaf area; however, there was a greater development in stem length in the plants treated with 7 g of spirulina (T2) compared to the plants with 5 g (T1). Likewise, plants managed at a concentration of 7 g/L spirulina (T2) obtained a greater number of leaves than treatments T1, T3 and T4. The application of *Arthrospira platensis* at a concentration of 5 g/L + 10% compost tea (T4) increased the percentage of fat (6.20%), moisture (82.68%) and ash (17.12%). Similarly, the application of spirulina 7 g/L (T2) and spirulina 9 g/L (T3) obtained the highest percentage of protein in the aerial biomass of chilli plants.

Keywords: AQUAPONIC, TILAPIA, SPIRULINA

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En 1998, la plaga de la mancha blanca atacó al camarón, producto destacado en las exportaciones de Ecuador, evento que catapultó a la tilapia como una de las producciones piscícolas más importantes, que hasta hoy en día se mantienen por sus cualidades nutricionales, económicas y de adaptabilidad (Cazar, 2022). Según Ordóñez (2008), el total estimado de producción de tilapia en el país es de 20,000 toneladas métricas anuales, con gran potencial de crecimiento, además la Cámara Nacional de Acuicultura, reporta que, las comercializaciones a Estados Unidos significaron 105,641 libras a un valor de 1,71 dólares por cada una de ellas, en los meses de enero y febrero del 2022.

La producción de este cultivo se realiza de forma semi-intensiva en piscinas, las cuales descargan los efluentes en ríos cercanos. El agua usada en la piscicultura lleva una gran carga de materia orgánica (MO) y nutrientes minerales; 1,5 - 2,4 % MO, 40 µg/g P, 20 - 26 µg/g Al, 31,93 - 72,89 µg/g K y 140 µg / g Fe, reportados por Hernández (2021), como resultado de excretas y alimento no ingerido. Estos residuos pueden causar un desequilibrio en las propiedades físico-químicas como el aumento en el contenido de amoníaco, nitrógeno y fósforo total. Como los residuos se sedimentan al fondo de los ríos crean un ambiente inhóspito para ciertos seres acuáticos produciendo cambios en el ecosistema de los afluentes de agua dulce (Bezerra *et al.*, 2014). Es por esto que varios estudios (Méndez, 2019) han abordado el tema de la acuaponía como una alternativa para disminuir dichos contaminantes, como: Sólidos Suspendidos Totales (SST): 86-185 mg/L; Nitrógeno Total (NT): 3.58 mg/L; Fósforo Total (PT): 0.13 mg/L.

El agua de los sistemas acuapónicos posee deficiencias nutricionales, es por esta razón que autores como Campus *et al.*, (2015), investigaron sobre el uso de biofertilizantes o fertilizantes orgánicos en la acuaponía en cultivos de pepino, rábano, girasol y pepinillo

(Calvachi, 2022).

Salazar (2007), hace mención que la biomasa de cianobacterias (Espirulina) aplicadas en cultivos hortícolas inciden favorablemente en la absorción de nutrimentos. Vivanco (2022), menciona que la aplicación de 8 g/L de espirulina contribuye a una mayor altura, número de hojas y elevado rendimiento por hectárea en cultivos acuapónicos de pepino. Por otra parte, Siringi *et al.*, (2021), indica que el cultivo de maíz en hidroponía tratado con espirulina, obtiene producción semejante a los evaluados con fertilizantes inorgánicos. También, los resultados obtenidos por Shaaban y Abou (2019), quienes destacan el incremento de antioxidantes y contenido de proteínas en cultivos de trigo, mediante el uso de cianobacterias.

Así mismo, Guerra y Paiz (2022), quienes trabajaron en lechuga, señalaron que la espirulina es una fuente de materia prima para bioestimulantes, promotor del crecimiento y eleva el contenido de espermina en hojas. Por otro lado, Sudradjat *et al.*, (2016) evaluaron el rendimiento de ají tratado con biomasa seca de espirulina, se evidenció un 2,1% de incremento en la calidad comercial de los frutos. Además, el uso de té de compost ha sido evaluado por Bonillo *et al.*, (2015), quienes obtuvieron una mayor altura y diámetro del tallo en cultivos acuapónicos de albahaca.

Justificación

El principal problema de la acuicultura semi-intensiva e intensiva es la contaminación del agua por la alta descarga de materia orgánica, compuestos nitrogenados (amoníaco y amonio ionizado), metabolitos tóxicos y bioquímicos, lo que perjudica la calidad físico-química del agua de los ríos y océanos que sufren de estos desechos (Castañeda y Miranda, 2011).

En 2020, Food and Agriculture Organization, “Organización para la Agricultura y la Alimentación” [FAO] , recalca que los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados en la agenda 2030, propician una producción agroalimentaria más eficiente, productiva y sostenible (Hernández, 2021). Bajo este enfoque, se visualiza a los sistemas acuapónicos como una actividad agrícola sostenible que incrementa la eficiencia del recurso hídrico, recicla

desperdicios como nutrientes y disminuye la presión sobre el uso de la tierra. De esta manera, como los sistemas acuapónicos aparecen como una opción productiva, ya que acoplan fundamentos de acuicultura con hidroponía, donde los contaminantes orgánicos expulsados por los individuos acuáticos, son transformados por bacterias autótrofas (*nitrosomonas* - *nitrobacter*) y heterótrofas (*bacillus subtilis*) en nitratos, fosfatos, etc., aprovechadas por las plantas (Muñoz y Tipán, 2020). La acuaponía es una alternativa para conseguir una producción de alimentos duradera, siguiendo los preceptos de reutilización de aguas residuales, juntando sistemas agrícolas con acuícolas (Pin, 2016). Sin embargo, a pesar de presentar el sistema cantidades de nitrógeno y fósforo disponibles en el agua, no es suficiente para abastecer las necesidades nutricionales que requieren los cultivos, creando la necesidad de una fertilización complementaria (Mac Donnell, 2018).

Castañeda y Miranda (2011), mencionan que las plantas requieren macronutrientes (H, O, K, Mg, C, N, P, Ca, S) y micronutrientes (Cu, Mo, Fe, Cl, B, Zn, Mn), que son esenciales para su producción. Según Ramírez *et al.*, (2008), la ley del mínimo, manifiesta que la reserva de nutrientes implica un elemento crucial en los cultivos vegetales, y el nutriente en menor concentración genera la tasa de crecimiento máximo.

Según Castañeda y Miranda (2011), indican que las concentraciones de minerales en acuaponía son inferiores a los sistemas hidropónicos recomendados. Los sistemas acuapónicos presentan promedios inferiores de nitrato, fósforo, boro, calcio, zinc, manganeso y aluminio en el fluido de recirculación, pero concentraciones superiores de sodio, nitrito, cloro y amonio en contraste con la hidroponía. Perdomo *et al.*, (2012), mencionan que los niveles de calcio y magnesio en sistemas acuapónicos son 8 y 25 veces más inferiores que las de hidroponía, lo que quizá dificulta el rendimiento y producción de los cultivos vegetales. Bezerra *et al.*, (2014), señalan que las insuficiencias de Fe y K son provocadas por los bajos componentes en alimentos balanceados para la tilapia. Campus *et al.*, (2015), aseguran que en acuaponía es imprescindible la adición de ciertos minerales al sistema como calcio, hierro,

manganeso, magnesio, boro, aluminio y zinc, dependiendo del cultivo.

Considerando que la tendencia hacia la agricultura orgánica está en aumento se tiene la necesidad de buscar alternativas que obvien el uso de agroquímicos como fertilizantes en la producción de vegetales, por ello el uso de biofertilizantes foliares como el té compost y *Arthrospira platensis*, entre las alternativas orgánicas capaces de cubrir los requerimientos nutricionales de los cultivos en sistemas hidropónicos (Bonillo *et al.*, 2015).

El cultivo de ají juega un importante papel en el sector hortícola del país, pues presenta compuestos beneficiosos para la salud y alimentación, contiene vitaminas A, C y E, carotenoides, capsaicinoides (Organización Internacional para las Migraciones, 2009) y minerales como calcio, potasio, hierro, magnesio, sodio, fósforo, cobre y zinc (Saavedra, 2019). La capsaicina producida por los frutos del género *Capsicum*, tiene efectos positivos para la salud pues estimula los sistemas cardiovascular y respiratorio, como también un efecto analgésico y propiedades antitumorales (Quiñones *et al.*, 2022).

Es por estas razones, que la presente investigación busca mediante la combinación del cultivo de ají y sistemas acuapónicos complementados con biofertilización orgánica (Espirulina y té de compost), mejorar el rendimiento y productividad del fruto minimizando la presión sobre el uso de la tierra, a través de un manejo sostenible y orgánico, con ello aportar en la salud y alimentación de los seres humanos.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar el efecto de *Arthrospira platensis* como fertilizante foliar en Ají (*Capsicum annuum*) en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis* sp.) desarrollado en el subtrópico occidental ecuatoriano.

Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de *Arthrospira platensis* sobre parámetros productivos en el cultivo de ají

(*Capsicum annuum*) en sistemas acuapónicos.

- Evaluar el efecto de *Arthrospira platensis* sobre parámetros bromatológicos en el cultivo de ají (*Capsicum annuum*) en sistemas acuapónicos.
- Valorar los parámetros productivos de las tilapias dentro del sistema.

Hipótesis

H0: La producción de plantas de flor como Ají (*Capsicum annuum*), mantiene sus condiciones productivas y bromatológicas en sistemas acuapónicos con tilapia híbrida (*Oreochromis* sp.) bajo el efecto de *Arthrospira platensis*.

H1: La producción de plantas de flor como Ají (*Capsicum annuum*), mejora sus condiciones productivas y bromatológicas en sistemas acuapónicos con tilapia híbrida (*Oreochromis* sp.) bajo el efecto de *Arthrospira platensis*.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Cultivo de Ají (*Capsicum annuum*)

Castillo *et al.*, (2009), menciona que el ají, pimiento o chile, empleado por el ser humano corresponden al género *Capsicum*, el nombre científico proviene de Kapso; picar y de Kapsakes; cápsula, este género pertenece a las solanáceas. La etimología de *Capsicum* se debe a la similitud que muestran sus frutos con una caja, en la cual están guardadas las semillas, adicionalmente, Pinedo (2018), menciona que su origen surge de la palabra griega capto; mordaz, debido al sabor picante de los frutos. Además, le caracteriza como una planta anual herbácea, que se convierte en leñosa en condiciones óptimas, presenta sistema radicular pivotante con raíces adventicias, el tallo es recto y de mínimo crecimiento, sus hojas son enteras y lampiñas.

Propiedades Medicinales

Según Chancay (2018), el ají posee contenidos de vitamina A, C, E y β carotenos beneficiosos para la piel y el sistema inmunológico, además, capsaicina la cual otorga el sabor picante al fruto con efectos positivos en el cuerpo. Así mismo, Chicaiza (2022), menciona que el ají estimula el apetito, producción de endorfinas y compuesto opiáceo relacionado con la felicidad y bienestar, también, su cualidad termogénica, reduce la grasa abdominal.

Clasificación botánica

Trujillo (2021), clasifica al ají desde la siguiente perspectiva botánica:

Reino: Vegetal

Clase: Angiosperma

Subclase: Dicotiledónea

Orden: Tubiflorae

Familia: Solanácea

Género: *Capsicum*

Especie: *Capsicum annuum L.*

Ají en la agricultura

El cultivo de ají ha ganado gran importancia a nivel agrícola no solo por sus beneficios como alimento, sino también por su uso como potencial insecticida, repelente antimicrobiano y fungicida orgánico (Moreno, 2017). Los compuestos de capsianósidos, capsaicina, capsicidina, capsicodendrina y capsidol son los principales compuestos que otorgan dichas características a los extractos y macerados elaborados a base del cultivo de ají (Organización Internacional para las Migraciones, 2009).

Saavedra (2019) hace una revisión sobre el uso de ají y su combinación con otras especies en la elaboración de bioplaguicidas, el autor menciona las ventajas de la capsaicina en el control de insectos como minadores, chupadores, barrenadores y masticadores, haciendo énfasis en los beneficios de estos extractos al no dejar residualidad, ser biodegradables y no afectar a insectos y microorganismos benéficos. Otro uso interesante de los extractos a base de ají está relacionado a su potencial como fungicidas. Estudios como los realizados por Pinedo (2018) sugieren que la inhibición de hongos como *Aspergillus flavus* con extractos de Capsicina y macerados de ají, es similar a la obtenida por fungicidas de síntesis inorgánica como el Captan. Estos hechos resultan interesantes en vista de que la tendencia en la agricultura está enfocada en desarrollar programas de control y manejo integrado de plagas y enfermedades de forma sostenible disminuyendo el uso de agroquímicos y es aquí donde el cultivo de ají obtiene gran interés a nivel agrícola por su potencial como bioplaguicida.

Volúmenes de producción en el Ecuador

A pesar de que no existen estudios o datos concretos sobre el volumen de producción de ají en Ecuador, se puede mencionar lo citado por Chancay (2018), quien enfatiza que la producción de ají no se realiza de forma tan comercial comparada con otros cultivos. Sin

embargo, existe un pequeño sector dedicado a la industrialización de este cultivo que ha desarrollado sistemas de producción intensiva en varias provincias de la costa ecuatoriana que según los datos obtenidos por la Organización Internacional para las Migraciones (2009) ha aumentado la demanda y el rendimiento de ají. Saavedra (2019) menciona que una hectárea de cultivo intensivo de ají puede llegar a producir entre 10 y 12 toneladas de producto comercial con un ciclo de 6 meses.

El precio del ají comercial, es decir de alta calidad, oscila entre los 95 centavos, aunque esto depende de los centros de acopio y los precios que estos mismos fijen; una hectárea de ají comercial puede generar un ingreso de 14.000 y 15.000 dólares por cada ciclo productivo (Chicaiza, 2022).

Tabla 1

Productores integrados y áreas cultivadas en el 2008

Territorio	Áreas cultivadas (ha)	N° de campesinos
Calceta	52,00	22
Quinindé	10,00	9
El Paisaje	8,25	7
Nuevo Azuay	18,50	17
San Vicente del Mache	5,75	10
La Unión	13,50	11
El Rocío	17,25	16
Puerto Quito	13,00	6
La Concordia	17,00	12
Esmeraldas	8,50	10
La Fortuna	44,50	21
Total	280,90	210

Nota. Recuperado de Organización Internacional para las Migraciones (2009).

Variedades de ají

El género *Capsicum* es muy variado en cuanto a la morfología, colores, sabores y características de cada cultivar. Es por esto que *Capsicum annuum* puede ser difícil de separar de los cultivados *C. chinense* (pimiento picante) y *C. frutescens* (pimiento tabasco) debido a que sus características morfológicas pueden superponerse. Sin embargo, se puede resaltar que dentro de *Capsicum annuum* existe una gran variedad de cultivares mismos que se pueden asociar en grupos como: chilli pepper, paprika (variedades dulces); bell pepper, cayenne, jalapeños, chiltepin (variedades picantes) (Castillo *et al.*, 2009). Las variedades y cultivares de *Capsicum annuum* se clasifican en base a la forma de sus frutos, el fruto de *Capsicum* se forma como resultado del desarrollo y diferenciación del gineceo posterior a la fertilización, por lo tanto, es un efecto de varias modificaciones morfológicas y estructurales tardías en los carpelos (Trujillo, 2021).

Composición química y valor nutricional del ají

Pinedo (2018), manifiesta que los responsables de la pungencia en la fruta son la capsaicina, dihidrocapsaicina, homocapsaicina, homodihidrocapsaicina y la nordihidrocapsaicina.

Saavedra (2019), revela que el ají tiene un elevado componente de vitamina C, betacaroteno, el cual retrasa el envejecimiento del cuerpo, de igual manera, contiene queratina, un fitoquímico que disminuye el padecimiento de cáncer. Sin embargo, no se debe exceder en la ingesta de este producto, ya que puede impedir sus beneficios potenciales.

Tabla 2

Constitución química y nutricional del ají

Componente	Número	Unidades
Energía	57	Kcal
Agua	82,9	%
Proteína	2,5	%

Componente	Número	Unidades
Grasa	0,8	%
Carbohidrato	12,4	G
Fibra	2,9	%
Ceniza	1,4	%
Calcio	21	Mg
Fósforo	58	Mg
Hierro	1,3	Mg

Nota. Recuperado de Pinedo (2018).

Cianobacterias

Andreeva *et al.*, (2020), aseveran que las cianobacterias presentan un rol fotosintético en su biología, participan en la fijación del nitrógeno y elaboran sustancias biológicas. Por otra parte, Shestakov y Karamysheva (2017), mencionan que son seres procariotas que habitan en ambientes de alta salinidad y poseen una interacción simbiótica con organismos eucariotas.

Las cianobacterias cooperan como bio-remediadores de micro-contaminantes y en el tratamiento de fluidos residuales con nitrógeno y fósforo. Chittapun *et al.*, (2018), sugieren a los productores de arroz emplear una porción de la mitad de cianobacterias y la otra de fertilizante químico para acortar los costos de producción, mejorando la cantidad y calidad del producto.

En este sentido, Garlapati *et al.*, (2019) dan a conocer alternativas para la producción manual e industrial de cianobacterias como la espirulina.

Propiedades de la Espirulina (*Arthrospira platensis*)

Trabelsi *et al.*, (2009), define a la espirulina como una cianobacteria filamentosa con una dimensión de 200-250 µm, valiosa en dietas de organismos en virtud de sus beneficios nutricionales, metabolitos con cualidades medicinales, no tóxica y de fácil cultivo. Por su parte, Khannapho *et al.*, (2021), menciona que *A. platensis* exhibe un potencial en biocombustibles, alimentos, nutrimentos y medicinas, por lo que el manejo continuo mejora su producción.

Según Tuhy *et al.*, (2015), en la actualidad se presenta una visión más sostenible y orgánica en las producciones agroalimentarias por lo que el uso de espirulina como alimento, biofertilizante

y bioestimulador del crecimiento vegetal es una alternativa amigable con el planeta. En la Tabla 3, se puede visualizar los componentes de espirulina en medio Zarrouk.

Tabla 3

Componentes bioquímicos de espirulina

Compuesto	Contenido (%)	Compuesto	Contenido (%)
Proteína	51 – 71	Minerales	7,1
Leucina	5,8 - 6,6	K	1-14
Valina	7,5	Sodio	0,45 - 0,5
Isoleucina	6,8	Fósforo	0,3 – 07
Fenilalanina	2,6 -3,3	Magnesio	0,1 - 0,2
Metionina	1,3 - 2,0	Hierro	0,03 - 0,05
Triptófano	1,0 - 1,6	Manganeso	0,005
Tirosina	2,6 - 3,3	Zinc	0,003
Ácido aspártico	5,2 - 6,0	Cromo	0,28 mg
Cisteína	0,5 - 0,7	Carbohidratos	15 – 20
Vitaminas	0,7 - 0,9	Glicerol	7,4
Provitamina A	0,11 - 0,2	Glucosa	7,5
Tiamina B1	3 -4 mg	Ramnosa	17,1
Riboflavina B2	2,5 - 3,5 mg	Fructosa	3,3
Niacina B3	0,014	Ribosa	8,1
Vitamina E	5 -7 mg	Galactosa	8,2
Ácido fólico	4 - 5 mg	No identificados	2,6
Ácido pantoténico	0,5 - 0,8 mg	Pigmentos	6
Biotina	5 μ g	Clorofila	0,9 - 1,6
Ácido mirístico	0,231	β -caroteno	15,1
Ácido palmítico	44,61 - 54,12	Equinenona	11,1 -13,1

Compuesto	Contenido (%)	Compuesto	Contenido (%)
Ácido palmitoleico	1,26	b-criptoxantina	6 – 8
Ácido linoleico	11,1 - 31,1	Mixoxantofila	13,1 - 17,1
Otros	20,889	Ficocianina	16,1 - 20,1

Nota. % peso seco de la espirulina. Recuperado de Ramírez y Olvera (2006).

Tabla 4

Componentes de biomasa de A. platensis en medios Zarrouk y LCMA. Media ± DE, n=3

	Nutriente	Medio LCMA	Zarrouk
	Proteína cruda	52,85 ± 0,39	65,00 ± 0,26
	Lípidos crudos	6,61 ± 0,06	6,84 ± 0,05
Composición (%)	Carbohidratos	15,29 ± 0,41	13,62 ± 0,64
	Fibra cruda	9,79 ± 0,35	11,37 ± 0,39
	Ceniza	9,55 ± 0,24	9,93 ± 0,44
	Humedad	5,46 ± 0,16	9,93 ± 0,09
kJ / 100 g	Energía	329,88 ± 5,33	379,59 ± 8,67

Nota. Recuperado de Michael *et al.*, (2019).

***Arthrospira platensis* en los sistemas agrícolas**

Tuhy *et al.*, (2015) menciona que el empleo de microalgas y cianobacterias en la producción agrícola, es una de las alternativas más beneficiosas por ser sostenible y de fácil cultivo. De igual manera Godlewska *et al.*, (2019), afirma que la espirulina es aplicada directamente al suelo como a las plantas a nivel mundial.

