



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA  
AGRICULTURA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: “VALORACIÓN DE DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS PARA EL  
CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*) Y SU ESTIMULACIÓN MEDIANTE  
BIOPRODUCTOS ALGALES”**

**AUTOR: CÓRDOVA OROZCO, JHOANA KARINA**

**DIRECTOR: PhD, ORTIZ TIRADO, JUAN CRISTÓBAL**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“VALORACIÓN DE DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS PARA EL CULTIVO DE FRESA (Fragaria vesca) Y SU ESTIMULACIÓN MEDIANTE BIOPRODUCTOS ALGALES”* fue realizado por la señorita *Córdova Orozco Jhoana Karina* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 18 enero del 2019

Firma:

*Juan Ortíz*  
.....

DR. JUAN CRISTÓBAL ORTIZ TIRADO

CC... *170999816-3* .....



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *Córdova Orozco Jhoana Karina*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “*VALORACIÓN DE DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS PARA EL CULTIVO DE FRESA (Fragaria vesca) Y SU ESTIMULACIÓN MEDIANTE BIOPRODUCTOS ALGALES*” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo, con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecido por la Universidad de Fuerzas Armadas – ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Sangolquí, 18 enero del 2019**

Firma:

**JHOANA KARINA CÓRDOVA OROZCO**

C.C. 1724536089



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, *Córdova Orozco Jhoana Karina* autorizó a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, publicar el trabajo de titulación “*VALORACIÓN DE DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS PARA EL CULTIVO DE FRESA (Fragaria vesca) Y SU ESTIMULACIÓN MEDIANTE BIOPRODUCTOS ALGALES*” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 18 enero del 2019

Firma:

JHOANA KARINA CÓRDOVA OROZCO

C.C. 1724536089

**DEDICATORIA**

A Dios

A mis hijos Sebastián y Matías

A mis padres Marco y Clody

A mi hermano Marco Antonio

A mis amigos

Gracias a cada uno, por sus consejos y palabras de aliento

en aquellos momentos de dificultad

con mucho amor y gratitud.

***Jhoana Karina Córdova Orozco***

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad de las Fuerzas Armadas y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria – IASA I, quienes impartieron sus conocimientos y experiencia a lo largo de mi formación profesional.

A mi tutor, Doctor Juan Ortiz, quien aceptó guiarme en la realización de mi trabajo de titulación brindándome sus consejos y apoyo en cada momento de la realización del mismo.

A la Ingeniera Daysi Muñoz y al Licenciado Marco Taco, quienes me ayudaron en la realización de los análisis de laboratorio siempre brindándome una sonrisa.

A mi familia por su apoyo e interés de que me supere y siga adelante hasta lograr la meta tan anhelada, en especial a mi tía por su comprensión y entrega en el cuidado de mis hijos.

A Verence, Doris, Diego, Luis y Bryan quienes fueron de gran apoyo en la realización de este gran trabajo y por cada momento compartido de alegrías y tristezas.

*Jhoana Karina Córdova Orozco*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### CARÁTULA

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación.....	3
1.3	Planteamiento del problema .....	5
1.3.1	Causas.....	6
1.3.2	Efectos .....	6
1.4	Objetivos .....	7
1.4.1	Objetivo general .....	7
1.4.2	Objetivos específicos.....	7
1.5	Hipótesis.....	7

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	Generalidades .....	8
2.2	Hidroponía.....	8
2.2.1	Prácticas culturales en sistemas hidropónicos.....	10
2.3	Acuicultura .....	11
2.3.1	Sistemas de recirculación de agua (SRA) .....	11

		vii
2.4	Acuaponía.....	13
2.5	Fresa .....	14
2.5.1	Condiciones agroclimáticas para el cultivo.....	14
2.5.2	Requerimiento nutritivo .....	15
2.5.3	Producción de fresa en suelo.....	16
2.5.4	Problema.....	16
2.6	Trucha.....	16
2.6.1	Efluente .....	17
2.6.2	Alimentación .....	18
2.7	Hidroproducción.....	18
2.8	Microalga .....	19
2.9	Seaweed Extract .....	20
2.9.1	Dosificación en aplicación foliar.....	21

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Ubicación del experimento.....	23
3.1.1	Ubicación Política .....	23
3.1.2	Ubicación Geográfica.....	23
3.1.3	Ubicación Ecológica .....	24
3.2	Materiales .....	24
3.2.1	Materiales de Campo.....	24
3.2.2	Materiales de Laboratorio .....	25
3.2.3	Equipos.....	25
3.2.4	Reactivos .....	25
3.2.5	Organismos.....	26
3.3	Métodos.....	26
3.3.1	Primera fase: Evaluación de los procesos de nitrificación en condiciones controladas de laboratorio por parte de consorcios bacterianos <i>Bacillus subtilis</i> , que se utilizaron en el sistema acuapónico .....	27
3.3.1.1	Ensayo de nitrificación.....	27



3.3.2	Segunda fase: Determinación de nutrientes minerales generados en dos sistemas de circulación cerrada, entre truchas en crecimiento y el complejo bacteriano ( <i>Bacillus subtilis</i> ).....	28
3.3.3	Tercera fase: Evaluación de parámetros productivos del cultivo de <i>Fragaria vesca</i> en dos sistema acuapónicos (NFT y balsas flotantes) y bajo la acción de <i>Chlorella</i> sp. Biotipo 1 en aspersiones foliares .....	28
3.3.3.1	Masificación de biomasa de <i>Chlorella</i> .....	28
3.3.3.1.1	Conteo celular .....	29
3.3.3.2	Elaboración del producto algal.....	29
3.3.3.2.1	Análisis de proteína por método Kjeldahl.....	30
3.3.3.2.2	Concentración de ácido indol acético (AIA) en muestras algales.....	31
3.3.3.2.3	Concentración de nutrientes minerales .....	31
3.3.4	Diseño experimental.....	32
3.3.4.1	Características de unidades experimentales .....	32
3.3.4.2	Croquis del diseño .....	33
3.3.4.3	Factores .....	34
3.3.4.4	Tratamiento .....	34
3.3.5	Variables medidas .....	34
3.3.5.1	Primera fase.....	34
3.3.5.1.1	Condiciones físico-química del agua .....	34
3.3.5.2	Segunda fase.....	35
3.3.5.2.1	Calidad de agua sistemas acuapónicos.....	35
3.3.5.3	Tercera fase .....	35
3.3.5.3.1	Composición nutrimental de <i>Chlorella</i> sp. Biotipo 1 .....	35
3.3.5.3.2	Parámetros productivos plantas.....	35
3.3.6	Análisis estadístico .....	37
3.3.6.1	Modelo matemático.....	37
3.3.7	Métodos específicos de manejo del experimento.....	38
3.3.7.1	Instalación del sistema .....	38
3.3.7.2	Componente acuícola .....	38
3.3.7.3	Filtro biológico .....	38

