



**“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”**

Navarro López, Alejandro Sebastián

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal. PhD

10 de febrero del 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **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**". Fue realizado por el señor Navarro López Alejandro Sebastián; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 11 de febrero del 2022



Ing. Juan Ortiz PhD

CC: 170999816-3



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, Alejandro Sebastián Navarro López con cédula de ciudadanía n°1720899747 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "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" 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 10 de febrero del 2022

Navarro López, Alejandro Sebastián

1720899747



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo, Alejandro Sebastián Navarro López con cédula de ciudadanía n°1720899747, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "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" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterio son de mi responsabilidad.

Sangolquí 10 de febrero del 2022

Navarro López, Alejandro Sebastián

1720899747

## Reporte de verificación de similitud de contenidos



Tesis A. Navarro Copyleaks.docx

Scanned on: 23:47 February 14, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	558
Words with Minor Changes	97
Paraphrased Words	287
Omitted Words	0



Firma electrónica por  
**JUAN  
CRISTOBAL  
ORTIZ TIRADO**



Website | Education | Businesses

## Dedicatoria

Dedico mi trabajo a Dios, por ser mi maestro de vida, por darme la sabiduría para seguir mis metas.

A mis padres, Mónica y Luis, por ser el pilar fundamental en todo mi desarrollo profesional, por enseñarme la constancia, dedicación y valores para ser un buena persona y profesional.

A mi angelito que está en el cielo, mi abuelita Fanny, por hacerme comprender que el amor es lo más importante en este mundo.

A mis hermanos Belén, Stefanny y Dario por ser mi apoyo incondicional, siempre darme su aliento y por ser mis segundos padres.

A mis Sobrinos, Joaquín y Alejandra por darme su amor y sonrisas para seguir adelante.

A mi familia, por ser parte de todos mis sueños y aspiraciones.

Al amor de mi vida, Camila por ser siempre mi apoyo, mi fuerza y nunca dejarme caer.

A mis amigos, Marcelo, Gyna, Carolina, Pamela, Byron, Francisco, Nathy, José, Mishel, Eloary y Carlita por acompañarme en este largo viaje y por regalarme vivencias y anécdotas que las recordaré por siempre.

**Alejandro Sebastián Navarro López**

### **Agradecimiento**

Agradezco profundamente al Ing. Juan Ortiz PhD. Por brindarme su confianza, orientación y conocimiento a lo largo del presente proyecto, al Ing. Santiago Ulloa por su ayuda en la parte estadística, al Ing. Miguel Anasi por guiarme en la fase de campo, a los trabajadores del centro piscícola la Nanegal, por hacerme tratado como un amigo más y darme su cariño.

Al Lic. Marco Taco por su ayuda y guía en los análisis bromatológicos, de igual manera a la Ing. Daysi Muñoz y al laboratorio de Acuicultura por guiarme en los análisis de agua.

Ing. Juan Tigrero y al Ing. Julio Pazmiño por su disposición a ayudarme en el desarrollo de este proyecto.

Al GAD de Pichincha por permitirme usar sus instalaciones para culminar este proyecto con éxito.

Y a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a mi querido IASA por abrirme las puertas de su institución y brindarme el conocimiento necesario para ser un excelente profesional.

**Alejandro Sebastián Navarro López**

## Índice de contenido

Carátula.....	1
Certificación .....	2
Reporte de verificación de similitud de contenidos .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen. ....	17
Abstract.....	18
Capítulo I. ....	19
Introducción.....	19
Antecedentes .....	19
Justificación.....	20
Objetivos .....	21
General.....	21
Específicos.....	21
Hipótesis .....	22
Capítulo II .....	23
Marco Referencial.....	23
Cultivo de Albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) .....	23
Aceite Esencial de Albahaca .....	24



Descripción botánica .....	25
Descripción Taxonómica .....	25
Variedades de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ).....	26
Albahaca variedad Crispum .....	26
Condiciones agroclimáticas .....	26
Siembra .....	28
Cosecha y Rendimientos esperados .....	28
Plagas y enfermedades .....	29
Requerimientos nutricionales de la albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) .....	29
Cultivo de Tilapia ( <i>Oreochromis sp.</i> ), .....	30
Origen .....	30
Condiciones Agroclimáticas .....	31
Beneficio del Cultivo de Tilapia ( <i>Oreochromis sp.</i> ).....	33
Sistema Acuapónico.....	35
Sistema NFT .....	36
Sistema de nitrificación.....	37
Bacterias autotróficas y heterotróficas .....	38
Cultivo de <i>Chlorella sp.</i> Biotipo I.....	40
Efecto de Auxinas en <i>Chlorella sp.</i> .....	42
Capitulo III.....	43
Materiales y métodos de investigación .....	43
Ubicación y características del área de estudio.....	43
Materiales .....	44

	10
Biológico: .....	44
Físicos.....	44
Equipos.....	44
Químico.....	45
Métodos.....	45
Instalación del ensayo.....	45
Maduración del sistema de nitrificación .....	46
Manejo del cultivo de Tilapia ( <i>Oreochromis sp.</i> ).....	46
Manejo del cultivo de Albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) .....	47
Cultivo de <i>Chlorella sp.</i> Biotipo 1.....	47
Manejo del bio fertilizante de <i>Chlorella sp.</i> Biotipo 1 .....	48
Diseño experimental.....	49
Unidades Experimentales .....	49
Factores a probar.....	50
Tratamientos a probar .....	50
Análisis estadístico .....	50
Variables a medir .....	51
Sistema Acuapónico.....	51
Plantas.....	51
Agronómicos.....	51
Bromatológicos.....	52
Tilapia.....	54
Análisis Económico .....	56
Capítulo IV.....	58

Resultados y Discusión.....	58
Resultados.....	58
Parámetros del sistema acuapónico.....	58
Temperatura .....	58
pH.....	62
Oxígeno.....	65
Comportamiento de parámetros nitrogenados y fosfatados en la piscina de tilapias, nitrificación y recirculación .....	69
Comportamiento de parámetros nitrogenados y fosfatados del sistema NFT ...	70
Análisis productivos de las plantas de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ).....	72
Regresión de la altura en los diferentes tratamientos.....	74
Análisis de la calidad de las hojas .....	75
Parámetros morfológicos y productivos de la tilapia ( <i>Oreochromis sp.</i> ).....	78
Factor de conversión alimenticia (FCA) y Eficiencia de conversión alimenticia (ECA).....	80
Análisis Económico.....	81
Capítulo V.....	85
Conclusiones y Recomendaciones .....	85
Conclusiones .....	85
Recomendaciones.....	86
Bibliografía .....	88

### Índice de Tablas

<b>Tabla1</b>	Nutrientes de la albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) .....	23
<b>Tabla2</b>	Clasificación del aceite esencial de albahaca por su composición química. ....	24
<b>Tabla3</b>	Clasificación Taxonómica de la albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ). ....	25
<b>Tabla4</b>	Requerimientos nutricionales de la albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) .....	30
<b>Tabla5</b>	Parámetros de adaptabilidad del cultivo de Tilapia ( <i>Oreochromis sp.</i> ) .....	32
<b>Tabla6</b>	Requerimientos nutricionales para la producción de tilapia ( <i>Oreochromis sp.</i> ) .....	34
<b>Tabla7</b>	Requerimientos nutricionales de vitaminas y minerales para la producción de tilapia roja ( <i>Oreochromis sp.</i> ).....	35
<b>Tabla8</b>	Parámetros de calidad de agua más importantes en el sistema acuapónico .....	36
<b>Tabla9</b>	Características químicas y físicas de <i>Chorella sp.</i> .....	40
<b>Tabla10</b>	Características Nutricionales de <i>Chorella sp.</i> Biotipo 1.....	41
<b>Tabla11</b>	Media de parámetros fisicoquímicos del agua $\pm$ DE en los diferentes componentes del sistema acuapónico. ....	58
<b>Tabla12</b>	Media de los parámetros nitrogenados y fosfatados $\pm$ DE en los componentes del sistema acuapónico. ....	69
<b>Tabla13</b>	Valores promedios $\pm$ DE, de la circulación de amonio, nitrito, nitrato y fosfato en el sistema NFT de las plantas de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) bajo cuatro dosis diferentes de <i>Chlorella sp.</i> Biotipo1 .....	70

<b>Tabla14</b>	Valores promedios $\pm$ DE, de las variables de productividad de las plantas de albahaca con cuatro dosis de <i>Chlorella</i> sp. Biotipo 1 en un sistema acuapónico. ....	72
<b>Tabla15</b>	Valores promedios del porcentaje de grasa, fibra, proteína, humedad y ceniza $\pm$ DE en el análisis bromatológico de la biomasa de las hojas de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) bajo cuatro dosis de <i>Chlorella</i> sp. Biotipo 1 en un sistema acuapónico. ....	76
<b>Tabla16</b>	Valores promedios del crecimiento de las tilapias $\pm$ DE durante 7 semanas.....	79
<b>Tabla17</b>	Beneficio neto de la producción de albahaca fertilizada con diferentes concentraciones de <i>Chlorella</i> sp. Biotipo 1.....	82
<b>Tabla18</b>	Análisis de tasa de retorno marginal de la concentración de <i>Chlorella</i> sp. Biotipo 1 utilizada como fertilizante foliar, en la producción de albahaca .....	84

### Índice de Figuras

<b>Figura1</b>	Rango de Temperatura Óptima (F°) para cultivo de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ).....	27
<b>Figura2</b>	Esquematación del sistema NFT .....	37
<b>Figura3</b>	Esquematación del sistema Bioflog .....	38
<b>Figura4</b>	Valoración de niveles de amonio, nitrito y nitrato en respuesta a la oxidación bacteriana en el tiempo .....	39
<b>Figura5</b>	Ubicación geográfica del Centro Piscícola de Nanegal.....	43
<b>Figura6</b>	Esquema del proyecto acuapónico contiene el estanque, Biofloc, sistema NFT tanque de recirculación y Blower. ....	46

<b>Figura7</b> Multiplicación de <i>Chlorella</i> sp biotipo 1 en el laboratorio del centro piscícola Nanegal .....	48
<b>Figura8</b> Análisis de calidad de agua de los componentes del sistema acuapónico. ....	51
<b>Figura9</b> Evaluación de los parámetros agronómicos de las plantas de albahaca. ....	52
<b>Figura10</b> Análisis bromatológicos de las hojas de albahaca.....	54
<b>Figura11</b> Análisis de clorofila de las hojas de albahaca.....	54
<b>Figura12</b> Análisis de los parámetros morfológicos de la tilapia.....	56
<b>Figura13</b> Comportamiento de la temperatura del agua en el estanque de las piscinas de tilapia en el sistema acuapónico durante 60 días. ....	59
<b>Figura14</b> Comportamiento de la temperatura del agua en nitrificador en el sistema acuapónico durante 60 días.....	60
<b>Figura15</b> Comportamiento de la temperatura del agua en el sistema NFT en el sistema acuapónico durante 60 días .....	61
<b>Figura16</b> Comportamiento de la temperatura del agua en el estanque de recirculación en el sistema acuapónico durante 60 días.....	61
<b>Figura17</b> Comportamiento del pH del agua en el estanque de las piscinas de tilapia en el sistema acuapónico durante 60 días .....	62
<b>Figura18</b> Comportamiento del pH del agua en el estanque de nitrificación en el sistema acuapónico durante 60 días .....	63
<b>Figura19</b> Comportamiento del pH del agua en el sistema NFT en el sistema acuapónico durante 60 días.....	64

<b>Figura20</b> Comportamiento del pH del agua en el estanque de recirculación en el sistema acuapónico durante 60 días .....	65
<b>Figura21</b> Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el estanque de tilapias en el sistema acuapónico durante 60 días.....	66
<b>Figura22</b> Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el nitrificador en el sistema acuapónico durante 60 días. ....	67
<b>Figura23</b> Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el sistema NFT en el sistema acuapónico durante 60 días. ....	68
<b>Figura24</b> Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el estanque de recirculación en el sistema acuapónico durante 60 días.....	68
<b>Figura25</b> Media de parámetros nitrogenados y fosfatados del agua en los diferentes componentes del sistema acuapónico. ....	70
<b>Figura26</b> Nitritos, nitratos y fosfatos presentes en el sistema NFT de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) bajo los diferentes tratamientos.....	71
<b>Figura27</b> Promedio de las variables de productividad de las plantas de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) $\pm$ DE bajo los diferentes tratamientos. ....	73
<b>Figura28</b> Regresión de la altura de las plantas de albahaca ( <i>Ocimum basilicum</i> ) después de 45 días. ....	75
<b>Figura29</b> Valores promedios del porcentaje de grasa, fibra, proteína, humedad y ceniza $\pm$ DE sometidas a los diferentes tratamientos.....	77
<b>Figura30</b> Acumulado de Alimento Balanceado y Factor de conversión alimenticia de las tilapias. (FCA) (ECA).....	80

**Figura31** Costos Variables vs Beneficio Neto de los diferentes tratamientos de *Chlorella* sp..... 83



## Resumen

El uso indiscriminado de pesticidas químicos repercute negativamente en los cultivos y en el consumidor; en la mayoría de sistemas acuícolas, existen sistemas abiertos generando la contaminación de las aguas y el desperdicio de nutrientes, por otro lado, la albahaca es una planta caracterizada por un manejo climático riguroso, esto llevó a que se la utilice en este ensayo en un sistema controlado bajo invernadero. La investigación tuvo como finalidad evaluar las dosis de *Chlorella sp.* biotipo1 como fertilizante foliar en la productividad de albahaca en un sistema acuapónico con tilapia roja en el subtrópico occidental ecuatoriano.

El proyecto ubicado en el Centro Piscícola Nanegal, Pichincha, consta de un estanque con tilapias en engorde, un sistema de nitrificación y un módulo completo para hidroponía, NFT, en donde se colocaron plántulas de albahaca de aproximadamente 15 días. Todo el proceso desarrolló en un sistema completo de recirculación 24/7.

Para el análisis estadístico se aplicó un (DCA), con cuatro concentraciones de *Chlorella sp.*: 11, 14 y  $17 \times 10^6$  células\* $\text{mL}^{-1}$  y un control.

Los parámetros fisicoquímicos del agua de los componentes del sistema acuapónico mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ); el estanque de tilapias tuvo el valor más alto en temperatura ( $24,07 \pm 1,13^\circ\text{C}$ ) y pH ( $7,40 \pm 0,28$ ); por otro lado, el oxígeno tuvo un valor mayor en el nitrificador ( $7,84 \pm 0,52$ ) mg/l. En los componentes del sistema acuapónico, existieron diferencias significativas en los parámetros nitrogenados y fosfatados; la piscina de tilapia obtuvo los mayores valores de amonio  $3,8 \pm 1,3$ ,  $\text{NO}_2$   $1,5 \pm 0,4$ ,  $\text{NO}_3$   $21,03 \pm 9,3$  y  $\text{PO}_4$   $1,65 \pm 0,7$ , en el sistema.

Las variables de productividad de la albahaca mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), T3 tuvo el mejor porcentaje de: grasa  $15.75 \pm 0.99\%$ , fibra  $16.98 \pm 0.49\%$ , proteína  $1.33 \pm 0.21\%$  y ceniza  $15.85 \pm 1.38\%$ ; por otro lado, el T2 y T3 presentaron mayor: altura de planta ( $39.25 \pm 2.26\text{cm}$ ), ( $40.39 \pm 3.6\text{cm}$ ), número de hojas ( $44.90 \pm 3.78$ ), PEH ( $3.98 \pm 0.40\text{g}/\text{cm}^2$ ) y clorofila ( $1.27 \pm 0.12\text{mg}/\text{g}$ ). El crecimiento de las tilapias fue positivo con un incremento de 110 g en 7 semanas. Se concluyó que el uso de *Chlorella sp.* afectó los parámetros agronómicos de las plantas de albahaca en sistemas acuapónicos, además, la dosis óptima de *Chlorella sp.* fue T3.

**Palabras Clave:** acuapónico, albahaca, tilapia, *Chlorella*

### Abstract

The use of chemical pesticides and their incorrect application has a negative impact on crops and the consumer.; in most aquaculture systems, there is an open system generating water pollution and nutrient waste. Basil is a plant characterized by rigorous climatic management, which motivated its use in this trial, helping to improve its productivity in a controlled greenhouse system. The purpose of this research was to evaluate doses of *Chlorella* sp. biotype 1 as a foliar fertilizer on the productivity of basil in an aquaponic system with red tilapia in the Ecuadorian western subtropics.

The project located in the Centro Piscícola Nanegal Pichincha, consists of a tilapia fattening and raising pond, a nitrifier, an NFT system with basil seedlings, 15 days old basil seedlings, and a recirculation system 24/7.

A (DCA) model was applied, with four treatments (four concentrations of *Chlorella* sp). which were: control, 11, 14 and 17 cells\*mL<sup>-1</sup>.

The water physicochemical parameters of the aquaponic system's components showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ); the tilapia pond had the highest value in temperature ( $24.07 \pm 1.13^\circ\text{C}$ ) and pH ( $7.40 \pm 0.28$ ); On the other hand, oxygen had a higher value in the nitrifier ( $7.84 \pm 0.52$ ) mg/l. In the components of the aquaponic system, there were significant differences in the nitrogenous and phosphated parameters; the tilapia pool obtained the highest values of ammonium  $3.8 \pm 1.3$ , NO<sub>2</sub>  $1.5 \pm 0.4$ , NO<sub>3</sub>  $21.03 \pm 9.3$  and PO<sub>4</sub>  $1.65 \pm 0.7$ , in the system.

Basil productivity variables showed significant differences ( $p < 0.05$ ), T3 had the best percentage of: fat  $15.75 \pm 0.99\%$ , fiber  $16.98 \pm 0.49\%$ , protein  $1.33 \pm 0.21\%$  and ash  $15.85 \pm 1.38\%$ ; on the other hand, T2 and T3 presented higher: plant height ( $39.25 \pm 2.26\text{cm}$ ), ( $40.39 \pm 3.6\text{cm}$ ), number of leaves ( $44.90 \pm 3.78$ ), PEH ( $3.98 \pm 0.40\text{g/cm}^2$ ) and chlorophyll ( $1.27 \pm 0.12\text{mg/g}$ ). Tilapia growth was positive with an increase of 110 g in 7 weeks. It was concluded that the use of *Chlorella* sp. affected the agronomic parameters of basil plants in aquaponic systems, in addition, the optimal dose of *Chlorella* sp. it was T3.

**Keywords:** aquaponic, basil, tilapia, *Chlorella*.

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

La acuicultura es el conjunto de actividades y técnicas para el cultivo y producción de organismos acuáticos; en el Ecuador, esta actividad ocupa el 40% del total de exportaciones no petroleras; América latina tiene consumo per cápita de pescado de 20,3 kg (Proecuador, 2020; Mejía, 2019; Ormaza, 2021).

La acuicultura ha sido importante desde nuestros orígenes, tanto para la salud alimentaria como para el incremento de la economía, en el Ecuador se estima que unos 100 mil empleos se originan a partir de la Acuicultura (Mejía, 2019).

Uno de los sistemas utilizados dentro de la acuicultura para el cultivo de especies marinas es la acuaponía, el desarrollo de esta técnica se da desde tiempo ancestrales con la implementación en las culturas como la azteca o la civilización china (Crab, Avnimelech, Bossier, & Verstrete, 2007; Darquea, 2018).

Actualmente los sistemas acuapónicos representan una forma de producción sustentable y eficiente que está comenzando a tener mucha importancia desde pequeñas a grandes industrias a nivel mundial; estos conocimientos previos han podido dar impulso a nuevas investigaciones, en donde se analizan diferentes sinergias entre especies y así comprueban sus beneficios tanto ambientales como económicos (Darquea, 2018; Bastidas O. , 2017; FAO, 2021).

Uno de los cultivos con más demanda en el país es la tilapia, en el año 1999, esta especie se vio beneficiada gracias a la crisis camaronera por el virus de la mancha blanca, esto

hizo que salieran a la luz sus beneficios tanto nutricionales, económicos y de adaptabilidad; en los últimos años, la industria camaronera se ha ido recuperando, sin embargo, el cultivo de tilapia ha abierto nuevos caminos hacia investigaciones en cultivos extensivos. Por esa razón se ha buscado implementar cultivos vegetales asociados a este pez a través de sistemas acuapónicos (Proecuador, 2020; Darquea, 2018).