Bhowmik *et al.*, (2010), indica que *Arthrospira platensis* dispone de macro y micronutrientes para organismos vegetales, también aporta aminoácidos, polipéptidos, vitaminas, fitohormonas, antioxidantes, compuestos antibacterianos y antifúngicos. Según Mala *et al.*, (2017), las plantas aplicadas macro y micronutrientes de origen algal combaten la desnutrición, fundamento que se evidencia en el cultivo *Amaranthus dubius*, donde se utilizó 5

g de *A. platensis* mostrando un aumento de 6, 4 y 2,5 en las concentraciones de proteínas, vitaminas y antioxidantes respectivamente. Adicionalmente Tuhy *et al.*, (2015), verificaron que el uso de espirulina junto con minerales aumentó la productividad del maíz en 7,2 Tn/ha. Por otra parte, Mógor *et al.*, (2018), resalta que el hidrolizado y congelación de la biomasa foliar de espirulina aplicado a cultivos vegetales, incrementa el volumen de poliamidas hasta en un 64% en la planta. El estudio realizado por Anitha *et al.*, (2016), destaca que la *A. platensis* aumenta las concentraciones de zinc en semillas de tomate, frijol y amaranto, elemento provechoso para el sistema inmunológico.

Efectos de la espirulina sobre los parámetros fisiológicos de las plantas

Salazar (2007), resalta las elevadas concentraciones de macronutrientes y micronutrientes que contiene *A. platensis*, esenciales para el desenvolvimiento productivo de los cultivos. Se ha reconocido que la aplicación foliar de espirulina tiene efectos positivos, como un aumento en el rendimiento y calidad de cultivos de col (*Brassica oleracea*). Además de promover la absorción de nutrientes como: nitrógeno, fósforo y potasio del suelo. Del mismo modo, Shestakov y Karamysheva (2017), menciona que *A. platensis* produce moléculas como; fitohormonas, vitaminas, aminoácidos, proteínas y fenoles, que actúan sinérgicamente con los vegetales. Así mismo, Arahou *et al.*, (2021), afirman que *A. platensis* participa en el metabolismo en plantas, también, coadyuva en el crecimiento de raíces y nutrición mineral, mediante la estimulación de microorganismos de la rizosfera.

Parámetros de cultivo microalgal

El crecimiento de las microalgas está ligado a las condiciones de cultivo este debe ser natural, con componentes de N, P, Fe y oligoelementos. A continuación, se describen los parámetros para el crecimiento de microalgas.

Parámetros para la producción de microalgas

Moreno (2017), indica que las microalgas requieren nutrientes como; oxígeno,

nitrógeno, magnesio, agua, zinc, hierro y carbono necesarios para el metabolismo, adicionalmente, por medio de la fotosíntesis añaden materia viva. La utilización de fragmentos hidrolizados de urea, glucosa y melaza, reemplazan nutrimentos como Fe⁺, Na⁺, Ca⁺, Mg⁺⁺ y N disminuyendo los valores de producción de espirulina.

Cultivo de Tilapia (*Oreochromis* sp.)

Origen

Oreochromis sp. tiene su origen en África y fue introducida al Ecuador en el año 1965 aunque su producción no tenía técnica, alrededor del año 1980 la producción de tilapia implementó tecnología debido al aumento de demanda de este pez (Marriner, 2008).

La tilapia (*Oreochromis* sp.) se deriva de líneas mejoradas de *O. aureus*, *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. urolepis* ya que su nutrición y reproducción son similares (Toledo y García, 2019).

Las principales características de este ejemplar, son un alto porcentaje de masa muscular, la ausencia de espinas intramusculares, buena coloración y color de la carne, rápido crecimiento, adaptabilidad ambiental y resistencia a enfermedades hacen que el uso de este híbrido sea muy valorado (Bezerra *et al.*, 2014).

Condiciones Agroclimáticas

La tilapia (*Oreochromis* sp.) se adapta a una temperatura de 14-36 grados centígrados, su límite de tolerancia es de 42 °C. Sin embargo, la temperatura óptima es de 23 a 30 °C; El rango de tolerancia de la tilapia medida en altitud es de 850-2000 m (Gómez *et al.*, 2011).

Oreochromis sp. se adapta donde la concentración total de nitrógeno amoniacal es menor a 1 mg / L y la concentración de nitritos es inferior a 1 mg /L (Gómez *et al.*, 2011). El cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp.) tolera la turbidez, la visibilidad de los peces es de 30 centímetros (lectura del disco Secchi). Los valores óptimos de pH están entre 7-8. La tilapia (*Oreochromis* sp.) se desarrolla de manera óptima en agua con un pH neutro o ligeramente alcalino, en ambientes con pH ácidos su crecimiento se detiene por lo que su punto máximo de

soporte es de 5 (Saavedra, 2019).

El cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp.), tolera bajas concentraciones de salinidad alrededor de 1 mg / L, sin embargo, estos peces llegan a adaptarse a ambientes ligeramente salinos, aunque son sensibles a cambios bruscos.

La disponibilidad de oxígeno en el agua, es un parámetro de importancia en el cultivo de tilapia; a niveles de oxígeno más bajos, se reduce el consumo de alimento, por lo tanto, se ven alterados los parámetros morfométricos y productivos. Según (Saavedra, 2019), en sistemas semi-intensivos e intensivos los valores de oxígeno disponible (OD) deben superar los 5 mg / L.

Tabla 5

Parámetros ambientales del cultivo de tilapia (Oreochromis sp.)

Parámetros	Valores mínimos y máximos	Valores óptimos
Temperatura	25 - 32 °C	28,5 °C
Oxígeno Disuelto	5,0 - 9,0 mg / L	7,0 mg / L
pH	6,0 - 9,0	7,5
Alcalinidad Total	50 - 150 mg / L	100 mg / L
Nitritos	0 - 0,1 mg / L	0,05 mg / L
Nitratos	1,5 - 2,0 mg / L	1,75 mg / L
Amonio Total	0 - 0,1 mg / L	0,05 mg / L
Fosfatos	0,15 - 0,2 mg / L	0,175 mg / L
Dióxido de carbono	5,0 - 10 mg / L	7,5 mg / L

Nota. Recuperado de Saavedra (2019).

Alimentación para Tilapias

Las tilapias naturalmente se alimentan de otros seres vivos de su hábitat como los son el fitoplancton, zooplancton e insectos; pero debido a que las tilapias. Pero debido a que la producción de tilapia se encuentra en su mayoría en piscinas artificiales se debe complementar con alimentos suplementarios comerciales que contengan los nutrientes necesarios para su buen desarrollo (Ordóñez, 2008).

Tipo de alimento

El alimento debe aportar con nutrientes principalmente la proteína, y otros complementos. Al momento de elegir el pellet es importante conocer el tamaño de la partícula y adquirirla según el tamaño del pez para cerciorarse que este pueda ser digerido sin inconvenientes (Martínez y Chávez, 2017).

Características bromatológicas del alimento

Proteína

El nutriente que los peces necesitan en mayor cantidad es la proteína para su desarrollo, ya que su crecimiento depende directamente de este nutriente. Conforme el pez va desarrollando y llegando al peso comercial la necesidad de proteína va decreciendo. El costo de la proteína tiene el 50% del valor del pellet (Hernández, 2019).

Tabla 6

Requerimientos de proteínas para tilapia según su estadio.

Fase	Nivel de proteína (%)
Pre cría	45
Crecimiento	40
Engorde	28-32
Reproductores	35

Nota. Recuperado de Hernández (2019).

La proteína tiene dos fuentes de origen las cuales son el animal y vegetal. La harina de pescado y de sangre son la principal fuente de proteína de origen animal, y los productos vegetales como el polvillo de arroz, torta de soja, pasta de algodón y de trigo entre otros alimentos dotan a los peces de proteína.

Lípidos

Las tilapias utilizan los lípidos como la principal fuente de energía y tiene un papel importante en la formación del pellet, ya que reduce los polvos, interviene en la ingesta y brinda al pellet una textura agradable al paladar del pez (Rueda, 2023).

Carbohidratos

Las tilapias tienen una necesidad reducida de carbohidratos, por lo que estos son utilizados mayormente para formar el balanceado siendo su función principal conglomerar los diferentes ingredientes que conforman el pellet (Rueda, 2023).

Vitaminas

Las vitaminas se encargan de catalizar procesos metabólicos en los peces, sin embargo, estos no pueden sintetizarlas, por lo que deben ser suministradas en los alimentos. La necesidad de vitaminas varía dependiendo de la especie y del ambiente (Méndez, 2019).

Minerales

Los minerales son de vital importancia en el metabolismo del pez, ya que participan en la formación de huesos, escamas y dientes, además que intervienen en los procesos de osmorregulación celular (Méndez, 2019).

Tabla 7*Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia*

	Alevinaje	Crecimiento	Engorde	Reproductores
Peso (g)	0,01 – 25	25 - 50	50 - 400	> 400
Nutrientes				
Energía (Kcal/kg)	4000	3000	2900	2900
Proteína bruta (%)	40 – 60	30 – 25	25 - 35	25 .35
Carbohidratos (%)	< 25	25 – 30	30 - 35	<35
Lípidos (%)	5 – 8	8 – 10	0,5 - 10	0,5 – 10
Aminoácidos (%)				
Lisina	2,05	1,64	1,43	1,28
Metionina + Cistina	1,07	0,86	0,75	0,67
Treonina	1,50	1,20	1,05	0,94
Nutrientes				
Arginina	1,68	1,34	1,18	1,05
Histidina	0,70	0,55	0,48	0,43
Isoleucina	1,24	1,00	0,87	0,78
Leucina	1,36	1,08	0,95	0,85
Fenilalanina + Tirosina	2,22	1,77	1,55	1,39
Valina	1,12	0,56	0,78	0,70
Minerales				
Calcio (%)	0,70	0,70	0,70	0,70
Fósforo disponible (%)	1,00	0,91	0,91	0,91

Nota. Recuperado de Noriega *et al.*, (2020).

Sistema Acuapónico

El sistema acuapónico integra dos sistemas de manera sinérgica, donde interactúan la producción de plantas y peces, el beneficio en este sistema es el aprovechamiento de los desechos de la piscicultura por las plantas principalmente vegetales (Toledo y García, 2019). La acuaponía es un sistema cerrado y se basa principalmente en el uso máximo de nutrientes, esto porque la recirculación del agua es del 100% lo que lo hace beneficioso para los recursos hídricos y el medio ambiente (Campus *et al.*, 2015). El buen funcionamiento de un sistema acuapónico integra el buen desarrollo de peces, plantas y bacterias implicadas (Somerville *et al.*, 2022).

Tabla 8

Parámetros de calidad de agua para un sistema acuapónico

Tipo de Organismo	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)
Peces	22 - 32	6 - 8,5	< 3	< 1	< 400	4 – 6
Plantas	16 - 30	5,5 - 7,5	< 3	< 1	-	>3
Bacterias	14 - 34	6 - 8,5	< 3	< 1	-	6 – 8

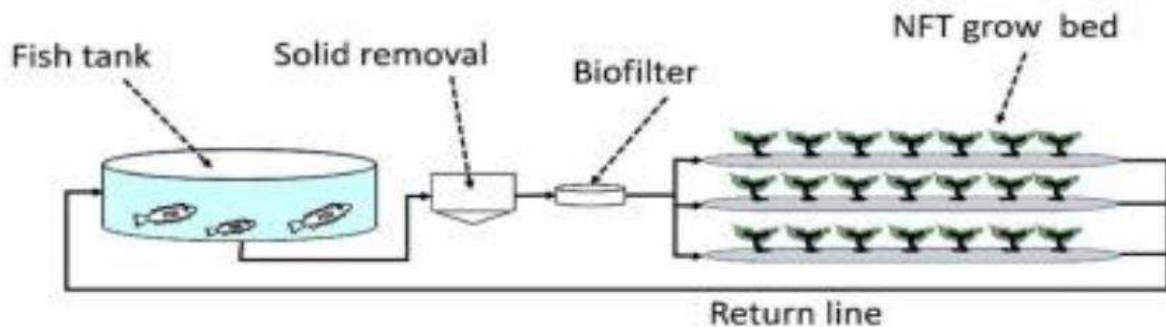
Nota. Tomado de Food and Agriculture Organization, “Organización para la Agricultura y la Alimentación” [FAO], (2020)

Sistema Nutrient Film Technique (NFT)

El sistema acuapónico técnica de película de nutrientes (NFT) es uno de los más utilizados en la hidroponía por la circulación constante de agua por el sistema, ya que el agua circula horizontal como verticalmente lo que permite la oxigenación de agua y a su vez esto beneficia la absorción de nutrientes para las plantas (Ramírez *et al.*, 2008).

Figura 1

Sistema de acuapónico



Nota. Recuperado de Guerra y Paiz (2022).

Fuentes de nitrógeno y fósforo para la acuaponía

Los compuestos nitrogenados resultantes de la piscicultura tienen su origen en los alimentos suministrados a los peces, pues conllevan una gran carga de proteína que al no ser ingerida por el animal termina en la base de los estanques. Los peces utilizan para su metabolismo aproximadamente entre un 20-50% de nitrógeno contenido en la alimentación, el resto puede ser aprovechado por las plantas (Flores y Madrid, 2013).

El fósforo al igual que el nitrógeno tiene su origen en los alimentos de los peces, ya que estos solo pueden asimilar entre el 70 y 35% de fósforo administrado, el restante es excretado en el ambiente. Los niveles de PO_4 en el agua se encuentran en cantidades de 1 a 17mg/L, sin embargo, esta concentración no es suficiente para las exigencias de cualquier cultivo ya que estos requieren niveles entre 40-60 mg/L (Hernández, 2021).

Proceso de nitrificación

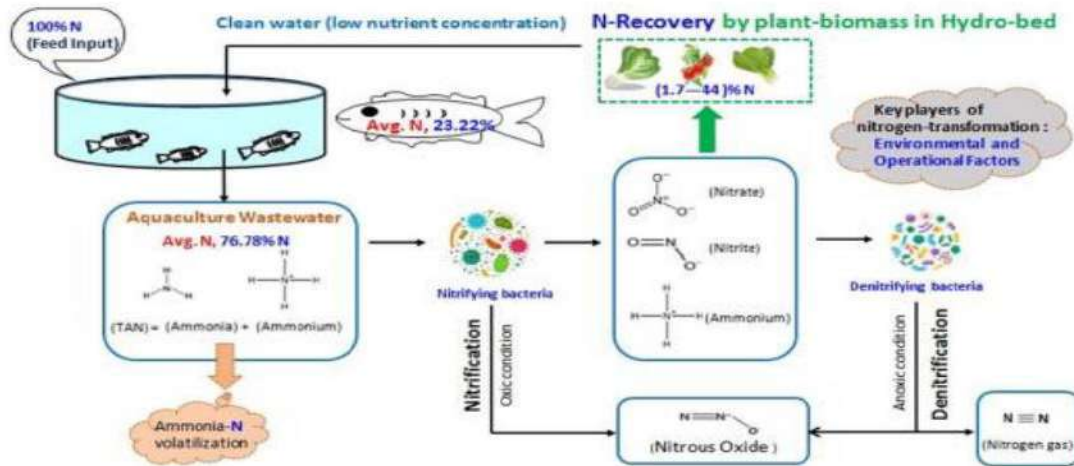
El proceso de nitrificación inicia en ambientes acuáticos con alta cantidad de materia orgánica y oxígeno donde las bacterias nitrificantes pueden desarrollarse, aprovechar las cantidades de compuestos nitrogenados tóxicos y emitir compuestos aprovechables para las plantas (Hernández y Fajardo, 2019).

Las poblaciones bacterianas que actúan en el sistema de nitrificación son autótrofas

como heterótrofas (Castañeda y Miranda, 2011).

Figura 2

Proceso de nitrificación



Nota. Recuperado de Ramírez *et al.*, (2008).

Bacterias autotróficas y heterotróficas

El sistema de nitrificación es beneficiado por la sinergia de bacterias autótrofas y heterótrofas las cuales se desarrollan con normalidad en efluentes (Guerra y Paiz, 2022).

El proceso de nitrificación es la cadena de reacciones que permite que el amonio transformarse en nitritos mediante una reacción oxidativa finalmente termina como nitratos mediante la acción de bacterias amonio-oxidantes y nitrito-oxidantes (Campus *et al.*, 2015).

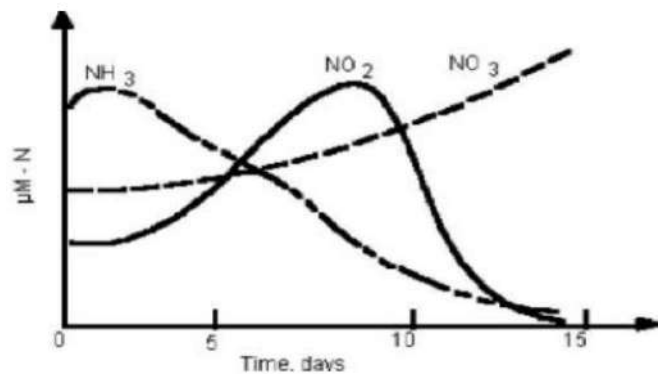
Bacillus subtilis es un ejemplo de algunas bacterias que viven en sistemas acuáticos y que actúan en el reciclaje de componentes como el nitrógeno y carbono que se encuentran en la materia orgánica del agua, estos intervienen en la mejor de la calidad del agua. La desnitrificación del sistema ocurre cuando el nitrito y el nitrato se reducen en condiciones anaeróbicas y se convierten en gas nitrógeno (Toledo y García, 2019). Si la desnitrificación es heterótrofa, entonces es de origen orgánico, y si proviene de compuestos reducidos de azufre, es autótrofa (Pin, 2016).

La temperatura adecuada para que bacterias heterótrofas puedan desarrollarse adecuadamente varía desde 5°C y 75°C (Navarro, 2022).

La nitrificación consiste en el proceso por el cual el amonio se transforma en nitritos mediante la acción de bacterias del género nitrosomas en presencia de oxígeno. Posteriormente los nitritos llegan a ser nitratos con la ayuda de bacterias del género nitrobacter. Consecuentemente se disminuyen los niveles de amoniaco en el agua (Figura 3). El proceso de nitrificación tiene una duración de 2 meses en climas fríos, pero en ambientes cálidos este proceso podría reducirse a un tiempo estimado de 7 a 10 días (Calvachi, 2022).

Figura 3

Curva de niveles de amonio, nitrito y nitrato en respuesta a la oxidación bacteriana en el tiempo.



Nota. Recuperado Shestakov y Karamysheva (2017).

Uso del té de compost en la agricultura

Como su nombre lo indica el té de compost es una dilución de compost en agua, la cual se obtiene dejando reposar una bolsa permeable de compost sumergido en agua durante varias horas y aplicando aire constantemente para estimular el desarrollo de microorganismos aeróbicos. La aplicación a las plantas se realiza de manera foliar (Céspedes, 2019).

Entre los beneficios del té de compost podemos encontrar que debido a la gran carga de microorganismos benéficos el té actúa como preventivo de enfermedades causadas por

agentes patógenas; es fácil de obtener y aplicar, no es tóxico por lo tanto no contamina el medio ambiente (Bonillo *et al.*, 2015).

Tabla 9

Ingredientes para la preparación del té de compost

Insumos	200 L	20 L
Compost	40 kg	4 kg
Agua	160 L	16 L
Balde	200 L	20 L
Saco o bolsa permanente	1 saco entero	½ Saco
Hilo de polipropileno	Cerrar el saco	

Nota. Recuperado de Céspedes (2019).

Tabla 10

Compuestos inorgánicos y rangos óptimos de organismos benéficos en té de compost

Organismos benéficos								
Biofertilizante	Bacteria Activa (μg)	Bacterias totales (μg)	Hongos Activos (μg)	Hongos Totales (μg)	Protozoos flagelados (N°)	Protozoos Ameboide (N°)	Protozoos Ciliados (N°)	Nemátodos benéficos (N°)
Té de compost (ml)	10 - 150	150 -300	2 – 10	2 - 20	1 000	1 000	20 - 50	2 - 10
Compuestos inorgánicos								
Biofertilizante	Nitrato (NO_3) mg. L^{-1}	Fosfato (PO_3) mg. L^{-1}	Amonio (NH_4) mg. L^{-1}			Nitrato (NO_2) mg. L^{-1}		
Té de compost (10 %)	20,68 - 37,4	16,65 - 25,13	2,99 - 5,07			1,68 - 5,41		

Nota. Recuperado de Riegel (2008).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Ubicación geográfica y características del área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el Centro Piscícola Nanegal ubicado en la Provincia de Pichincha, Cantón Quito, parroquia Nanegal vía Marianitas. El centro piscícola se encuentra a 1199 m.s.n.m., 17°C de temperatura ambiental y promedio de precipitación de 327,75 mm (Figura 4).

Figura 4

Ubicación geográfica del lugar de estudio Centro Piscícola de Nanegal



Nota. Recuperado de Google Maps (2023).

Modelo de investigación

La presente investigación fue de carácter experimental, puesto que se llevó a cabo completamente en el campo, con el objetivo de evaluar el efecto de la espirulina como fito-estimulante en el cultivo de ají en un sistema acuapónico con tilapia roja para establecer los mejores tratamientos.