3.3.7.4	Sistema hidropónico.....	39
---------	--------------------------	----

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Resultados .....	41
4.1.1	Primera fase.....	41
4.1.1.1	Condiciones físico - químicas del agua.....	41
4.1.1.2	Análisis del proceso de nitrificación .....	41
4.1.2	Segunda fase.....	43
4.1.2.1	Desarrollo de peces en sistemas acuapónicos .....	43
4.1.2.2	Análisis químico del agua del sistema acuapónico .....	44
4.1.3	Tercera fase .....	45
4.1.3.1	Características químicas de <i>Chlorella</i> sp. Botipo I.....	45
4.1.3.2	Análisis morfométricos y productivos de las plantas de fresa .....	45
4.1.3.3	Análisis proximal del follaje de las plantas de Fresa. ....	47
4.1.3.4	Análisis de calidad del fruto.....	48
4.2	Discusión.....	50

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	54
5.2	Recomendaciones.....	55
5.3	Bibliografía.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Concentración de macronutrientes en la solución nutritiva para fresa en hidroponía en meq.L<sup>-1</sup></i> .....	15
<b>Tabla 2</b>	<i>Parámetros fundamentales para el cultivo de trucha arco iris</i> .....	18
<b>Tabla 3</b>	<i>Características químicas del fertilizante orgánico microalgal (Chlorella sp y Scenedesmus sp)</i> .....	20
<b>Tabla 4</b>	<i>Características de Seaweed extract</i> .....	22
<b>Tabla 5</b>	<i>Factores evaluados en la investigación</i> .....	34
<b>Tabla 6</b>	<i>Tratamientos evaluados en el cultivo de fresa, aplicación de bioproducto y diferente tipo de sistema acuapónico</i> .....	34
<b>Tabla 7</b>	<i>Análisis de varianza para un bifactorial con 4 tratamientos y 2 repeticiones</i> .....	37
<b>Tabla 8</b>	<i>Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos del agua de los sistemas acuapónicos durante 150 días de duración de la investigación.</i> .....	41
<b>Tabla 9</b>	<i>Valores promedios de compuestos nitrogenados en el proceso de nitrificación en laboratorio</i> .....	42
<b>Tabla 10</b>	<i>Valores promedios de compuestos nitrogenados en el proceso de nitrificación en campo</i> .....	43
<b>Tabla 11</b>	<i>Datos de crecimiento de Trucha Arcoiris en un sistema acuapónico con Fresa</i> .....	44
<b>Tabla 12</b>	<i>Concentración de nutrientes en cada uno de los componentes de los sistemas acuapónicos</i> .....	44
<b>Tabla 13</b>	<i>Composición nutrimental del producto a base de Chlorella sp</i> .....	45
<b>Tabla 14</b>	<i>Promedio ± error estándar de características morfológicas de Fragaria vesca</i> .....	46
<b>Tabla 15</b>	<i>Promedio ± error estándar de la concentración de nutrientes en follaje de Fragaria vesca</i> .....	48
<b>Tabla 16</b>	<i>Promedio ± error estándar de la calidad del fruto</i> .....	49
<b>Tabla 17</b>	<i>Promedio ± error estándar de composición química de la biomasa del fruto</i> .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Sistemas y medios de producción hidropónica.....	10
<b>Figura 2</b>	A) Laboratorio de Acuicultura, B) Proyecto de Acuicultura.....	23
<b>Figura 3</b>	A) Sistema acuapónico técnica de lámina nutritiva (NFT) y B) Sistema acuapónico técnica balsa flotante .....	24
<b>Figura 4</b>	Sistema NFT. Referencias: 1.- componente hidropónico, 2.- tanque de peces, 3.- sedimentador, 4.- filtro biológico.....	33
<b>Figura 5</b>	Sistema Balsa flotante. Referencias: 1.- componente hidropónico, 2.- tanque de peces, 3.- sedimentador, 4.- filtro biológico.....	33
<b>Figura 6</b>	Sistemas hidropónicos .....	39
<b>Figura 7</b>	Evaluación del proceso de nitrificación de bacterias endémicas vs <i>Bacillus subtilis</i> . a) Evolución de amonio. b) Evolución de nitrito. c) Evolución de nitrato .....	42
<b>Figura 8</b>	Promedio de características morfológicas de fresa.....	47
<b>Figura 9</b>	Peso del fruto para los tratamientos Acuapónicos bajo dos tipos de fertilizante foliares .....	48

## RESUMEN

La seguridad alimentaria de poblaciones locales en zonas urbanas se encuentra en riesgo, por la contaminación de alimentos con el uso excesivo de pesticidas y su pobre valor nutricional. Por otro lado la productividad en zonas agrícolas y pecuarias de altura se ven limitadas por el monocultivo, carencia tecnológica y proyectos innovadores para el incremento productivo. El presente estudio integra sistemas hidropónicos y acuícolas en un sistema conocido como Acuaponía. Se evaluó sistemas acuapónicos durante cinco meses incorporando la producción de fresas y truchas. Se probaron diferentes sistemas hidropónicos, lámina nutritiva de agua (NFT) y balsa flotante (BF), con el uso de bio-productos algales aplicados foliarmente, donde se destaca el uso de la microalga andina *Chlorella sp.* Biotipo I (CHL) y extractos de algas marinas Seaweed extract (SE). En total se evaluaron cuatro tratamientos: T1 (NFT/CHL), T2 (NF/SE), T3 (BF/CHL) Y T4 (BF/SE), sobre la productividad de plantas de fresa, calidad de fruto y productividad piscícola. El tratamiento T3 muestra diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ), con una producción de 11 hojas/planta, 14 flores/planta y 8 frutos/planta; con un peso de 14 g/fruto, 6 °Bx y una firmeza de 1,9 kg/fuerza. La nutrición de las plantas en ambos sistemas, estuvieron dentro de los rangos permisibles para la producción de fresa, sin embargo, el T1 (NFT/CHL) presentó deficiencia de nitrógeno. Durante los procesos de nitrificación, en el sistema cerrado de recirculación (SAR), el uso de *Bacillus subtilis* mostró mejores resultados de transformación del nitrógeno amoniacal, con una producción continua de 44 ppm de NO<sub>3</sub>.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **ACUAPONIA DE ALTURA**
- ***Chlorella sp.* BIOTIPO I**
- **SEAWEED EXTRACT**