La albahaca es un cultivo que tiene gran acogida gracias a sus beneficios gastronómicos e industriales, sin embargo, este cultivo es muy sensible a bajas temperaturas, por lo que su implementación en un sistema acuapónico bajo invernadero lo hace ideal, obteniendo cultivos orgánicos, aumentando su productividad y su rentabilidad (Andrade, 2012).

La *Chlorella* sp. Biotipo 1 es una microalga verde rica en aceites benéficos los cuales pueden ser incorporados como fertilizante foliar en las plantas como la albahaca (Halima, 2004).

En el país no existen estudios con *Chlorella* sp. Biotipo 1 en un sistema asociado con tilapia y albahaca; sin embargo, según varios estudios realizados se ha verificado que el uso de microalgas en sistemas acuapónicos mejora el rendimiento de las plantas (Angkha, 2020); así lo afirma (Espinoza, 2016) quien en su estudio en donde evaluó un sistema acuapónico de diferentes dosis de especies de macroalgas marinas (algas verde-café) en el crecimiento de plántulas de albahaca en un sistema acuapónico con tilapia sus resultados fueron positivos.

### **Justificación**

La mayoría de sistemas acuícolas utilizan sistemas abiertos lo que genera un problema de contaminación de aguas y desperdicio de nutrientes por medio de las heces de los peces y desechos de alimentos; por otra parte, el uso indiscriminado de pesticidas, y la incorrecta aplicación de los fertilizantes tiene una repercusión directa tanto para los cultivos como para la

salud del consumidor; igualmente, la albahaca (*Ocimum basilicum*) es una planta que requiere un manejo climático muy especial, en donde factores externos como el clima, perjudican el rendimiento del cultivo, generando bajos rendimientos de kg/ha, por último, no existen estudios que comprueben la dosis óptima de *Chlorella* sp. Biotipo 1 como fertilizante foliar en un sistema compartido de tilapia con albahaca (Petrocchi, 2018; Orta, 2002; Gomez, 2015).

Para evitar esta problemática, en los últimos años, se ha implementado la acuaponía, que es una técnica que combina la acuicultura y la hidroponía, en donde, además de tener un cultivo sano, sin residuos de pesticidas, se aprovecha todos los nutrientes generados por los peces y de esta manera se crea una sinergia, generando ganancias económicas extras al productor tanto con los peces como con las plantas (Espinoza, Alvares, Albertos, Guzman, & Martinez, 2018; Campos, 2013).

En el presente estudio se utilizará *Chlorella* sp. Biotipo 1 como fertilizante foliar en un sistema acuapónico con tilapia y albahaca y se analizará cuál es la mejor dosis para lograr una producción mayor en albahaca.

## **Objetivos**

### ***General***

Evaluar las dosis de *Chlorella* sp. biotipo 1 como fertilizante foliar en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum*) en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis* sp.), en el subtrópico occidental ecuatoriano

### ***Específicos***

Evaluar el efecto de cuatro concentraciones de *Chlorella* sp. en la albahaca (*Ocimum basilicum*) sobre la circulación de nutrientes dentro del sistema acuapónico.

Determinar el efecto de cuatro concentraciones de *Chlorella* sp. en la producción y composición nutrimental de albahaca (*Ocimum basilicum*) en un sistema acuapónico.

Estimar la viabilidad económica de *Chlorella* sp. en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum*) en un sistema acuapónico.

### **Hipótesis**

**H0:** El uso de *Chlorella* sp. en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum*) no afecta los parámetros agronómicos de las plantas de albahaca en sistemas acuapónicos en el subtrópico occidental del Ecuador

**H1:** El uso de *Chlorella* sp. en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum*) afecta los parámetros agronómicos de las plantas de albahaca en sistemas acuapónicos en el subtrópico occidental del Ecuador

## Capítulo II

### Marco Referencial

#### Cultivo de Albahaca (*Ocimum basilicum*)

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) tiene origen en Persia y Asia Menor y se cultiva actualmente en muchas regiones cálidas y templadas del mundo, especialmente del área mediterránea (Hernández Reyes, 2010; Salud., 2017; Sam, 2002).

La albahaca (*Ocimum basilicum*) posee un aroma muy agradable por lo que su uso en la industria agroalimentaria es fundamental y sus principales usos son la preparación de salsas, carnes, licores y vinagres (Larrinaga, 2014)

También contiene sustancias químicas apetecibles para la industria farmacéutica como el timol o el carvacrol, estas sustancias son utilizadas para la elaboración de productos antibacterianos, antifúngicos y digestivos (Pérez, 2018) Según, (Leos-Malagon, 2021) el té de albahaca puede ayudar al tratamiento de enfermedades respiratorias como la gripe y el asma, así como, inflamaciones, diabetes, fiebre, dolor estomacal, conjuntivitis e infecciones en la piel.

#### Tabla1

*Nutrientes de la albahaca (Ocimum basilicum)*

<i>Elemento</i>	<i>%</i>
<i>Agua</i>	6.4
<i>Proteínas</i>	14.4
<i>Grasas</i>	4
<i>Hidratos de carbono</i>	60.9
<i>Fibra dietética</i>	40.5

<i>Elemento</i>	<i>%</i>
<i>Cenizas</i>	14.3
<i>Vitamina C</i>	61.2 mg
<i>Minerales (mg/100 g)</i>	
<i>Calcio</i>	21
<i>Hierro</i>	42
<i>Fósforo</i>	490

Nota: Porcentaje de nutrientes presentes en la hoja de albahaca. Tomado de (Combatt, 2020)

### ***Aceite Esencial de Albahaca***

El aceite de albahaca se clasifica por su composición química; que incluyen pineno, canfeno, mirceno, limoneno, alcanfor; sin embargo, se dividen en cuatro grupos (Hernandez, 2010) (tabla 2) :

**Tabla2**

*Clasificación del aceite esencial de albahaca por su composición química.*

<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Característica</b>
<b>I</b>	Europeo	Rico en metil chavicol y linalol, el aceite de fino olor y el de mejor calidad
<b>II</b>	Reunión	Rico en Metil chavicol y Alcanfor sin Linalol
<b>III</b>	Cinamato de Metilo	Rico en Metil chavicol, Linalol y Cinamato de Metilo
<b>IV</b>	Eugenol	Rico en Eugenol



Nota: Las condiciones medioambientales influyen en el contenido de aceite. Tomado de (Hernandez, 2010)

### **Descripción botánica**

La albahaca (*Ocimum basilicum*) es una planta herbácea, aromática, anual, con una altura promedio de 50 cm, esto varía de acuerdo a la especie (Salud, 2017)

Tiene una raíz primaria que es relativamente delgada, vellosa con pelos largos y finos, el tallo de la albahaca (*Ocimum basilicum*) es anguloso y ramificado, las ramas son de forma triangular, redonda o de forma irregular y poseen vellosidades, sus hojas miden entre 3 a 11 cm de longitud y de 1 a 6 cm de ancho, acuerdo a la especie. Sus hojas son opuestas y pecioladas, de color verde intenso y portadoras de tricomas y glándulas en donde se encuentran los aceites esenciales, sus flores son de color blanco o rosa, dioica, es decir que, las flores masculinas y las flores femeninas se encuentran en diferentes pies o en individuos sus semillas son de color café oscuro o negro y son oleosas (Larrinaga, 2014; Ozcan M, 2015; Pérez, 2018; Roselló, 2018).

### **Descripción Taxonómica**

#### **Tabla3**

*Clasificación Taxonómica de la albahaca (Ocimum basilicum).*

Reino:	<b><i>Plantae</i></b>
Subreino:	<i>Traqueobionta (plantas vasculares)</i>
Superdivisión:	<i>Spermatophyta (plantas con semillas)</i>
División:	<i>Magnoliophyta (plantas con flor)</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida (dicotiledóneas)</i>
Subclase:	<i>Asteridae</i>
Orden:	<i>Lamiales.</i>

Reino:	<b><i>Plantae</i></b>
Familia:	<i>Lamiaceae</i>
Subfamilia:	<i>Nepetioideae</i>
Género:	<i>Ocimum</i>

Nota: Tomado de (Sam, 2002)

### ***Variedades de albahaca (Ocimum basilicum)***

Existen más de 160 especies del género *Ocimum* y numerosas razas y variedades de *Ocimum basilicum* L. muy diferentes entre ellas, tanto desde el punto de vista químico como morfológico (Fernandez, 1995). Algunos ejemplos son:

- *Ocium basilicum* var.cinnamon. (Petrocchi, 2018)
- *Ocium basilicum* var.dark opal
- *Ocium basilicum* var. Minimun.
- *Ocium basilicum* var. Purple ruffles.
- *Ocium basilicum* var. Crispum. (Petrocchi, 2018)
- *Ocium basilicum* var. Anise.
- *Ocium basilicum* var. Citriodora (Albahaca limón). (Fernandez, 1995)

### **Albahaca variedad Crispum**

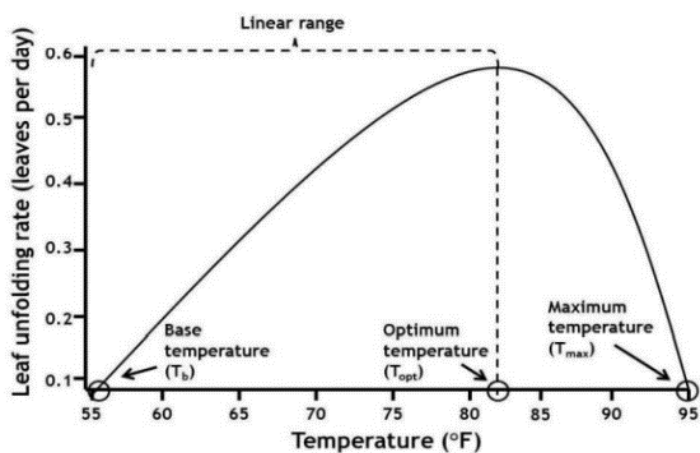
Conocida también como albahaca verde (Longoni, 2019). Esta variedad tiene hojas anchas de superficie arrugada y perfume intenso (Hernández, 2019).

### ***Condiciones agroclimáticas***

La albahaca (*Ocimum basilicum*) para que se produzca adecuadamente necesita de una temperatura, radiación solar, nutrientes y agua ideales, estos factores regulan todos los procesos metabólicos de la planta, siendo la temperatura y luz los dos factores más importantes (Currey, 2016). Se desarrolla en una temperatura entre los 18 a 27 °C, siendo su temperatura óptima de 26°C en climas húmedos y 25°C (Currey, 2016). La albahaca es muy sensible a temperaturas menores a 10°C (Moncayo Lujan, 2015). Las temperaturas extremadamente bajas o altas pueden causar daño, reduciendo rendimientos, produciendo alargamiento de los brotes y entrenudos (Currey, 2016)

### Figura1

Rango de Temperatura Óptima (F°) para cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*)



Nota: La temperatura óptima para el cultivo de tilapia (*oreochromis sp.*), es de 80- 85 (F°) o 26 (C°) (Currey, 2016)

El nivel de luz es otro factor que contribuye a la atenuación del crecimiento de la albahaca (*Ocimum basilicum*) (Moncayo Lujan, 2015). La temperatura influye principalmente en la tasa de desarrollo, mientras que la luz principalmente influye en el crecimiento, un aumento irreversible de peso o masa (Currey, 2016).

La luz impulsa la fotosíntesis, que produce carbohidratos que tienen una variedad de destinos, desde convertirse en paredes celulares hasta almidón almacenado. A medida que aumenta la intensidad de la luz, se forman más carbohidratos. Por otro lado la humedad La albahaca (*Ocimum basilicum*) tolera una humedad relativa entre el 60% al 70% y no resiste las heladas ni las sequías extremas (Vázquez, 2015). El pH óptimo de albahaca (*Ocimum basilicum*) va desde 5.5 a 6.5 esto nos da un rango para poder manejar el cultivo de mejor manera (Larrinaga, 2014).

### **Siembra**

La siembra de la albahaca (*Ocimum basilicum*) se da por semillas y esquejes en semilleros, almácigos o macetas en un invernadero ya que en esta etapa requiere de una mayor exposición a luz solar y es muy sensible a heladas, aunque en zonas muy cálidas no es necesario este manejo (Sam, 2002). De esta manera podemos controlar mejor la germinación y realizar el trasplante cuando la plántula tenga al menos 10 cm de altura (Vázquez, 2015).

### **Cosecha y Rendimientos esperados**

De la albahaca (*Ocimum basilicum*) se aprovecha sus hojas que son vendidas de forma fresca o seca. Para el primer caso, la cosecha se la realiza cuando la planta posee los primeros 4 grupos de hojas verdaderas (Andrade, 2012)

La altura de corte recomendada es de 12 cm sobre la superficie del suelo por cada corte respectivamente, debe dejarse ramas con yemas para asegurar un buen rebrote (Vega, 2004)).

Su cosecha se la realizará entre las 12 a 16 semanas y el peso promedio fresco por planta de albahaca a la cosecha difiere entre sus variedades, sin embargo, este varía entre 137,5 gramos en variedades pequeñas, 187,5 gramos en variedades medianas y 360 en variedades grandes (Andrade, 2012).

La albahaca (*Ocimum basilicum*) produce un rendimiento promedio de masa verde de 20 t/ha año en dos cortes (12t/ha y 8t/ha respectivamente), 1.8- 4 ton/ha en peso seco (Fernandez, 1995) (Vega, 2004).

### **Plagas y enfermedades**

El cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) se puede ver afectado por diferentes insectos plaga, estos se presentan dependiendo de la época que se haya realizado la siembra y también del medio ambiente. Los más frecuentes son: Trips (*Franquiniella occidentalis*) y mosquita blanca (*Bemisia tabaco*) (Muñoz, 1996).

Los principales agentes causales de enfermedades fungosas en las hojas y afectaciones vasculares en las plantas son: Cenicilla; Fusarium; Alternaria; Mildiu, Mancha de la hoja y Damping off (Forero, 2010) .

### **Requerimientos nutricionales de la albahaca (*Ocimum basilicum*)**

La albahaca (*Ocimum basilicum*) es una planta herbácea que necesita aporte de nitrógeno en mayor cantidad, pero también el aporte de otros macronutrientes y micronutrientes. La fertilización debe tener una relación de NPK de 1-1-1. Para suplir los requerimientos nutricionales de la planta se recomienda una aplicación de 250 - 500 kg/ ha de nitrógeno (Makri, 2008; Yépez, 2016).

También existen formulaciones para hidropónico y campo las cuales incluyen diferentes tipos de macro y micro elementos para la evolución (Valenzuela, 2008)

**Tabla4***Requerimientos nutricionales de la albahaca (Ocimum basilicum)*

Nutrientes	Total g/planta	Total (Kg/ha)
		en campo
<b>N</b>	0.63	50.4
<b>P</b>	0.82	65.6
<b>K</b>	2.47	197.6
<b>Ca</b>	0.26	20.8
<b>Mg</b>	1.76	140.8
<b>S</b>	3.39	271.2
<b>Cu</b>	0.0002	0.01
<b>Fe</b>	0.0001	0.01
<b>Mn</b>	0.0009	0.01
<b>Zn</b>	0.0009	0.07
<b>B</b>	0.0002	0.02
<b>Mo</b>	0.00001	0.001

Nota: Tomado de (Valenzuela, 2008).

#### **Cultivo de Tilapia (*Oreochromis sp.*),**

##### **Origen**

La tilapia roja (*Oreochromis sp.*) fue introducida en el Ecuador alrededor del año 1993, ya que tuvo un desarrollo acelerado a nivel de Sudamérica a partir de la década de los años 80 incrementando tecnología para su desarrollo (Castro, 2008) .

El origen de la tilapia (*Oreochromis* sp.), es a partir de un híbrido de líneas mejoradas *O. aureus*, *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. urolepis homorum* ya que sus comportamientos alimenticios y reproductivos son similares (Toledo, 2000)

Las características más importantes de este ejemplar es el alto porcentaje de masa muscular, ausencia de espinas intramusculares, buena coloración y color de la carne, rápido crecimiento, adaptabilidad al ambiente y resistencia a las enfermedades hacen que este híbrido sea muy cotizado para su explotación (Barraza, 2019)

### **Condiciones Agroclimáticas**

La tilapia (*Oreochromis* sp.) se adapta a temperaturas entre 14 y 36 grados centígrados siendo su límite de tolerancia los 42 °C Sin embargo su temperatura óptima está entre 23 a 30 °C; El rango de tolerancia de la tilapia en cuanto a altitud es desde 850 a 2,000 m.s.n.m (Saavedra, 2006; Gomez, 2015).

En cuanto a la calidad de agua, la tilapia (*Oreochromis* sp.) se adapta a aguas con una concentración de nitrógeno amoniacal total inferior al 1mg.L<sup>-1</sup> y nitritos menor a 1 mg.L<sup>-1</sup> (Gomez, 2015) (Saavedra, 2006); El cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp.) tiene una alta tolerancia a la turbidez, los peces se deben mantener a 30 centímetros de visibilidad (lectura del Disco Secchi); (Saavedra, 2006). Los valores óptimos de pH son entre 7 y 8. La tilapia (*Oreochromis* sp.) crece mejor en aguas de pH neutro o levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un pH de 5; un alto valor de pH (de 10 durante las tardes) no las afecta y el límite, aparentemente, es de 11. Con valores de 6.5 a 9 se tienen condiciones para el cultivo (Saavedra, 2006).

Estos peces pueden tolerar diferentes salinidades, pero son sensibles a los cambios bruscos de la misma. El agua de mar contiene 34 ppt (partes por mil) de salinidad, el agua dulce

tiene muy poco o nada, normalmente menor o igual a 1 ppt. La *O. niloticus* puede vivir, crecer y reproducirse a una salinidad de 24 ppt. El cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp.) soporta bajas concentraciones, aproximadamente 1 mg/l, e incluso en períodos cortos valores menores. (Palma, 2017). A menor concentración de oxígeno el consumo de alimento se reduce, por consiguiente, el crecimiento de los peces. Lo más conveniente son valores mayores de 2 ó 3 mg/l, particularmente en ausencia de luz (Saavedra, 2006). Para que su funcionalidad sea óptima, el oxígeno disuelto debe ser mayor a 4 mg.L<sup>-1</sup> (Gomez, 2015; Saavedra, 2006).

#### Tabla5

*Parámetros de adaptabilidad del cultivo de Tilapia (Oreochromis sp.).*

<b>Parámetros</b>	<b>Rangos</b>
<b>TEMPERATURA</b>	25-32 °C
<b>Oxígeno Disuelto</b>	5.0 -9.0 mg/l
<b>pH</b>	6.0-9.0
<b>Alcalinidad Total</b>	50 – 150 mg/l
<b>Dureza Total</b>	80 -110 mg/l
<b>Calcio</b>	60- 120 mg/l
<b>Nitritos</b>	0,1 mg/l
<b>Nitratos</b>	1.5 – 2.0 mg/l
<b>Amonio Total</b>	0.1 mg/l
<b>Hierro</b>	0.05-0.2 mg/l
<b>Fosfatos</b>	0.15- 0.2 mg/l
<b>Dióxido de Carbono</b>	5.0- 10 mg/l
<b>Sulfuro de Hidrógeno</b>	0.01 mg/l

Nota: Tomado de (Saavedra, 2006).



### ***Beneficio del Cultivo de Tilapia (Oreochromis sp.)***

La Tilapia roja sp. ocupa el 1,9% de la producción total de peces de aleta en el mundo con 1030 miles de toneladas en el 2018 (FAO., 2020).