Diseño experimental

El trabajo de investigación se llevó a cabo con 96 plantas de ají, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) que comprendió 8 tratamientos: T0 (Testigo), T1 (Espirulina 5 g/L), T2 (Espirulina 7 g/L), T3 (Espirulina 9 g/L), T4 (Espirulina 5 g/L + Té de compost 10%), T5 (Espirulina 7 g/L + Té de compost 10%), T6 (Espirulina 9 g/L + Té de compost 10%) y T7 (Té de compost 10%), cada uno con 3 repeticiones, dando un total de 24 unidades experimentales.

Modelo Matemático

$$y_{ij} = \mu + F + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Productividad del ají

μ = Media general

F = Efecto de la i -ésima biofertilización foliar

e_{ij} = Error experimental

Delineamiento experimental

Tabla 11

Delineamiento experimental

Diseño experimental	DCA
Tratamientos	8
Repeticiones	3
Total, de unidades experimentales	24
Número de plantas por repetición	4
Total, de plantas	96
Número de estructuras de NFT	3
Número de tubos / estructura NFT	9
Número de tubos totales	27
Número de tubos utilizados	24
Número de plantas por tubo	4

Nota. Delineamiento experimental. Autoría propia.

Manejo del experimento

Instalación del sistema acuapónico

La presente investigación se desarrolló utilizando un sistema acuapónico de NFT para la producción de ají, el cual constó de 3 estructuras piramidales, con 9 tubos PVC, cada tubo contó con 26 orificios a una distancia de 15 cm entre sí, conectados por mangueras de 3/4 de pulgada.

La piscina de tilapias fue un tanque circular de cemento con capacidad de 28 m³ con 1000 alevines con un peso de $8,53 \pm 5,70$ g.

Figura 5

Estanques de tilapia dentro de invernadero



Nota. Estanque de peces. Autoría propia.

Se trabajó en el sistema NFT que constó Finalmente, se dispuso del sistema de recirculación que contó con una capacidad de 28 m³, que estaba conectado a una bomba que se encargó del proceso de recirculación del agua tratada.

Figura 6

Tanques de nitrificación



Nota. Tanques de sedimentación y nitrificación. Autoría propia.

Maduración del sistema de nitrificación

El sistema de nitrificación constó de 4 tanques, 3 destinados a la sedimentación de sólidos provenientes del estanque de los peces y 1 destinado a la maduración del sistema. Para esto se coloca 4 gramos de *Bacillus subtilis* 1×10^9 UFC/g en el estanque de maduración cada 8 días.

Los valores de nitritos, nitratos, amonio y fosfatos se obtuvieron semanalmente antes de ser transferida al sistema NFT con las plantas de ají.

Parámetros de Estanques

En el sistema acuapónico se midieron los parámetros fisicoquímicos del agua como temperatura, pH, Conductividad Eléctrica y TDS (sólidos totales disueltos), mediante el uso de un equipo multiparámetro (tipo: medidor portátil digital, marca: HI9829 y año: 2018) y un recipiente para la muestra de agua.

Figura 7

Toma de parámetros fisicoquímicos mediante el uso del equipo multiparámetro



Nota. Autoría propia

Control de calidad de agua

El agua de los estanques se recolectó en recipientes estériles y fueron transportados en un cooler a 10 °C de temperatura. Y posteriormente fueron analizados en el laboratorio de Acuicultura del IASA I con los kits Ammonia, Nitricol, Phosfatest, Hardicol Marca YSI.

Manejo del cultivo de Tilapia (*Oreochromis sp.*)

Se emplearon 1 000 especímenes de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) del proyecto Piscícola Nanegal perteneciente al GAD provincial de Pichincha. Se elaboró un plan de alimentación y se realizó un control semanal de los parámetros morfométricos: longitud total, parcial y peso, adicionalmente se calcularon los parámetros productivos como: ganancia de peso, tasa de crecimiento específico, factor de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia y mortalidad.

Figura 8

Control de peso del balanceado y de peces



Nota. Autoría propia

Manejo del cultivo de ají (*Capsicum annuum*)

Se compraron 96 plántulas de ají variedad Criolla con 30 días de edad en una pilonera ubicada en la ciudad de Machachi. Las plantas fueron sometidas a un periodo de adaptación de 2-3 días, en el lugar de investigación. Transcurrido este tiempo, se les aplicó una infusión de ajo, ají y alcohol al 96% (50 g, 50 g y 1 L, respectivamente) para prevenir plagas o enfermedades.

Figura 9

Trasplante de plántulas de ají en el sistema NFT



Nota. Autoría propia

Cultivo de Espirulina (*Arthrospira platensis*)

La recolección de espirulina se llevó a cabo en la piscicultura del IASA I-Pailones, en donde un día antes de la actividad se procedía a apagar el blower, a continuación, se cosechó la cianobacteria empleando un lienzo y cucharas para extraer la mayor cantidad de agua. Luego se retornó al estanque el líquido extraído. Una vez finalizada la recolección de *Arthrospira platensis*, esta se transportó en fundas ziploc totalmente selladas dentro de un cooler al laboratorio de Acuicultura para su congelación.

Para el proceso de liofilización de *Arthrospira platensis*, se trasladó al laboratorio de postcosecha, en donde la muestra congelada se procedió a triturar con la ayuda de un martillo, a continuación, se colocó *Arthrospira platensis* en el equipo de liofilización para extraer el agua del producto sin alterar los enlaces moleculares permitiendo la conservación de la materia prima durante más tiempo, facilitando su transporte y almacenamiento.

Con el producto obtenido se preparó el biofertilizante con tres dosis de espirulina: 5 g espirulina / L H₂O, 7 g espirulina / L H₂O y 9 g de espirulina / L H₂O. Se aplicó el biofertilizante por planta, mediante el uso de un atomizador en los tratamientos designados y se contrastó con el testigo el cuál no se le aplicó ningún tratamiento.

Figura 10

Recolección y liofilización de espirulina



Nota. Autoría propia

Obtención del Té de compost

Se colocó 1 kilogramo de compost dentro de un saquillo ordinario de polipropileno, esto se sumergió en un balde con 4 litros de agua y se dejó reposar por 48 horas con aireación dotada por un aireador para pecera. Posteriormente se mezcló 1 litro del té obtenido con 9 litros de agua común para obtener la concentración de 10% de té.

Figura 11

Obtención del té de compost



Nota. Autoría propia

Tabla 12

Aplicaciones de espirulina y té de compost realizadas

Fecha	Número de aplicación
26/04/2023	1ra aplicación
03/05/2023	2da aplicación
12/05/2023	3ra aplicación
30/05/2023	4ta aplicación
17/06/2023	5ta aplicación
29/06/2023	6ta aplicación
8/07/2023	7ma aplicación
14/07/2023	8va aplicación

Fecha	Número de aplicación
21/07/2023	9na aplicación
28/07/2023	10ma aplicación

Nota. Aplicaciones de espirulina y té de compost realizadas. Autoría propia.

Figura 12

Aplicación foliar de té de compost



Nota. Autoría propia

Control preventivo de plagas

Se aplicó un bio-insecticida elaborado a base de ajo, ají y alcohol al 96% (50 g, 50 g y 1 L, respectivamente) con la finalidad de evitar que insectos ataquen a las plantas, se realizó tres aplicaciones de este bioinsecticida en horas de la tarde. Las principales plagas a controlar fueron caracoles, mosca blanca y lepidópteros.

Figura 13

Materiales para la elaboración del bio-insecticida



Nota. Dentro de la imagen se visualizan ají y ajo. Autoría propia

Despunte

Al mes del trasplante se realizó el despunte por arriba de la tercera bifurcación.

Tutorado

El tutorado se lo realizó una vez que los frutos ya se estaban desarrollando, para ello se templó alambre galvanizado en la parte superior del invernadero en dirección a las estructuras de NFT, y con cuerda de tutorado se ayudó a la planta a sostenerse verticalmente.

Figura 14

Plantas con tutorado



Nota. Autoría propia

Cosecha

La cosecha se realizó de manera temprana antes que los frutos terminen su desarrollo.

Figura 15

Recolección de frutos en fundas ziploc



Nota. Autoría propia

Variables evaluadas

Las variables que se evaluaron fueron las siguientes:

Calidad de agua

Se tomaron valores de temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos, cada tres horas durante 30 días.

Los datos de nutrientes inorgánicos como amonio, nitritos, nitratos y fosfatos se analizaron cada 10 días durante todo el ciclo del cultivo

Longitud de raíz de la planta

Se midió la longitud de cada una de las plantas con una regla graduada desde la base de la esponja hasta la raíz más lejana, esto se realizó cada semana y se registró en un cuaderno de campo.

Figura 16

Medición de parámetros morfométricos (raíz)



Nota. Autoría propia

Longitud del tallo de la planta

La longitud se tomó desde el inicio de esponja hasta el ápice de la hoja más nueva utilizando un flexómetro, los datos fueron registrados en un cuaderno de campo.

Figura 17

Toma de longitud del tallo en las plantas de ají



Nota. Autoría propia

Número de brotes laterales

Se contabilizaron los brotes laterales de cada una de las plantas, esta actividad se realizó cada semana y se registró en un cuaderno de campo.

Figura 18

Conteo de número de brotes laterales de cada planta investigada



Nota. Autoría propia

Número de hojas

Se contabilizó el número de hojas de cada una de las plantas, esto se realizó cada semana y se registró en un cuaderno de campo.

Figura 19

Conteo de número de hojas



Nota. Autoría propia

Aparecimiento de floración

Se registró la semana en que cada una de las plantas empezó a florecer.

Figura 20

Contabilización de flores por planta



Nota. Autoría propia

Relación fuente / demanda

Se determinó la relación entre: hojas/flores y hojas/fruto, al culminar la investigación.

Figura 21

Identificación de flores, hojas y frutos para la relación fuente demanda



Nota. Autoría propia

Clorofila y Área foliar

La medición se efectuó de cada una de las plantas pertenecientes a los tratamientos al finalizar la investigación.

Figura 22

Toma de clorofila y cálculo de área foliar por planta



Nota. Autoría propia

Número y peso de los frutos

Se registró el número de frutos, luego con una balanza de precisión se pesó cada uno de estos correspondiente a cada tratamiento en gramos.

Figura 23

Medición del peso de frutos por tratamiento



Nota. Autoría propia

Longitud y ancho de los frutos

Con una regla se midió la longitud (cm) de cada uno de los frutos cosechados por tratamiento.

Figura 24

Medición de longitud y ancho de los frutos



Nota: Autoría propia

° Brix

Con la ayuda de un refractómetro digital se determinó la cantidad de azúcar en zumo de fruta de cada tratamiento.

Figura 25

Determinación de ° Brix por tratamiento



Nota. Autoría propia

Ancho de pericarpio

Mediante el uso de una regla se cuantificó el espesor del pericarpio de cada fruto obtenido.

Figura 26

Medición del ancho del pericarpio



Nota. Autoría propia

Número de semillas

Se cuantificó el número de semillas de cada fruto obtenido de la investigación.

Figura 27

Conteo de número de semillas por cada fruto



Nota. Autoría propia

Análisis de laboratorio

El análisis bromatológico de proteína se efectuó en Agrocalidad, agencia de regulación y control fito y zoonosanitario, en la parroquia de Tumbaco, cantón Quito, provincia de Pichincha.

Por otra parte, el resto de análisis bromatológicos; grasa, fibra, ceniza y humedad, se realizaron en el laboratorio de agua, suelo y foliares de la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, en la parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Análisis bromatológico (proteína)

Se tomó una muestra de 100 g de hojas de la parte intermedia de la planta de cada tratamiento, se colocaron en fundas ziploc y se las identificó.

Análisis bromatológico (grasa, fibra, ceniza y humedad)

Se tomó una muestra de 50 g de hojas y tallos de la planta por cada tratamiento, se ubicó en fundas ziploc y se las rotuló.

Figura 28

Determinación bromatológica de ceniza, fibra, grasa y humedad de los tratamientos tratados con espirulina y té de compost



Nota. Autoría propia

Parámetros morfométricos y productivos en peces

Se determinó semanalmente valores del peso, ancho, largo total y parcial de las tilapias, adicionalmente se calculó la ganancia de peso, tasa de crecimiento específico, factor de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia y mortalidad. Se analizó una muestra de 30 peces tilapias, la muestra se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$n = \frac{(t_{\frac{1}{2}gl})^2 * (CV\%)^2}{(E\%)^2}$$

Donde:

n = Muestra

$t_{\frac{1}{2}gl}$ = El valor del estadístico "t student"

CV% = Coeficiente de variación

E% = Error de muestreo

Análisis estadístico

El análisis de los resultados se realizó mediante el uso del programa InfoStat versión 2008, en el cual se aplicó la estadística descriptiva para obtener las medias y desviaciones estándar, al igual que se realizó un análisis de la varianza calculando la normalidad y homocedasticidad de manera previa. Para la prueba de medias se utilizó la comparación de Duncan, se trabajó a un nivel de confianza del 95%.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

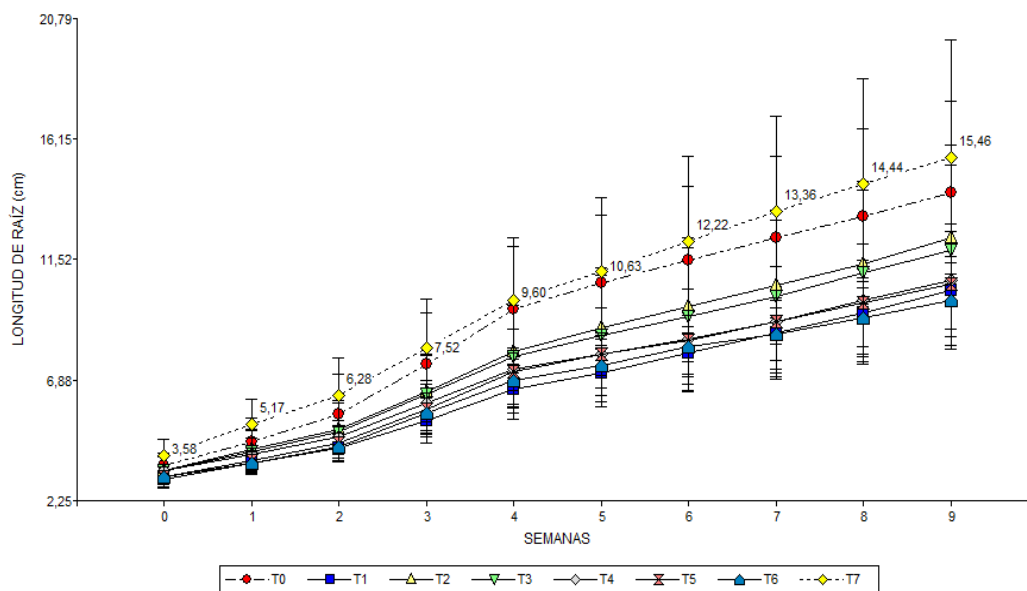
Análisis de parámetros morfométricos de plantas de ají

Longitud de raíz

Inicialmente las raíces de las plántulas a fecha de trasplante presentaron una longitud promedio de 3,58 cm, llegando a una longitud promedio de $(15,46 \pm 1,50 \text{ cm})$ a la semana 9 (Figura 29). Las plantas tratadas con espirulina y té de compost obtuvieron raíces con menor longitud que las plantas testigo ($14,08 \pm 0,04 \text{ cm}$) y que las plantas tratadas con 10% de té de compost ($15,46 \pm 1,50 \text{ cm}$) ($F=4,29$; $p=0,004$), a excepción de las plantas tratadas con 7 g/L de Espirulina (T2) y 9 g/L de Espirulina (T3), las cuales presentaron raíces con longitudes similares a las plantas testigo estas obtuvieron longitudes de $12,38 \pm 3,54 \text{ cm}$ y $11,86 \pm 3,30 \text{ cm}$ respectivamente.

Figura 29

Medias \pm DE, longitud de raíz en plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



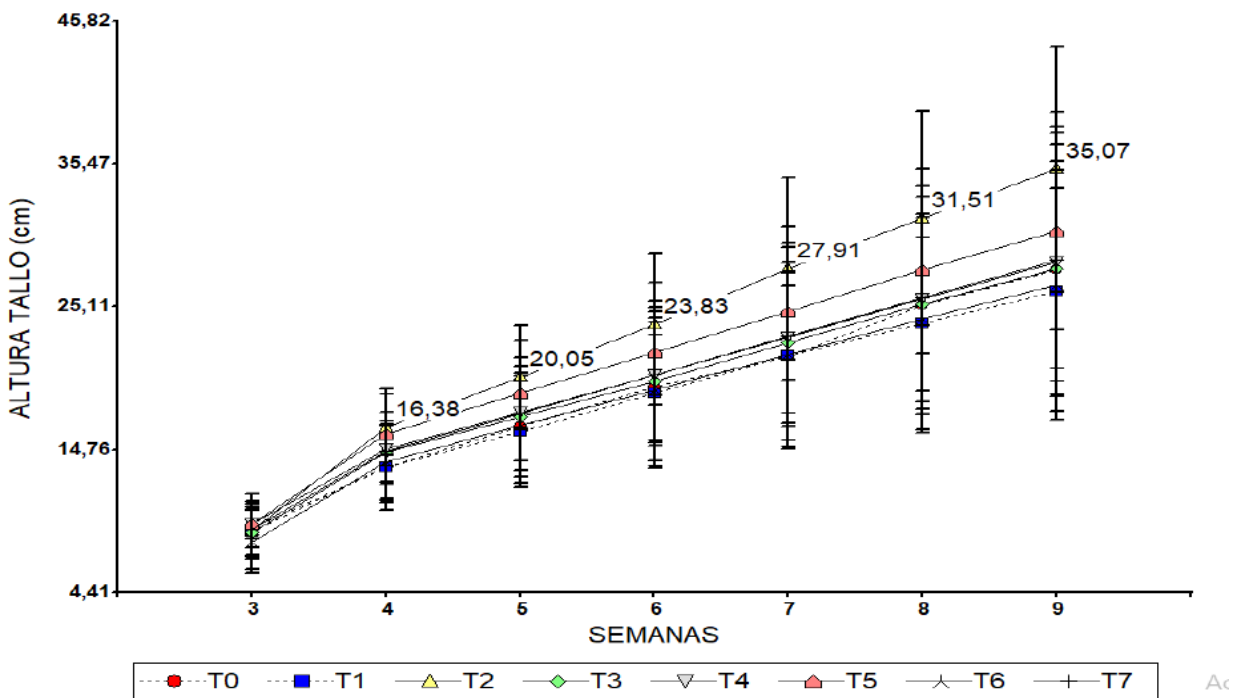
Nota. Autoría propia

Longitud tallo

La altura de las plantas inició con una longitud promedio de 18 cm, al transcurrir 34 días se realizó el despunte siendo la altura de 11,4 cm en promedio y a la semana 9 la longitud alcanzó un promedio de 35,07 cm (Figura 30). La aplicación de espirulina y té de compost no mostraron resultados, pues todos los tratamientos obtuvieron una longitud del tallo similar $35,07 \pm 8,89$ cm ($F=1,29$; $p=0,27$) (Tabla 13).

Figura 30

Medias \pm DE, longitud del tallo de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



Nota. Autoría propia

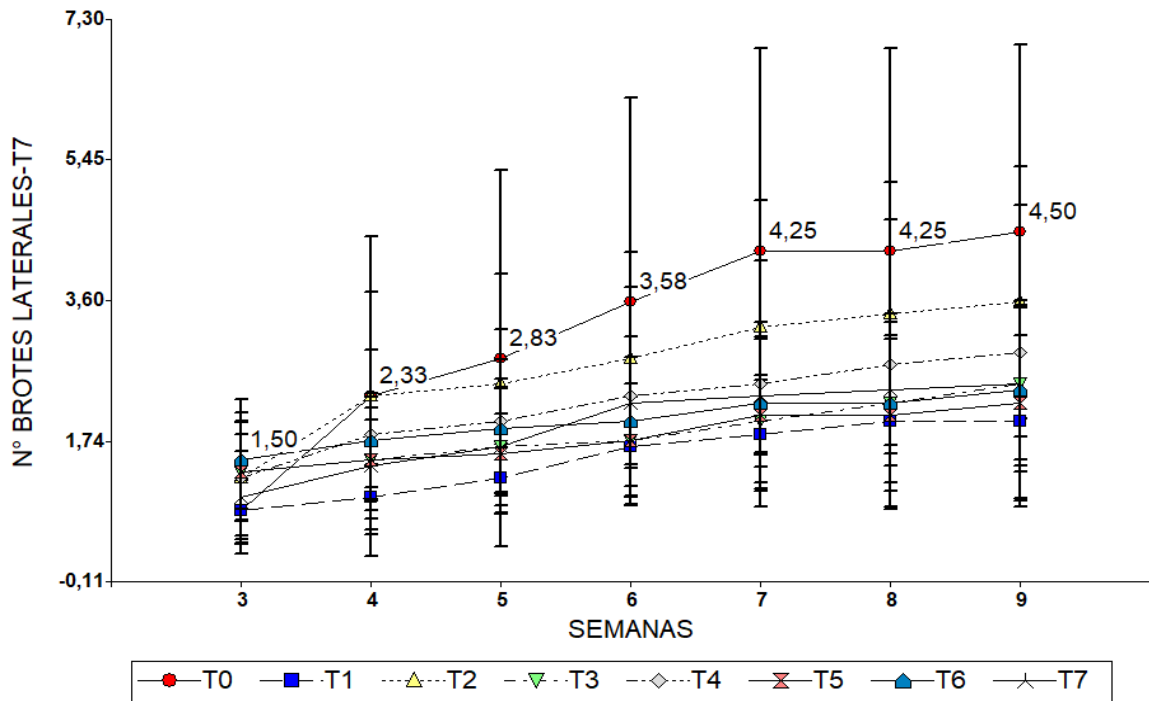
Brotos laterales

Las plantas tratadas con los tratamientos T2 (Espirulina 7 g/L) y T4 (Espirulina 5 g/L + Té de compost 10%) obtuvieron promedios de $3,58 \pm 1,78$ cm y $2,92 \pm 1,93$ unidades respectivamente, los cuales son similares al número de ramas del tratamiento testigo $4,50 \pm$

2,47 unidades ($F=2,80$; $p= 0,011$) (Tabla 13) (Figura 31).