## ABSTRACT

The food security of local populations in urban areas is at risk, due to the contamination of food with the excessive use of pesticides and their poor nutritional value. On the other hand, productivity in high altitude agricultural and livestock areas is limited by monoculture, lack of technology and innovative projects to increase production. The present study integrates hydroponic and aquaculture systems in a system known as aquaponics. Aquaponic systems were evaluated during five months incorporating the production of strawberries and trout. Different hydroponic systems, nutrient film technique (NFT) and floating raft (BF) were tested, with the use of foliarly applied algal bio-products, where the use of the Andean microalga *Chlorella* sp. Biotipo I (CHL) and marine algae extracts Seaweed extract (SE). In total, four treatments were evaluated: T1 (NFT/CHL), T2 (NF/SE), T3 (BF/CHL) and T4 (BF/SE), on productivity of strawberry plants, fruit quality and fish productivity. The T3 treatment shows statistical differences ( $p < 0.05$ ), with a production of 11 leaves/plant, 14 flowers/plant and 8 fruits/plant; with a weight of 14 g / fruit, 6 ° Bx and a firmness of 1.9 kg/force. The nutrition of the plants in both systems, were within the allowable ranges for strawberry production, however, T1 (NFT/CHL) showed nitrogen deficiency. During the nitrification processes, in the closed recirculation system (SAR), the use of *Bacillus subtilis* showed better results of transformation of the ammoniacal nitrogen, with a continuous production of 44 ppm of NO<sub>3</sub>.

### KEYWORDS:

- ACUPONY OF HEIGHT
- *Chlorella* sp. BIOTIPO I
- SEAWEED EXTRACT

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

El sistema de producción acuapónico integra de manera conjunta la acuicultura de recirculación y la producción hidropónica de plantas. Los nutrientes, que son excretados directamente por los organismos acuáticos o generados por las reacciones microbianas sobre los desechos orgánicos, son absorbidos por las plantas cultivadas hidropónicamente (Muñoz M. , 2012). El mismo autor menciona que esta es una técnica antigua donde los primeros reportes en este campo datan de la década de 1970, y hasta la década de 1980 estos desarrollos tuvieron limitada aplicación. El aprovechamiento adicional que hacen las plantas de los desechos acuícolas constituye una ventaja sobresaliente de la acuaponía, pues reduce el impacto ambiental por la contaminación de efluentes y aumenta la eficiencia del uso hídrico. La acuaponía permite reducir los costos de producción al hacer un aprovechamiento más eficiente de los recursos a través de diferentes escalas de producción, incrementando la rentabilidad económica con la diversificación de ingresos financieros (Gómez-Merino, y otros, 2015).

Estudios comparativos realizados en Ecuador, y relacionados con acuaponía tenemos: “Comparación de rendimiento de cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo los sistemas de hidroponía y acuaponía” donde los resultados obtenidos en sistemas acuapónicos tuvo una producción: en el componente vegetal del 62% de plantas en producción continua, 3 frutos por planta de 12,20 g y 9,94 °Bx/unidad y en el componente piscícola con tilapia, la productividad fue relativamente baja con 5 kg/m<sup>3</sup> y pesos de finalización de 40,63g/pez (Coronel Ochoa, 2014).

Cabe destacar que la fresa es cultivada en casi todo el mundo, no solamente por sus características digestivas y tónicas, sino por el valor nutritivo de sus frutos, fuente importante de ácido fólico, vitamina C, potasio, flavonoides, antocianidina, fitoquímicos, antioxidantes y fibra (Cuevas & Salaverría, 2004). Esta fruta es una de las más apetecidas por la comunidad local ecuatoriana y su cultivo se desarrolla en la región andina concentrándose su mayor extensión en la provincia de Pichincha, también en constante crecimiento en las provincias de Tungurahua, Imbabura, Chimborazo y en pequeñas extensiones en Cotopaxi y el austro ecuatoriano. Esta fruta es una de las alternativas importantes de la economía en dichas provincias. Su producción va a los mercados de Quito, Cuenca, Guayaquil y otras provincias de la Costa (Revista\_ElAgro, 2016). Por su gran importancia se han realizado trabajos de investigación para ayudar en su rendimiento, entre uno de ellos tenemos “Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa variedad oso grande bajo invernadero, mediante dos tipos de fertilización (química y orgánica)” llevado a cabo en la parroquia de Octavio Cordero Palacios, Cantón Cuenca; en el cuál no se encontraron diferencias en parámetros productivos, con los tratamientos aplicados (Chiqui & Lema, 2010).

Sin embargo, en la producción intensiva en suelo de fresa en Ecuador se utiliza gran cantidad de pesticidas los cuales generan contaminación a gran escala en ambientes de cultivo terrestre y ponen en riesgo el bienestar humano por la alta tasa de consumo de esta fruta. Cabe destacar que para solventar esta problemática, en la actualidad se trabajan con biofertilizantes como las microalgas y que pueden generar una alternativa para la mejora productiva de este fruto (Tipán, 2017).



Estudios realizados con microalgas demuestran que por sus características nutricionales y componentes fenólicos y antioxidantes pueden ser utilizados en cultivos agrícolas de diferente índole. Cabe destacar que estos microorganismos, tienen la capacidad de crecer y hacer fotosíntesis con diferentes fuentes de nutrientes como las sales minerales, en condiciones autotróficas y sustancias orgánicas (como estiércoles y aguas residuales), en condiciones mixotróficas (Chinnasamy, Bhatnagar, Hunt, & Das, 2010). La biomasa algal pueden ser utilizada para diferentes fines como: biofertilizante, biocombustibles, alimentación animal y humana, y para elaboración de productos biotecnológicos (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). Estudios realizados con *Chlorella* sp y *Scenedesmus* sp. utilizados como fertilizantes orgánicos en el cultivo de tomate riñón, fueron exitosos en la mejora de la productividad de esta hortaliza.