El cultivo de tilapia se realiza en climas cálidos tanto en la costa, sierra y Oriente del Ecuador, mayormente en las provincias del Guayas, Los Ríos, Santo Domingo, Sucumbíos, Napo, Pastaza, Zamora Chinchipe, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Loja y Azuay (Pesca., 2021)

La tilapia (*Oreochromis sp.*) tiene un periodo de crecimiento rápido, este es de entre 6 a 9 meses, alcanzando pesos de 1 a 1,5 libras, esto dependerá del clima y del tipo de cultivo. (Triana, 2013) Mientras menos tiempo llegue al tamaño ideal de venta, menores serán los gastos (Saavedra, 2006)

La tilapia (*Oreochromis sp.*) posee una alta viabilidad, alta tasa de desove y de fertilidad sin embargo al momento de la reproducción se debe tener precaución ya que se reproduce antes de la talla de comercialización y es importante engordar solo los machos o separar los sexos en el momento exacto (Saavedra, 2006)

La tilapia (*Oreochromis sp.*) es más resistente a factores físicos y/o químicos a comparación de otras especies como la trucha. Esta especie es más fuerte al manipuleo, a la fertilización, al escalamiento, y a la variación del pH, oxígeno disuelto, visibilidad, amoníaco y temperatura (Saavedra, 2006).

La tilapia (*Oreochromis sp.*) puede adaptarse tanto a sistema intensivos como súper intensivos, aumentando el volumen de producción hasta de 3000 alevines por metro cúbico en pilas y hasta 5000 alevines en jaulas, con una densidad de 30 a 100 peces por metro cúbico en sistemas superintensivos, disminuyendo los costos y aumentando las ganancias (Saavedra, 2006). (Quintanilla, 2008)

La nutrición de la tilapia está basada en diferentes etapas que son alevinaje, crecimiento, engorde y reproducción las cuales son muy específicas con el contenido nutricional de cada dieta (Gaviria, 2020). La proteína, es el componente más costoso y más importante en la dieta del animal. Los alevines requieren alrededor del 35-45% proteína dietética para un rendimiento de crecimiento máximo, los juveniles de tilapia o en crecimiento, el requerimiento de proteína varía de 30 a 40%, mientras que la tilapia adulta en engorde requiere 20-30% de proteína dietética (El Sayed & Fattah, 2006) (ver tabla 6).

**Tabla6**

*Requerimientos nutricionales para la producción de tilapia (Oreochromis sp.)*

<b>Peso (g)</b>	<b>0.01 - 25</b>	<b>25 - 50</b>	<b>50 -400</b>	<b>&gt; 400</b>
<b>Energía (Kcal/ kg)</b>	4000	3000	2900	2900
<b>Proteína bruta %</b>	40-45	30-35	28	25
<b>Aminoácidos %</b>				
<b>Lisina</b>	2.05	1.64	1.43	1.28
<b>Metionina + Cistina</b>	1.07	0.86	0.75	0.67
<b>Treonina</b>	1.50	1.20	1.05	0.94
<b>Triptófano</b>	0.40	0.32	0.28	0.25
<b>Arginina</b>	1.68	1.34	1.18	1.05
<b>Histidina</b>	0.70	0.55	0.48	0.43
<b>Isoleucina</b>	1.24	1	0.87	0.78
<b>Leucina</b>	1.36	1.08	0.95	0.85
<b>Fenilalanina + Tirosina</b>	2.22	1.77	1.55	1.39
<b>Valina</b>	1.12	0.56	0.78	0.70

Nota: Tomado de (Gaviria, 2020).

**Tabla7**

*Requerimientos nutricionales de vitaminas y minerales para la producción de tilapia roja (Oreochromis sp.)*

<b>Vitaminas esenciales</b>	<b>Requerimiento dietario</b>	<b>Minerales esenciales</b>	<b>Requerimiento dietario</b>
<b>A</b>	20 – 50 mg.kg <sup>-1</sup>	<b>Ca</b>	0.3 – 0.7 %
<b>B1</b>	2 – 60 mg.kg <sup>-1</sup>	<b>P</b>	0.5 – 1.0 %
<b>B2</b>	5 – 60 mg.kg <sup>-1</sup>	<b>I</b>	0.6-1.1mg.kg <sup>-1</sup>
<b>B6</b>	2 – 20 mg.kg <sup>-1</sup>	<b>Mg</b>	0.5 – 0.8 g.kg <sup>-1</sup>
<b>C</b>	50 – 1.250 mg.kg <sup>-1</sup>	<b>Zn</b>	20– 30mg.kg <sup>-1</sup>
<b>D</b>	37.5 mg.kg <sup>-1</sup>	<b>Fe</b>	< 17.05 mg.L <sup>-1</sup>
<b>E</b>	50 – 100 mg.kg <sup>-1</sup>	<b>Cu</b>	< 1.27 mg.L <sup>-1</sup>
		<b>Cr</b>	2 mg.kg <sup>-1</sup>

Nota: Tomado de (Bhujel, 2002).

### **Sistema Acuapónico**

El sistema acuapónico se basa principalmente en la interacción de plantas y peces ya que es la unión de dos sistemas como la acuicultura y la hidroponía, ya que puede brindar muchos beneficios uno de ellos es tener un beneficio económico con dos producciones a la par (Toledo, 2000)El sistema acuapónico se basa principalmente en el aprovechamiento máximo de los nutrientes y se transforma en un sistema cerrado ya que la recirculación del agua es del cien por ciento lo cual beneficia al recurso hídrico y al medio ambiente (Campos, 2013). Para un correcto balance de masas para que funcione el sistema acuapónico entre los organismos

implicados se debe tener un equilibrio entre peces, plantas y bacterias nitrificantes (Riaño, 2019).

**Tabla8**

*Parámetros de calidad de agua más importantes en el sistema acuapónico*

Tipo de organismo	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)
<b>Peces</b>	22 - 32	6 - 8.5	< 3	< 1	< 400	4 – 6
<b>Plantas</b>	16 - 30	5.5 - 7.5	< 3	< 1	-	> 3
<b>Bacterias</b>	14 - 34	6 - 8.5	< 3	< 1	-	6 – 8

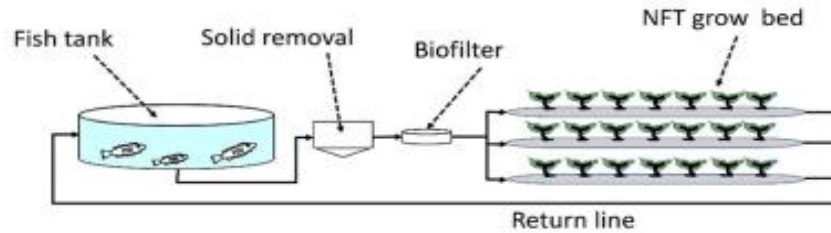
Nota: Tomado de (FAO., 2020).

### ***Sistema NFT***

Uno de los sistemas utilizados en acuaponía es la Nutrient Film Technique (NFT) ya que este sistema ayuda a una correcta circulación del agua proporcionando una mayor cantidad de oxígeno lo cual beneficia una mayor absorción de nutrientes por la planta incrementando la densidad por metro cuadrado (Castillo, 2016)

**Figura2**

*Esquematización del sistema NFT*



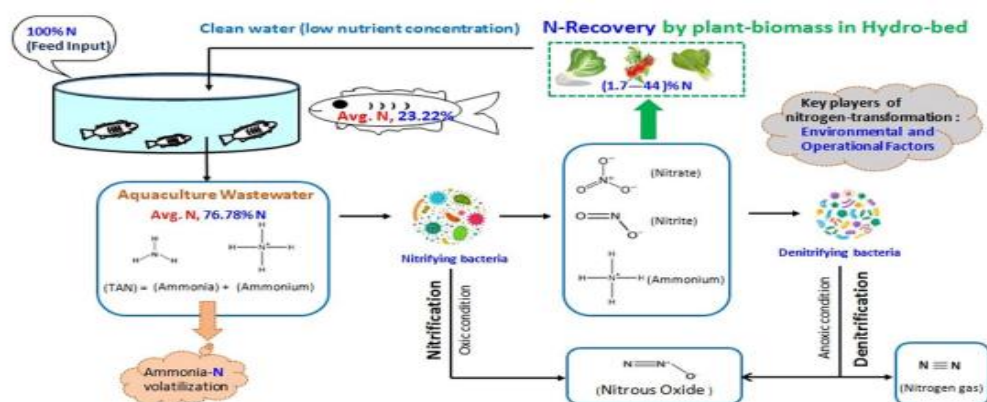
Nota: Tomado de (Adhikari, 2020)

### ***Sistema de nitrificación.***

Los sistemas de nitrificación consisten en mantener altas cantidades de flóculos en suspensión, que están compuestos por poblaciones microbianas que necesitan una continua recirculación de agua con alto contenido de materia orgánica y oxígeno (Hernández, 2019). En esta transformación interactúan los microorganismos presentes en el medio acuático como son las bacterias heterótrofas y autótrofas (Contreras, 2020). La nitrificación se centra en el manejo eficaz de los efluentes para la remoción y asimilación de nutrientes en el agua a través de las bacterias, que ayudan a la producción de metabolitos microbianos y esto incrementa los nutrientes asimilables para las plantas y disminuyen las cantidades de elementos contaminantes (Manan, 2017).

Figura3

Esquematización del sistema Bioflog



Nota: Tomado de (Adhikari, 2020).

### **Bacterias autótrofas y heterótrofas**

Las bacterias autótrofas y heterótrofas poseen un sinergismo el cual beneficia al sistema de nitrificación ya que básicamente se adaptan a las condiciones del efluente (Guerrero, 2007).

La nitrificación es la oxidación del amonio a nitrito y de nitrito a nitrato, sucediendo primero la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitrito por la interacción de bacterias autótrofas amonio-oxidantes y posteriormente la oxidación del nitrito a nitrato, por ayuda del metabolismo de bacterias nitrito-oxidantes (Cámpora, 2017)

Las bacterias heterótrofas como *Bacillus subtilis* en los sistemas acuáticos tienen una relevancia alta ya que se encargan del reciclaje de nitrógeno y carbono que se encuentran presentes en la materia orgánica, lo que beneficia a una mejor calidad de agua y control de enfermedades (Miranda, 2015). El proceso de desnitrificación ocurre, cuando el nitrito y el nitrato se reducen a condiciones anaeróbicas, y pasa a nitrógeno gaseoso (García, 2005). Si la

desnitrificación es heterótrofa es de origen orgánico y autótrofa cuando proviene de un compuesto reducido de azufre (Henaó, 2014).

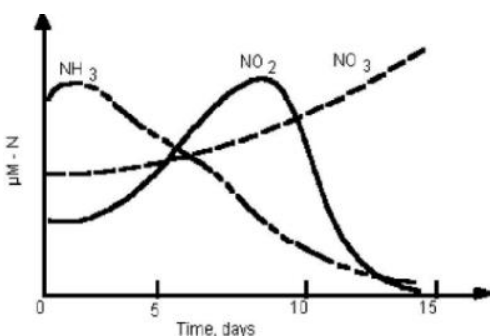
Las bacterias heterótrofas tienen un rango de actividad entre 5°C y 75°C, y se puede estimar la influencia de la temperatura con la ecuación de Arrhenius (Lillo Campora , 2017).

$$S(T) = S_{20^{\circ}\text{C}} * \theta^{T-20}$$

El proceso de nitrificación se produce cuando el amonio gracias a las bacterias autótrofas del genero nitrosomas y en presencia del oxígeno se transforma en nitritos y a partir del nitrito se forman los nitratos por medio de las bacterias autótrofas del genero Nitrobacter. Este proceso conlleva que disminuya el amonio e través del tiempo (Figura 4). El proceso de maduración del proceso de nitrificación dura aproximadamente 2 meses en climas templados, sin embargo, en climas cálidos este proceso se acelera abruptamente durando de 7 a 10 días (Candarle, s.f.).

#### Figura4

*Valoración de niveles de amonio, nitrito y nitrato en respuesta a la oxidación bacteriana en el tiempo*



Nota: Tomado de (Shilo, 1982).

### Cultivo de *Chorella* sp. Biotipo I

Las *Chlorella* sp. Biotipo I está dispersa en todos los hábitat desde marinos hasta terrestres, se han encontrado en casi todos los parques nacionales del Ecuador, es un alga verde que posee células unicelulares de forma esférica y se encuentran de forma solitaria o forman colonias de hasta 64 células (Guamán, 2016) . La *Chlorella* sp. Biotipo 1 tiene propiedades que le garantiza una buena aceptación ya que contiene una rica fuente de proteínas (60-75%), grasas (10-20%), incluidos los ácidos grasos poliinsaturados omega-3), vitaminas y minerales (mínimo 15%), antioxidantes (mínimo 1%), fibra (mínimo 5%) y también contiene 19 de los 22 aminoácidos esenciales para el correcto funcionamiento del organismo (Jehlík, 2019).

También posee cualidades que le ayudan a reproducirse mediante autosporas a través de la ruptura de la pared celular de la célula madre, lo cual sirve también como fuente para formar colonias de las células hijas obteniendo recubrimientos mucilaginosos (Guamán, 2016). Estas condiciones de reproducción deben tener un pH adecuado y este oscila entre 7 a 9 para que los procesos de división celular y metabolitos no se interrumpan (Sorgeloos, 1996).

Sus componentes nutricionales como los micro nutrientes y macro la *Chlorella* sp. tienen índices viables para ser un fertilizante foliar (Gonzalo, 2020) .

#### Tabla9

*Características químicas y físicas de Chorella sp.*

Parámetro	Promedio
<b>Conductividad eléctrica</b> (dS m <sup>-1</sup> )	3.12
<b>Macronutrientes</b>	g * 100 ml (%)
<b>pH</b>	6.32



<b>Parámetro</b>	<b>Promedio</b>
<b>N total</b>	0.1
<b>P</b>	0.45
<b>K</b>	0.93
<b>Ca</b>	0.49
<b>Mg</b>	0.27
<b>S</b>	0.03
<b><i>Micronutrientes</i></b>	<b>mg.L<sup>-1</sup> (ppm)</b>
<b>B</b>	3.4
<b>Zn</b>	39.66
<b>Cu</b>	74.11
<b>Fe</b>	195.57
<b>Mn</b>	125.73

Nota: Tomado de (Auz, 2019).

**Tabla10**

*Características Nutricionales de Chlorella sp. Biotipo 1*

<b>Nutrientes</b>	<b><i>Chlorella B1</i></b>	<b>Unidad</b>
<b>Nitrógeno</b>	8,3	%
<b>Fósforo</b>	0,5	%
<b>Magnesio</b>	0,4	%
<b>Calcio</b>	0,2	%
<b>Manganeso</b>	0,2	%
<b>Hierro</b>	62,4	mg/kg

<b>Nutrientes</b>	<b><i>Chlorella B1</i></b>	<b>Unidad</b>
<b>Cobre</b>	24,5	mg/kg
<b>Zinc</b>	23,8	mg/kg
<b>Proteína</b>	51,9	%

Nota: Tomado de: (Heredia, 2020).

### ***Efecto de Auxinas en Chlorella sp.***

Las auxinas en las microalgas son el AIA (ácido indol 3 - acético) que se sintetiza en los cloroplastos y moléculas como la glucosa y él IBA (ácido indol butanólico) que, en bajas concentraciones, actúan positivamente en el crecimiento celular y en el metabolismo de la *Chlorella Sp*, estimulando el contenido de lípidos, el aumento de clorofila y proteínas solubles en las microalgas (Auz E. D., 2019)

## Capítulo III

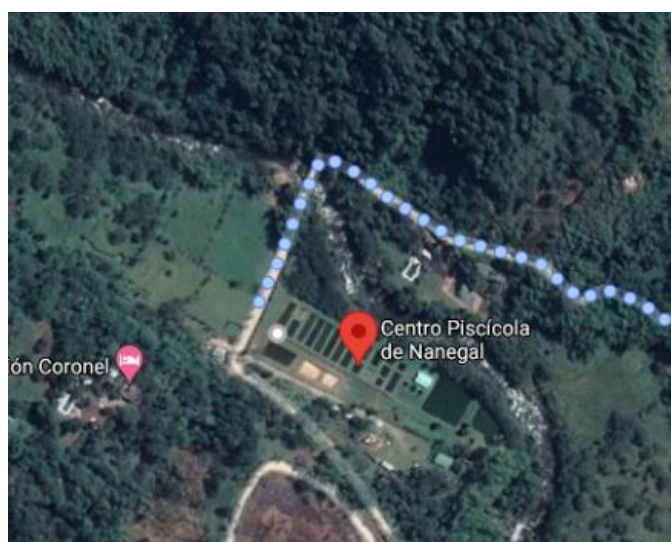
### Materiales y métodos de investigación

#### Ubicación y características del área de estudio

El Centro Piscícola Nanegal, se ubica en la subregión territorial del noroccidente de la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia Nanegal, vía Nanegalito- Nanegal, desvío a Marianitas. El proyecto piscícola cuenta con una extensión de 1,5 ha. y pertenece al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha. El Centro Piscícola Nanegal se encuentra a una altitud de 1199 msnm. Sus coordenadas UTM 17N 759 883, 0014722. Nanegal limita al norte con la Provincia de Imbabura, al sur con la Parroquia Nono, al este con las parroquias de San José de Minas y Calacalí y al oeste con las parroquias de Gualea y Nanegalito (figura 5).

#### Figura5

*Ubicación geográfica del Centro Piscícola de Nanegal*



Nota: Tomado de (Maps., 2021)

## **Materiales**

### ***Biológico:***

- Tilapias: 1600 ejemplares de 100 a 120 gramos pertenecientes al Centro Piscícola de Nanegal
- Plántulas de albahaca: 416 plántulas de 3 cm de altura variedad Crispum. Obtenidas en la ciudad de Machachi.
- Microalgas: 250 ml de *Chlorella sp.* Biotipo 1 obtenidos del laboratorio de Recursos Acuáticos del IASA I
- Bacterias Nitrificantes: 250 gramos de *bacillus subtilis* obtenidas en el laboratorio de Acuicultura.

### ***Físicos***

- Estanque: Un estanque circular con capacidad de 28 m<sup>3</sup>
- Aireadores: Un aireador principal para la piscina de tilapias y dos motores de acuario con piedra difusora para la multiplicación de la *Chlorella sp.*
- Vasos plástico y esponja: 420 vasos plásticos de 500 ml
- Esponja: 2 planchas
- Lámpara: Una lámpara para la multiplicación de *Chlorella sp*
- Pecera: Una pecera para el desarrollo de *Chlorella sp* en el laboratorio
- Atomizadores: Dos atomizadores 750 ml
- Píolas: Para la identificación de las plantas

### ***Equipos***

- Multiparamétrico
- Estufa

- Espectrofotómetro YSI 9000
- Cámara de Neubauer
- Balanza
- Microscopio
- Ictiometro

### **Químico**

- Nitrofoska
- Kits de análisis de nitrito, nitratos, amonio y fosfatos

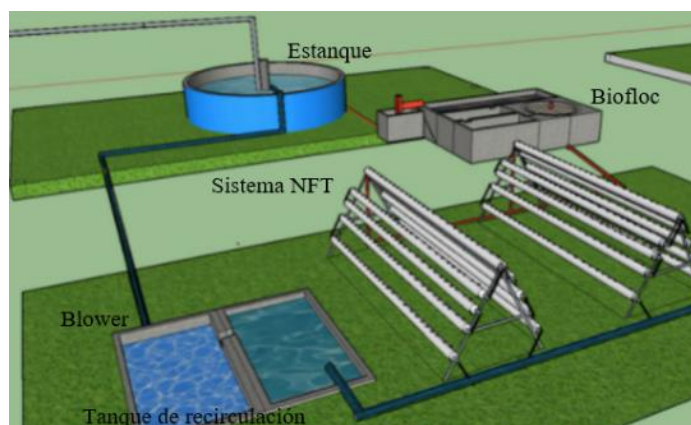
### **Métodos**

#### **Instalación del ensayo**

La implementación del proyecto se basó en 4 partes, las cuales conformaron: el estanque, de los peces que tuvo una capacidad de 28 m<sup>3</sup> con tilapias de engorde de 100g ± 20g con una densidad 1700 peces; el sistema de nitrificación, con una estructura de tres tanques sedimentadores uno de 2 m<sup>3</sup>, dos de 1 m<sup>3</sup> y un tanque circular de 2.5 m<sup>3</sup> donde sucedió los procesos de nitrificación de las bacterias autótrofas y heterótrofas; el sistema NFT que constó de 2 estructuras con 8 tubos cada una, cada tubo con 4 pulgadas de diámetro que incluyó 26 orificios a una distancia de 15 cm, conectados por mangueras de  $\frac{3}{4}$  de pulgada para su correcta circulación, con una capacidad total aproximada de 0,38 m<sup>3</sup> de agua tratada; finalmente, se dispuso del sistema de recirculación que contó con una capacidad de 2 m<sup>3</sup> que estaba conectado a una bomba que se encargó del proceso de circulación del agua tratada (figura 6).