Figura 31

Medias \pm DE, brotes laterales de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



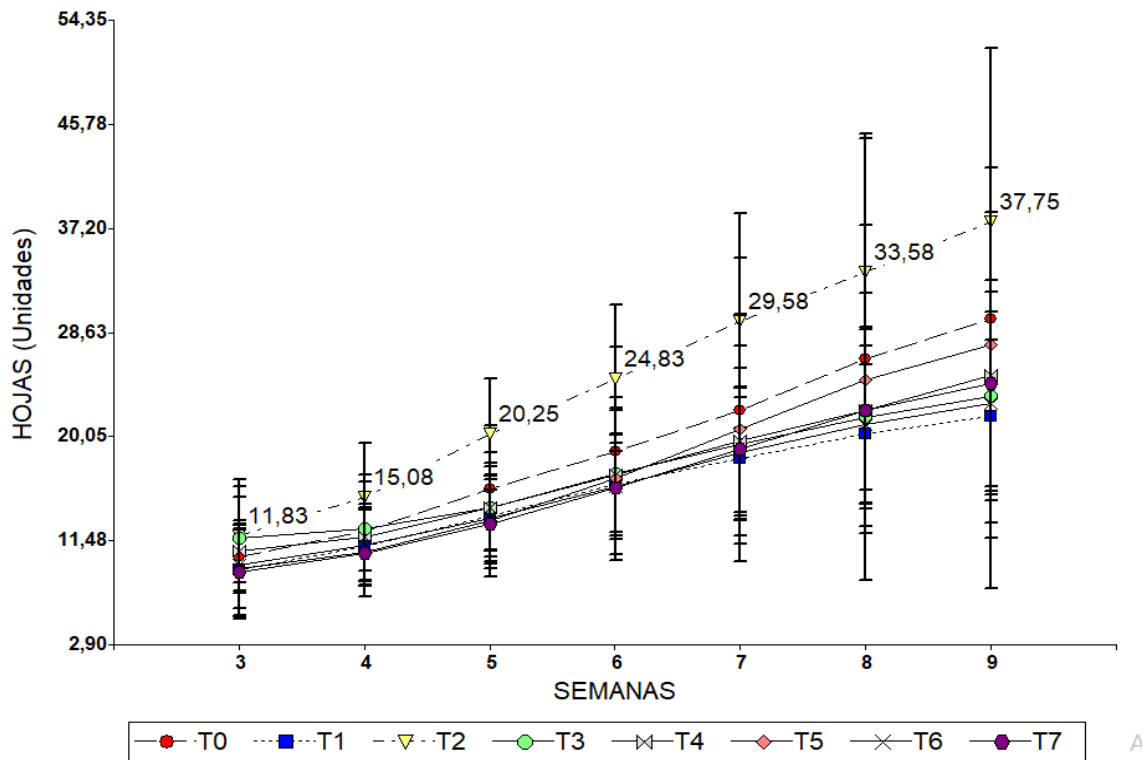
Nota. Autoría propia

Hojas

El número inicial de hojas fue en promedio de 11,5 unidades en las plantas con y sin tratamiento, en el día 34 su promedio disminuyó a 10,1 unidades debido al despunte realizado, posteriormente en la semana 9 se obtuvo un promedio de 37,75 unidades de hojas (Figura 32). Las plantas fertilizadas con Espirulina 7 g/L (T2) y Espirulina 7 g/L + Té de compost 10% (T5) tuvieron un número de hojas similar a las plantas sin tratamiento (T0) el cual es de $27,58 \pm 14,61$ unidades. El resto de tratamiento presentaron menor número de hojas que las plantas testigo ($F= 1,44$; $p=0,20$) (Tabla 13).

Figura 32

Medias \pm DE, número de hojas de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



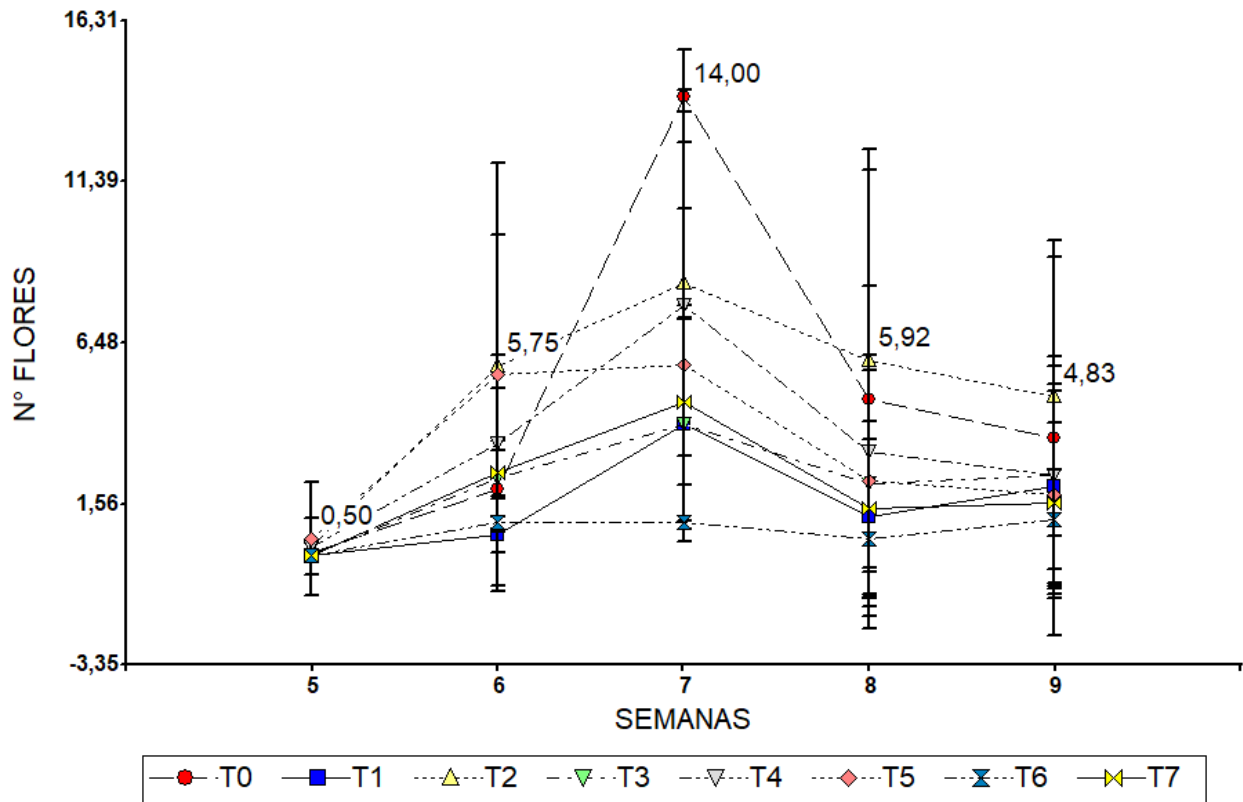
Nota. Autoría propia

Flores

Transcurridas 5 semanas, las plantas en general presentaron un número de flores promedio de 0,5 unidades, mientras que a la novena semana su promedio fue de 4,86 unidades. El tratamiento 0 obtuvo el pico más alto en la semana 7 (Figura 33). Las plantas fertilizadas con espirulina y té de compost no presentaron una respuesta positiva a la fertilización, puesto que presenta un número similar de flores que las plantas testigo las cuales obtuvieron un promedio de $3,58 \pm 6,04$ unidades ($F=0,97$, $p=0,46$) (Tabla 13).

Figura 33

Medias \pm DE, número de flores de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



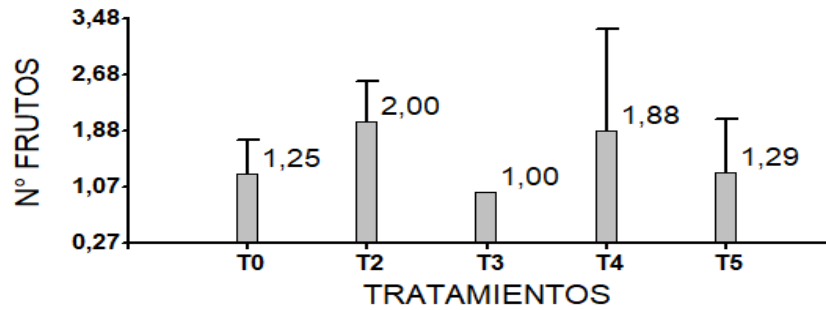
Nota. Autoría propia

Frutos

Las plantas fertilizadas con espirulina y té de compost no presentaron diferencias significativas en el número de frutos a comparación de las plantas testigo, se obtuvo un promedio de $2,00 \pm 0,90$ unidades ($F= 0,66$, $p=0,68$) (Tabla 13).

Figura 34

Medias ± DE, número de frutos de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



Nota. Autoría propia

Tabla 13

Medias ± DE, variables morfométricas de las plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico

Variables	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Longitud de Raíz (cm)	14,08 ± 0,04 bc	10,33 ± 2,25 a	12,38 ± 3,54 ab	11,86 ± 3,30 ab	10,72 ± 0,90 a	10,56 ± 2,33 a	9,97 ± 1,42 a	15,46 ± 1,50 c
Longitud Tallo (cm)	27,78 ± 9,12 ab	26,28 ± 9,33 a	35,07 ± 8,89 b	27,84 ± 7,20 ab	28,38 ± 10,85 ab	30,58 ± 7,13 ab	26,73 ± 6,99 ab	28,46 ± 9,70 ab
Ramas (unidades)	4,50 ± 2,47c	2,00 ± 1,13 a	3,58 ± 1,78 bc	2,50 ± 1,09 ab	2,92 ± 1,93 abc	2,25 ± 1,29 ab	2,42 ± 1,08 ab	2,50 ± 1,00 ab
Hojas (unidades)	29,75 ± 22,26 ab	21,75 ± 6,21 a	37,75 ± 14,26 b	23,33 ± 8,58 a	25,08 ± 13,44 a	27,58 ± 14,61 ab	22,75 ± 7,52 a	24,42 ± 8,53 a
Flores (unidades)	3,58 ± 6,04 a	2,08 ± 3,12 a	4,83 ± 4,26 a	2,42 ± 3,63 a	2,42 ± 3,34 a	1,83 ± 3,16 a	1,08 ± 1,51 a	1,58 ± 2,43 a
Frutos (unidades)	1,25 ± 0,50 a	—	2,00 ± 0,58 a	1,00 ± 0,09 a	1,88 ± 1,46 a	1,33 ± 0,82 a	—	—

Nota: Las medias con letras iguales son estadísticamente similares. ($p > 0,05$), $n = 12$.

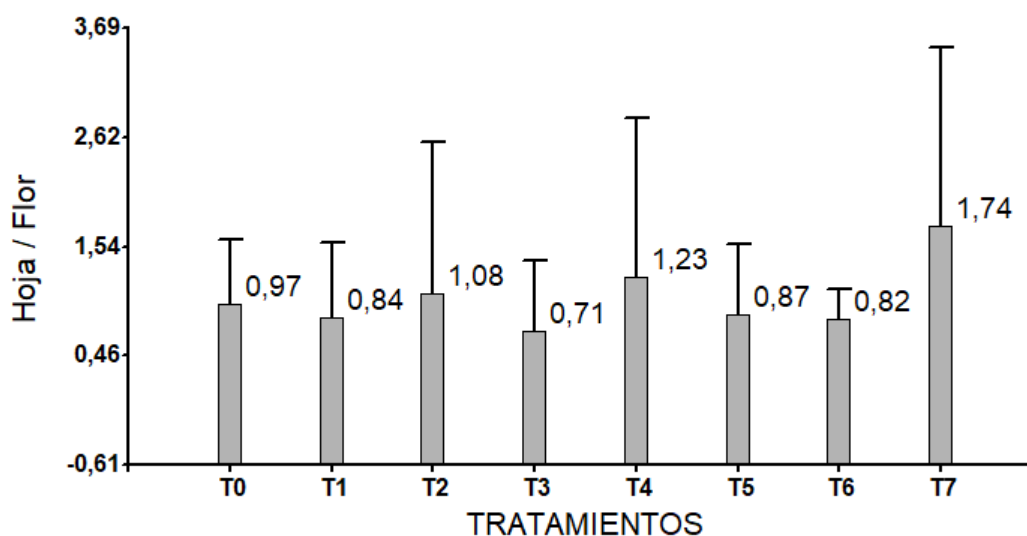
Análisis de parámetros productivos de las plantas de ají

Relación Hoja/Flor

No se presentaron diferencias significativas entre las plantas tratadas con espirulina y té de compost y las plantas testigo en la relación Hoja/Flor, el promedio fue de $0,97 \pm 0,64$ ($F=0,48$, $p=0,84$) (Tabla 14).

Figura 35

Medias \pm DE del parámetro hoja / flor de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



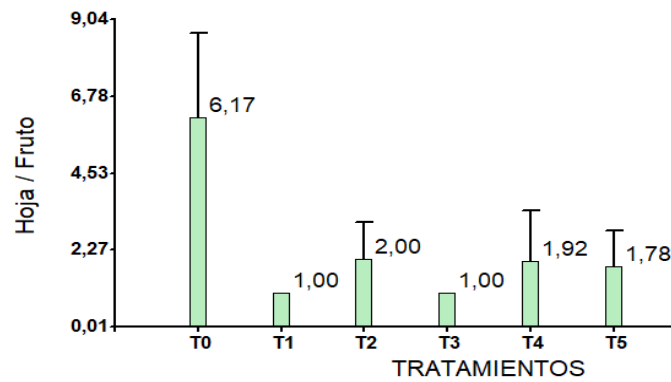
Nota. Autoría propia

Relación Hoja/Fruto

Las plantas testigo obtuvieron el mayor valor ($6,17 \pm 2,47$) de la relación Hoja/Fruto que las plantas tratadas con espirulina y té de compost ($F=3,30$, $p=0,04$) (Tabla 14).

Figura 36

Medias \pm DE del parámetro hoja / fruto de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



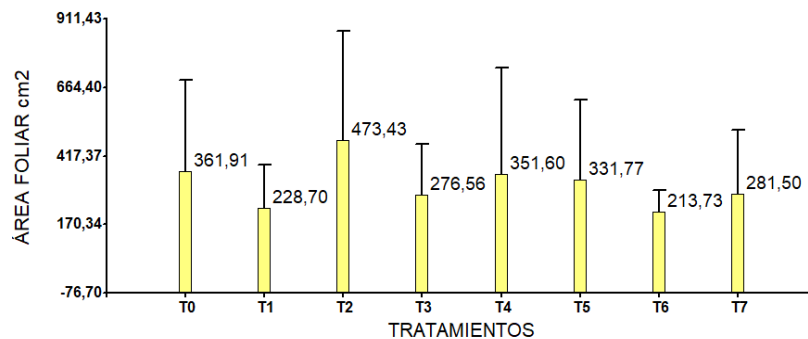
Nota. Autoría propia

Área foliar

Las plantas tratadas con diferentes concentraciones de espirulina y té de compost tuvieron un área foliar similar a las plantas testigo las cuales obtuvieron un promedio de $361,91 \pm 328,19 \text{cm}^2$ ($F= 0,76$, $p=0,62$) (Tabla 14) (Figura 37).

Figura 37

Medias \pm DE del área foliar de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



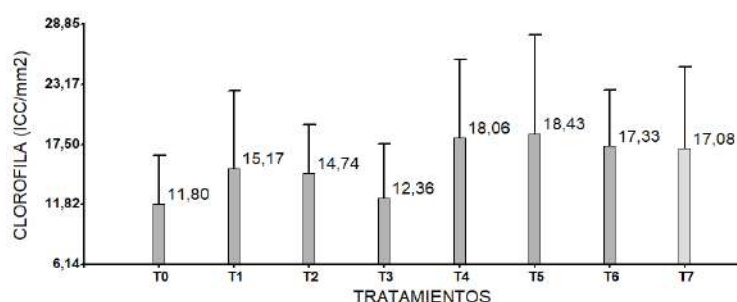
Nota. Autoría propia

Clorofila

Las plantas tratadas con espirulina y té de compost no tuvieron diferencias significativas con las plantas testigo las cuales obtuvieron un promedio de 11,80 Clorofila (ICC/mm²) (F=1,44, p= 0,20) (Figura 38).

Figura 38

Medias \pm DE del parámetro clorofila de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



Nota. Autoría propia

Tabla 14

Medias \pm DE, variables productivas de plantas de ají, tratadas con diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema NFT

Variabes	Hoja/Flor	Hoja/Fruto	Área foliar (cm ²)	Clorofila (ICC/mm ²)
T0	0,97 \pm 0,64 a	6,17 \pm 2,47 a	361,91 \pm 328,19 a	11,80 \pm 4,61 a
T1	0,84 \pm 0,74 a	—	228,70 \pm 157,00 a	15,18 \pm 7,39 a
T2	1,08 \pm 1,49 a	2,00 \pm 1,08 b	473,43 \pm 393,09 a	14,74 \pm 4,57 a
T3	0,71 \pm 0,79 a	1,00 \pm 0,00 b	276,56 \pm 182,82 a	12,36 \pm 5,19 a
T4	1,23 \pm 1,58 a	1,92 \pm 1,51 b	351,60 \pm 383,38 a	18,06 \pm 7,45 a
T5	0,87 \pm 0,69 a	1,78 \pm 1,07 b	331,77 \pm 288,83 a	18,43 \pm 9,39 a
T6	0,82 \pm 0,30 a	—	213,73 \pm 78,40 a	17,33 \pm 5,29 a
T7	1,74 \pm 1,75 a	—	281,51 \pm 230,47 a	17,08 \pm 7,73 a

Nota. Medias con letras iguales son estadísticamente similares (p>0,05), n=12. Autoría propia.

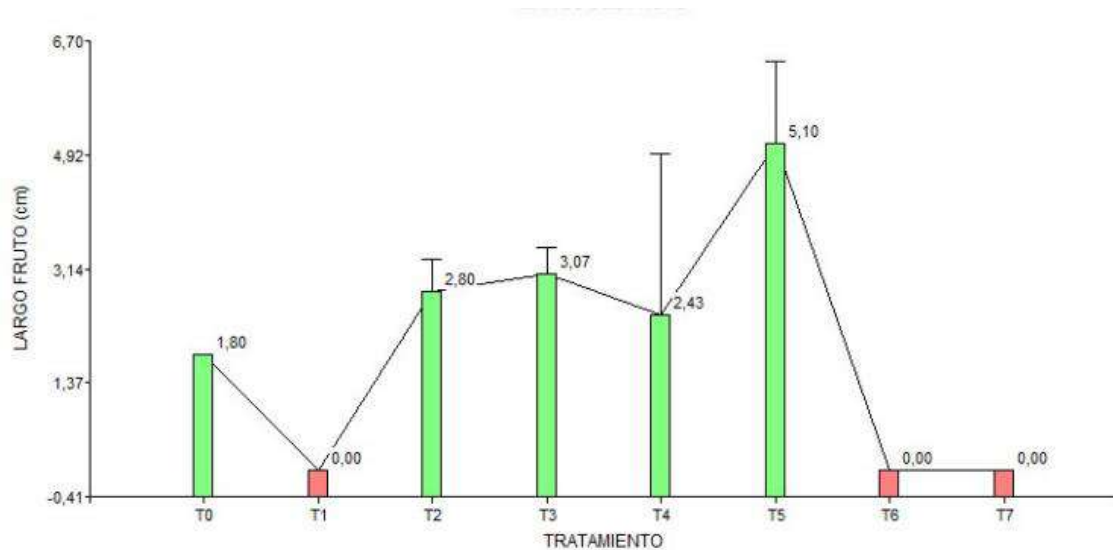
Características físicas de frutos de ají

Longitud de los frutos

Los frutos tratados con una concentración de 7g/L de espirulina (T5) presentaron frutos más grandes ($5,07 \pm 0,90$ cm) que los frutos de las plantas testigo ($1,80 \pm 0,01$ cm), los demás tratamientos no tuvieron diferencias significativas a comparación de las plantas testigo ($F=5,30$, $p= 0,015$) (Figura 39).