Con estas consideraciones, el estudio se enfoca en utilizar modelos acuapónicos con truchas y fresa a pequeña escala, en donde se incluyen productos a base de la biomasa algal de diferentes orígenes, permitiendo de esta manera generar cultivos sustentables con características orgánicas.

## **1.2 Justificación**

Para el crecimiento equilibrado de los vegetales en sistemas acuapónicos, se necesita de elementos esenciales que deben encontrarse balanceados correctamente, pudiéndose dividir de manera general en macro y micronutrientes. Los macro nutrientes, incluyen el carbono (C), Oxígeno (O), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P) y Azufre (S). Los micronutrientes por su parte, incluyen el Cloro (Cl), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo), entre los principales (Candarle, 2012).

En acuaponía, en donde se combinan sistemas acuícolas e hidropónicos, el efluente rico en nutrientes de los tanques de peces se utiliza para fertilizar los lechos de producción hidropónica. Esto es bueno para los peces, porque las raíces de las plantas y las rizobacterias aprovechan los nutrientes del agua (FAO, 2014).

Estos nutrientes generados a partir del estiércol de los peces, algas y residuos alimenticios en descomposición, pueden alcanzar niveles tóxicos en cultivos piscícolas, provocando mortalidades elevadas, además de generar una contaminación ambiental en fuentes hídricas naturales (HYDROENVIRONMENT, 2018).

En sistemas de recirculación y durante el proceso de depuración de los efluentes, la acción de complejos bacterianos aeróbicos permite la transformación del nitrógeno amoniacal en nitratos, el cuál es utilizado por las plantas en producción. Bajo esta consideración, las bacterias nitrificantes que viven en un sustrato adecuado y en asociación con las raíces de las plantas juegan un papel crítico en el ciclo de nutrientes; sin estos microorganismos todo el sistema dejaría de funcionar (Diver, 2006).

Al aprovechar el sistema radicular hidropónico los nutrientes (carbono, nitrógeno y otros elementos) generados por los estanques de que peces, y a estos agregar promotores de crecimiento foliar de origen orgánico, la sinergia productiva permitirán producir alimentos de mejor calidad e inocuidad. En este sentido el contenido de pesticidas en los cultivos disminuiría, dado por el control de plagas y manejo de un sistema acuapónico (Tipán, 2017).

Puesto que el cultivo de fresa puede verse afectado por la cantidad de pesticidas utilizados para el control de plagas. La ONG Francesa “Generations futures” mediante un análisis de pesticidas en tiendas de expendio en Francia y España, concluyó que el 92 % de las fresas

españolas contenían pesticidas. El 17 % de ellos de productos no autorizados y/o cancerígenos y el 71% productos que contenían perturbadores endócrinos (HERALDO, 2013). En este sentido el consumo de este tipo de productos finales puede provocar enfermedades crónicas y problemas de fertilidad, así como cáncer a nivel de mama, próstata, testículo y enfermedades comunes como la obesidad y diabetes (Exportadora, 2015) (Tipán, 2017).

Por otro lado la tendencia de la comunidad a consumir productos orgánicos, genera la necesidad en los pequeños productores de encontrar sustancias que sean sinérgicamente viables, tanto para mejorar la nutrición foliar y radicular, así como estimular el sistema inmune ante plagas sistémicas.

### **1.3 Planteamiento del problema**

Los cultivos tradicionales en suelo de fresa requieren de sistemas de ferti-irrigación para el control de la nutrición vegetal efectiva. El incremento de la productividad atrae plagas de diferente índole, por lo que los productores requieren de la utilización de pesticidas. Esto provoca un impacto ambiental negativo en aguas superficiales y subterráneas, a su vez obtenido productos con residuos de estos químicos que provocan alteraciones en la salud humana.

La acuaponía es una técnica amigable con el ambiente, debido a la combinación de la acuicultura e hidroponía. Esto genera la depuración del medio piscícola y el aprovechamiento de nutrientes para la producción vegetal. Los sistemas de recirculación bajo esta sistemática obligan a los productores a reducir el uso de pesticidas en el control de plagas en el sistema. Sin embargo quedan algunos procesos por descubrir en este sistema, especialmente en zonas de altura del Ecuador y en donde nos hacemos la siguiente pregunta: ¿Cuál es el aporte de nutrientes que brinda el cultivo de truchas a 3000 msnm para satisfacer la producción de fresa? Y si ese déficit

de nutrientes puede ser compensado con el aporte de nutrientes minerales presentes en las microalgas?

### **1.3.1 Causas**

- La producción de fresa en suelo requiere de sistemas de riego por goteo, y suministro de nutrientes para la producción semi-intensiva.
- La producción de fresa se da en sistemas hidropónicos, con un balance adecuado de nutrientes minerales para la producción intensiva.
- La presencia de plagas en las producciones, afecta la productividad por m<sup>2</sup>, obligando a los productores a usar pesticidas indiscriminadamente en altas concentraciones.

### **1.3.2 Efectos**

- Con el cultivo tradicional se genera un impacto negativo al ambiente por las escorrentías en aguas subterráneas de los efluentes residuales utilizados en estos cultivos, por tanto contaminación en el medio acuático.
- Esto incrementa los costos operativos y el desconocimiento del balance de nutrientes minerales genera cambios en el pH y otros minerales críticos para el cultivo de frutilla.
- Afecta la inocuidad de los alimentos de consumo directo, generando un impacto en la salud humana, a su vez dejando residuos de los productos en el ambiente, afectando al suelo y atmosfera.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Evaluar los efectos sinérgicos de *Chlorella* sp. Biotipo 1 en dos sistemas acuapónicos de altura con fresa (*Fragaria vesca*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).

### 1.4.2 Objetivos específicos.

- Evaluar los procesos de nitrificación de bacterias aeróbicas (*Bacillus subtilis*) en condiciones controladas de laboratorio, y que fueron utilizadas en los sistemas acuapónicos técnica de solución nutritiva (NFT) y balsas flotantes (BF).
- Determinar la disponibilidad de nutrientes minerales generados en dos sistemas de circulación cerrada, entre truchas en crecimiento y el complejo bacteriano (*Bacillus subtilis*), así como el balance carbono, nitrógeno, fósforo y minerales traza disponibles.
- Evaluar parámetros productivos del cultivo de *Fragaria vesca* y trucha arco iris en dos sistema acuapónicos (NFT) y (BF) y bajo la acción de *Chlorella* sp. Biotipo 1 como producto foliar a una altitud de 2940 m.