**Figura6**

Esquema del proyecto acuapónico contiene el estanque, Biofloc, sistema NFT tanque de recirculación y Blower.



Nota: Esquema realizado en el programa Sketchup.

### **Maduración del sistema de nitrificación**

Para el proceso de maduración se activó las bacterias nitrificantes, se tuvieron en cuenta la temperatura para un correcto desarrollo de las bacterias autótrofas y heterótrofas, para esto se inoculó 10 g de *Bacillus subtilis*, el cual se diluyó en un litro de agua del sistema a temperatura ambiente. Este proceso se verificó con el análisis de nitritos, nitratos y amonio, hasta que las bacterias se estabilizaran y formen  $\text{NO}_3$  y la solución pueda ser transferida al sistema NFT para la absorción de las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*).

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

Se utilizó tilapias rojas (*Oreochromis sp.*) que pertenecen al proyecto Centro Piscícola de Nanegal, las cuales fueron colocadas en un estanque que previamente se desinfectó con Nitrodesinfect (Amonio cuaternario 20%) y se tomó peces de un peso aproximadamente de 100  $\pm$  20 g en una fase de engorde con un suministro de proteína de 30 a 34 %. Se ejecutó un

programa de alimentación semanal, la cual se calculó multiplicando el peso promedio por la cantidad de peces del estanque.

### ***Manejo del cultivo de Albahaca (Ocimum basilicum)***

Para la implementación del ensayo se utilizaron plántulas de albahaca (*Ocimum basilicum*) de aproximadamente de 15 días, con una altura de 3 cm, las mismas que tuvieron un periodo de adaptación de un día en el lugar donde se realizó la investigación; se seleccionaron las mejores plántulas y se colocaron en vasos desechables de 5 onzas con esponja que mantuvieron las plantas fijas; también se utilizó un tratamiento natural en sus hojas (macerado de jengibre, ají y ajo) y se aplicó con un atomizador para evitar plagas y enfermedades al cultivo.

### **Cultivo de *Chlorella* sp. Biotipo 1**

El cultivo de *Chlorella* sp. Biotipo 1 (Ch1) se obtuvo del laboratorio de Acuicultura de la Carrera Agropecuaria IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se consiguió una muestra purificada de 250 ml del cultivo y se masificó en el laboratorio de Centro Piscícola de Nanegal. Se utilizó una solución nutritiva (SN) compuesta de 1 g.L<sup>-1</sup> fertilizante foliar inorgánico Nitrofoska (30 – 10 – 10), se colocó los 250 ml de *Chlorella* sp. en un recipiente de vidrio de un litro a una relación de (3:1 – SN : Ch1) con la solución nutritiva, se incrementó el volumen constantemente y se esperó aproximadamente 5 días para su multiplicación hasta que alcance la densidad de  $17 \times 10^6$  células.mL<sup>-1</sup> en un volumen 81 L. En el cultivo se utilizó un motor de acuario para la aireación y luz en ciclos de 14 horas con temperaturas desde 15 °C hasta 28 °C (figura 7).

**Figura7**

*Multiplicación de Chlorella sp biotipo 1 en el laboratorio del centro piscícola Nanegal*



La densidad celular se calculó con la siguiente fórmula:

$$DCI = N * 10^4 * F$$

Donde:

- DCI= Densidad celular de inóculo en células por mL
- N= Promedio celular de acuerdo al número de cuadrantes considerados en la cámara de Neubauer.
- $10^4$  = Factor de conversión de 0.1  $\mu$ L a 1 mL
- FD= Factor de dilución.
- Esta densidad se realizó cada vez que se añadió la solución nutritiva.

***Manejo del bio fertilizante de Chlorella sp. Biotipo 1***

Cuando el cultivo de *Chlorella* sp. Biotipo 1 alcanzó una densidad celular de  $17 \times 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>, se retiró la iluminación y la aireación, después se colocó el cultivo en un cuarto oscuro durante tres días hasta que precipite. Una vez que transcurra ese proceso se eliminó el sobrenadante del cultivo y se procedió a romper la pared celular a través de la agitación y



posteriormente se trituró las algas para su uso. Con el producto algal obtenido se prepararon varias soluciones a diferentes concentraciones para su uso.

### **Diseño experimental**

En el proyecto se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), en el cual se colocaron plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*) en un sistema acuapónico las cuales tendrán las mismas condiciones, los factores que se consideraron fueron las concentraciones de *Chlorella* sp. en tres concentraciones que son: 11; 14;  $17 \times 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup> y un control. Con eso se obtendrán 4 tratamientos con cuatro repeticiones cada una, dando un total de 16 unidades experimentales y un testigo con sus cuatro repeticiones, El modelo matemático que se seguirá es el siguiente:

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

Donde:

$Y_{ij}$  = Productividad de albahaca

$\mu$  = Media general

$F$  = Efecto de la i-ésima fertilización foliar

$e_{ij}$  = error experimental

### **Unidades Experimentales**

Las unidades experimentales fueron 16 y cada unidad constó de 26 plantas de albahaca

**Factores a probar**

El diseño de este ensayo fue unifactorial y consistió en evaluar las diferentes dosis de *Chlorella sp.* Biotipo I que fue utilizado como fertilizante foliar (Factor: concentración de *Chlorella sp.* Biotipo I)

**Tratamientos a probar**

Se evaluó la productividad de albahaca bajo tres concentraciones de *Chlorella so.* Biotipo I

T0: control

T1: *Chlorella sp.* Biotipo I de  $11 \cdot 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>

T2: *Chlorella sp.* Biotipo I de  $14 \cdot 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>

T3: *Chlorella sp.* Biotipo I de  $17 \cdot 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>

**Análisis estadístico**

Las variables de estudio se determinaron mediante estadística descriptiva (media y desviación estándar), se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Para evaluar el efecto del bio fertilizante en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum*) se realizó un análisis de varianza (ANAVA), posteriormente se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey para peso específico hoja, composición nutrimental de follaje, número de hoja, altura de planta y clorofila para ver la diferencia entre tratamientos, adicionalmente se utilizó un análisis de regresión para la obtención de la dosis óptima de *Chlorella sp.* Las pruebas estadísticas se trabajaron con un nivel de significancia del 5% en el software estadístico INFOSTAT®.

## VARIABLES A MEDIR

### *Sistema Acuapónico*

- Con el multiparamétrico, se midieron parámetros de temperatura, pH, oxígeno disponible, sólidos disueltos y conductividad eléctrica cada tres horas durante 15 días, después se tomaron mediciones cuatro veces al día (6:00 am, 10 am, 14:00 pm y 18:00 pm) hasta finalizar el proyecto.
- Se analizaron nitratos, carbonatos, nitrógeno total amoniacal y fosfatos cada 7 días (figura 8).

### **Figura 8**

*Análisis de calidad de agua de los componentes del sistema acuapónico.*



Nota: Análisis tomados en el laboratorio de Recursos Acuáticos

## **Plantas**

### **Agronómicos**

- **Altura de la planta:** Se tomó la altura desde la base del tallo hasta el ápice de la planta cada semana

- **Peso específico hoja:** al final del ensayo se seleccionó plantas y se midió el área foliar mediante malla de puntos, después se secaron las hojas en una estufa a 100 °C por 24 horas.

$$PEH = \frac{\text{Peso seco (g)}}{\text{Area foliar (cm}^2\text{)}}$$

- **Número de hojas:** Se contabilizó cada semana el número de hojas (figura 9).

**Figura9**

*Evaluación de los parámetros agronómicos de las plantas de albahaca.*



Nota: Análisis realizados en el laboratorio de química del IASA I

### **Bromatológicos**

- **Proteína:** se midió mediante el método de Kjeldahl al final del experimento.

$$\%N = \frac{14 \times N \times V \times 100}{m \times 1000}$$

*Donde:*

*N = Normalidad de la solución*

*V = Gasto de titulación de HCl al 0,1 N*

$m = \text{masa de la muestra en gramos}$

- **Grasa:** se midió por el método de soxhlet al final del experimento.

$$\%G = \frac{B2 - B1}{m} \times 100$$

$B1 = \text{Peso del balón inicial}$

$B2 = \text{Peso del balón con muestra final}$

$m = \text{masa de la muestra en gramos}$

- **Fibra, humedad y ceniza:** se midieron por el método gravimétrico al final del experimento (figura 10).

$$\%F = \frac{A - B}{C} \times 100$$

$A = \text{peso papel + muestra}$

$B = \text{Peso papel}$

$C = \text{peso de la muestra}$

- **Ceniza vegetal:** se midieron por el método gravimétrico al final del experimento.

$$\%C = \frac{Pf - C}{M} \times 100$$

$Pf = \text{Peso final}$

$C = \text{Peso crisol}$

$M = \text{Peso de la muestra}$

- **Clorofila:** Se tomó el dato de las plantas de cada tratamiento mediante un medidor de clorofila al final del ensayo (figura 11).

**Figura10**

*Análisis bromatológicos de las hojas de albahaca.*



Nota: Análisis realizados en el laboratorio de química del IASA I

**Figura11**

*Análisis de clorofila de las hojas de albahaca.*



Nota: Análisis realizado en el laboratorio de química del IASA I

### ***Tilapia***

#### **Parámetros morfológicos:**

- **Peso:** Se midió mediante la balanza electrónica cada semana
- **Longitud parcial y total:** Se midió mediante un ictiómetro cada semana

- **Ancho total:** Se midió mediante un ictiómetro cada semana

**Parámetros productivos:**

- Aumento de peso diario

$$GP = \frac{PF - PI}{T}$$

**Donde:**

PF= Peso final.

PI = Peso Inicial

T= Tiempo

- Tasa de crecimiento específico (TCE)

Se determinó el crecimiento de los peces en función de la diferencia de pesos entre la toma de datos de la masa corporal:

$$TCE(\%) = \frac{(\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial}))}{tF - ti(\text{días})} * 100$$

- Factor de conversión alimenticia (FCA)

Este valor nos indicará el consumo de alimento balanceado que es necesario para la ganancia de peso vivo.

$$FCA = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado (Kg) en un periodo } t}{\text{Ganancia de peso o incremento de biomasa (Kg) en el periodo } t}$$

- Eficiencia de conversión alimenticia ECA

Esta variable se calculará con el inverso del factor de conversión alimenticia:

$$ECA = \frac{1}{FCA} * 100$$

- Índice de condición corporal (ICC)

Para conocer el estado nutricional y morfológico de los peces, se utilizará la siguiente relación volumétrica:

$$ICC = \frac{PT(g)}{LT^3(cm)} * 100$$

Donde:

PT= Peso total del animal.

$LT^3$  = Longitud total del animal al cubo.

## Figura12

*Análisis de los parámetros morfológicos de la tilapia*



## Análisis Económico

Se aplicó el método del presupuesto parcial propuesto por (Perrín, 1988) el cuál plantea obtener los beneficios netos de cada uno de los tratamientos mediante la diferencia entre el beneficio bruto, se calculó con la siguiente fórmula:



$$\textit{Beneficio Neto} = \textit{Beneficio bruto} - \textit{Costos variables}$$

Se determinó el mejor tratamiento. Se calculó la tasa de retorno marginal, para lo cual se ordenó los tratamientos de menor a mayor, es decir aquellos tratamientos que presenten costos variables altos, y beneficios netos menores, que los tratamientos con similares costos variables. Se usó la siguiente fórmula:

$$\textit{Tasa de retorno marginal} = (\Delta BNA / \Delta CV) * 100$$

En donde:

$\Delta BNA$ : cambio de los beneficios netos

$\Delta CV$ : cambio de los costos variables

## Capítulo IV

### Resultados y Discusión

#### Resultados

##### Parámetros del sistema acuapónico

En el sistema acuapónico, los parámetros fisicoquímicos del agua como temperatura, pH, Salinidad, CE, TDS (sólidos totales disueltos) y oxígeno disponible, mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los diferentes componentes del sistema acuapónico, manteniéndose todos en el rango óptimo para el crecimiento tanto de la tilapia como de la albahaca (tabla 11).

**Tabla 11**

*Media de parámetros fisicoquímicos del agua  $\pm$  DE en los diferentes componentes del sistema acuapónico.*

	Estanque tilapia	Nitrificador	NFT	Recirculación
<b>Temperatura (°C)</b>	24,07 $\pm$ 1,13 a	22,37 $\pm$ 1,38 c	24,1 $\pm$ 1,08 a	22,93 $\pm$ 1,00 b
<b>pH</b>	7,40 $\pm$ 0,28 a	7,35 $\pm$ 0,27 a	6,96 $\pm$ 0,39 b	7,11 $\pm$ 0,12 b
<b>Salinidad (PSI)</b>	0,67 $\pm$ 0,36 b	0,76 $\pm$ 0,38 a	0,17 $\pm$ 0,05 c	0,70 $\pm$ 0,36 ab
<b>CE (uS/cm)</b>	273,35 $\pm$ 74,05 ab	269,98 $\pm$ 54,42 ab	276,29 $\pm$ 58,68 a	261,70 $\pm$ 62,14 b
<b>TDS (ppm)</b>	148,17 $\pm$ 41,26 c	177,23 $\pm$ 53,38 b	141,96 $\pm$ 32,94 c	200,06 $\pm$ 68,57 a
<b>O<sub>2</sub> disponible (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	6,45 $\pm$ 0,62 c	7,84 $\pm$ 0,52 a	7,31 $\pm$ 0,32 b	7,3 $\pm$ 0,22 b

Nota: Medias con una letra común en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

##### **Temperatura**

La temperatura del agua mostró diferencias significativas en los diferentes componentes del sistema acuapónico, ( $p < 0,05$ ). El agua tanto en el sistema NFT como en el estanque de la

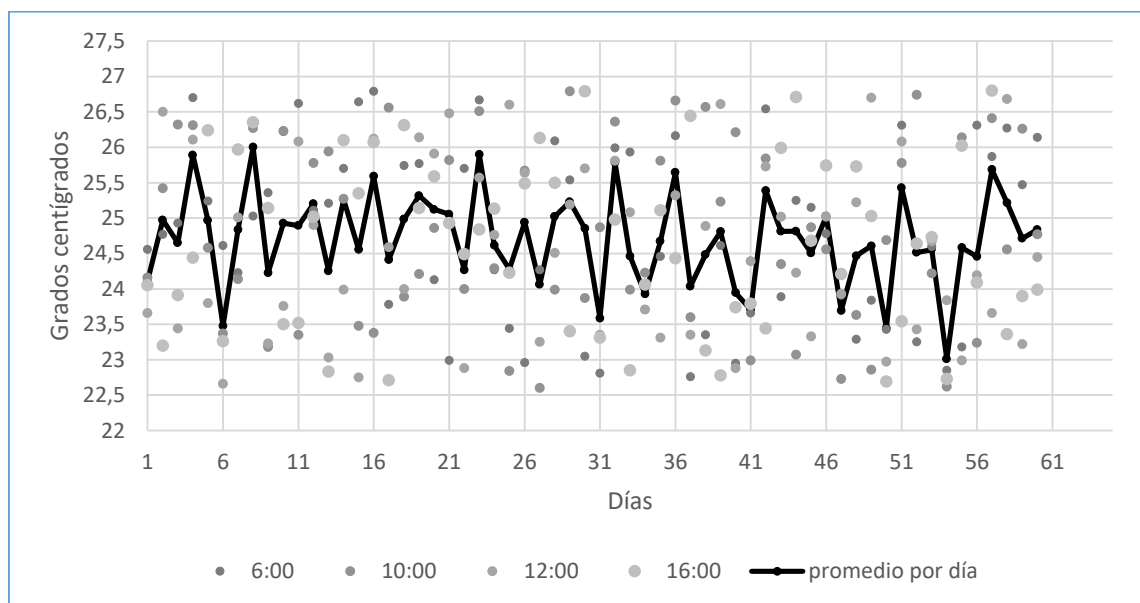
piscina de las tilapias obtuvieron las mayores temperaturas promedio ( $24,1 \pm 1,08$ ) °C y ( $24,07 \pm 1,13$ ) °C respectivamente (tabla 11).

Según (Castro, 2008) la temperatura ideal para la producción de tilapia va desde los 24 ° a 30°C.

(Valdez, 2017) en su estudio con tilapia asociada a plantas autóctonas de Guatemala, menciona que la temperatura del agua para la producción de tilapia fue de  $23,7 \pm 0,2$  °C presentando excelentes resultados, esto concuerda con nuestro estudio en donde la temperatura del agua en el estanque de las piscinas presentó valores entre 24,7°C y 26,7°C siendo su temperatura media de ( $24,07 \pm 1,13$ ) (figura 13; Tabla 11).

### Figura13

*Comportamiento de la temperatura del agua en el estanque de las piscinas de tilapia en el sistema acuapónico durante 60 días.*

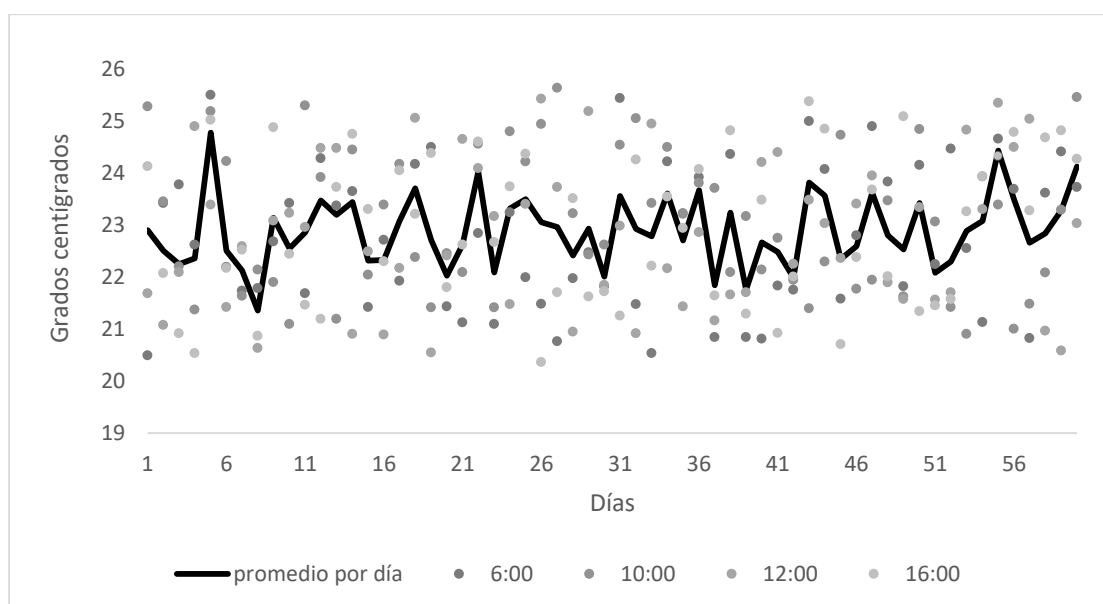


Según (Castaño & Medina Rodríguez, 2020) las bacterias nitrificantes actúan eficientemente en un rango de temperatura entre los 25°C y 30°C; por otro lado, en un estudio

realizado por (Másmela & Lizarazo, 2019). Donde midió la abundancia de diferentes bacterias nitrificantes a diferentes temperaturas, el tratamiento con 25°C obtuvo mejores resultados. Esto concuerda con nuestro estudio en donde la temperatura del agua en el nitrificador presentó valores entre 20,3 °C y el máximo de 25,7 °C con un promedio ( $22,37 \pm 1,38$ ) °C (tabla 11; figura 14).