Figura 39

Medias \pm DE largo del fruto de ají, tratado con distintas dosis de espirulina y té de compost en un sistema NFT



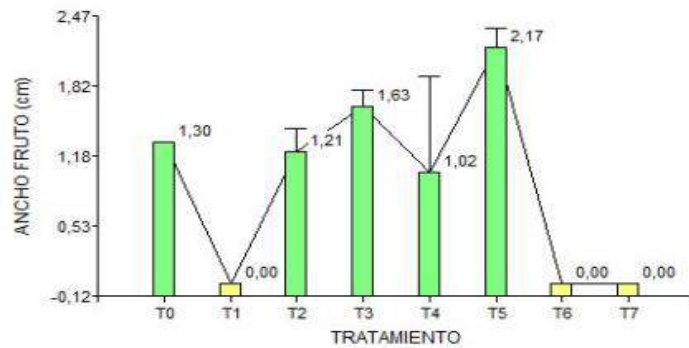
Nota. Autoría propia

Ancho del fruto

Los frutos tratados con una concentración de 7g/L de espirulina (T5) presentaron frutos más anchos ($2,15 \pm 0,13$ cm) que las plantas sin fertilización ($2,15 \pm 0,13$ cm) ($F= 6,01$, $p=0,009$) (Figura 40).

Figura 40

Medias \pm DE, ancho del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



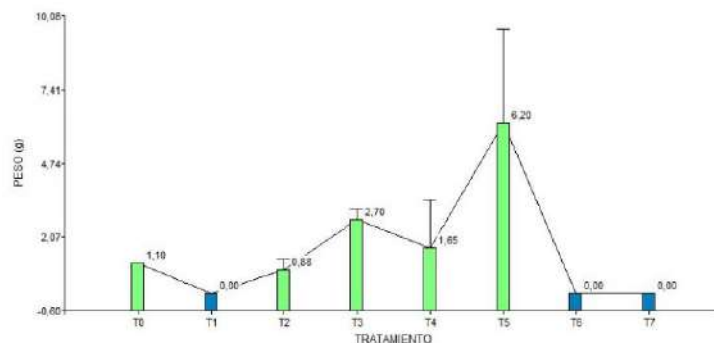
Nota. Autoría propia

Peso del fruto

Los frutos de las plantas tratadas con 7g/L de espirulina (T5) presentaron frutos con mayor peso ($6,20 \pm 2,40$ g) que las plantas sin tratamiento ($1,10 \pm 0,08$ g). En el resto de tratamientos el peso de frutos fue estadísticamente iguales al tratamiento testigo ($F=9,26$, $p=0,002$) (Figura 41).

Figura 41

Medias \pm DE del peso del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



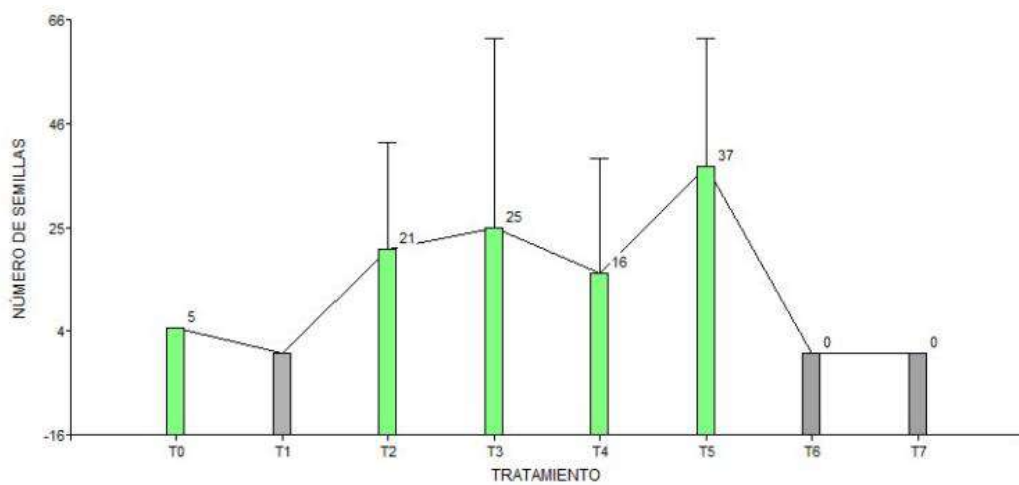
Nota. Autoría propia

Número de semillas

Los frutos de las plantas tratadas con diferentes concentraciones de espirulina y té de compost no presentaron diferencias significativas en el número de semillas a comparación de los frutos de las plantas sin tratamiento ($F=1,02$; $p=0,44$) (Figura 42).

Figura 42

Medias \pm DE, número de semillas del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



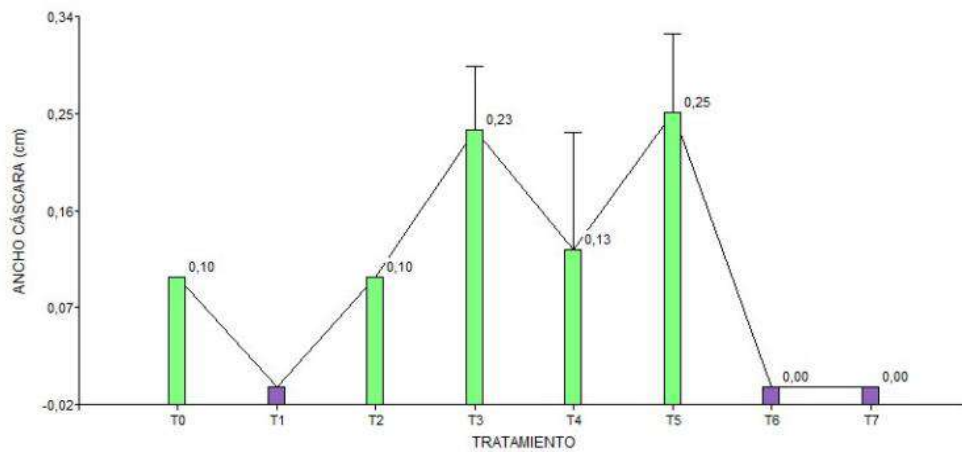
Nota. Autoría propia

Grosor del pericarpio

Las plantas tratadas con 9 g/L espirulina (T3) y 7g/L de espirulina (T5) presentaron frutos con un pericarpio más grueso ($0,23 \pm 0,06$ cm) que las plantas testigo ($0,10 \pm 0,02$ cm). Las plantas del resto de tratamientos tuvieron un promedio estadísticamente igual al del tratamiento testigo ($F=5,81$, $p=0,0111$) (Figura 43).

Figura 43

Medias \pm DE del grosor del pericarpio de frutos de ají, bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



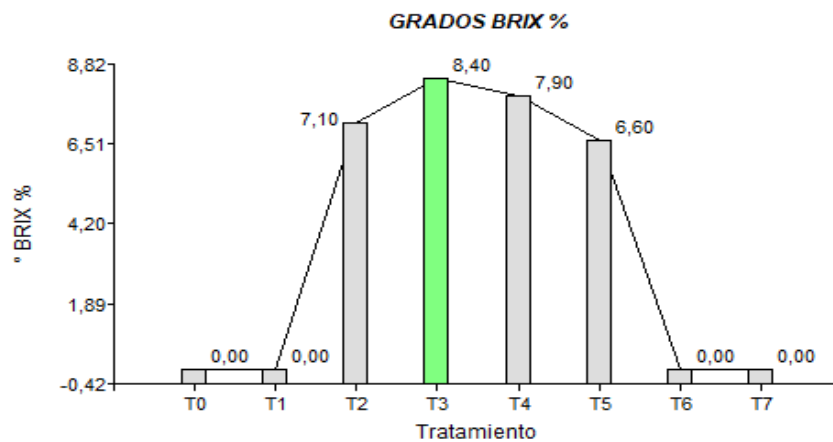
Nota. Autoría propia

Grados Brix

Los frutos del tratamiento T3 tuvieron el valor más alto de $^{\circ}$ Brix (8,40 %) (Figura 44).

Figura 44

Medias \pm DE, $^{\circ}$ Brix del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



Nota. Autoría propia

Tabla 15

Medias \pm DE, características físicas del fruto de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico

	T0	T2	T3	T4	T5
Largo (cm)	1,80 \pm 0,01 b	3,00 \pm 0,36 b	3,07 \pm 0,40 b	2,42 \pm 1,78 b	5,07 \pm 0,90 a
Ancho (cm)	1,30 \pm 0,12 b	1,18 \pm 0,26 b	1,63 \pm 0,15 b	1,03 \pm 0,63 b	2,15 \pm 0,13 a
Peso (g)	1,10 \pm 0,08 b	0,87 \pm 0,45 b	2,70 \pm 0,36 b	1,60 \pm 1,25 b	6,20 \pm 2,40 a
Semillas (unidades)	25,00 \pm 0,11 a	27,33 \pm 20,03 a	25,00 \pm 17,40 a	16,00 \pm 11,2 a	37,00 \pm 18,00 a
Ancho cáscara (cm)	0,10 \pm 0,02 b	0,10 \pm 0,03 b	0,23 \pm 0,06 a	0,12 \pm 0,08 b	0,23 \pm 0,06 a
° Brix (%)	—	7,1%	8,4%	7,6%	6,6%

Nota: Las medias con letras iguales son estadísticamente similares. cm significa centímetros y g gramos. Autoría propia.

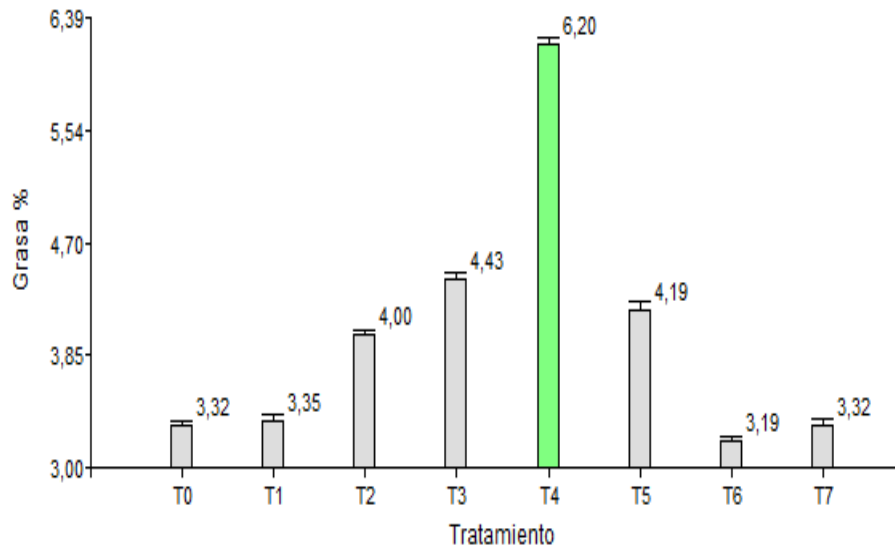
Análisis bromatológico de la biomasa de plantas de ají

% Grasa

El porcentaje grasa tuvo diferencias significativas en las plantas tratadas con diferentes concentraciones de espirulina ($F=6,19$, $p<0,001$), siendo el mejor tratamiento la concentración de 5g/L espirulina + 10% de té de compost el cual presentó $6,20 \pm 0,04$ %, seguido de los tratamiento con 9 g/L de espirulina (T3) con $4,43 \pm 0,05\%$, 7 g/L de espirulina + 10% de té de compost (T5) con $4,19 \pm 0,06$ y (T2) con $4,19 \pm 0,06\%$, los cuales fueron superiores al tratamiento testigo el cual obtuvo $3,32 \pm 0,03$ % de grasa. El resto de tratamientos no tuvieron diferencias significativas con el tratamiento testigo ($F=50,19$, $p<0,0001$) (Figura 45).

Figura 45

Valores de % de grasa de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



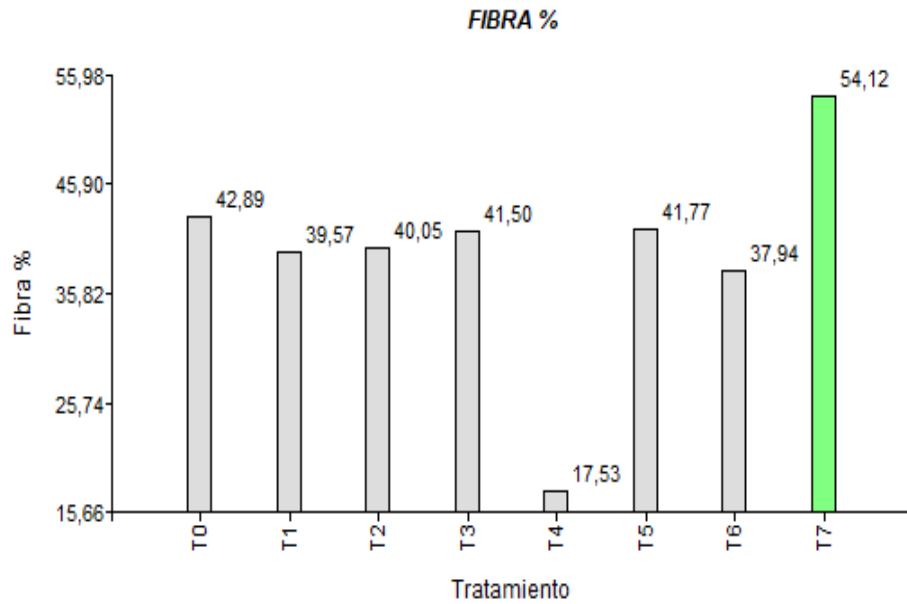
Nota: Autoría propia

% Fibra

El porcentaje de fibra fue mayor en las plantas tratadas con 10% té de compost (T7) con el $54,12 \pm 0,03$ % de fibra superando a las plantas testigo las cuales presentaron $42,89 \pm 0,02$ % de fibra. Las plantas de los demás tratamientos no tuvieron respuesta positiva a las aplicaciones de espirulina a comparación de las plantas testigo ($F=19,58$, $p<0,0001$) (Figura 46).

Figura 46

Valores de % de fibra de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



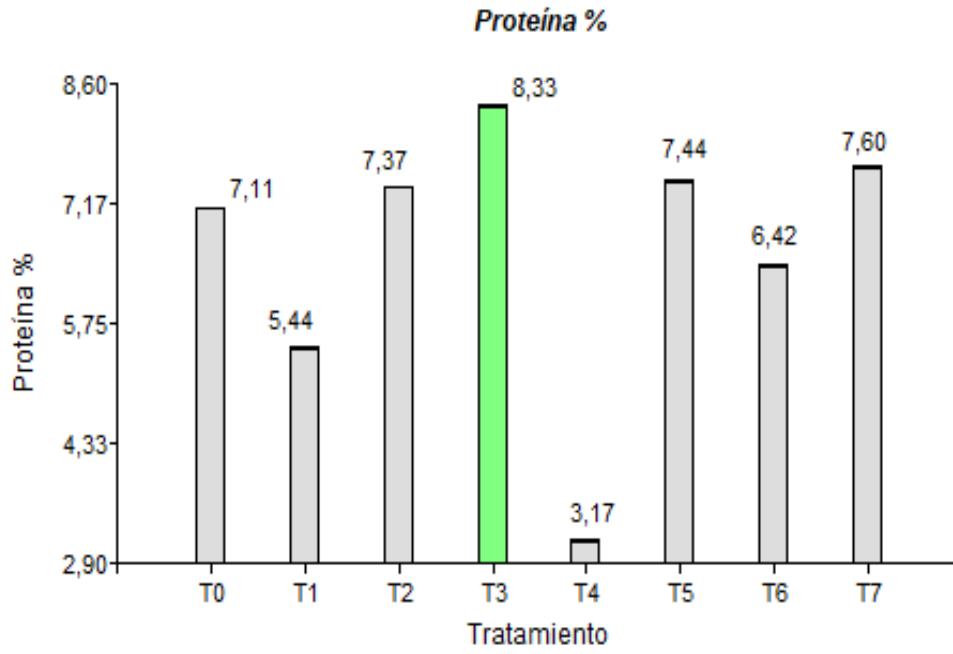
Nota: Autoría propia

% Proteína

Las plantas tratadas con 9 g/L de espirulina (T3), 10% té de compost (T7), 7g/L de espirulina + 10% de té compost (T5) y 7g/L de espirulina (T2) obtuvieron mejores resultados $8,33 \pm 0,01$ %, $7,60 \pm 0,02$ %, $7,44 \pm 0,01$ %, $7,37 \pm 0,01$ % respectivamente a diferencia de las plantas testigo $7,11 \pm 0,01$ %, el resto de tratamientos presentan valores inferiores a las plantas testigo ($F= 11,34$; $p<0,0001$) (Figura 47).

Figura 47

Valores de % de proteína de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



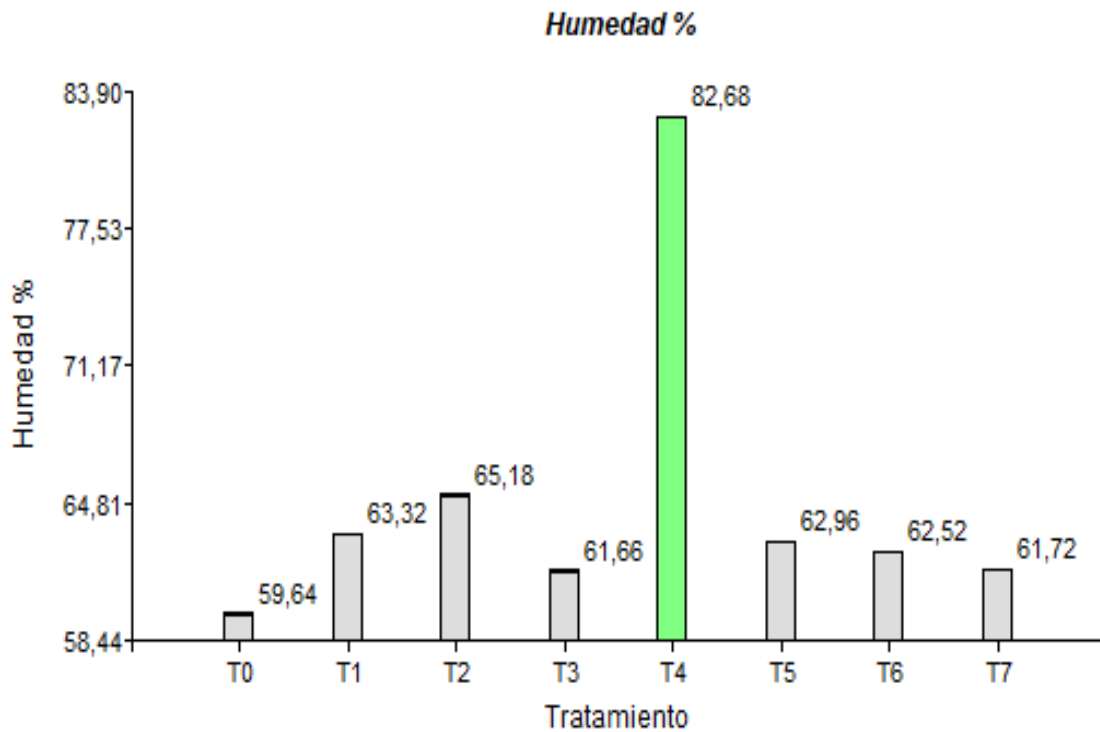
Nota: Autoría propia.

% Humedad

Las plantas tratadas con espirulina y té de compost presentaron mayores valores que las plantas testigo. Siendo el tratamiento T4 el mejor $82,68 \pm 0,06$ %, seguido de los tratamientos T2 $82,68 \pm 0,06$ %, T1 $63,32 \pm 0,05$ %, T5 $62,96 \pm 0,06$ %, T6 $62,52 \pm 0,07$ %, T7 $62,52 \pm 0,07$ respectivamente ($F= 8,80$, $p < 0,0001$) (Figura 48).