## 1.5 Hipótesis

H0. “El aporte nutritivo de excretas de trucha mediante los procesos de nitrificación en dos sistemas acuapónicos con truchas (NFT y balsas flotantes) y el uso de *Chlorella* sp. Biotipo 1 como producto foliar, mantiene la productividad de fresa en zonas de altura”.

H1. “El aporte nutritivo de excretas de trucha mediante los procesos de nitrificación en dos sistemas acuapónicos con truchas (NFT y balsas flotantes) y el uso de *Chlorella* sp. Biotipo 1 como producto foliar, incrementa la productividad de fresa en zonas de altura”.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Generalidades

La producción mundial de peces de agua dulce denota un crecimiento acelerado en los últimos años, debido a esto se ha visto en la necesidad de intensificar la producción acuícola, esto ha ocasionado un impacto ambiental y social negativo. Conforme el incremento de la población humana aumenta, la producción de alimentos como la acuicultura deberá expandirse con miras de perseverar el medio ambiente y recursos naturales (Fimbres, 2015).

La agricultura en nuestro país tiene gran importancia socioeconómica debido a que gran parte de la superficie está dedicada a esta labor, pero los suelos se deterioran por el mal manejo de los cultivos, buscando nuevas alternativas de producción de vegetales se ha encuentra la hidroponía facilitando el desarrollo de los cultivos sin necesidad del suelo (Ortega, 2009).

La acuaponía es un sistema de recirculación con la ventaja de generar dos tipos de producciones: animal y vegetal, permitiendo la reutilización de agua y el mantenimiento de cultivos animales y vegetales (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006). Esta tecnología era usada desde la antigüedad por culturas como los aztecas donde criaban peces junto con sus cosechas, ellos construían islas artificiales, lagos, y plantaba en ellos maíz, zapallo y otras plantas (Formo, 2012).

#### 2.2 Hidroponía

La hidroponía es la producción de cultivos sin suelo, sus raíces griegas significan “trabajo en agua”. Un sistema hidropónico es una técnica de producción de diversos tipos de plantas, cuyo

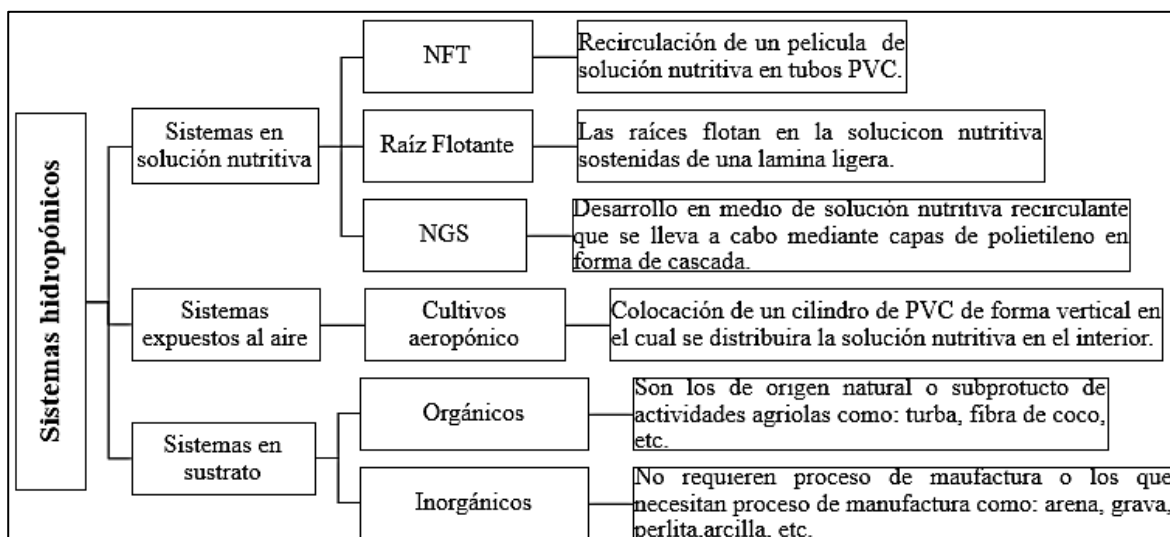
crecimiento es posible gracias al abastecimiento de agua y nutrientes de manera controlada y de proporcionar a las plantas los elementos nutritivos en las concentraciones y proporciones más adecuadas, a través de una solución de elementos esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S., etc.) (Espinosa Robles & Espinosa Mendoza, 2013).

Las ventajas de estos sistemas son: tener un balance idóneo de agua, oxígeno y nutrientes; un control eficiente y fácil de pH y salinidad; ausencia de malezas, plagas y enfermedades en el sistema radicular en etapas iniciales; mejorar la calidad del fruto y aumentar la eficiencia de la fertilización. Este conjunto de acciones permite optimizar insumos y reducir el impacto ecológico y económico. Entre las desventajas que tiene el sistema hidropónico son los altos costos de instalación al inicio de la operación, adaptación de las plantas, y enfermedades radiculares en etapa adulta de la planta. (Soria & Aguilar, 2002).

La hidroponía presenta diversos tipos de sistemas productivos de acuerdo al medio donde se desarrollan las raíces de las plantas (figura 1) según (GAVILAN, 2004).

En la agricultura existen varias formas de alimentar las plantas entre las cuales encontramos: abono orgánico, fertilizantes y solución nutritiva o nutrientes, esta última se utiliza en cultivos hidropónicos debido a que las plantas solo crecen en el agua la misma que no aportan ningún tipo de nutriente (Izquierdo, 2003).

Una solución nutritiva es la mezcla de agua y fertilizantes, es fundamental saber qué características presenta el agua, para evitar problemas al momento de realizar la solución y no tener exceso ni déficit de nutrientes, respetando la ley de Liebig del mínimo; ya que tiene un papel muy importante en la producción de cultivos bajo sistemas hidropónicos (Zárate, 2014).