#### Figura14

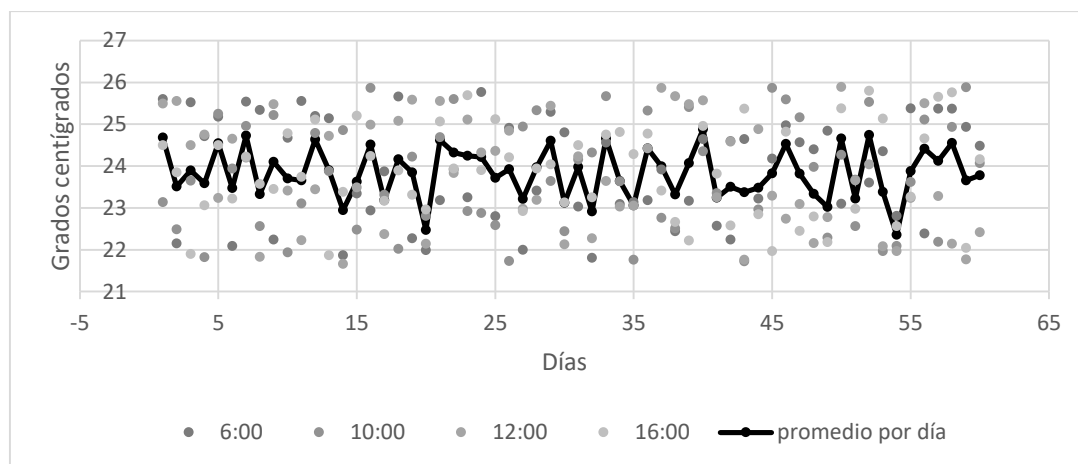
*Comportamiento de la temperatura del agua en nitrificador en el sistema acuapónico durante 60 días.*



Según (Plagron, 2021), las raíces de las plantas son muy sensibles a la temperatura en sistemas hidropónicos, se recomienda una temperatura de 22°C para el agua de la solución nutritiva; En cuanto a la temperatura del agua en el sistema NFT, en este estudio, presentó valores entre 21.5 °C y el máximo de 24.9 °C con un promedio ( $24,1 \pm 1,08$ ) °C; lo que significa que el agua contiene suficiente oxígeno para que las actividad de bombeo de las raíces funcionen de forma adecuada (figura 15; tabla 11).

**Figura15**

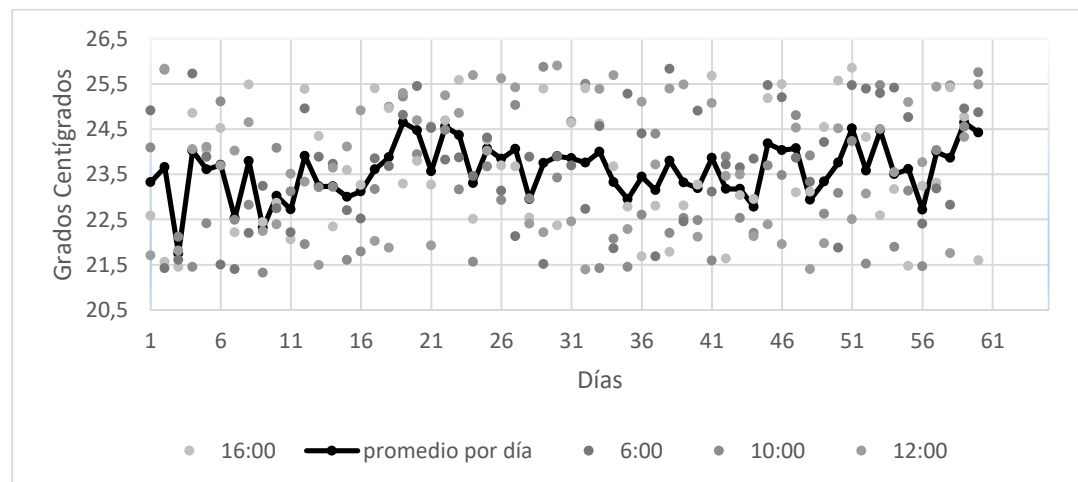
*Comportamiento de la temperatura del agua en el sistema NFT en el sistema acuapónico durante 60 días*



Por último, la temperatura del agua en el estanque de recirculación tuvo un valor promedio de  $(22,93 \pm 1,00)$  °C, con un valor mínimo de 22,6°C y un máximo de 25,3 °C (tabla 11; figura 16)

**Figura16**

*Comportamiento de la temperatura del agua en el estanque de recirculación en el sistema acuapónico durante 60 días*



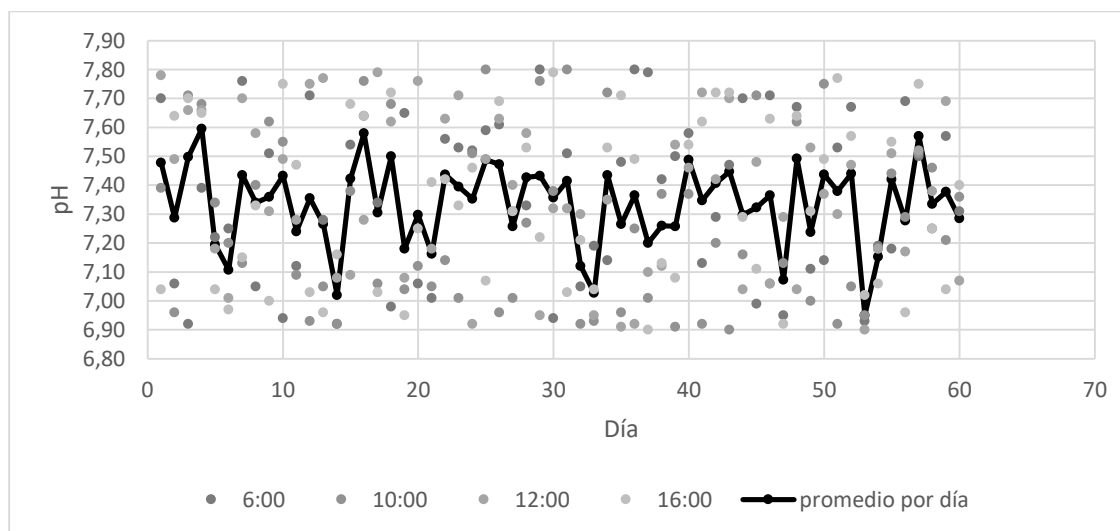
## pH

El pH del agua en los diferentes componentes del sistema acuapónico mostró diferencias significativas, ( $p < 0,05$ ). El pH en el agua del nitrificador y en el estanque de las tilapias tuvieron los mayores resultados ( $7,40 \pm 0,28$ ) y ( $7,35 \pm 0,27$ ) respectivamente (tabla 10).

El pH también afecta el rendimiento de los animales, según menciona (Elfeky, 2009); por otra parte, Valdez et al. (2017), indica que el promedio del pH del agua en el estanque de los peces es  $6,7 \pm 0,15$ ; en nuestro estudio, el pH del agua en el estanque de tilapia presentó valores entre 6,9 y 7,8 obteniendo una media de ( $7,40 \pm 0,28$ ) lo cual difiere de los rangos mencionados, estos resultados indican que el pH estuvo ligeramente alcalino para tener un sistema óptimo para el crecimiento de los peces (figura 17; tabla 11).

### Figura 17

*Comportamiento del pH del agua en el estanque de las piscinas de tilapia en el sistema acuapónico durante 60 días*

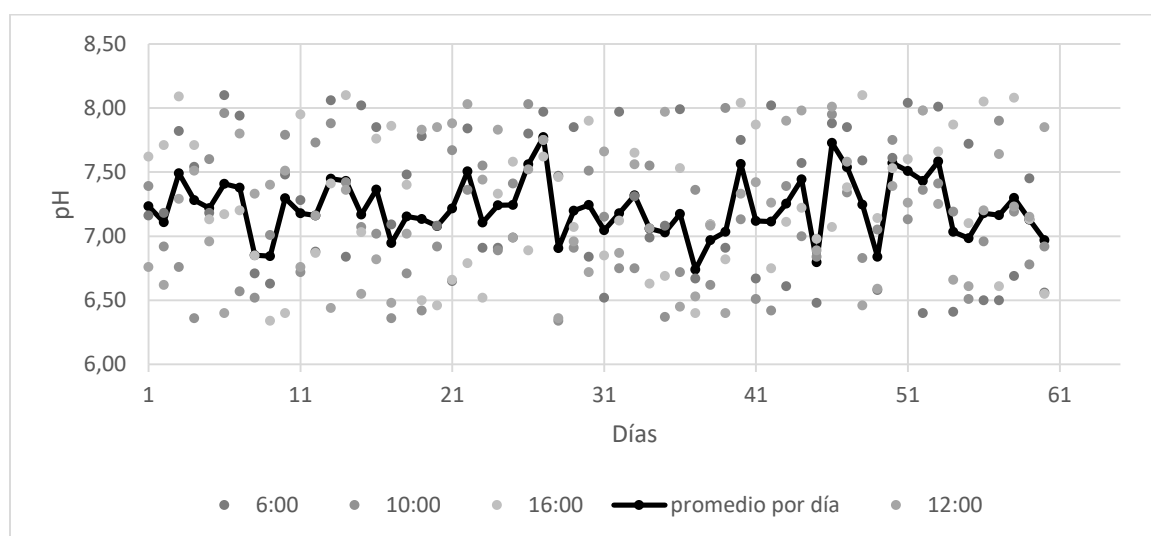


(Majdom & Hosseini Shekarabi, 2017) menciona que el pH de un sistema puede disminuir debido a la actividad de las bacterias nitrificantes y su liberación de iones de

hidrogeno, el autor menciona también que, el rango de pH ideal para estas bacterias es de 6 a 7. En el presente estudio, el pH del agua en el tanque de nitrificación presentó valores entre 6,3 y 8,1, con un promedio de  $7,35 \pm 0,27$  lo que no entra en el rango óptimo para su multiplicación (figura 18; tabla 11).

**Figura18**

*Comportamiento del pH del agua en el estanque de nitrificación en el sistema acuapónico durante 60 días*



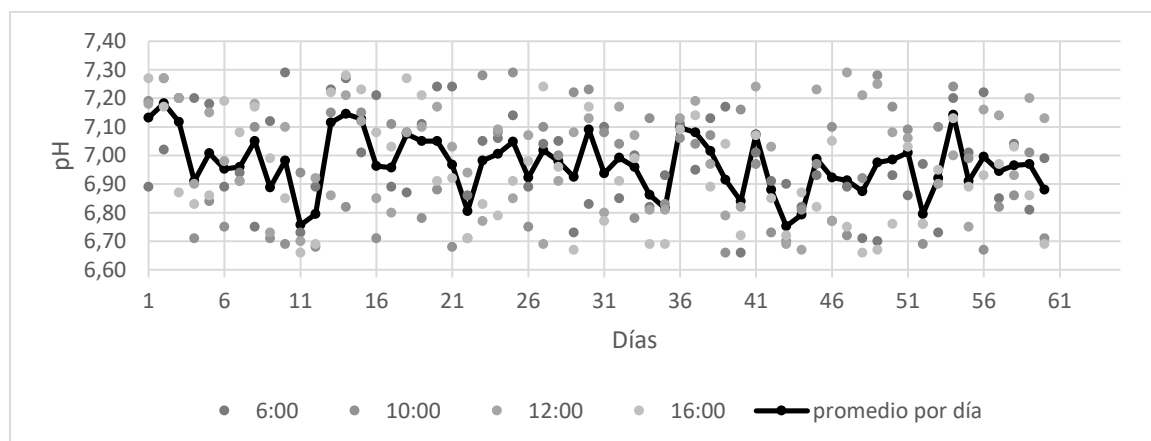
La cantidad de nutrientes presentes en el agua de un sistema acuapónico y la accesibilidad para las plantas depende netamente de su nutrición, es decir, que constituyan formas solubles depende del pH del agua del sistema (Caldas Quiñonez, Castillo Deza, & Prado Moscoso, 2019).

(Villalobos, 2016) menciona que el pH óptimo para el desarrollo de las plantas es de 5.5 a 6.5, también menciona que, cuando el pH es superior a 6, se dificulta la absorción de boro, cobre y fosfatos. En nuestro estudio, el pH del agua en el sistema NFT obtuvo valores entre 6,65

a 7,3. Siendo su pH medio de  $(6,96 \pm 0,39)$  esto no beneficia para la producción de vegetales de hoja (tabla 11; figura 19).

**Figura19**

*Comportamiento del pH del agua en el sistema NFT en el sistema acuapónico durante 60 días*

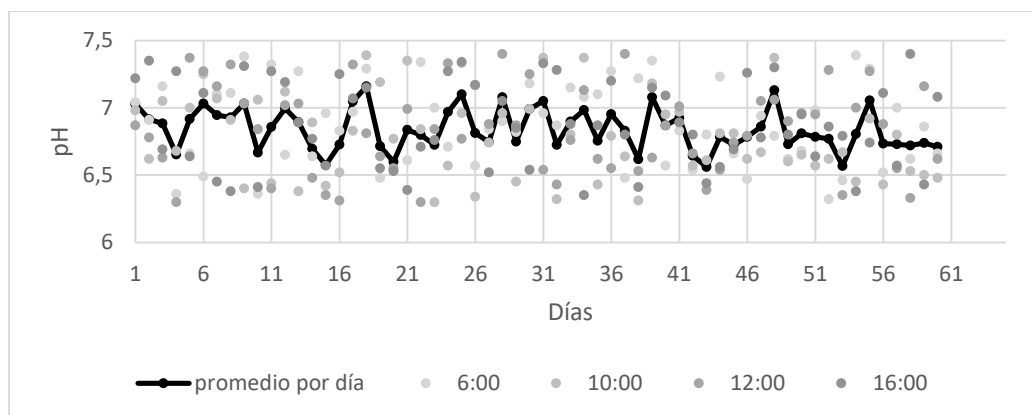


(Riaño Castillo & Caicedo , 2019) analizó los cambios de los niveles de nutrientes en un sistema acuapónico con tilapia, en su estudio el pH de la solución osciló entre 6.00-6.97, durante el ciclo de cultivo; Esto concuerda con este estudio, en donde el pH del agua en el estanque de recirculación obtuvo valores entre 6,29 a 7,4. Siendo su pH medio de  $(7,11 \pm 0,12)$  (tabla 11; figura 20).



**Figura20**

*Comportamiento del pH del agua en el estanque de recirculación en el sistema acuapónico durante 60 días*



### ***Oxígeno.***

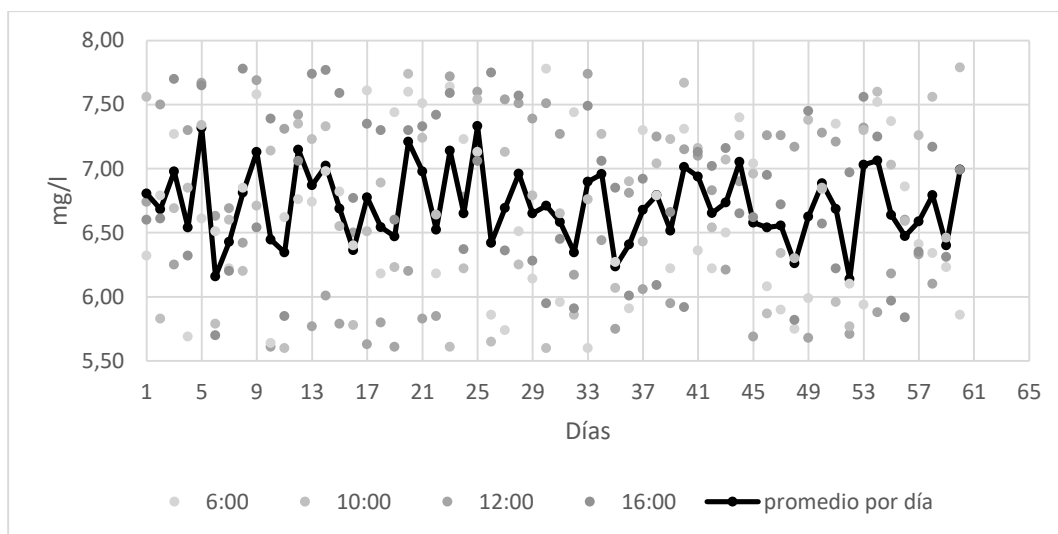
El oxígeno disponible presente en el agua de los diferentes componentes del sistema acuapónico mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). El agua del nitrificador obtuvo los mayores resultados ( $7,84 \pm 0,52$ ) mg/l, mientras que el agua del estanque de tilapias obtuvo los menores resultados ( $6,45 \pm 0,62$ ) mg/l. (tabla 11).

En el cultivo de tilapia, el oxígeno es muy importante ya que no debe ser inferior de 5 mg\*L-1 (Covarrubias, 2011; Darquea, 2018). En la presente investigación la concentración de oxígeno disuelto fue de  $6.45 \pm 0.62$  mg\*L-1, obteniendo valor un mínimo de 5,6 mg\*L-1 y un máximo de 7,8 mg\*L-1; esta media se da debido a un aireador que funcionaba las 24 horas del día durante el ensayo.

Estos resultados superan al realizado por (Riaño Castillo & Caicedo, 2019) quien obtuvo un promedio de oxígeno disuelto entre 4.93-7.54 mg\*L-1 (figura 21).

**Figura21**

*Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el estanque de tilapias en el sistema acuapónico durante 60 días.*

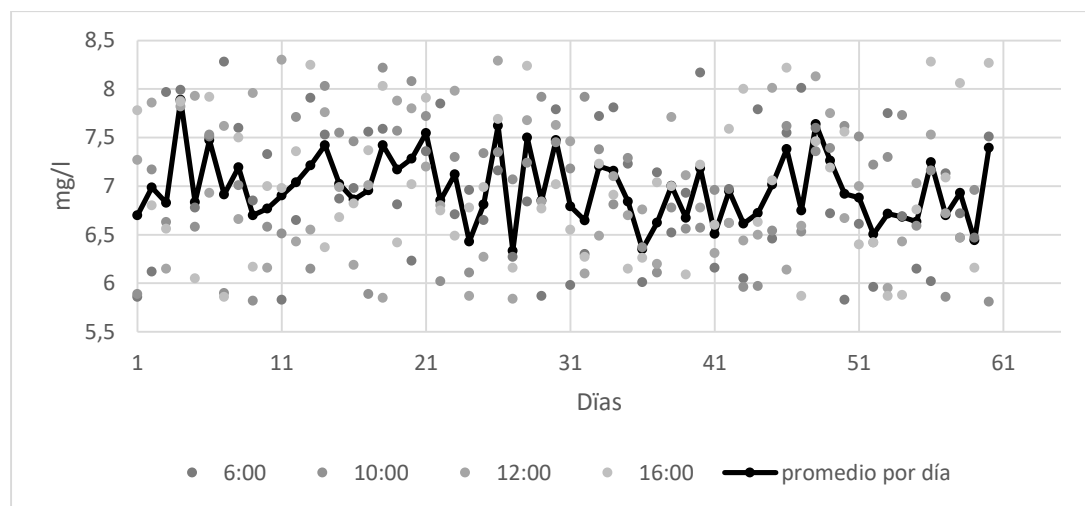


Según (Henze & Harremoës, 1995) el requerimiento de oxígeno de las bacterias nitrificantes ha sido calculado en 4,57 mg de O<sub>2</sub> por mg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oxidado y transformado en NO<sub>2</sub>.

El Oxígeno disponible disuelto en el agua del nitrificador en este estudio obtuvo un promedio de  $7,84 \pm 0,52$  7,8 mg\*L<sup>-1</sup> mostrando un mínimo de 5,8 7,8 mg\*L<sup>-1</sup> y un máximo de 8,3 7,8 mg\*L<sup>-1</sup>; es decir que está por encima de la media, esto provoca que la formación de N<sub>2</sub> se detenga y por el contrario la concentración de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) aumente. (Garzón Zuñiga, 2005) (tabla 11; figura 22).

**Figura22**

*Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el nitrificador en el sistema acuapónico durante 60 días.*



Según (Moreno Roblero & Pineda, 2020) en su estudio titulado “El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas”, la disponibilidad de oxígeno, puede afectar la morfología, metabolismo y fisiología de las raíces, con un efecto negativo sobre el crecimiento de la planta. El autor también menciona que este compuesto tiene un papel fundamental en el metabolismo de carbohidratos, la reducción de nitratos y la fijación de nitrógeno.