Figura 48

Valores de % de humedad de la biomasa de plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



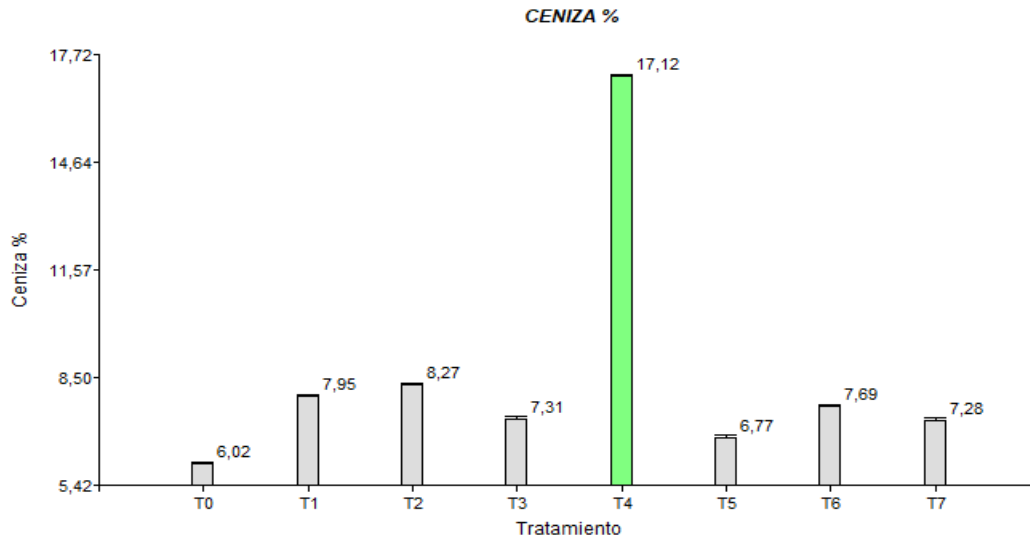
Nota: Autoría propia

% De cenizas

El porcentaje de cenizas fue mayor en las plantas fertilizadas con espirulina y té de compost a comparación de las plantas testigo. El mejor tratamiento fue el T4 el cual contiene Espirulina 5 g/L + Té de compost 10% y obtuvo $17,12 \pm 0,04$ % de cenizas, mientras que el tratamiento testigo obtuvo $6,02 \pm 0,04$ % (Figura 49).

Figura 49

Valores de % de ceniza de la biomasa de plantas de ají, bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico



Nota: Autoría propia

Tabla 16

Medias \pm DE, parámetros bromatológicos de la biomasa aérea de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico

Parámetro	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Grasa %	3,32 \pm 0,03 e	3,35 \pm 0,04 e	4,00 \pm 0,03 d	4,43 \pm 0,05 b	6,20 \pm 0,04 a	4,19 \pm 0,06 c	3,19 \pm 0,04 f	3,32 \pm 0,04 e
Fibra %	42,89 \pm 0,02 b	39,57 \pm 0,05 f	40,05 \pm 0,08 e	41,50 \pm 0,07 d	17,53 \pm 0,04 h	41,77 \pm 0,04 c	37,94 \pm 0,05 g	54,12 \pm 0,03 a
Proteína %	7,11 \pm 0,01 e	5,44 \pm 0,03 g	7,37 \pm 0,01 d	8,33 \pm 0,01 a	3,17 \pm 0,01 h	7,44 \pm 0,01 c	6,42 \pm 0,03 f	7,60 \pm 0,02 b
Humedad %	59,64 \pm 0,04 g	63,32 \pm 0,05 c	65,18 \pm 0,07 b	61,66 \pm 0,07 f	82,68 \pm 0,06 a	62,96 \pm 0,06 d	62,52 \pm 0,07 e	61,72 \pm 0,05 f
Ceniza %	6,02 \pm 0,04 g	7,95 \pm 0,06 c	8,27 \pm 0,06 b	7,31 \pm 0,08 e	17,12 \pm 0,04 a	6,77 \pm 0,08 f	7,69 \pm 0,03 d	7,28 \pm 0,07 e

Nota: %: porcentaje. Las medias con letras iguales son estadísticamente similares. Autoría propia.

Parámetros productivos de las tilapias dentro del sistema acuapónico

Condiciones físico-químicos de los estanques

Temperatura

La temperatura del agua de todo el sistema acuapónico se mantuvo en un promedio de $24,25 \pm 1,05$ °C en todos los estanques ($F=12,87$; $p=0,561$) (Tabla 7).

Conductividad

Los valores de la conductividad eléctrica $74,70 \pm 7,56$ $\mu S \cdot cm^{-1}$ se mantuvieron similares en todos los sitios estudiados ($F=0,65$; $p=0,58$) (Tabla 7).

Sólidos disueltos totales

La cantidad de sólidos disueltos totales en los diferentes estanques fue similar obteniendo un promedio de $38,11 \pm 5,39$ ppm ($F=0,34$; $p=0,79$) (Tabla 7).

pH

El pH en los tanques de nitrificación ($7,26 \pm 0,36$) como de retorno ($7,18 \pm 0,19$) fueron ligeramente más ácidos que en los estanques de crecimiento 1 ($7,55 \pm 0,53$) y crecimiento 2 ($7,71 \pm 0,24$), ($F=9,86$; $p<0,0001$) (Tabla 7).

Tabla 17

Medias \pm DE, condiciones físico químicos del agua circulante en diferentes sitios del sistema acuapónico

	Temperatura (°C)	pH	Conductividad ($\mu S \cdot cm^{-1}$)	TDS (ppm)
Estanque 1	$24,25 \pm 1,05$ a	$7,55 \pm 0,53$ a	$77,11 \pm 10,09$ a	$38,11 \pm 5,39$ a
Estanque 2	$24,73 \pm 0,66$ a	$7,71 \pm 0,24$ a	$74,70 \pm 7,56$ a	$37,33 \pm 3,80$ a
Nitrificación	$24,13 \pm 0,64$ a	$7,26 \pm 0,36$ b	$75,81 \pm 7,69$ a	$37,94 \pm 3,91$ a
Retorno	$24,25 \pm 0,75$ a	$7,18 \pm 0,19$ b	$75,80 \pm 7,32$ a	$37,90 \pm 3,70$ a

Nota: Las medias con letras iguales son estadísticamente similares. ($p > 0,05$), $n = 52$

Análisis de procesos de nitrificación

El agua circulante del sistema acuapónico presentó niveles de amonio $0,42 \pm 0,33$ mg. l^{-1} , nitritos $0,56 \pm 0,15$ mg. l^{-1} y nitratos $2,47 \pm 1,69$ mg. l^{-1} , similares en todos los tanques ($F=0,62$, $p=0,066$; $F= 0,5$, $p=0,74$ y $F=1,01$; $p=0,18$, respectivamente); sin embargo, los niveles de fosfato en el tanque de crianza 1 ($1,07 \pm 0,20$ mg. l^{-1}) fueron mayores que los estanques de crianza 2 ($0,40 \pm 0,20$ mg. l^{-1}) , nitrificación ($0,12 \pm 0,25$ mg. l^{-1}) y retorno ($0,32 \pm 0,26$ mg. l^{-1}) ($F=3,01$, $p=0,04$) (Tabla 18).

Tabla 18

Medias \pm DE, variables de calidad del agua en de las plantas de ají bajo diferentes dosis de espirulina y té de compost en un sistema acuapónico

	Tanque 1	Tanque 2	Nitrificador	Retorno
Amonio (mg. l^{-1})	$0,42 \pm 0,33$ a	$0,73 \pm 0,59$ a	$0,47 \pm 0,39$ a	$0,51 \pm 0,45$ a
NO ₂ (mg. l^{-1})	$0,56 \pm 0,15$ a	$0,36 \pm 0,33$ a	$0,31 \pm 0,29$ a	$0,37 \pm 0,32$ a
NO ₃ (mg. l^{-1})	$4,40 \pm 2,02$ a	$2,47 \pm 1,69$ a	$2,42 \pm 1,26$ a	$2,35 \pm 1,70$ a
Fosfato (mg. l^{-1})	$1,07 \pm 0,20$ a	$0,40 \pm 0,20$ b	$0,12 \pm 0,25$ b	$0,32 \pm 0,26$ b

Nota. Las medias con letras iguales son estadísticamente similares.
($p > 0,05$), $n = 52$

Análisis del desarrollo de tilapias

Parámetros Morfométricos

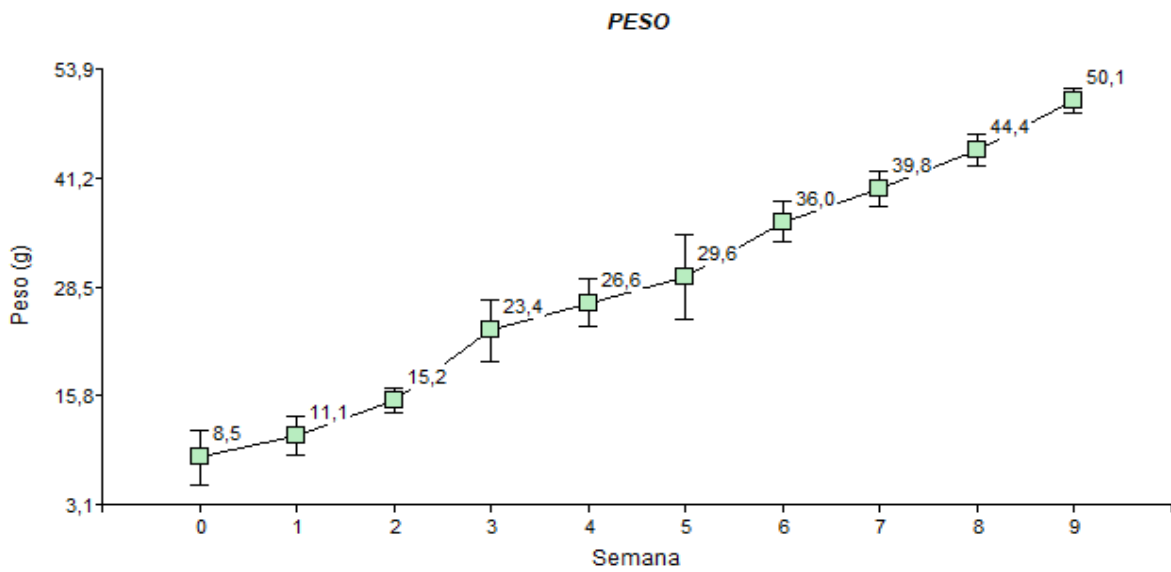
Se dio seguimiento semanalmente al crecimiento y desarrollo de los peces, y se determinaron los parámetros morfométricos.

Peso

Las tilapias presentaron un peso inicial $8,53 \pm 3,17$ g, que más adelante en el transcurso de las semanas se evidenció un incremento progresivo, es así, que al finalizar la investigación alcanzaron valores de $50,10 \pm 1,45$ g.

Figura 50

Promedio peso que describe el crecimiento de las tilapias durante 70 días



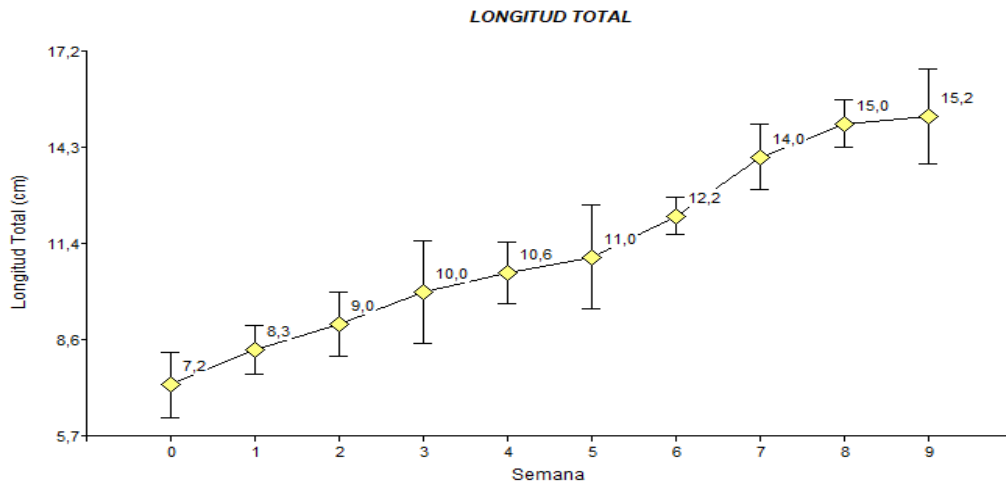
Nota. Autoría propia

Longitud total

Las tilapias mostraron una longitud total inicial de $7,21 \pm 0,99$ cm, que posteriormente en el transcurso del tiempo se observó un aumento sucesivo, es así, que en la semana 9 obtuvieron una longitud total de $15,22 \pm 1,42$ cm (Figura 51).

Figura 51

Promedio longitud total que describe el crecimiento de las tilapias durante 70 días



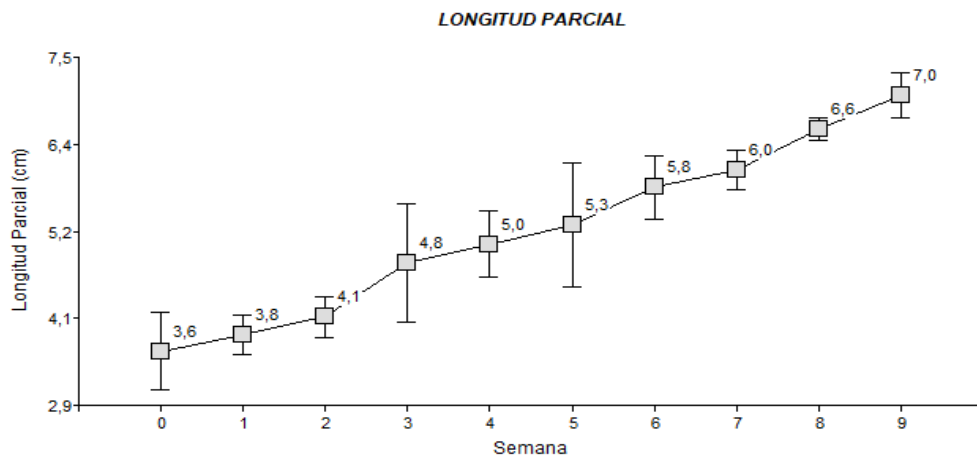
Nota. Autoría propia

Longitud parcial

Los peces indicaron una longitud parcial inicial de $3,61 \pm 0,51$ cm, que después en el transcurso del tiempo se observó un aumento progresivo, por lo que en la semana 9 lograron longitudes parciales de $7,01 \pm 0,30$ cm (Figura 52).

Figura 52

Promedio longitud parcial que representa el crecimiento de las tilapias durante 70 días



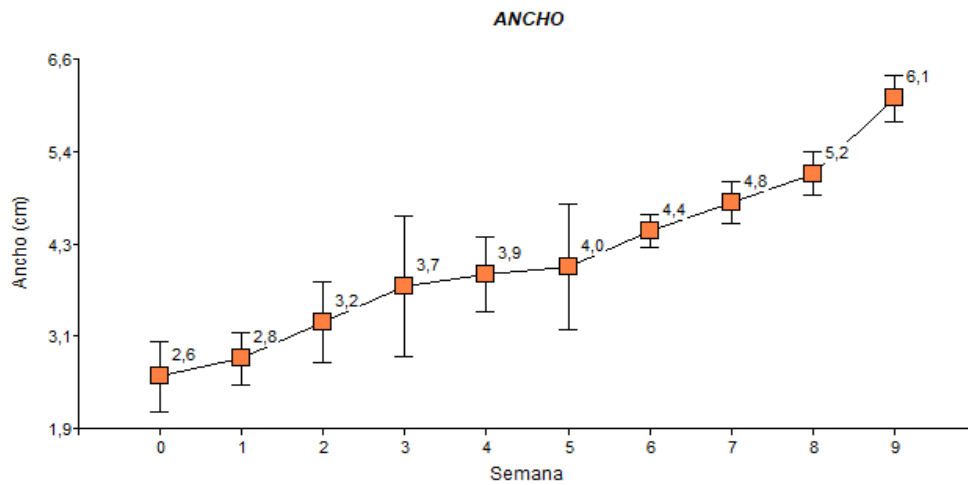
Nota. Autoría propia

Ancho

Los peces presentaron un ancho de $2,56 \pm 0,45$ cm, que más adelante en el transcurso del tiempo se visualizó un aumento progresivo, por lo que en la semana 9 alcanzaron valores de $6,11 \pm 0,29$ cm (Figura 53).

Figura 53

Promedio del ancho que detalla el crecimiento de las tilapias durante 70 días



Nota. Autoría propia

Tabla 19

Parámetros morfométricos de tilapias evaluadas por semana

Variables	Semana									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peso (g)	8,53±3,17	11,13±2,30	15,23 ±1,43	23,37± 3,64	26,55±2,79	29,60 ±4,87	36,03 ±2,30	39,83 ±2,02	44,37 ±1,90	50,10 ±1,45
Longitud Total (cm)	7,21±0,99	8,26 ± 0,74	9,03 ± 0,96	9,97±1,53	10,55 ±0,93	11,03 ±1,53	12,25 ±0,56	14,01 ±0,97	14,99 ±0,71	15,22 ±1,42
Longitud Parcial (cm)	3,61±0,51	3,82 ±0,26	4,07 ± 0,28	4,79 ±0,79	5,04±0,45	5,28 ±0,82	5,79 ±0,42	6,02 ±0,26	6,56 ±0,15	7,01 ± 0,30
Ancho (cm)	2,56±0,45	2,79 ±0,34	3,25 ± 0,52	3,72 ±0,90	3,87 ±0,48	3,96 ±0,81	4,42 ±0,21	4,79 ±0,27	5,15 ±0,28	6,11 ±0,29

Nota. Autoría propia

Parámetros productivos

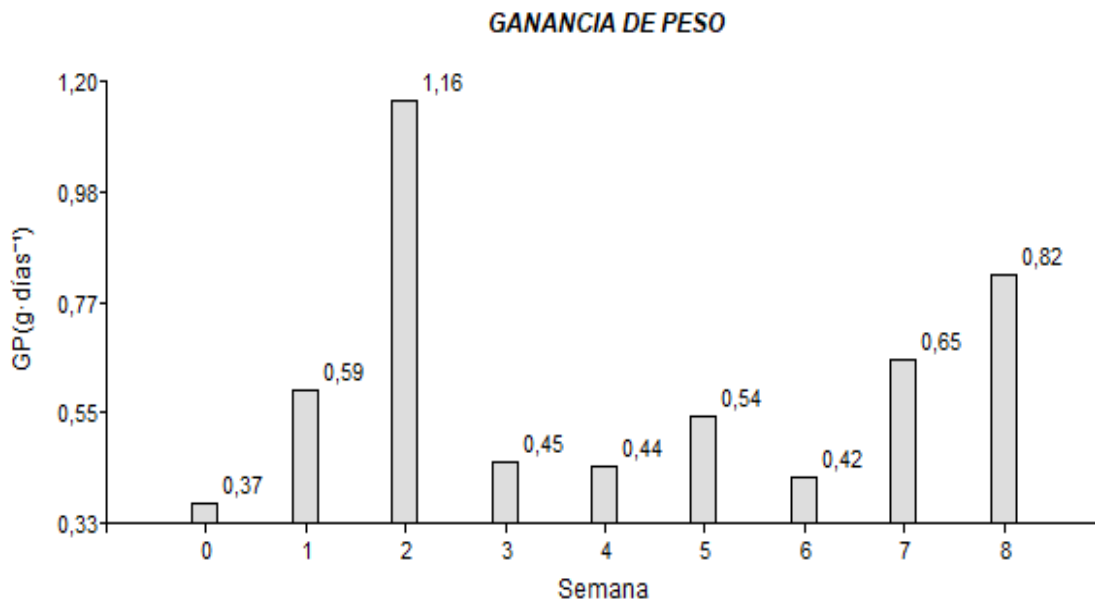
Se monitoreó semanalmente el crecimiento, desarrollo de las tilapias y se obtuvieron parámetros de productividad.

Ganancia de peso (GP)

La ganancia de peso varió en el transcurso del tiempo, el mayor valor se evidenció en la semana 2 con un promedio de $1,16 \text{ g}\cdot\text{días}^{-1}$, a diferencia de la semana 0 en donde se presentó el menor valor con un promedio de $0,37 \text{ g}\cdot\text{días}^{-1}$ (Figura 54).

Figura 54

Ganancia de peso promedio que describe el crecimiento de tilapias durante 63 días



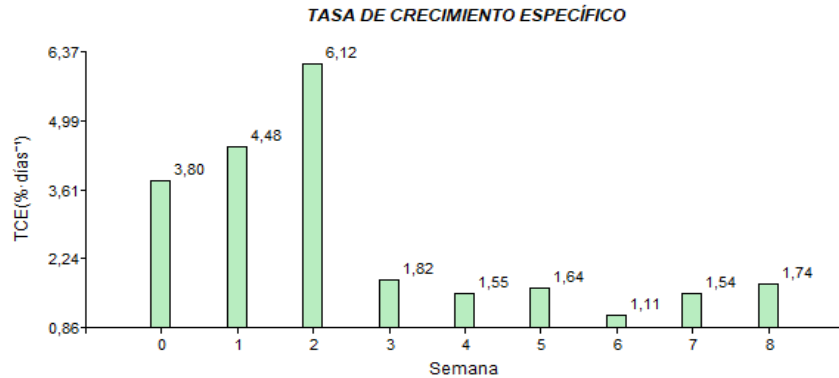
Nota. Autoría propia

Tasa de crecimiento específico (TCE)

La tasa de crecimiento específica se diferenció en el transcurso de la investigación, el mayor valor se mostró en la semana 2 con un promedio de $6,12 \text{ \%}\cdot\text{días}^{-1}$, a diferencia de la semana 6 en donde se identificó el menor valor con un promedio de $1,11 \text{ g}\cdot\text{días}^{-1}$ (Figura 55).