*Figura 1.* Sistemas y medios de producción hidropónica

### 2.2.1 Prácticas culturales en sistemas hidropónicos

Según Zárate (2014), las prácticas culturales deben realizarse para que las plantas se desarrollen de la mejor manera. Entre las principales actividades tenemos:

- **Poda:** eliminación de hojas y ramas, con esta actividad se reduce el número de frutos pero aumenta la calidad de los mismos.
- **Colocación de tutores o espalderas:** utilizar piola para guiar al cultivo a su crecimiento en forma vertical colocando desde la base de la planta enrollándola hasta llegar al soporte donde se sujeta. Por lo general esto se utiliza en cultivos de tomate riñón para evitar la pérdida de la cosecha.
- **Control de plagas y/o enfermedades:** para este caso es muy importante tener un adecuado control de la nutrición mineral del cultivo, las principales plagas que se encuentra en estos sistemas son los gusanos, pulgones e insectos. Para el control de estos se recomienda usar macerados (ajo, ají) y cebos (Marulanda & Izquierdo, 2003). Entre las enfermedades más



frecuentes se tiene: las bacterias del género *Erwinia* que causan pudriciones suaves o *Pseudomonas* que producen marchitez. Por otro lado se tiene la presencia de hongos como *Rhizoctonia*, *Fusarium* y *Phytium* en sustratos mal desinfectados. *Cercospora* y *Septoria* en algunas plantas de follaje, así como *Phytophthora* en solanáceas. La presencia de nematodos son menos frecuentes.

Entre las prácticas que deben aplicarse para prevenir la presencia de enfermedades están la desinfección de los sustratos, siembra de semillas sanas y de variedades resistentes, las labores de poda para eliminar las partes dañadas o enfermas y suministrar al mismo tiempo mayor aireación, luz y proporcionar al cultivo nutrición adecuada para mantenerlo vigoroso (Guzmán, 2004).

## **2.3 Acuicultura**

La acuicultura a nivel mundial se encuentra en un crecimiento pródigo, según la FAO para el año de 2015 el crecimiento fue del 2,6% de la producción mundial de pescado con respecto al 2014. Lo cual se espera una producción de 168,6 millones de toneladas totales, siendo 90,6 millones provenientes de la captura y 78 millones de la acuicultura (FAO, 2014). Para mantener la producción es necesario intensificar los cultivos, valiéndose de nuevas tecnologías como sistemas de recirculación de agua (SRA) y tratamiento de la misma, optimizando uno de los recurso tan valioso del planeta (Merino & Sal, 2007).

### **2.3.1 Sistemas de recirculación de agua (SRA)**

Los SRA son procesos conjuntos que se utilizan para el cultivo de organismos acuáticos de forma intensiva, procurando agua limpia para la reutilización. Los sistemas presentan como ventaja, el uso racional de agua, puesto que el recambio es menor al 10% diario del volumen total

del sistema, permitiendo el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, potencial hidrogeno (pH), alcalinidad y minerales disueltos como el nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos (Jiménez, 2005).

Los componentes de un sistema de recirculación de agua para un adecuado ambiente son: a) remoción de sólidos representado por desechos producidos en el sistema como heces y alimento no consumido, b) La biofiltración permite controlar los compuestos nitrogenados producto del metabolismo de los organismos (peces), c) aireación y oxigenación del sistema encargado de adicionar aire u oxígeno al agua, d) desgasificación proceso donde el dióxido de carbono acumulado en el sistema es eliminado, y e) recirculación del agua (Losordo, Masser, & Rakocy , 1992).

Uno de grandes problemas presentes en los sistemas cerrados de recirculación de agua, es la eliminación constante de los metabolitos tóxicos, como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y nitrito ( $\text{NO}_2$ ). El nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ), es excretado por los peces a través de sus branquias y la orina, también producido por descomposición microbiana del alimento no consumido y excreto por los peces, por medio de las bacterias. En un sistema cerrado de recirculación de agua para acuicultura, existen varias maneras de reducir o eliminar el  $\text{NH}_3$ , elemento tóxico para los peces y otros organismos. (Lucchetti & Gray , 1988), proponen tres dispositivos para eliminarlo: a) por arrastre de aire proporcionando la de-nitrificación, b) por intercambio iónico y c) por biofiltración. Este último, es utilizado con más frecuencia en los sistemas cerrados de recirculación de agua, debido a su eficiencia, bajo costo, operación y mantenimiento.

## 2.4 Acuaponía

La acuaponía es la combinación de dos disciplinas en la producción de alimentos: a) la acuicultura, con el cultivo de peces; b) sistemas hidropónicos, el cultivo de plantas en agua. La acuaponía armoniza las dos disciplinas dentro de un sistema cerrado de recirculación. Es una técnica en donde se aprovecha los nutrientes derivados de la producción de peces para el cultivo de vegetales, logrando así la disminución del consumo de agua por recirculación constante en el sistema. Los desechos producidos por los peces son convertidos en nutrientes disponibles para las plantas, por medio de acción bacteriana (Pec & Martínez, 2016).

El diseño de sistema de acuaponía tiene una similitud a los sistemas de recirculación en general, con la adición de un componente hidropónico y la posible eliminación de un biofiltro y dispositivos separados para la eliminación de sólidos finos y disueltos. Los elementos de un sistema acuapónico son tanque de peces, componente de eliminación de sólidos sedimentables y en suspensión, biofiltro y componente hidropónico (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Los diseños acuapónicos consideran el uso de dietas balanceadas para la alimentación piscícola, en donde el contenido de proteína y el grado de retención del nitrógeno por kilogramo de biomasa de peces producida, define la disponibilidad de nutrientes en el sistema. En este sentido la proteína contiene el 16 % de nitrógeno, el cuál es retenido en un 30% por la biomasa en proceso. El 70 % del nitrógeno no asimilado sale al ambiente en forma sólida (13%) y disuelta en un 87 % en forma N-NH<sub>3</sub>. Bajo estas consideraciones y en función del requerimiento de proteína del 45% para el crecimiento de trucha arco iris la disponibilidad de N-NH<sub>3</sub> es de 0,04 kg por cada kg de alimento balanceado por día que se suministre al mantenimiento de los peces en el sistema. Cabe destacar que la transformación de N-NH<sub>3</sub> a NO<sub>3</sub> en función de la eficiencia

nitrificante de las bacterias, permiten mantener una transformación del 60 hasta el 100% (Muñoz M. , 2012).