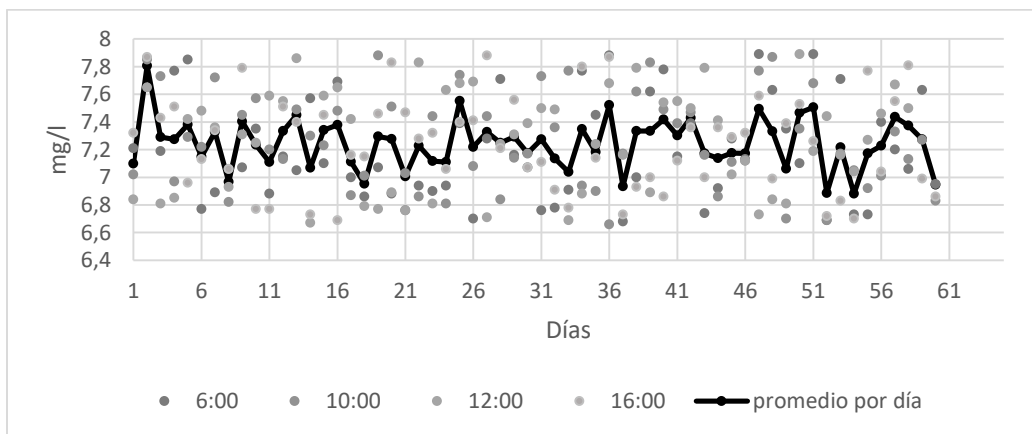
(Moreno Roblero & Pineda, 2020), concluye que la cantidad de O<sub>2</sub> en el agua en un sistema acuático depende de la presión del O<sub>2</sub>, la temperatura, presión atmosférica, el área de contacto entre agua y aire y la salinidad del agua; sin embargo; bajo escenarios normales (20 °C, 1 atm, 20-21% de O<sub>2</sub> en el aire), el total máxima en solución está entre 8 y 9 mg L<sup>-1</sup>.

En el presente experimento, el Oxígeno disponible disuelto en el agua del sistema NFT obtuvo un promedio de  $7,31 \pm 0,3$   $7,8 \text{ mg}^* \text{L}^{-1}$  mostrando un mínimo de  $6,3$   $7,8 \text{ mg}^* \text{L}^{-1}$  y un

máximo de 7,8 7,8 mg\*L-1 lo que se encuentra en los límites de oxígeno permisible (tabla 11; figura 23)

### Figura23

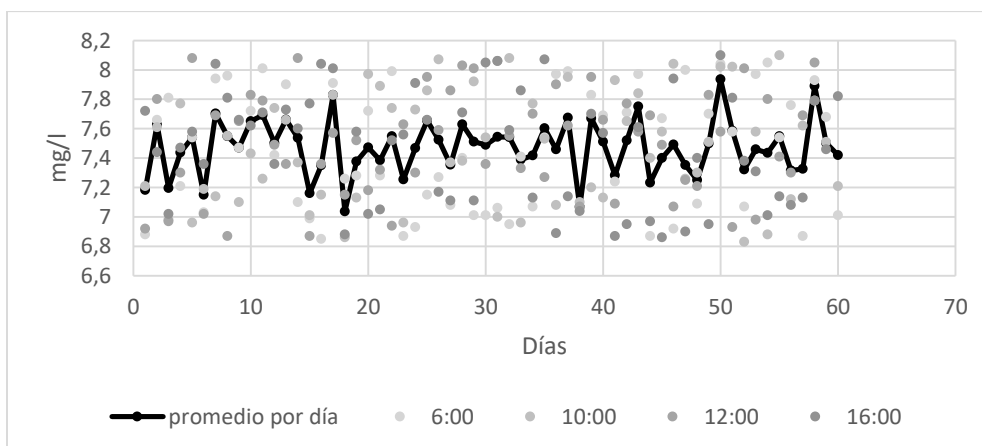
*Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el sistema NFT en el sistema acuapónico durante 60 días.*



El Oxígeno disponible disuelto en el agua del estanque de recirculación obtuvo un promedio de  $7,3 \pm 0,22$  7,8 mg\*L-1 con un mínimo de 7,05 7,8 mg\*L-1 y un máximo de 8,1 mg/l. 1 (tabla 11; figura 24)

### Figura24

*Comportamiento del oxígeno disponible del agua en el estanque de recirculación en el sistema acuapónico durante 60 días.*



***Comportamiento de parámetros nitrogenados y fosfatados en la piscina de tilapias, nitrificación y recirculación***

En los componentes del sistema acuapónico, las concentraciones de amonio, nitrato y nitritos mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), siendo mayores en el estanque de la piscina de las tilapias con  $3,8 \pm 1,3$   $7,8 \text{ mg}^*L^{-1}$ ,  $1,5 \pm 0,4$   $7,8 \text{ mg}^*L^{-1}$  y  $21,03 \pm 9,3$   $7,8 \text{ mg}^*L^{-1}$  respectivamente; por otro lado, las concentraciones de fosfato no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) (tabla 12; figura 25).

**Tabla 12**

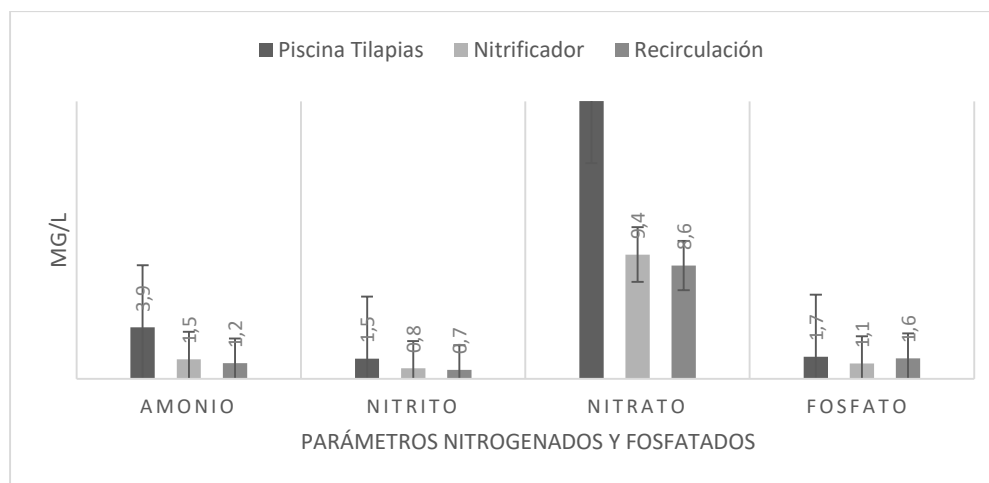
*Media de los parámetros nitrogenados y fosfatados  $\pm$  DE en los componentes del sistema acuapónico.*

	<b>Piscina tilapia</b>	<b>Nitrificador</b>	<b>Estanque</b>
<b>Amonio</b>	$3,8 \pm 1,3a$	$1,47 \pm 0,9b$	$1,18 \pm 0,7b$
<b>NO<sub>2</sub></b>	$1,5 \pm 0,4a$	$0,78 \pm 0,4b$	$0,66 \pm 0,5b$
<b>NO<sub>3</sub></b>	$21,03 \pm 9,3a$	$9,40 \pm 4,9b$	$8,57 \pm 2,3b$
<b>Fosfato</b>	$1,65 \pm 0,7a$	$1,14 \pm 0,4a$	$1,55 \pm 0,7a$

Nota: Medias con una letra común en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )

**Figura25**

Media de parámetros nitrogenados y fosfatados del agua en los diferentes componentes del sistema acuapónico.



### Comportamiento de parámetros nitrogenados y fosfatados del sistema NFT

En el sistema NFT de circulación cerrada, las concentraciones de amonio, nitrato y fosfato no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Los contenidos de amonio mantuvieron una concentración mínima de  $(1.12 \pm 0.49)$   $7,8 \text{ mg}^* \text{L}^{-1}$ , los nitratos de  $(6.92 \pm 2.38)$   $7,8 \text{ mg}^* \text{L}^{-1}$  y los fosfatos de  $(1.20 \pm 0.57)$   $7,8 \text{ mg}^* \text{L}^{-1}$  en el tratamiento T3; sin embargo, para los contenidos de nitritos en el sistema los valores fueron diferentes ( $p < 0,05$ ), obteniendo concentraciones de nitrito menores en T3 con un valor de  $(0.50 \pm 0.32)$   $\text{mg/l}$ . (tabla 13; figura 26; tabla 11).

**Tabla13**

Valores promedios  $\pm$  DE, de la circulación de amonio, nitrito, nitrato y fosfato en el sistema NFT de las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*) bajo cuatro dosis diferentes de *Chlorella sp. Biotipo1*

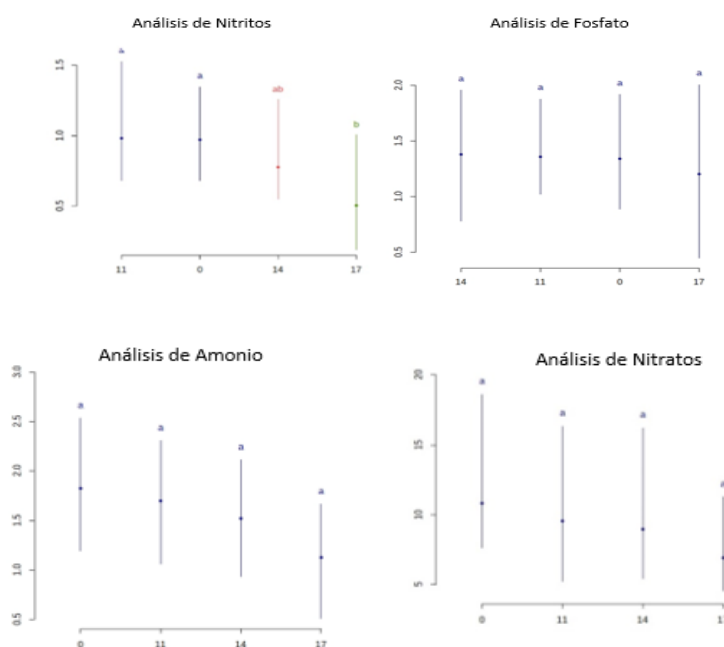
Tratamiento	Amonio	Nitrito	Nitrato	Fosfato
T0	$1.83 \pm 0.54$ a	$0.97 \pm 0.25$ a	$10.80 \pm 4.05$ a	$1.34 \pm 0.34$ a
T1	$1.70 \pm 0.45$ a	$0.98 \pm 0.29$ a	$9.56 \pm 3.67$ a	$1.36 \pm 0.32$ a

Tratamiento	Amonio	Nitrito	Nitrato	Fosfato
T2	1.52 ± 0.49 a	0.77 ± 0.26 ab	8.99 ± 3.71 a	1.38 ± 0.43 a
T3	1.12 ± 0.49 a	0.50 ± 0.32 b	6.92 ± 2.38 a	1.20 ± 0.57 a

Nota: Medias con una letra común en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

### Figura26

*Nitritos, nitratos y fosfatos presentes en el sistema NFT de albahaca (Ocimum basilicum) bajo los diferentes tratamientos.*



La concentración elevada de los elementos nitrogenado, se da por todos los desechos que producen los peces, ya sea en sus excretas o por el desperdicio del alimento no ingerido y eso causa una disminución en el crecimiento de los mismos según (Calvachi, 2012; Gomez, 2015). En la presente investigación tanto el amonio, nitritos, nitratos y fosfatos tuvieron valores máximos en la piscina de los peces,  $3,8 \pm 1,3$   $7,8$   $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  amonio,  $1,5 \pm 0,4$   $7,8$   $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  nitrito,

21,03±9,3 7,8 mg\*L-1 nitrato y 1,65±0,7 7,8 mg\*L-1 de fosfatos, esto se debe a la gran carga animal 65 peces/m3 presente en el estanque y la tasa de recambio del 3% acumulándose las heces de los peces lo que imposibilita tener agua limpia en este lugar (Villalobos, 2016).

#### **Análisis productivos de las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*)**

En las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*), la altura, número de hojas, peso específico por hoja/gramo y cantidad de clorofila mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Las plantas sometidas al tratamiento T2 y T3 presentaron mayor altura que las plantas de los demás tratamientos con un promedio de  $(39.25 \pm 2.26 \text{ cm})$  y  $(40.39 \pm 3.64 \text{ cm})$ .

Además, las plantas de albahaca sometidas al tratamiento T3, presentaron un mayor número de hojas ( $44.90 \pm 3.78$  hojas por planta), peso específico ( $3.98 \pm 0.40 \text{ g/cm}^2$ ) y clorofila ( $1.27 \pm 0.12 \text{ mg/g}$ ) promedio que los demás tratamientos; esto concuerda con (Ronzón, 2012) quien en su estudio titulado “Producción acuapónica de albahaca con langostino” muestra diferencias significativas en crecimiento (longitud de tallo en cm) y producción de albahaca (número de hojas por planta y biomasa fresca y seca en g (tabla 14; figura 27).

#### **Tabla14**

*Valores promedios ± DE, de las variables de productividad de las plantas de albahaca con cuatro dosis de Chlorella sp. Biotipo 1 en un sistema acuapónico.*

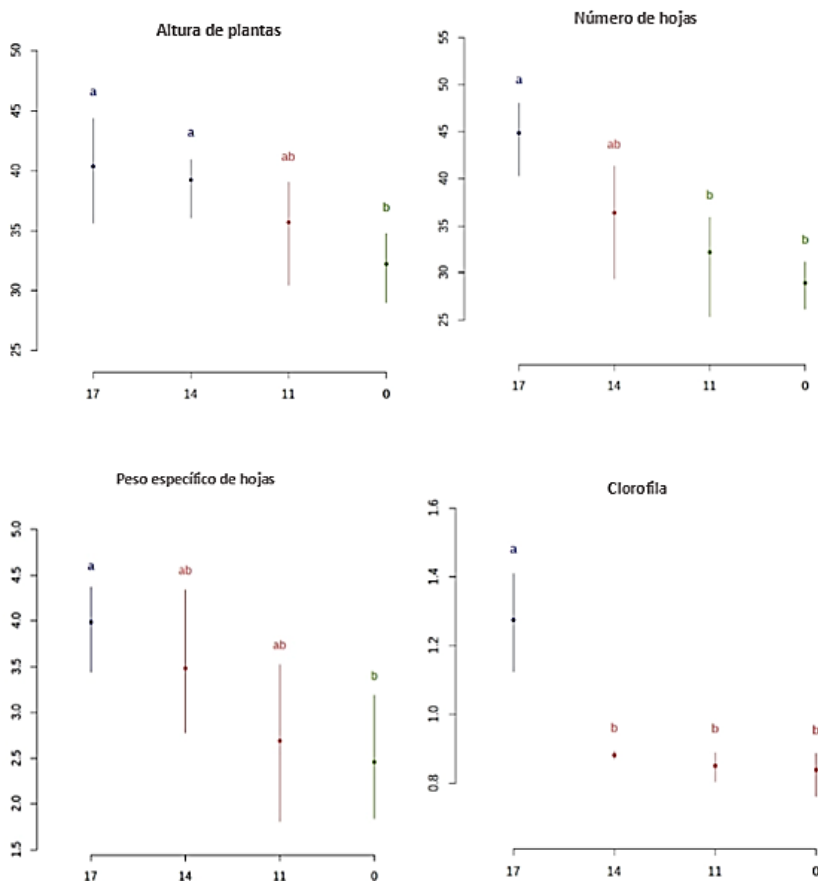
Tratamiento	Altura (cm)	Hojas (unidades)	PEH (g)	Clorofila (mg/g)
T0	$32.24 \pm 2.65 \text{ b}$	$28.95 \pm 2.18 \text{ b}$	$2.45 \pm 0.58 \text{ b}$	$0.84 \pm 0.06 \text{ b}$
T1	$35.68 \pm 3.87 \text{ ab}$	$32.23 \pm 4.75 \text{ b}$	$2.69 \pm 0.71 \text{ ab}$	$0.85 \pm 0.04 \text{ b}$
T2	$39.25 \pm 2.26 \text{ a}$	$36.40 \pm 5.09 \text{ ab}$	$3.47 \pm 0.75 \text{ ab}$	$0.88 \pm 0.01 \text{ b}$
T3	$40.39 \pm 3.64 \text{ a}$	$44.90 \pm 3.78 \text{ a}$	$3.98 \pm 0.40 \text{ a}$	$1.27 \pm 0.12 \text{ a}$

**Nota:** Medias con una letra común en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )



**Figura27**

*Promedio de las variables de productividad de las plantas de albahaca (Ocimum basilicum)  $\pm$  DE bajo los diferentes tratamientos.*



Las plantas de albahaca presentaron una altura máxima de 40,39 cm, esto supera al estudio realizado por (Combatt, 2020) en donde la altura de sus plantas tuvieron un promedio de (36,5 cm  $\pm$  2.56); también supera al estudio realizado por (Ronzón, 2012) en donde las plantas de albahaca asociadas con langostino presentaron en promedio 35 cm de tamaño; por otro lado, las albahacas del tratamiento 3 tuvieron el mayor número de hojas (44.90 hojas por planta), este resultado concuerda con promedio establecido por (Montañez, 2013) en donde menciona que el promedio de hojas por plantas en sistemas cerrados es de 45 hojas; sin embargo se

obtuvo un resultado menor al de (Ronzón, 2012) quien obtuvo un promedio 58 hojas de albahaca por planta.

El peso específico por hoja de albahaca en el tratamiento 2 fue de 3,9 gramos, esto supera al estudio realizado por (Montañez, 2013) quien menciona un peso promedio de 2,63 cm  $\pm$  0,3. Por último, el promedio de clorofila en las plantas de albahaca fue de (1.27mg/g), esto concuerda con (Ferandez, 2019) quien menciona que el promedio es de 0,94 mg/g a 1,84 mg/g.

La aplicación de *Chlorella sp.* Biotipo 1 mejoró significativamente los parámetros productivos de la albahaca, el tratamiento T3 ( $17 \times 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>) con la dosis más alta de este componente obtuvo los mejores resultados en altura y crecimiento. Según (Jehlík, 2019) el uso de *Chlorella sp.* Biotipo 1 ayuda a la absorción de nutrientes en un sistema acuapónico y concuerda con los datos obtenidos por (Ronzón, 2012) quienes obtuvieron resultados diferencias favorables en un sistema acuapónico con langostino y albahaca.

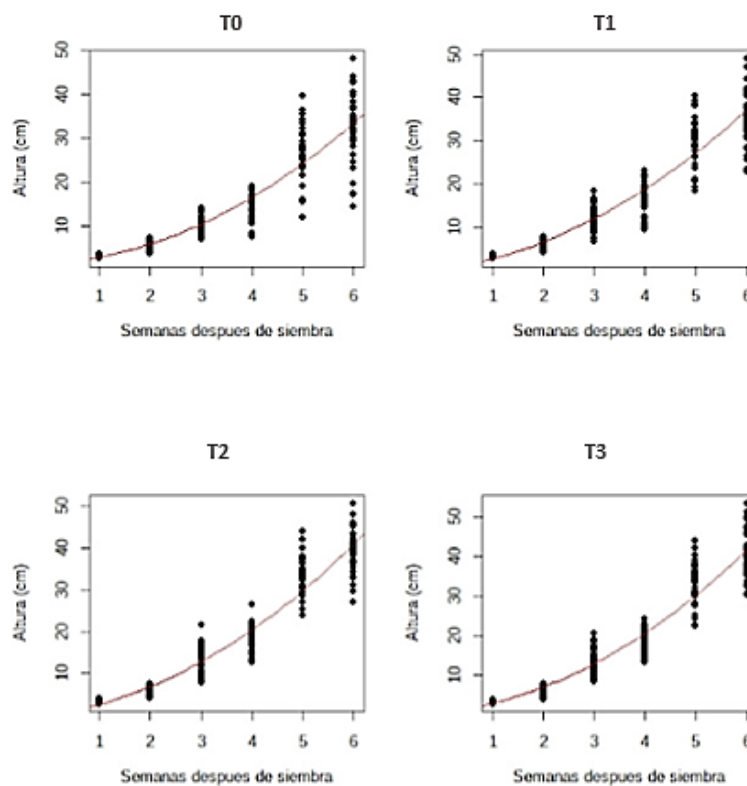
### **Regresión de la altura en los diferentes tratamientos.**

En la relación del tiempo vs altura, se obtuvo una regresión cuadrática (r 0.98) cuyos resultados indican la dosis óptima de *Chlorella sp.* Biotipo 1 para el crecimiento de las plantas de albahaca, mediante la siguiente ecuación (figura 28).