Figura 55

Tasa de crecimiento específico promedio que detalla el desarrollo de tilapias durante 63 días



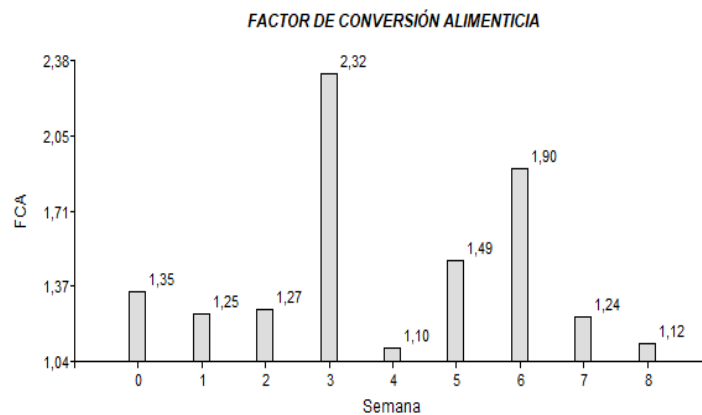
Nota. Autoría propia

Factor de conversión alimenticia (FCA)

El factor de conversión alimenticia varió en el desarrollo de la investigación, el mayor valor se distinguió en la semana 3 con un promedio de 2,32, a diferencia de la semana 4 y 8 en donde se identificaron los menores valores con un promedio de 1,10 y 1,12 respectivamente (Figura 56).

Figura 56

Factor de conversión alimenticia promedio que describe el crecimiento de tilapias durante 63 días



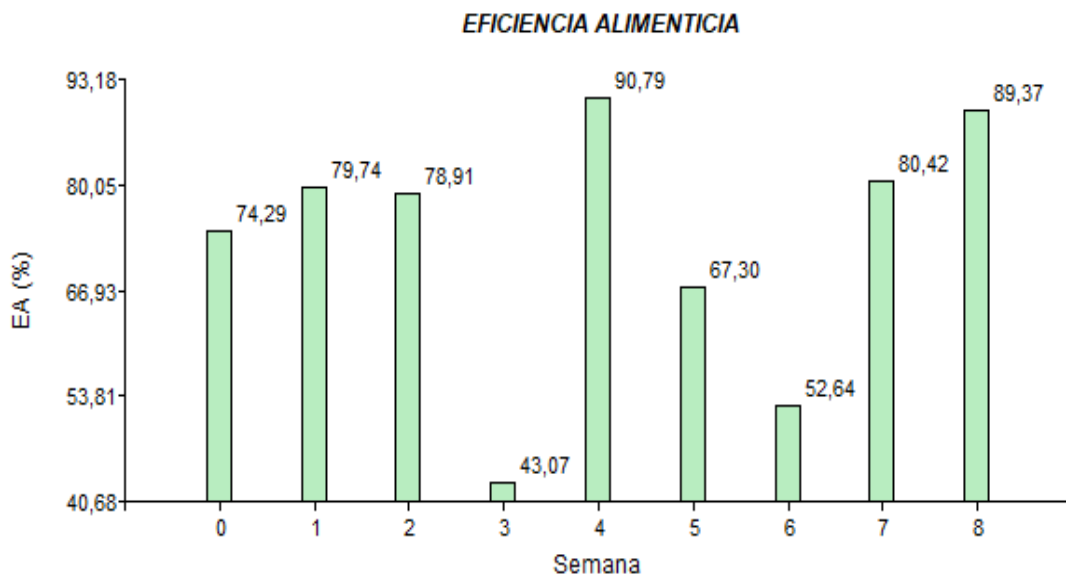
Nota. Autoría propia

Eficiencia alimenticia (EA)

La eficiencia alimenticia se diferenció en el transcurso del tiempo, el mayor valor se evidenció en la semana 4 y 8 con un promedio de 90,79% 89,37% respectivamente, a diferencia de la semana 3 en donde se presentó el menor valor con un promedio de 43,07 % (Figura 57).

Figura 57

Eficiencia alimenticia promedio que detalla el crecimiento de tilapias durante 63 días



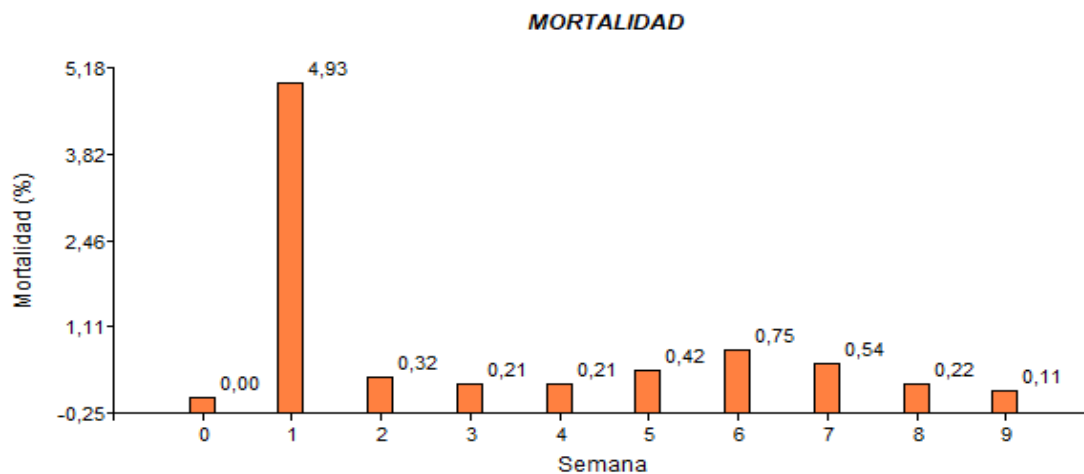
Nota. Autoría propia

Mortalidad

En el parámetro de la mortalidad, el mayor valor se evidenció en la semana 1 con un promedio de 4,93 %, a diferencia del resto de semanas en donde sus valores se presentaron menores al promedio de 0,75 % (Figura 58).

Figura 58

Mortalidad de tilapias durante 70 días



Nota. Autoría propia

Tabla 20

Parámetros productivos promedios de tilapias evaluadas por semana

Semana	GP(g·días ⁻¹)	TCE(%·días ⁻¹)	FCA	EA (%)	Mortalidad (%)
0	0,37	3,8	1,35	74,29	0
1	0,59	4,48	1,25	79,74	4,93
2	1,16	6,12	1,27	78,91	0,32
3	0,45	1,82	2,32	43,07	0,21
4	0,44	1,55	1,1	90,79	0,21
5	0,54	1,64	1,49	67,3	0,42
6	0,42	1,11	1,9	52,64	0,75
7	0,65	1,54	1,24	80,42	0,54
8	0,82	1,74	1,12	89,37	0,22
9	-	-	-	-	0,11

Nota: Autoría propia

Los desechos residuales de los peces tienen componentes similares a los nutrientes requeridos por las plantas (Ramírez y Olvera, 2006). Así mismo, se complementa la nutrición de los ajíes con los biofertilizantes foliares uno de ellos obtenido a partir de la cianobacteria espirulina (*Arthrospira platensis*) y té de compost, incrementando la productividad de los frutos. Se utilizó espirulina como biofertilizante ya que contiene reguladores de crecimiento vegetal, poliamidas y vitaminas (Shaaban y Abou, 2019). La aplicación de espirulina dota a las plantas de mayor resistencia y tolerancia al estrés ambiental (Tuhy *et al.*, 2015). Estudios analíticos determinaron que *A. platensis*, contiene 6,7% Nitrógeno, 2,47% fósforo y 2,14% potasio (Bhowmik *et al.*, 2010), los cuales fueron absorbidos por las hojas y aumentaron los parámetros de crecimiento y rendimiento de *Capsicum annum* (Shaaban y Abou, 2019).

La aplicación de espirulina no tuvo una respuesta en la longitud de raíces en plantas de ají, pues presentaron longitudes menores a las plantas testigo, el bajo crecimiento de la raíz está ligado a la falta de oxígeno en el sistema, esto provoca el desarrollo excesivo de raíces adventicias por donde las plantas absorben los nutrientes y el oxígeno externo, por lo tanto, no desarrollan raíces primarias y secundarias largas (Shestakov y Karamysheva, 2017). Las plantas testigo dependen únicamente de los nutrientes que se encuentran en el agua circulante. El mayor crecimiento de las raíces se evidenció en las plantas a las que se aplicó 10% de té de compost (T7), resultado que pudo ser producido por la presencia de microorganismos benéficos del té, como son protozoos, nemátodos, bacterias y hongos benéficos, ya que Mac Donnell (2018) afirma que estos microorganismos habitan en la mayoría de la superficie radicular y permiten una mejor absorción de nutrientes.

Las plantas de ají presentaron longitudes de tallo sin diferencias significativas entre todos los tratamientos y plantas testigo, Moreno (2017) menciona que la aplicación de espirulina a las plantas de ají no tuvo efectos en la tasa de fotosíntesis la cual influye directamente en el crecimiento (Castillo *et al.*, 2009). En el número de brotes laterales las plantas tratadas con espirulina y té de compost no obtuvieron unidades superiores a las plantas

control. Las plantas del tratamiento testigo T0 obtuvieron el mayor número de laterales $2,92 \pm 1,93$ unidades por planta junto con los tratamientos de 7g/L de espirulina (T2) y 5g/L de espirulina + 10% té de compost (T5). Pinedo (2018) menciona que la baja de disponibilidad de nutrientes da como resultado un desarrollo precoz de la planta de ají.

La aplicación de espirulina y té de compost en las plantas de ají no produjo resultados positivos en la producción de hojas, ya que el tratamiento con Espirulina 7 g/L (T2), tuvo el valor más alto el cual fue estadísticamente similar al número de hojas de las plantas testigo. La aplicación de *A. platensis* en plantas, no tiene ningún efecto en hojas de ají según Godlewska *et al.*, (2019).

La biofertilización con *A. platensis*, mejora la producción de frutos, pues evita hasta en un 96% la caída de flores según Wuang *et al.*, (2016), Michael *et al.*, (2019) encontraron que la aplicación foliar de espirulina aumentó el rendimiento del fruto. Sugirieron que esto puede estar relacionado con los compuestos activos producidos por la espirulina, similares a las fitohormonas; sin embargo, en la presente investigación no hubo diferencias significativas entre el número de flores y frutos de las plantas tratadas con espirulina y té de compost a comparación de las plantas testigo.

A pesar de las características bioestimuladores de *A. platensis* como el aporte de macro y micronutrientes que permiten el mejor desarrollo del área foliar (Wuang *et al.*, 2016), éste parámetro en las plantas de ají estudiadas no tuvo diferencias significativas entre tratamientos a comparación del testigo, sin embargo, el valor promedio de $473,43 \pm 393,09$ cm² de área foliar de plantas testigo fue mayor a los reportados por Castillo *et al.*, (2009) quien obtuvo áreas de 200 cm² en plantas de ají sembradas en condiciones normales bajo invernadero.

El porcentaje de clorofila en todos los tratamientos fueron similares con un promedio de $18,06 \pm 7,45$ ICC / mm², esto difiere con la investigación de Siringi *et al.*, (2021), quien determina que la biofertilización con espirulina incrementa la clorofila en plantas de lechuga al

igual que Vivanco (2022) quién también obtuvo incrementos de clorofila en plantas de pepino, sin embargo Siringi *et al.*, (2021) determinaron que la aplicación de espirulina en plantas de ají no incrementa la tasa de fotosíntesis lo que interviene directamente en la clorofila. El alza del contenido en la clorofila puede deberse a que la espirulina contiene compuestos como las citoquinas que aumentan la actividad fotosintética y afectan positivamente las características de crecimiento (Anitha *et al.*, 2016).

La relación hoja: flor y hoja: fruto se presentaron similares en las plantas de ají tratadas con espirulina y té de compost a comparación de las plantas testigo. El papel que desarrollan las hojas en el cuajado de los frutos es de vital importancia, ya que estas se encargan de sintetizar y movilizar metabolitos hacia los frutos en desarrollo (Chancay, 2018). El metabolismo de carbohidratos tiene lugar en las hojas, mayormente en hojas maduras (Chicaiza, 2022). Cuando los frutos comienzan a desarrollarse la capacidad fotosintética se incrementa en las hojas más cercanas al fruto (Moreno, 2017).

La evaluación de frutos se llevó a cabo a los 93 días, los ajíes más largos fueron del tratamiento con Espirulina 7 g/L con 10% Té de compost (T5) los cuales tuvieron una longitud de $5,07 \pm 0,90$ cm, también fueron los frutos más anchos $2,15 \pm 0,13$ cm y pesados $6,17 \pm 2,40$ g, este tratamiento junto con el tratamiento T3 (Espirulina 9 g/L) presentaron frutos con la cáscara más gruesa ($0,23 \pm 0,06$ cm). Castillo *et al.*, (2009) obtuvieron frutos de *Capsicum annum* más largos y pesados, esto puede ser por debido a que la espirulina contiene moléculas como las poliaminas que favorecen el crecimiento de las plantas (Mógor *et al.*, 2018). Las poliaminas afectan procesos celulares importantes como la división celular, la diferenciación, la replicación del ADN, la síntesis de proteínas y la viabilidad celular (Trabelsi *et al.*, 2009). Shaaban y Abou (2019) determinaron que las aplicaciones de espirulina (10, 15, 25 y 35 g/L) aumentaron el valor del ancho del fruto en comparación con la aplicación control en su estudio en berenjena.

El número de semillas fue similar en todos los tratamientos ($25,00 \pm 37,40$ unidades)

esta característica tiene una relación inversa al desarrollo del fruto entre más número de semillas contiene el fruto de *Capsicum*, la fruta tiene menor crecimiento (Organización Internacional para las Migraciones, 2009). Sin embargo, hay que destacar que la aplicación de espirulina tiene efectos en el desarrollo del fruto gracias a sus nutrimentos como el calcio para mantener la elasticidad y expansión de las paredes celulares (Wuang *et al.*, 2016).

En cuanto a los grados Brix el tratamiento T3 (espirulina 9 g/L) obtuvo el mayor valor (8,4%), según Mógor *et al.*, (2018) los tratamientos con espirulina aumentaron la cantidad de azúcares en plantas de remolacha, ya que la formación de azúcares está ligada al metabolismo de aminoácidos dotados por la cianobacteria.

Los análisis bromatológicos demostraron que el tratamiento T4 (Espirulina 5 g/L + Té de compost 10%) obtuvo el mayor porcentaje en grasa ($6,20 \pm 0,04$ %), humedad ($82,68 \pm 0,06$ %) y ceniza ($17,12 \pm 0,04$ %). Los valores de humedad son ligeramente bajos a los obtenidos por Aliaga *et al.*, (2020) quien obtuvo $87,9 \pm 1,0$ %, algo similar sucede con los valores de grasa pues en dicho estudio se encontró $12,4 \pm 0,2$ % en plantas de ají cultivadas de forma convencional; por otro lado, el porcentaje de ceniza es mucho mayor a los obtenidos en cultivos tradicionales por el mismo autor, el cual fue de 7,3%, por lo que se determina que la aplicación de estas concentraciones contribuye a la formación de mayores cantidades de minerales. Wuang *et al.*, (2016) determinó que la biomasa de *A. platensis* concentrado contiene más micronutrientes como el calcio, hierro, manganeso, zinc y selenio, que un fertilizante convencional (Triple Pro 15–15-15), el calcio es un constituyente de las paredes celulares y participa en el crecimiento vegetal y de raíces, también proporciona elasticidad y expansión de las paredes celulares, evita que las plantas se vuelvan rígidas y quebradizas. La biomasa de algas puede proporcionar una concentración de calcio 3 veces mayor y de hierro 2 veces superior a los cultivos, en comparación del fertilizante químico (Wuang *et al.*, 2016). El hierro es un elemento estructural componente de varias enzimas esenciales y su escasez es un problema común en muchas especies de plantas. El contenido de manganeso actúa como

activador enzimático de la asimilación del nitrógeno y es esencial para la síntesis de clorofila. El zinc, que no se detecta en el fertilizante químico, participa en la síntesis del crecimiento de sustancias y sistemas enzimáticos (Bonillo *et al.*, 2015).

El tratamiento T3 (Espirulina 9 g/L) obtuvo el mayor porcentaje de proteína ($8,33\% \pm 0,01$) que las plantas testigo ($7,11\% \pm 0,01$), esto se debe a que la espirulina contribuye con 48,5% de proteína que al degradarse en aminoácidos pueden ser utilizadas por las plantas (Wuang *et al.*, 2016).

El mayor porcentaje de fibra obtuvieron las plantas tratadas con 10% de té de compost (T7), ($54,12 \pm 0,03$). Bonillo *et al.*, (2015) determinó que cada 100 g de té de compost aporta con 46 mg de magnesio, 14,50 mg de potasio, 100 mg de fósforo y 0,05 mg de sulfato, los cuales contribuyen a la formación de fibra vegetal; polímeros de celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina (Moreno, 2017).

La calidad del agua es determinante para el buen desarrollo principalmente de los peces como de plantas que crecen en sistemas acuapónicos, la temperatura influye directamente en la velocidad del crecimiento del pez (Bonilla *et al.*, 2018). En la presente investigación se trabajó con temperatura medida en diferentes sitios del sistema acuapónico, ésta fue de $24,75 \pm 0,75$ °C, la cual es óptima para el desarrollo del pez, ya que las tilapias necesitan un ambiente con rangos de temperatura entre 25 - 30 °C (Kubitza, 2009).

La tilapia roja soporta altos niveles de pH, sin embargo, el rango óptimo oscila entre 6 a 9, por lo que el pH de $7,55 \pm 0,53$ fue el adecuado para el pez (Bravo y Chalén, 2003). No obstante, para las plantas de ají el pH del tanque nitrificador $7,26 \pm 0,36$ no se encontró en los rangos óptimos, pues según Martínez y Chávez (2017), quien evaluó el rendimiento de *Capsicum annuum* en hidroponía, afirma que el pH de las soluciones nutritivas oscilaron entre 5,5 - 6,3 para una máxima asimilación de nutrientes, sin embargo, pese a no encontrarse en los rangos sugeridos, Sudradjat *et al.*, (2016), reporta que la aplicación foliar de fertilizantes orgánicos como la espirulina complementan la nutrición y desarrollo del cultivo de ají.

Las mediciones de conductividad y salinidad son comúnmente utilizadas para sistemas hidropónicos y acuapónicos según Gómez *et al.*, (2011), quienes mencionan que estos parámetros inciden en la disponibilidad de nutrientes disueltos en el agua. Cazar (2022), considera una apropiada conductividad menor a $1500 \mu S/cm$, resultado que evita una toxicidad del sodio en los vegetales, en la investigación realizada la conductividad fué de $77,11 \pm 10,09 \mu S/cm$, valor apropiado para el desarrollo de tilapias y vegetales (Méndez, 2019).

Los valores de sólidos disueltos totales en el agua, se encontraron en el rango adecuado para los peces según Hernández (2021), pues menciona que las tilapias rojas soportan máximo 200 g/ml SDT, y el agua en la investigación presentó $0,038 \pm 0,0055$ g/ml SDT.

El alto nivel de amonio detectado en las piscinas de cultivo, corresponde a la presencia de metabolitos de desecho que las tilapias descargan durante la excreción, como también la descomposición del balanceado no digerido (Pin, 2016). A lo largo de los procesos de nitrificación se presenta la oxidación del amonio a nitrato por la acción de bacterias nitrificantes y fitoplancton presente en el agua. Las concentraciones de nutrientes inorgánicos en el sistema acuapónico durante el experimento estuvieron en los siguientes rangos; nitratos $4,40 \pm 2,02$ mg/L, nitritos $0,56 \pm 0,15$ mg/L, amonio $0,42 \pm 0,33$ mg/L y fosfatos $1,07 \pm 0,20$ mg/L, los cuales son tóxicos para los peces puesto que según Ordóñez (2008), las concentraciones que las tilapias soportan en nitratos son 1,5 a 2 mg/L, en nitritos 0,01 mg/L al igual que el amonio y fosfatos 0,15 - 0,2 mg/L. El nitrato es la forma nitrogenada menos tóxica, todo lo contrario, ocurre con el nitrito y amonio causantes de problemas de estrés y mortalidad en las tilapias de una producción intensiva (Perdomo *et al.*, 2012).

Las tilapias (*Oreochromis spp.*) presentaron un crecimiento y desarrollo progresivo a lo largo de los 70 días evaluados; peso $50,10 \pm 1,45$ g, longitud total $15,22 \pm 1,42$ cm, longitud parcial $7,01 \pm 0,30$ cm y ancho $6,11 \pm 0,29$ cm, resultados que pertenecen a la etapa de crecimiento pre-engorde según Calvachi (2022), quien manejó valores similares de parámetros

morfométricos en su investigación. Adicionalmente, Perdomo *et al.*, (2012) reporta que los valores óptimos de longitudes y pesos en la etapa pre-engorde oscilan entre $16,4 \pm 1,2$ cm y $51,6 \pm 1,3$ respectivamente, lo que significa que esta investigación se desarrolló en los rangos óptimos de producción establecidos para tilapias.