## **2.5 Fresa**

La fresa es herbácea, planta rastrera de la familia rosáceas, no supera los 30 cm de altura; su ciclo vegetativo es perenne en estado silvestre, aunque la durabilidad de las plantaciones comerciales presenta dos facetas: En ambientes situados en latitudes frías el cultivo permanece hasta tres años sin ser renovado, pero sólo tiene un período de producción de dos meses cada año; en cambio, en ambientes mediterráneos y subtropicales, la fresa registra un ciclo de producción largo, con alta productividad y calidad de fruta (INIFAP, 2011).

En Ecuador el cultivo de fresa se da en zonas de altura entre los 1.300 y 2.600 msnm con temperaturas de 15 °C aprox. La mayor producción se concentra en Pichincha con 400 hectáreas de cultivo. Le sigue Tungurahua con 240 hectáreas. En Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura y Azuay, la producción no supera las 40 hectáreas. Diamante, Oso Grande, Monterrey y Albión son las variedades de fresas que se cultivan en el país, tienen textura y pesos similares y se diferencian por su tamaño. En la semana se cosecha de 120 a 150 libras en épocas de alta producción (marzo a mayo) con una productividad promedio de 1,2 hasta 1,4 g de fruta/m<sup>2</sup>. En los supermercados se vende en 1.25 dólares la libra, en los centros de acopio su valor oscila entre 0.75 y 1 dólar la libra (El Productor, 2012).

### **2.5.1 Condiciones agroclimáticas para el cultivo**

Es cultivo se desarrolla a una altura sobre el nivel del mar: 0 a 3.000 metros; temperatura: día entre 18 y 25 °C, noche entre 8 y 13 °C; humedad relativa: entre 60 - 75%, requerimiento hídrico: 400-600 mm/año, tipo de suelo: arenoso o franco arenoso con contenido de arena superior a 50%;

rango de pH: moderadamente ácido, entre 5,7 y 6,5; luminosidad: las variedades de día corto requieren entre 8 y 12 horas de luz (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

### 2.5.2 Requerimiento nutritivo

La fresa necesita 17 nutrientes esenciales para un crecimiento óptimo, calidad y desarrollo en cantidades que cambian basada en las etapas de desarrollo y el clima (Bolda *et al.*, 2015).

La disponibilidad de los nutrientes puede cambiar con el pH, debido a esto los macronutrientes y micronutrientes se encuentran disponibles en un pH de 6 – 7 este rango permite la disponibilidad de nutrientes para ser absorbidos eficientemente por las plantas (Bolda, Dara, Fallon, Sánchez , & Peterson, 2015).

Por tal motivo cuando se produce fresa sin suelo, se debe tomar en cuenta que este es sensible a la salinidad por tal razón es importante mantener los estándares adecuados de pH, conductividad eléctrica y concentración de oxígeno de la solución nutritiva, en la tabla 1 se observa los requerimientos de nutrientes para un sistema hidropónico citado por varios autores (INTAGRI S.C, 2015).

**Tabla 1**

*Concentración de macronutrientes en la solución nutritiva para fresa en hidroponía en meq.L<sup>-1</sup>*

Nutrientes	Paranje, 2008	Henion y Veschambre, 1997	Furlani y Fernández, 2004	Morales, 1999
NO3	4.3	12	8.3	11
NH4	0.7	2	0.8	2
H2PO4	2	2.2	1.6	2
K	2.2	5.7	3.9	5.25
Ca	4.8	6	5.2	6.75
Mg	2	2.5	3	2.5
SO4	3.4	2	3	3.5

### **2.5.3 Producción de fresa en suelo**

La fresa es cultivada en algunos países de Centroamérica, su rendimientos promedios de manera convencional pueden superar los 9091 kg/ha. En Nicaragua, se han introducido muchas variedades, entre las cuales se destacan Festival, Britget y Chandlers con procedencia de Guatemala y Honduras, pero mejoradas en los Estados Unidos (APPEN, 1996). El ciclo de cultivo y la producción pueden variar mucho dependiendo de la época de siembra y el tipo de material que se utilice. Con buen manejo, la planta se mantiene en producción por un año aunque debe cambiarse a los dos años de edad. Las variedades que se cultivan, tiene una capacidad de producción entre 50 y 100 t/ha/año. En Ecuador cuando se tiene una producción en plataforma se siembra de tres a cuatro filas de plantas, sobre el plástico se hacen orificios para que las matas salgan a la superficie (ElComercio, 2011).

### **2.5.4 Problema**

La producción de fresa tiene una tendencia creciente de producción en los últimos años, debido a esto asido es proveedora de fuentes de trabajo, consecuencia de esto los agricultores se ven en la necesidad de utilización de químicos para mantener su producción y calidad pero esto nos lleva a un gran problema de contaminación de esta fruta donde se mantiene los residuos de estos productos químicos siendo causante de enfermedades para la humanidad (Escobar & Robalino , 2015).

## **2.6 Trucha**

La trucha arco iris es procedente de los ríos y lagos de Norte América, al oeste de las Montañas Rocosas, sin embargo, este pez se ha introducido en el mundo entero debido a su uso en la pesca deportiva y su succulenta carne. La trucha arcoíris es llamativa, con colores que varían

según su hábitat, edad y reproducción. Es fusiforme y generalmente de color azul verdoso o amarillo verdoso con una línea rosa en cada lado, vientre blanco y puntos negros en la parte dorsal y en las aletas (Smith, 2017).

Según Blanco (1995), la clasificación taxonómica de la trucha es:

Orden: *Salmoniformes*,

Familia: *Salmonidae*,

Género: *Salmo*

Especie: *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris).

### **2.6.1 Efluente**

La calidad del agua es primordial en un criadero, siendo el medio donde los peces se desarrollarán, así que conocer y mantener los parámetros del agua como: temperatura, oxígeno, turbidez, pH y amonio, es de gran importancia para que el criadero tenga una buena producción. En la tabla 2 se muestra los valores admisibles de los parámetros (De la Oliva, 2011).