**Figura28**

Regresión de la altura de las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*) después de 45 días.

$$\text{Altura} = 0,7907x^2 + 0,5566x + 1,6809.$$



### Análisis de la calidad de las hojas

En las hojas de las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*), el porcentaje de grasa, fibra, proteína, humedad y ceniza presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Las plantas de albahaca sometidas al tratamiento T3 presentaron mayor porcentaje de grasa ( $15.75 \pm 0.99$  %), fibra ( $16.98 \pm 0.49$  %), proteína ( $1.33 \pm 0.21$  %) y ceniza ( $15.85 \pm 1.38$  %) que las hojas de las plantas de los demás tratamientos. (tabla 15; figura 29)

Por otro lado, las hojas de las plantas de albahaca sometidas a los tratamientos T0 ( $97.69 \pm 0.22$ ) % y T1 ( $97.14 \pm 0.92$ ) % presentaron mayor cantidad de humedad que las hojas de plantas de los demás tratamientos (tabla 15; figura 29).

**Tabla15**

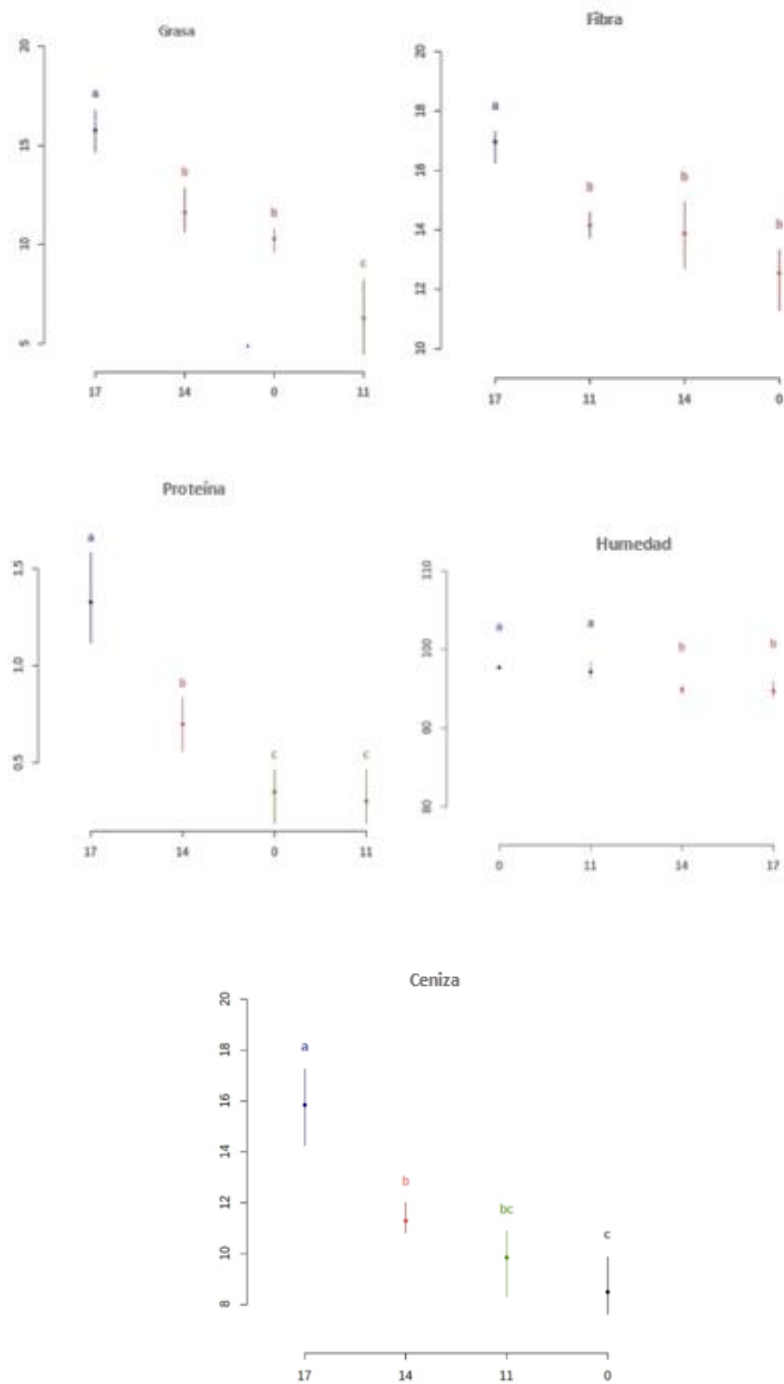
*Valores promedios del porcentaje de grasa, fibra, proteína, humedad y ceniza  $\pm$  DE en el análisis bromatológico de la biomasa de las hojas de albahaca (*Ocimum basilicum*) bajo cuatro dosis de *Chlorella sp.* Biotipo 1 en un sistema acuapónico.*

Tratamiento	Grasa %	Fibra %	Proteína %	Humedad %	Ceniza %
T0	$10.30 \pm 0.51$ b	$12.53 \pm 0.01$ b	$0.35 \pm 0.18$ c	$97.69 \pm 0.22$ a	$8.49 \pm 1.08$ c
T1	$6.28 \pm 0.24$ c	$14.14 \pm 0.43$ b	$0.30 \pm 0.12$ c	$97.14 \pm 0.92$ a	$9.84 \pm 1.12$ bc
T2	$11.62 \pm 0.97$ b	$13.88 \pm 1.10$ b	$0.70 \pm 0.12$ b	$94.92 \pm 0.64$ b	$11.31 \pm 0.54$ b
T3	$15.75 \pm 0.99$ a	$16.98 \pm 0.49$ a	$1.33 \pm 0.21$ a	$94.74 \pm 0.93$ b	$15.85 \pm 1.38$ a

Nota: Medias con una letra común en la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

**Figura29**

Valores promedios del porcentaje de grasa, fibra, proteína, humedad y ceniza  $\pm$  DE sometidas a los diferentes tratamientos.



El porcentaje de grasa en las hojas de las plantas de albahaca tuvieron un promedio de  $(15.75 \pm 0.99)$ , por otro lado, la fibra presente en las hojas fue de  $(16.98 \pm 0.49)$  y la cantidad de proteína de  $(1.33 \pm 0.21)$ . Este porcentaje se encuentra fuera de los rangos normales establecidos por. (Longoni, 2019) los cuales se encuentran entre  $(2,5 - 4,0\%)$  el contenido de fibra y el de proteína  $(2,0 - 3,0 \%)$ .

Las hojas de las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*) sometidas a los tratamientos T2 y T3 presentaron menor cantidad de humedad que los demás tratamientos con T0 (97.69) y (97.14) respectivamente, mientras que el T3 presentó la menor cantidad de ceniza que el resto de tratamientos  $(15.85 \pm 1.38)$ , estos valores están entre los rangos óptimos determinados por (Combatt et al., 2020) quien menciona que la humedad debe ser menor al 98% y la ceniza menor al 20% para que el cultivo contenga mayor contenido de nutrientes.

#### **Parámetros morfológicos y productivos de la tilapia (*Oreochromis sp.*).**

El crecimiento de las tilapias en peso, longitud total y parcial y ancho total en el sistema acuapónico mostró diferencias significativas durante las 7 semanas ( $p < 0,05$ ).

Estos resultados concuerdan con (Villalobos, 2016) quien menciona que en el rango de pH del agua del estanque de tilapias de 7,5 a 8, los peces mantienen un crecimiento constante gracias a los procesos de nitrificación que se producen en el sistema acuapónico; en nuestro caso, el pH promedio fue de  $(7,40 \pm 0,28)$  (ver tabla 11).

El peso total de las tilapias tuvo un incremento progresivo durante el tiempo, las tilapias en la semana 6 presentaron un mayor peso promedio  $(229,65 \pm 5,01)$  g con un incremento de 110 gramos a comparación de la semana 0  $(110,28 \pm 6,78)$  g obteniendo una ganancia de peso de 6,6 kg por m<sup>3</sup> (tabla 16).

Estos resultados son mucho mejores a los obtenidos por (Valdez, 2017) en su estudio titulado “Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico con tilapia” en donde la ganancia de peso de la tilapia durante 8 semanas fue de 28,57 gramos por pez, con una ganancia de peso de 1 kg por m<sup>3</sup> con una densidad de tilapia de 35 tilapias/m<sup>3</sup>.

Por otro lado, la longitud total y parcial mostraron diferencias significativas desde la semana 0 hasta la semana 2 ( $p < 0,05$ ), siendo estadísticamente similares desde la semana 3 hasta la semana 6 ( $p > 0,05$ ), obteniendo un incremento promedio total de 5,91 cm de longitud total y 5,75 cm de longitud parcial, esto concuerda con (Valdez, 2017), quien no encontró diferencias significativas en la talla final de las tilapias después de 8 semanas en un sistema asociado con plantas autóctonas de Guatemala (tabla 16).

El ancho total de las tilapias mostró diferencias significativas durante las 7 semanas, presentando un valor mayor en las tilapias de la semana 6 ( $7,90 \pm 0,43$ ) cm con un crecimiento promedio de 2,37 cm (Tabla 16).

El índice de condición corporal tuvo un promedio de 1.36 durante las siete semanas que se realizó la investigación (Tabla 16).

**Tabla 16**

*Valores promedios del crecimiento de las tilapias  $\pm$  DE durante 7 semanas.*

Semana	Peso (g)	Longitud total (cm)	Longitud parcial (cm)	Ancho total (cm)	ICC
0	110,28 $\pm$ 6,78 g	19,11 $\pm$ 2,21 e	16,86 $\pm$ 1,9 e	5,53 $\pm$ 0.62 e	1,58a
1	130,11 $\pm$ 5,67 f	21,65 $\pm$ 1,37 d	18,25 $\pm$ 1,1 d	6,77 $\pm$ 0.55 c	1,28c

Semana	Peso (g)	Longitud total (cm)	Longitud parcial (cm)	Ancho total (cm)	ICC
2	150,10±5,73 e	23,47±1,72 c	20,88± 1,8 c	6,37±0.61 d	1,16d
3	169,71±5,44 d	24,54±1,24 a	22,24± 1,0 a	7,10±0.65 b	1,15d
4	190,92±4,98 c	24,36±0,78 ab	22,04± 0,7 ab	7,70±0.65 a	1,32c
5	210,73±5,89 b	23,77±0,97 bc	21,53± 1,0 bc	7,16±0.51 b	1,57a
6	229,65±5,01 a	25,02±1,19 a	22,61± 1,1 a	7,90±0.43 a	1,47b

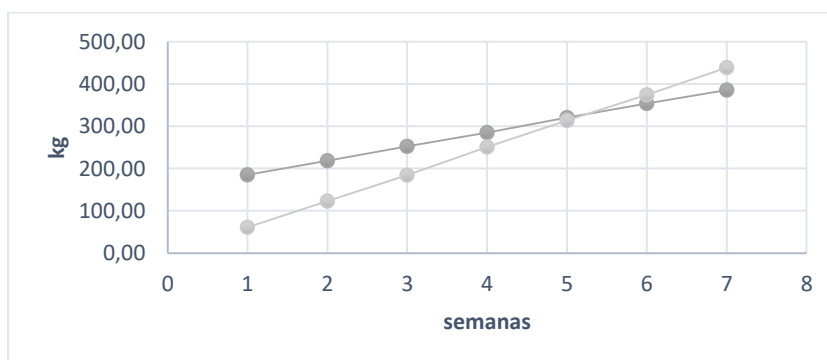
Nota: Medias con una letra común en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

#### ***Factor de conversión alimenticia (FCA) y Eficiencia de conversión alimenticia (ECA)***

Las tilapias presentes en el sistema acuapónico mostraron un factor de conversión alimenticia acumulado de 1.14, con una biomasa total de 385,92 kg y un ECA de 87,72%. (figura 30) Este resultado difiere con (Toledo, 2000) quien en su libro llamado “ Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada en América latina y el Caribe “ menciona que el factor de conversión alimenticia (FCA) fluctúa entre 1.4 a 2.5 para las diferentes fases de cultivo en un sistema intensivo.

#### **Figura30**

*Acumulado de Alimento Balanceado y Factor de conversión alimenticia de las tilapias. (FCA) (ECA)*





### Análisis Económico

En el análisis económico se incluyó el costo de producción de *Chlorella sp.* Biotipo 1 por hectárea, las horas de mano de obra, el costo de electricidad y transporte para tener un mejor estimado del costo de producción y de la tasa de retorno marginal. Los costos variables son diferentes para cada tratamiento ya que T0 no utilizó *Chlorella sp.* Biotipo 1 como fertilizante, además, en la producción de las microalgas para las diferentes dosis, se necesitan más horas de trabajo y de luz por lo que el costo de electricidad y mano de obra es más elevado.

El precio por producir la *Chlorella sp.* Biotipo 1 al multiplicarla en el laboratorio, tuvo un valor de \$0,19 por litro (Figura 31).

**Tabla17** *Costos variables para la producción de albahaca fertilizada con diferentes concentraciones de Chlorella sp. Biotipo I*

**Figura31**

<b>Costos Variables</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
<b>Litros utilizados por tratamiento</b>	0	22,5	26,0	32,5
<b>Costo por litro</b>	0	4,2	4,8	6,1
<b>Costo por planta</b>	0	0,04	0,05	0,06
<b>Costo por ha</b>	0	4.839,7	5.592,6	6.990,7
<b>Luz eléctrica</b>	100	150,0	200,0	300,0
<b>Transporte</b>	40	40	40	40
<b>Costo de mano de obra</b>	6300	6.321,7	7.284,7	9.065,8
<b>Total costos variables</b>	\$6.440,00	\$ 11.378,21	\$ 13.148,15	\$16.435,19

Dentro de los costos variables, el T3 presentó los valores más altos (\$16.435,19,) seguido de T2 (\$13 148,15), T1 (\$11.378,21) y por último el Testigo (\$6.500,00). (ver tabla 17)

(PIA, 2017) en su análisis técnico- económico elaborado en New Orleans USA, concluye que los sistemas acuapónicos de tilapia y albahaca son rentables en áreas mayores a 76 m<sup>2</sup>; en esta investigación, el área en donde se desarrolló el estudio fue de 100 m<sup>2</sup> por lo que verifica que el sistema fue rentable.

**Tabla18**

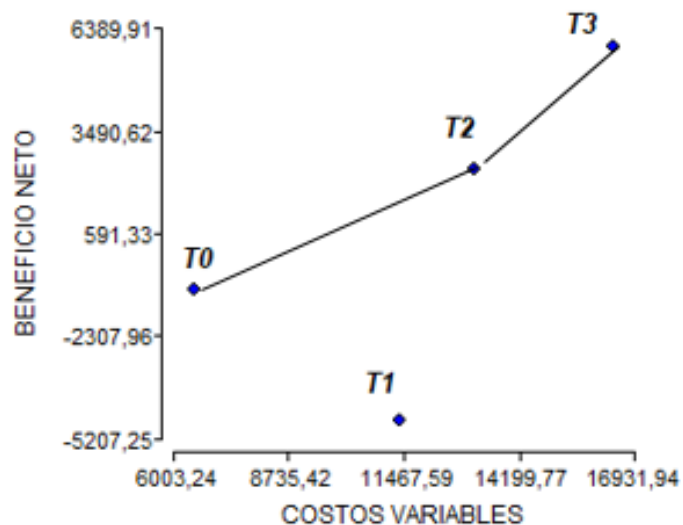
*Beneficio neto de la producción de albahaca fertilizada con diferentes concentraciones de Chlorella sp. Biotipo I*

	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
<b>Rendimiento medio (Kg/ha)</b>	5.897,15	7.144,64	10.368,36	14.865,30
<b>Rendimiento ajustado (Kg/ha)</b>	4.422,86	5.358,48	7.776,27	11.148,98
<b>Beneficio bruto de campo (\$/ha)</b>	\$ 5.528,58	\$ 6.698,10	\$ 15.552,54	\$ 22.297,95
<b>Costo variables (\$/ha)</b>	\$ 6.500,00	\$ 11.378,21	\$ 13.148,15	\$ 16.435,19
<b>Beneficio neto (\$/ha)</b>	\$ -971,42	\$ -4.680,11	\$ 2.404,39	\$ 5.862,76

Al realizar el análisis de dominados, el único tratamiento dominado es T1, esto quiere decir que sus costos variables son más altos y su beneficio neto es menor a los tratamientos con costos similares. (figura 31).

Figura32

Costos Variables vs Beneficio Neto de los diferentes tratamientos de *Chlorella* sp.



Nota: Tratamiento T1 dominado; T0, T1 y T3 no dominados.

La figura 31 muestra la relación entre costos que varían y los beneficios netos de 3 tratamientos no dominados (T0, T2 y T3). Si se invierte \$6 648,15 al pasar de no usar *Chlorella* sp. biotipo 1 como fertilizante foliar T0 a usarla en T1, se obtiene un beneficio neto marginal de \$3.375,81 por hectárea. Que equivale a una tasa de retorno marginal del 51%. Es decir que por cada dólar invertido se obtiene USD \$0.51 de ganancia (tabla 18).

Por otro lado, si se invierten \$3287,04 para pasar de usar T2 a usar T3 de *Chlorella* sp. biotipo 1 como fertilizante foliar se obtiene un beneficio neto marginal de \$ 3.458,37 que equivale a una tasa de retorno marginal del 105%. Es decir que por cada dólar invertido se obtiene USD \$1,05 de ganancia (tabla 18).

Esto concuerda con (Calderon García , 2019), quien asoció tilapia, lechuga y langostino en un sistema acuapónico en el trópico y concluye que su mejor tratamiento tiene una tasa de retorno marginal del 50% es decir que por cada dólar invertido, su ganancia es de \$0,50, muy similar a los resultados de este estudio.

**Tabla19**

*Análisis de tasa de retorno marginal de la concentración de Chlorella sp. Biotipo 1 utilizada como fertilizante foliar, en la producción de albahaca*

TRATAMIENTO	COSTOS	COSTO	BENEFICIO	BENEFICIO	TASA DE
	VARIABLES	VARIABLE	NETO	NETO	RETORNO
		MARGINAL		MARGINAL	MARGINAL
<b>0</b>	\$ 6.500,00	\$ 6.648,15	\$ -971,42	\$ 3.375,81	51%
<b>2</b>	\$13.148,15	\$ 3.287,04	\$ 2.404,3	\$ 3.458,37	105%
<b>3</b>	\$16.435,19		\$ 5.862,7		

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que:

- Los nitratos, fosfatos y amonio del agua en el sistema NFT no tuvieron diferencias significativas bajo las cuatro dosis de *Chlorella sp. Biotipo1*; sin embargo, la cantidad de nitrito del tratamiento T3 ( $17 \times 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>) obtuvo la menor concentración ( $0.50 \pm 0.32$ ) mg/l y por ende fue el mejor tratamiento.
- Los de parámetros nitrogenados y fosfatados del agua en los diferentes componentes del sistema acuapónico tuvieron diferencias significativas bajo las cuatro dosis de *Chlorella sp. Biotipo1*. La piscina de tilapia obtuvo los mayores valores en cuanto amonio ( $3,8 \pm 1,3$ ), NO<sub>2</sub> ( $1,5 \pm 0,4$ ), NO<sub>3</sub> ( $21,03 \pm 9,3$ ) y Fosfato ( $1,65 \pm 0,7$ ).
- Las plantas de albahaca sometidas a fertilización foliar con T3 ( $17 \times 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>) de *Chlorella sp. Biotipo 1*, presentaron los mejores valores en la producción de la albahaca en el sistema acuapónico con tilapia roja, siendo T3 el mejor tratamiento sobre las variables: altura de la planta, número de hojas, peso específico y clorofila.
- Las plantas de albahaca sometidas a fertilización foliar con T3 ( $17 \times 10^6$  células \* mL<sup>-1</sup>) de *Chlorella sp. Biotipo 1*, presentaron los mejores valores en su composición nutrimental en los parámetros la cantidad de grasa, fibra, proteína, humedad y ceniza de las hojas de albahaca.
- Los beneficios netos obtenidos fueron T3 (\$ 5.862,76), seguido de T2 (\$2.404,39), T1 (\$-4.680,11) y T0 (\$971,42), por lo que el tratamiento que presentó mayores beneficios fue T3, sin embargo, su costo variable fue mayor (\$16.435,19) con respecto a los demás tratamientos.