En los parámetros productivos se determinó la ganancia de peso que osciló entre $(0,37 - 1,16)$ g·días⁻¹, tasa de crecimiento específico $(1,11 - 6,12)$ %·días⁻¹, factor de conversión alimenticia $(1,10 - 2,32)$ y eficiencia alimenticia $(43,07 - 90,70)$ %. Los valores obtenidos de ganancia de peso promedio fueron inferiores a los resultados obtenidos por Hernández y Fajardo (2019) de $1,15$ g·días⁻¹, como también de $1,24$ g·días⁻¹ logrado por Martínez y Chávez (2017), ambos estudios se realizaron empleando tilapias en acuaponía con lechugas. La ganancia de peso se pudo ver afectada por tema de nitritos y amonio, lo que generó estrés. La comparación de los resultados obtenidos de tasa de crecimiento específico en esta investigación y los reportados por Bezerra *et al.*, (2014), están dentro del rango registrado de $0,23$ %·días⁻¹ a $2,7$ %·días⁻¹, adicionalmente los valores reportados por Somerville *et al.*, (2022), quien menciona similares valores de TCE de $1,19$ %·días⁻¹ y $0,76$ %·días⁻¹ en un estudio en acuaponía con el uso de tilapia y hortalizas. Con respecto a los resultados del factor de conversión alimenticia, los valores determinados se encontraron en los rangos reportados por Méndez (2019), quien señaló que los valores en su investigación oscilaron entre 0,91 hasta 1,41. Noriega *et al.*, (2020), indica que un FCA mayor a dos, expresa una baja eficiencia de los peces en convertir el alimento en biomasa y lo ideal es que se aproxime a uno. En el parámetro de eficiencia alimenticia se obtuvo el mayor valor promedio en el día 28 el cual fué de $90,79$ % en una producción intensiva, siendo este dato superior a los reportados por Wuang *et al.*, (2016) con 80 % y 68 % en una similar producción.

La mortalidad obtenida en la fase de levante y pre-engorde está en concordancia con Kubitza (2009), quien indica que en la producción de tilapia semi-intensiva la mortalidad total no debe sobrepasar el 10 %.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La aplicación foliar de *Arthrospira platensis* 7g/L con 10% té de compost (T5), mejoró las características físicas del fruto de ají: largo, ancho y peso. La aplicación de espirulina 9 g/L (T3), aumentó el grosor de los frutos al igual que el tratamiento T5, se encontraron mayores valores de °Brix en plantas tratadas con 9 g/L de espirulina (T3) y todos los tratamientos mejoraron la relación hoja: fruto. En cuanto a los parámetros de producción como longitud de raíz, tallo, cantidad de brotes laterales, número de hojas, cantidad flores y frutos, relación hoja: flor, cantidad de semillas, clorofila y área foliar en plantas de ají no obtuvieron una respuesta favorable a la aplicación de espirulina y té de compost.
- La aplicación de *A. platensis* en plantas de ají en concentraciones de 5 g/L + Té de compost 10% (T4) mejora el contenido de grasa, humedad y de ceniza. Mientras que la fertilización con 9 g/L de espirulina (T3), incrementa el porcentaje de proteína. Por otra parte, la fertilización de plantas de ají con biofertilizantes a base de 10% de té de compost aumenta la cantidad de fibra.
- Los parámetros productivos de las tilapias dentro del sistema acuapónico se controlaron con el manejo de los peces a temperaturas de $24,75 \pm 0,75$ °C, pH $7,55 \pm 0,53$, conductividad eléctrica de $77,11 \pm 10,09$ $\mu S/cm$ y sólidos totales disueltos $0,038 \pm 0,0055$ g/ml, los cuales se encontraron en los rangos óptimos para el desarrollo de los peces. A pesar, de que las cantidades de algunos nutrientes inorgánicos como nitritos $0,56 \pm 0,15$ mg/L y amonio $0,42 \pm 0,33$ mg/L se encontraron en niveles tóxicos para las tilapias, no se evidenció sus efectos negativos en los parámetros morfométricos, pues los valores al día 70 de peso $50,10 \pm 1,45$ g, longitud total $15,22 \pm 1,42$ cm, longitud parcial $7,01 \pm 0,30$ cm y ancho $6,11 \pm 0,29$ cm, fueron el resultado de un constante crecimiento, correspondiente a la etapa de pre-engorde. Por otro lado, en cuanto a los parámetros productivos a excepción

de la ganancia de peso, la tasa de crecimiento específico y factor de conversión alimenticia, se presentaron en los rangos, expresando una alta eficiencia en convertir el alimento en biomasa, un mejor resultado expresó la eficiencia alimenticia superando los rangos óptimos con un valor promedio de 90,79 %. Al finalizar la investigación el % de mortalidad en tilapias fue el 7,7 %.

Recomendaciones

- Incluir la aplicación de (*Arthrospira platensis*) en el plan de manejo orgánico del cultivo de ají, por su alto porcentaje de proteína que se pueden transferir a la planta y por las bondades evidenciadas en la presente investigación.
- Se recomienda previa aplicación de biofertilizantes foliares o edáficos, medir el pH y que este se ajuste entre 5,5 a 6,5, rango óptimo para la absorción y aprovechamiento de nutrientes en los vegetales.
- Estudiar y verificar la efectividad de productos naturales como reemplazo a los pesticidas químicos, protegiendo las plantas cultivadas.
- Corregir los valores de nutrientes inorgánicos que se encuentren concentrados, para así manejar parámetros morfométricos y productivos óptimos para la explotación acuícola.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, J., Jamanca, N., y Vega, E. (2020). Proximal physicochemical and metabolic analysis of fruits of the *Capsicum chinense* jacq. ecotype “ají supano” for industrial purposes. *REBIOL*, 40(2), 256–264. <https://doi.org/10.17268/REBIOL.2020.40.02.12>
- Andreeva, N., Melnikov, V., y Snarskaya, D. (2020). The role of cyanobacteria in marine ecosystems. *Russian Journal of Marine Biology*, 46(3), 154–165. <https://doi.org/10.1134/S1063074020030025/METRICS>
- Anitha, L., Sai, G., y Kalpana, P. (2016). Effect of supplementation of *Spirulina platensis* to enhance the zinc status in plants of *Amaranthus gangeticus*, *Phaseolus aureus* and tomato. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 07(06), 289–299. <https://doi.org/10.4236/ABB.2016.76027>
- Arahou, F., Hassikou, R., Arahou, M., Rhazi, L., y Wahby, I. (2021). Influence of culture conditions on *Arthrospira platensis* growth and valorization of biomass as input for sustainable agriculture. *Aquaculture International*, 29(5), 2009–2020. <https://doi.org/10.1007/S10499-021-00730-5/METRICS>
- Bezerra, S., Neto, J., Cavalcanti, J., Dantas, L., y Rodrigues, J. (2014). *Criação de tilápia em tanques escavados* [Archivo PDF, Serviço de apoio às micro e pequenas empresas do Rio Grande do Norte]. [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8f207413cf7a8402b142400d385397ad/\\$File/5203.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8f207413cf7a8402b142400d385397ad/$File/5203.pdf)
- Bhowmik, D., Dubey, J., y Mehra, S. (2010). Evaluating potential of spirulina as inoculant for pulses. *Academic Journal of Plant Sciences*, 3(4), 161–164. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=c204a2c59638144db84dfd57e1be2b282fcfeb73>

- Bonilla, B., Montoya, B., Gómez, J., y Caja, Á. (2018). Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de tilapia (*Oreochromis* sp) en Mamá Lombriz, Vereda Río Blanco, Popayán, Colombia. *Teknos Revista Científica*, 18(1), 24–30. <https://doi.org/10.25044/25392190.922>
- Bonillo, M., Filippini, M., y Lipinski, V. (2015). *Efectos de abonos orgánicos foliares: té de compost, té de lombricompost y supermagro en la productividad en cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.)* [Archivo PDF, Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA].
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/52669/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bravo Gando, C., y Chalén Rosado, J. (2003). *Análisis económico - financiero de la producción y comercialización de la tilapia roja como una opción para la exportación* [Proyecto de grado, Escuela Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3591>
- Calvachi Quintanilla, K. (2022). *Evaluación de un sistema acuapónico para girasol (Helianthus annuus L.) var. vincent choice y su estimulación mediante fertilización foliar con Chlorella sp. biotipo III* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/35899>
- Campus, R., Alonso, A., Asiain, A., Reta, J., y Ávalos, D. (2015). La acuaponía, diversificación productiva sustentable. *Agro Productividad*, 8(3), 1–5. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/663/1740>
- Castañeda, S., y Miranda, D. (2011). *Memorias IV congreso colombiano de horticultura: aportes de la investigación al desarrollo de la horticultura colombiana en el siglo XXI* (C. Carranza, D. Miranda, G. Fischer, M. Rodríguez, y S. Magnitskiy, Eds.; Primera). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.
https://www.researchgate.net/publication/309547067_Estado_de_la_coleccion_de_especies_de_la_familia_Anonaceas_en_Colombia

- Castillo, C., Sotomayor, L., Ortiz, C., Leonelli, G., Borie, F., y Rubio, R. (2009). Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en un cultivo ecológico de ají (*Capsicum annuum* L.) cacho de cabra. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(1), 79–87.
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000100010>
- Cazar, D. (12 de septiembre de 2023). *La tilapia: una especie invasora que se extiende en Ecuador sin controles del Estado*. Mongabay. Recuperado el 11 de agosto de 2023 de <https://es.mongabay.com/2022/09/la-tilapia-es-una-especie-invasora-en-ecuador/>
- Céspedes, C. (2019). *Elaboración y uso del té de compost* [Ficha técnica, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Raihuén].
<https://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/148341>
- Chancay Palma, Á. (2018). *Comportamiento agronómico del cultivo de ají jalapeño (Capsicum annuum) sembrado en varios tipos de sustratos en la zona de Babahoyo* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/5019>
- Chicaiza Morales, B. (2022). *Evaluación de tres dosis de fertirriego en el rendimiento del cultivo de ají jalapeño (Capsicum annuum L.) en invernadero*. [Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17834>
- Chittapun, S., Limbipichai, S., Amnuaysin, N., Boonkerd, R., y Charoensook, M. (2018). Effects of using cyanobacteria and fertilizer on growth and yield of rice, Pathum Thani I: a pot experiment. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 79–85. <https://doi.org/10.1007/S10811-017-1138-Y>
- Flores Ochoa, L., y Madrid Rivera, J. (2013). *Comparación de la producción de lechuga de los cultivares maximus, locarno, versai y kristine en acuaponía con tilapia en Zamorano* [Proyecto de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/777cdf2d-99fd-4f2b-bc79-f17c9e3a16af/content>

- Food and Agriculture Organization. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. La sostenibilidad en acción. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- Garlapati, D., Chandrasekaran, M., Devanesan, A., Mathimani, T., y Pugazhendhi, A. (2019). Role of cyanobacteria in agricultural and industrial sectors: an outlook on economically important byproducts. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(12), 4709–4721. <https://doi.org/10.1007/S00253-019-09811-1>
- Godlewska, K., Michalak, I., Pacyga, P., Baśladyńska, S., y Chojnacka, K. (2019). Potential applications of cyanobacteria: *Spirulina platensis* filtrates and homogenates in agriculture. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 35(6), 80–98. <https://doi.org/10.1007/S11274-019-2653-6>
- Gómez, M., Granados, K., Padilla, C., López, M., y Núñez, G. (2011). Edad y crecimiento del híbrido de tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (perciformes: cichlidae) en la represa “Zimapán” Hidalgo, México. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 761–770. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000200018&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Google Maps. (18 de agosto de 2023). *Ubicación geográfica del Centro Piscícola Nanegal*. Recuperado el 17 de agosto de 2023 de <https://www.google.com/maps/dir/Centro+Pisc%C3%ADcola+de+Nanegal,+48MM%2BCV3,+Nanegal/@0.1335871,-78.7066266,13z/data=!4m8!4m7!1m0!1m5!1m1!1s0x8e2a87f28e54a421:0x93ba21cc3f19190f!2m2!1d-78.6653408!2d0.1335013?hl=es-ES&entry=ttu>
- Guerra, E., y Paiz Pérez, F. (2022). *Producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y rábano (*Raphanus sativus*) en acuaponía con suplementación proteica de *Hermetia illucens** [Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9b8e1e6a-2c62-404a-937e-2f84df03cc3b/content>

Hernández Alvarado, L. (2021). *Sistema de monitoreo y control de la calidad del agua en el cultivo de tilapia* [Proyecto de grado, Centro Universitario Tecnológico].

<https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/11721>

Hernández Lozano, E. G., y Fajardo Delgado, H. D. (2019). *Evaluación de la productividad de tilapia (Oreochromis niloticus) con tres pesos iniciales y tres densidades de siembra en un sistema de recirculación* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria].

<https://repositorio.una.edu.ni/3937/>

Khannapho, C., Phodee, A., Paithoonrangsarid, K., Hongsthong, A., Meechai, A.,

Cheevadhanarak, S., y Tanticharoen, M. (2021). Effect of dilution rate in continuous cultures of *Arthrospira (spirulina) platensis* C1 on nutrient use efficiency

and macromolecular- and elemental compositions. *Journal of Applied Phycology*, 33(2),

743–754. <https://doi.org/10.1007/S10811-020-02339-2>

Kubitza, F. (2009). Produção de tilápias em tanques de terra e estratégias avançadas no manejo. *Panorama Da Aqüicultura*, 19(115), 1–9.

<https://panoramadaaquicultura.com.br/producao-de-tilapias-em-tanques-de-terra-estrategias-avancadas-no-manejo/>

Mac Donnell, M. (2018). *Producción, aplicación y beneficios de los extractos acuosos del compostaje (té de compost)* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Litoral].

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/1173>

Mala, R., Ruby, A., Mahalakshmi, R., y Rajeswari, S. (2017). Agronomic biofortification of *Amaranthus dubius* with macro nutrients and vitamin A. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012214>

Marriner Castro, K. (2008). *Pérdidas de fósforo en zonas de cultivo de tilapia (Oreochromis spp.) en el embalse de Betania (Huila : Colombia)* [Trabajo de grado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano].

<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/1467>

- Martínez Turcios, A., y Chávez Chávez, I. (2017). *Producción de tilapia en la etapa de engorde con dos estrategias de alimentación* [Proyecto de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7d97dee1-1d17-4293-8f89-a94d859a9134/content>
- Méndez Orduz, J. (2019). *Alimentación natural en sistemas de producción de tilapia roja Oreochromis sp* [Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14192>
- Michael, A., Kyewalyanga, M., y Lugomela, C. (2019). Biomass and nutritive value of spirulina (*Arthrospira fusiformis*) cultivated in a cost-effective medium. *Annals of Microbiology*, 69(13), 1387–1395. <https://doi.org/10.1007/S13213-019-01520-4/TABLES/4>
- Mógor, Á., Ördög, V., Pereira, G., Molnár, Z., y Mógor, G. (2018). Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 453–460. <https://doi.org/10.1007/S10811-017-1242-Z>
- Moreno Casas, S. (2017). *Extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de ají escabeche bajo condiciones de cañete* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2751/F04-M673-T.pdf?sequence=1>
- Muñoz Cortez, M., y Tipán Tipán, K. (2020). *Valoración de un sistema acuapónico para pepinillo (Cucumis sativus) bajo el efecto de bioestimulantes algales y humus líquido* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/24770>
- Navarro López, A. (2022). *“Efecto de Chlorella sp. biotipo I como fertilizante foliar en la productividad de albahaca (Ocimum basilicum) en un sistema acuapónico con tilapia roja (Oreochromis sp.) en el subtrópico occidental ecuatoriano* [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35887/1/IASA%20I-TT-%200018.pdf>

Noriega, A., Rivas, D., Silva, R., y Hurtado, E. (2020). Crecimiento y sobrevivencia de juveniles de tilapia roja con dietas suplementadas de vitaminas C y E. *Revista Ciencia UNEMI*, 13(34), 16–27.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8375354&info=resumen&idioma=ENG>

Ordóñez Sáenz, J. (2008). *Análisis económico de la producción de tilapia de Ecuador y de la demanda de tilapia de Estados Unidos* [Proyecto de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano].

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/584c465c-03a1-4e3b-932d-90d871faeb98/content>

Organización Internacional para las Migraciones. (2009). *Manual del cultivador de ají* (Equipo Técnico Alianzas Público Privadas, Ed.; Primera).

[https://repository.iom.int/bitstream/handle/20.500.11788/607/COL-](https://repository.iom.int/bitstream/handle/20.500.11788/607/COL-OIM%200404.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[OIM%200404.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.iom.int/bitstream/handle/20.500.11788/607/COL-OIM%200404.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Perdomo, D., Corredor, Z., y Ramírez, L. (2012). Características físico-químicas y morfométricas en la crianza por fases de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en una zona cálida tropical. *Zootecnia Tropical*, 30(1), 99–108.

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692012000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

[72692012000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692012000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Pin, N. (2016). *Informe de país en apoyo a la preparación del primer informe sobre el estado de los recursos genéticos acuáticos para la alimentación y la agricultura en el mundo.*

<https://www.fao.org/3/cb0325es/cb0325es.pdf>

Pinedo Sánchez, H. (2018). *Desarrollo, producción y la composición de capsaicina de ají charapita (*Capsicum frutescens*) cultivados en solución nutritiva con diferentes niveles de nitrógeno en Pucallpa* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ucayali].

<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3953>

- Quiñones, X., Muñoz, D., y Nuñez, L. (2022). Chili pepper (*Capsicum* spp.) as a peasant cultural heritage: exploratory analysis. *Revista Iberoamericana de Viticultura Agroindustria y Ruralidad*, 9(26), 89–106. <https://doi.org/10.35588/rivar.v9i26.5531>
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., y Giraldo, H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1–2), 32–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>
- Ramírez, L., y Olvera, R. (2006). Uso tradicional y actual de espirulina sp. (*Arthrospira* sp.). *Interciencia*, 31(9), 657–663. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000900008&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- Riegel, M. (2008, June 30). *Té de compost una nueva herramienta para revitalizar el potencial biológico del suelo*. 1–6. <https://docplayer.es/22060653-Te-de-compost-un-nueva-herramienta-para-revitalizar-el-potencial-biologico-del-suelo.html>
- Rueda Liberato, A. (2023). *Evaluación de tres densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia nilótica) en acuaponía en condiciones de laboratorio* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2375>
- Saavedra, G. (2019). Pimiento y ají (*Capsicum annuum*). In E. Kehr y C. Jana (Eds.), *Hortalizas para procesamiento agroindustrial* (Vol. 1, pp. 121–180). <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29326>
- Salazar Orbea, G. (2007). *Efecto del procesamiento y almacenamiento en el contenido de vitamina B12 de pasta de harina de trigo con espirulina (*Arthrospira plantensis*)* [Proyecto especial para titulación, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e4f7da32-5d89-4fc4-b390-a16ccccec9c1/content>
- Shaaban, M., y Abou, E. (2019). Growth, yield and berries quality in red roomy grapevines improved under different foliar application of spirulina algae, zinc and boron. *Middle East*

- Journal of Agriculture Research*, 08(02), 654–661.
<https://www.curreweb.com/mejar/mejar/2019/654-661.pdf>
- Shestakov, S., y Karamysheva, E. (2017). The origin and evolution of cyanobacteria. *Biology Bulletin Reviews*, 7(4), 259–272. <https://doi.org/10.1134/S2079086417040090>
- Siringi, J., Turoop, L., y Njonge, F. (2021). Growth and biochemical response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to spirulina (*Arthrospira platensis*) enhanced aquaponic system. *Aquaculture*, 544, 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.737134>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., y Lovatelli, A. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala - Cultivo integral de peces y plantas. In *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas*. Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, FAO. <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Sudradjat, S., Jufri, A., y Sulistyono, E. (2016). Studies on the effects of silicon and antitranspirant on chili pepper (*Capsicum annuum* L.) growth and yield. *European Journal of Scientific Research*, 137(1), 5–10. <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>
- Toledo, S., y García, M. (2019). Nutrición y alimentación de tilapia cultivada en América Latina y el Caribe. *Avances En Nutrición Acuícola*, 0(0), 83–137.
<https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/292>
- Trabelsi, L., M'sakni, N., Ouada, H., Bacha, H., y Roudesli, S. (2009). Partial characterization of extracellular polysaccharides produced by cyanobacterium *Arthrospira platensis*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 14(1), 27–31. <https://doi.org/10.1007/S12257-008-0102-8>
- Trujillo Sánchez, S. (2021). *Densidad de siembra en la producción y calidad de ají escabeche (Capsicum baccatum L. var. pendulum), en Cañete* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4794>

Tuhy, Ł., Samoraj, M., Witkowska, Z., y Chojnacka, K. (2015). Biofortification of maize with micronutrients by spirulina. *Open Chemistry*, 13(1), 1119–1126.

<https://doi.org/10.1515/CHEM-2015-0126/MACHINEREADABLECITATION/RIS>

Vivanco Viteri, B. (2022). *Efecto del biofertilizante a base de espirulina (Arthrospira platensis) sobre la productividad de pepino (Cucumis sativus) en un sistema acuapónico con tilapia roja (Oreochromis sp.)* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/35894>

Wuang, S., Khin, M., Chua, D., y Luo, Y. (2016). Use of spirulina biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal Research*, 15, 59–64.

<https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2016.02.009>