- El tratamiento con mayor tasa de retorno marginal fue T3 con un 105%, sin embargo, el T2 mostró también ganancias del 51%, por esta razón, el T3 fue el mejor tratamiento para la producción de albahaca con *Chlorella sp.* Biotipo 1.

### Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis de macro y micronutrientes como calcio, fósforo, potasio, boro y magnesio del agua de los componentes del sistema acuapónico para lograr un mayor control de la calidad del agua del sistema.
- Se recomienda implementar un sistema acuapónico de tilapia con albahaca con diferentes dosis de *Bacillus subtilis* en el nitrificador, y posteriormente analizar la productividad de las plantas de albahaca.
- Se recomienda realizar un ensayo en un sistema acuapónico súper intensivo de tilapias con albahaca y observar su eficacia a gran escala.
- Se recomienda utilizar un cultivo mixto de dos o más hortalizas en un sistema acuapónico asociado con tilapia roja y así observar el comportamiento de las plagas y enfermedades en las plantas.
- Se recomienda evaluar periódicamente la conductividad eléctrica y el pH del sistema NFT, del mismo modo corregirlos a través de la implementación de ácidos orgánicos, ya que estos parámetros tienden a variar constantemente y esto impide la absorción de nutrientes en el sistema perjudicando al crecimiento de las plantas.
- Para optimizar los recursos y tiempos de producción de *Chlorella sp.* biotipo 1 se recomienda usar auxinas, cuya función es acelerar la multiplicación celular y aumentar la concentración de estas microalgas.

- Se recomienda realizar un estudio de mercado para la exportación de la albahaca orgánica fertilizada con *Chlorella sp.*

## Bibliografía

- Adhikari, R. R. (2020). *Nitrogen recovery via aquaponics in Nepal: Current status, prospects, and challenges*. *SN Applied Sciences*, 2(7), 1192. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2996-5>
- Andrade, J. F. (2012). *Producción de la albahaca dulce (Ocimum basilicum L.) utilizando cuatro densidades y dos tipos de aplicación de harina de carne como fertilizante*. 23.
- Angkha, B. V. (2020). Angkha, B., Verma, A. K., Kumar, S. H., Prakash, C., & Thomas, R. M. (2020). *Mobilization of mica by Bacillus sp. And its effect on Nile tilapia (Oreochromis niloticus) cum holy basil (Ocimum tenuiflorum)–based aquaponic system*. *Aquaculture International*,. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00575-4>
- Auz , E. D. (2019). *Efecto de ácido Indol 3 Acético exógeno en la productividad de tres biotipos deChlorella Endémica del Ecuador* . Obtenido de Univerdiad de las Fuerzas Armadas .
- Auz, E. O. (2019). *Manual de cultivo de microalgas*. . Obtenido de <https://docs.google.com/a/espe.edu.ec/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxhY3VhY3VsdHVyYWp1YW5vcnRpenxneDozYWl1YTljYzEwODkxMzE4>
- Barraza, R. H. (2019). *Uso de microalgas como constituyentes parciales del alimento balanceado para engorda de tilapia (Oreochromis niloticus)//The use of microalgae as partial constituents of growout feeds for tilapia (Oreochromis niloticus)*. . Obtenido de <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1161>
- Bastidas, O. (2017). *La acuaponía como sistema de producción: concepto, origen, ventajas y desventajas*. Obtenido de Blog Agricultura: <https://blogagricultura.com/autor/>



- Bastidas, O. (2017). *La acuaponía como sistema de producción: Concepto, origen, ventajas y desventajas*. *Blog Agricultura*. Obtenido de <https://blogagricultura.com/autor/>
- Bhujel, R. C. (2002). *Manejo Alimentario para Tilapia*. *Panorama Acuicola*, 7(4), 6.
- Caldas Quiñonez, A., Castillo Deza, I., & Prado Moscoso, S. (2019). Diseño y construcción de sistemas acuaponicos a pequeña escala para familias de la region Piura . *Universidad de Piura* .
- Calderon García , D. (11 de 08 de 2019). *Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia,, lechuga y langostino, Chihuahua, México* .
- Calvachi, G. L. (2012). *Nitrógeno en aguas residuales: Orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. *UNIVERSIDAD Y SALUD*, 17.
- Cámpora, O. I. (2017). "Puesta en marcha y operación de un reactor egssb mediante desnitrificación autótrofa-heterótrofa simultánea para la eliminación de nitrógeno, azufre y materia orgánica". 79.
- Campos, R. &. (2013). *Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 939–950.
- Candarle, P. (s.f.). *Técnicas de Acuaponía*. Obtenido de Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC):  
[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/\\_archivos//000000\\_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831\\_T%C3%A9nicas%20de%20Acuaponia.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831_T%C3%A9nicas%20de%20Acuaponia.pdf)
- Castaño , M., & Medina Rodriguez, M. (2020). *urg*. Obtenido de <https://www.ugr.es/~cjl/nitrificacion.pdf>

- Castillo, D. Z. (2016). *Implementation of an experimental nutrient film technique-type aquaponic system. Aquaculture International, 24(2), 637–646.* Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9954-z>
- Castro, K. A. (2008). *Pérdidas de fósforo en zonas de cultivo de tilapia (Oreochromis spp.) en el embalse de betania (Huila: Colombia). 116.*
- Combatt, E. P. (2020). *Macronutrientes en el tejido foliar de albahaca Ocimum basilicum L. en respuesta a la aplicación de nitrógeno y potasio. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 23(2).* Obtenido de <https://dpi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1325>
- Contreras, D. N. (2020). *Manual de Biofloc.2.* Obtenido de <https://docs.google.com/a/espe.edu.ec/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbm93V3VsdHVyYWp1YW5vcnRpenxneDozOTg2NjM0MGY0YmM1YWQ>
- Córdova, J. (2019). *Valoración de dos sistemas acuapónicos para el cultivo de fresa y su estimulación mediante bioproductos algales.* Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15729>
- Covarrubias, J. C. (2011). *Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. 8, 5.*
- Crab, R., Avnimelech, Y., Bossier, P., & Verstrete, W. (9 de 2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture, 1-19.* Obtenido de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0044848607004176>
- Currey, C. &. (2016). *Slow basil growth .pdf. e-gro. .* Obtenido de <http://e-gro.org/pdf/E103.pdf>

- Darquea, E. &. (2018). *Sistema de cultivo acuaponico para la produccción de Oreochromis sp. Y lactuca sativa. 18.*
- El Sayed, & Fattah, A. (2006). Obtenido de Oceanography Department, Faculty of science Alexandria University Egypt.
- Elfeky, A. (21 de 02 de 2009). *Rendimiento de Alevines de Tilapia de Rio, Efecto del pH.* Obtenido de ResearchGate:  
[https://www.researchgate.net/publication/334459475\\_Performance\\_of\\_Nile\\_Tilapia\\_Oreochromis\\_niloticus\\_Fingerlings\\_I\\_Effect\\_of\\_pH](https://www.researchgate.net/publication/334459475_Performance_of_Nile_Tilapia_Oreochromis_niloticus_Fingerlings_I_Effect_of_pH)
- Espinoza, A., Alvares, A., Albertos, P., Guzman, R., & Martinez , R. (12 de 06 de 2018). *Growth and development of herbaceous plants in aquaponic systems.* Obtenido de Acta Universitaria : <http://148.214.150.50/index.php/acta/article/view/1387>
- Espinoza, F. H. (2016). *Macroalgas como componente en el sustrato para producción de plántula de albahaca\* Macroalgae as a component in the substrate for production of basil seedling .*
- FAO. (2015). *Small-scale aquaponic food production. FAO Books.*
- FAO. (2021). Obtenido de Siete reglas básicas que hay que seguir en la acuaponía.:  
<http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1334611/>
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. FAO. .* Obtenido de <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Ferandez, R. (2019). *Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco 4,891-896.*

- Fernandez, V. (1995). *Estudios en domesticación y cultivo de especies medicinales y aromáticas nativas*. FPTA.f. Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8778/1/Fpta-11-p.205-225.pdf>
- Forero, C. (2010). *Implementación de buenas prácticas agrícolas en plantas aromáticas culinarias [Tesis para Ingeniero Agrónomo]*. Universidad Nacional de Colombia.
- García, M. L. (2005). *Evaluación de un sistema experimental de acuaponía*. 9(1). . Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83709105>
- Garzón Zuñiga, M. A. (2005). *Remoción de Nitrógeno y Fosforo*. Obtenido de Mecanismos no convencionales de transformación y remoción del nitrógeno en sistemas de tratamiento de aguas residuales: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/6Remociondenitrogenoyfosforo2.pdf>
- Gaviria, Y. S. (2020). *Propiedades físicas de alimento para tilapia roja (Oreochromis spp.) elaborado con ensilado químico y secado en microondas*. *Información tecnológica*, 31(6), 105–116. Obtenido de <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600105>
- Gómez , F., & Trejo, L. (2015). *La acuaponía: Alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México*. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/hevila/Agroproductividad/2015/vol8/no3/10.pdf>
- Gomez, F. O. (2015). *La acuaponía: Alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México*. *Agroproductividad*, 8(3), 60–65.
- Gonzalo, S. P.-O. (2020). *Propuesta de un protocolo para la obtención de fertilizante orgánico a partir de microalgas*. 18.

- Guamán, M. &. (2016). *Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador*.  
*Lucia Re de Guillén*.
- Guerrero, L. A. (2007). *Eliminación de nitrato, azufre y materia orgánica compleja mediante desnitrificación simultánea autótrofa y heterótrofa*. . Obtenido de  
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica>
- Halima, N. (2004). Why is it important to use algae in aquaculture. *Biochem Biotech*, 11-13.
- Henao, A. C. (2014). *Bacterias autótrofas y heterótrofas asociadas a nieve marina lodosa en arrecifes con escorrentía continental*. *Universitas Scientiarum*, 20(1), 9.  
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC20-1.baha>.
- Henze, M., & Harremoës, P. (1995). Basic Biological Processes. *Springer*, 55-111.
- Heredía, C. (2020). *Efecto de cuatro concentraciones de Chlorella sp. Biotipo 1 como fertilizante foliar en la productividad de fresa (Fragaria vesca) en sistemas acuapónicos de altura*.  
74.
- Hernández Reyes, J. L. (2010). *Aceite de Albahaca y su potencial de producción sustentable para uso medicinal*. . Obtenido de  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2418/JORGE%20LUIS%20HERNANDEZ%20REYES.pdf?sequence=>
- Hernandez, J. (2010). *Aceite de Albahaca y su potencial de producción sustentable para uso medicinal*. Obtenido de  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2418/JORGE%20LUIS%20HERNANDEZ%20REYES.pdf?sequence=1>

- Hernández, L. L. (2019). Obtenido de Los sistemas biofloc: Una estrategia eficiente en la producción acuícola. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(1), 70–99. : <https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>
- Jehlík, T. K. (2019). *Effects of Chlorella sp. On biological characteristics of the honey bee Apis mellifera*. *Apidologie*, 50(4), 564–577. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00670-3>
- Larrinaga, J. (2014). *Evaluacion de la respuesta de albahaca al estres salino de dos cultivos [Centro de Investigaciones biológicas del Noroeste]*. . Obtenido de <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2448>
- Leos-Malagon, A. S.-C.-V. (2021). *Útiles contra el SARS-CoV-2 (Covid-19)*. 9.
- Lillo Campora , O. (2017). *Puesta en Marcha y Operación de un reactor EGSB mediante desnitrificacion autótrofa. Heterótrofa simultánea para la eliminacion de N, Azufre y MO*.
- Longoni, T. E. (2019). Obtenido de Interés de la albahaca (*Ocimum basilicum*) como alimento: Valor nutritivo y propiedades funcionales. 4.
- Majdom, S., & Hosseini Shekarabi, S. (2017). Recuperación biológica de nutrientes del cultivo de gourami perla (*Trichogaster leerii*) por tomate cherry (*Solanum lycopersicum*) en sistema acuapónico. *Springer Link*.
- Makri, O. &. (2008). *Ocimum sp. (Basil): Botany, Cultivation, Pharmaceutical Properties, and Biotechnology*. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 13(3), 123–150. . Obtenido de [https://doi.org/10.1300/J044v13n03\\_10](https://doi.org/10.1300/J044v13n03_10)

- Manan, H. M. (2017). *Identification of biofloc microscopic composition as the natural bioremediation in zero water exchange of Pacific white shrimp, Penaeus vannamei, culture in closed hatchery system. Applied Water Science, 7(5), 2437–2446.* . Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0421-4>
- Maps., G. (2021). *Google Maps nanegalito.pdf.* . Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/@0.1331446,-78.6659156,716m/data=!3m1!1e3?hl=es-419&authuser=0>
- Másmela Mendoza, J., & Lizarazo Forero, J. (2019). *Bacterias nitrificantes cultivables de la zona limnética de lago de Tota, Boyacá.* Obtenido de U.D.C.A: <http://orcid.org/0000-0002-7849-7876>
- Mejía, M. (2019). Panorama del Sector Acuicultura y Pesca.
- Miranda, A. O. (2015). *Evaluación de la carga de bacterias heterótrofas y vibrios en un sistema de cultivo integrado camarón-molusco-macroalga Evaluation of the heterotrophic bacteria and vibrio load in an integrated shrimp-mollusco-macroalga Evaluation of the heterotrophic ba.*
- Moncayo Lujan, M. d. (2015). *Compuestos fenólicos antioxidantes en Albahaca bajo soluciones nutritivas orgánicas en invernadero.pdf. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.*
- Montañez, I. (2013). *Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bolaños, C., Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Rey, J., & Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Crecimiento y desarrollo de albahaca (Ocimum basilicum L.) bajo cubierta en .* Obtenido de <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.866>

- Moreno Roblero, M., & Pineda, J. (29 de 06 de 2020). *El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas*. Obtenido de Instituto de Horticultura-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo,.
- Muñoz, F. (1996). *Plantas Medicinales y aromáticas. Estudio Cultivo y Procesado*. Mundi-Prensa.s. Obtenido de <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788471146243/plantas-medicinales-y-aromatica>
- Ormaza, F. (2021). Consumo percapita del Ecuador durante el 2020.
- Orta, L. (Septiembre de 2002). Contaminación de las aguas por. *Fitosanidad*, 6, 3. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209118292006.pdf>
- Ozcan M, M. &. (2015). *Constituents of the essential oil of sideritiserythrantha boiss. & heldr. Var. Erythrantha* Department of Food Engineering.
- Palma, M. J. (2017). *Diseño y construcción de dos sistemas acuapónicos horizontales para la producción conjunta de preces dorados y lechugas*. 79.
- Pérez, A. V. (2018). *Actividad del aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum) contra Colletotrichum gloeosporioides de ñame (Dioscorea alata)*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. Obtenido de <https://doi.org/10.3191>
- Perrín, R. W. (1988). *La Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos*. CIMMYT. . Obtenido de <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- Pesca., M. d. (2021). *Catálogo de productos pesqueros*. Viceministerio de Acuicultura y Pesca.



- Petrocchi, F. (2018). *Albahaca Información sobre la planta Propiedades y cultivo*. Obtenido de [https://www.elicriso.it/es/plantas\\_aromaticas/albahaca/](https://www.elicriso.it/es/plantas_aromaticas/albahaca/)
- PIA. (11 de 03 de 2017). *Portal de Información de Acuicultura*. Obtenido de Sistemas acuap+onicos de tilapia y albahaca son rentables : <https://www.aquahoy.com/i-di/sistemas-de-cultivo/24643-sistemas-acuaponicos-de-tilapia-y-albahaca-son-rentables-cuando-el-area-de-cultivo-es-mayor-a-76-metros-cuadrados>
- Plagron. (2021). *Como afecta la temperatura al crecimiento de las plantas en las salas de cultivo*. Obtenido de <https://www.plagron.com/es/temas/como-afecta-la-temperatura-al-crecimiento-de-las-plantas-en-las-salas-de-cultivo#:~:text=Las%20ra%C3%ADces%20de%20las%20plantas,actividad%20de%20bombeo%20funcionen%20correctamente>.
- Proecuador. (2020). Exportaciones e importaciones de productos acuicolas .
- Quintanilla, M. (2008). *Manual Sobre Producción y Cultivo de Tilapia* . Obtenido de CENDEPESCA.
- Riaño Castillo, E., & Caicedo , L. (2019). *Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica de espinaca baby, para su futura aplicación en acuaponía* .
- Riaño, E. R. (2019). *Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica de espinaca baby (Spinacia oleracea L.), para su futura aplicación en acuapónia*. *Orinoquia*, 23(1), 73–84. Obtenido de <https://doi.org/10.22579/20>
- Ronzón, M. H. (2012). *[HYDROPONIC AND AQUAPONIC PRODUCTION OF SWEET BASIL*. 10.
- Roselló, J. (2018). *Fundamentos de la Multiplicación de las plantas para agricultores*. 17.
- Saavedra Martinez, M. A. (2006). *Manejo del Cultivo de Tilapia*. 24.

- Salud, M. d. (2017). *Medicamentos Herbarios Tradicionales Albahaca .pdf*. Red de Protección social.f. Obtenido de <https://www.minsal.cl/portal/url/item/7d983cf52ca38bd6e04001011e011da0.pdf>
- Salud., M. d. (2017). *Medicamentos Herbarios Tradicionales Albahaca .pdf*. Red de Protección social. Obtenido de <https://www.minsal.cl/portal/url/item/7d983cf52ca38bd6e04001011e011da0.pdf>
- Sam, O. (2002). *Caracterización de las hojas de albahaca blanca (Ocimum basilicum L.)*. *Cultivos Tropicales*, 23(2), 39–42. . Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218114006>
- Shilo, M. &. (1982). *Factors which affect the intensification of fish breeding in israel. li: Ammonia transformation in intensive fish ponds*. 34(3), 101–114.
- Sorgeloos, P. (1996). *Manual sobre producción y uso de alimentos vivos para la acuicultura*. [https://www.researchgate.net/publication/285237285\\_Manual\\_on\\_the\\_Production\\_and\\_Use\\_of\\_Live\\_Food\\_for\\_Aquaculture](https://www.researchgate.net/publication/285237285_Manual_on_the_Production_and_Use_of_Live_Food_for_Aquaculture).
- Toledo, S. &. (2000). *Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada en América Latina y el Caribe*.
- Triana, P. G. (2013). *Rendimiento productivo e hígado graso en tilapia híbrida (Oreochromis spp): Influencia de dos fuentes de lípidos*.
- Valdez, C. G.-C.-S.a.o. (2017). *Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico*. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(2), 185. . Obtenido de <https://doi.org/10.36829/63CTS.v3i2.266>
- Valenzuela, A. C. (2008). *Evaluación de tres variedades de albahaca y dos dosis de fertilización en producción hidropónica y en suelo*. 26.

Vázquez, C. O. (2015). *Sustratos organicos en la producción de albahaca (Ocimum basilicum L.) y su calidad fitoquímica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6(8), 1833–1844.*

Vega, G. (2004). *Instructivo técnico del cultivo de la albahaca.pdf. DOC.* Obtenido de <https://xdoc.mx/documents/instructivo-tecnico-del-cultivo-de-la-albahaca-5facc3ae06934>

Villalobos, S. (2016). *Determination of relative fish plant in tomato (Lycopersicon esculentum L.) production in aquaponic system. 10.*

Yépez, F.-J. F. (2016). *Fertilización nitrogenada en el crecimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de albahaca. Revista Fitotecnia Mexicana, 39(1), 33–40.* Obtenido de <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.1.33-40>

Enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/191poMWqR46DsjcAE3wKg1SPU3vAabC3U?usp=sharing>

[g](#)