La composición química del agua de un criadero se puede ver afectada por el metabolismo de los mismos peces que en ellos habitan o por la degradación de la materia orgánica presente en el agua. Es importante el contenido de amoníaco, ya que su toxicidad y efectos sobre el organismo varían con el pH y la temperatura del agua. El pH es uno de los parámetros más importante, pues cuando aumenta en una unidad, ocasiona el incremento de 10 veces la producción de amoníaco tóxico. Las sustancias amoniacaes son producto de la excreción de los peces, de modo que hay que tener en cuenta la carga de peces que se tendrá por estanque, pues un exceso de carga animal

puede traer consecuencias negativas en los niveles de amonio presentes en el agua, ocasionando daños en las branquias y retardo en el crecimiento de los peces (De la Oliva, 2011)

**Tabla 2**

*Parámetros fundamentales para el cultivo de trucha arco iris*

<b>Factores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Normal</b>	<b>Dudoso</b>	<b>Peligroso</b>
Temperatura del agua	°C	<20°C	20-22°C	>22 °C
Oxígeno disuelto	%	=<80%	50-70%	50%
pH	pH	6<pH<9	pH<6.0 pH>9.2	pH<5.5 pH>9.5
Conductividad a 20°C	Siemens(uS)/cm	20-500	500-600	>600
Alcalinidad en (HCO <sub>3</sub> )	mg.L <sup>-1</sup>	Débil 8-60 Fuerte>400		
Calcio	mg.L <sup>-1</sup>	Fuerte 60-200		
Sulfatos en (SO <sub>4</sub> )	mg.L <sup>-1</sup>	0-50	50-100	>1006-9
Ácido sulfhídrico	mg.L <sup>-1</sup>	-	+	++
Nitratos en (NO <sub>3</sub> )	mg.L <sup>-1</sup>	Débil 0-10 Fuerte 11 o mas		>++
Nitritos en (NO <sub>2</sub> )	mg.L <sup>-1</sup>	0 indicios 0.001	0.1	≤ 1
Amoniac	mg.L <sup>-1</sup>	0 indicios 0.001	0.01-0.4	≥ 1
Cloruros en (Cl) sin influencia del mar	mg.L <sup>-1</sup>	Indicios -20	20-50	>50
Materias en suspensión	mg.L <sup>-1</sup>	>30	30-70	>70
Anhídrido carbónico (CO <sub>2</sub> )	mg.L <sup>-1</sup>	>20	12-20	>20
Oxibilidad en frío, en 4h	mg.L <sup>-1</sup>	1-2	2-5	>5

Fuente: (Blanco, 1995)

## 2.6.2 Alimentación

Pez carnívoro, su fisiología digestiva está en función al tipo de alimento que va a digerir, los requerimientos nutricionales son altos. Al suministrar alimento la fuente natural y elaborar un alimento alternativo o balanceado se debe cumplir con las demandas nutricionales y energéticas en cada etapa de producción (Ortiz, 2015).

## 2.7 Hidroproducción

Según Muñoz (2008), la producción de fresa en sistemas hidropónicos, presenta buenas perspectivas de producción por esta modalidad de cultivo. En el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM), se



obtuvo como dato que en columnas de 32 plantas se producen 9.6 kg de fresa, ocupando en promedio 1/ m<sup>2</sup>, lo que permitiría producir 96 t/ha, con fruta de excelente calidad y mayor conservación (dura más días).

## 2.8 Microalga

Desde la antigüedad, las microalgas han sido aprovechadas por los seres humanos en la medicina, agricultura, industria y alimentación (Tomaselli, 2007). En los últimos años, se ha incentivado la investigación de estos microorganismos, principalmente por ser fuentes de sustancias de alto valor bio-activo. La biodiversidad de microalgas a nivel mundial es escasamente conocida (Norton, Melkonian, & Andersen, 1996).

El principal impulso para cultivar microalgas es la cosecha de productos de interés comercial, tales como la alimentación de animales de granja y peces, suplementos alimenticios para personas, los fertilizantes, los biocombustibles y la fitorremediación de desechos tóxicos (Hidalgo & Martín, 2016).

Adicionalmente, algunas microalgas pueden crecer en condiciones heterotróficas, usando carbono orgánico en ausencia de luz (Xu, Miao, & Wu, 2006). Esta plasticidad metabólica les permite adaptarse a diferentes ecosistemas y procesos biotecnológicos, generando biomásas que pueden ser usadas en la producción de alimentos, concentrados, compuestos bioactivos, biocombustibles, biorremediación y producción de biofertilizantes (Chisti, 2007).

*Chlorella* sp., es un alga verde de forma elipsoidal, la cual crece en forma de células simples. pertenece a la división Chlorophyta y a la clase de las *Chlorophyceae*. Se ha cultivado de forma intensiva con fines de alimentación y obtención de metabolitos. El sistema por lote es el más

utilizado a gran escala por su bajo riesgo de contaminación y fácil implementación (Infante, y otros, 2012).

Los resultados de análisis químico del fertilizante orgánico a base de *Chlorella sp* y *Scenedesmus sp* reportados por García *et al.*, 2016 se presentan en la tabla 3. Cabe destacar que el cultivo de *Chlorella* idónea es a pH de 6,32 y conductividad eléctrica de 3,12 dS/m, respectivamente:

**Tabla 3**

*Características químicas del fertilizante orgánico microalgal (Chlorella sp y Scenedesmus sp)*

pH	dS/m	g por 100 mL(%)			mg.L-1 (ppm)							
		N Total	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn
6,32	3,12	0,10	0,13	0,19	0,09	0,02	0,03	3,4	0,2	3,2	3,8	6,4

Fuente: (García *et al.*, 2016)

## 2.9 Seaweed Extract

El producto Seaweed Extract de ECUAQUIMICA es un bioestimulante a base de extractos de algas marinas de Noruega (*Ascophyllum nodosum*) es considerado como una selección superlativa para uso en cultivos extensivos, en hortalizas, frutales y ornamentales. El extracto contiene más de 60 nutrientes, especialmente N-P-K además de calcio, magnesio, azufre, micronutrientes aminoácidos, citoquininas, giberelinas y auxinas promotoras de crecimiento (ECUAQUIMICA, 2017).

Los micronutrientes están en forma de quelatos naturales (ácidos algínico y manitol) los que proporcionan y favorecen el color y el vigor de las plantas. El extracto se obtiene usando un procedimiento a bajas temperaturas las mismas que no destruyen los aminoácidos y auxinas como lo hacen los procesos a altas temperaturas. SEAWEED EXTRACT además, promueve la generación de metabolitos propios de las plantas como las betaínas, que son un nuevo grupo de

substancias que protegen a los vegetales del ataque de enfermedades (ECUAQUIMICA, 2017) (Tabla 4).

### **2.9.1 Dosificación en aplicación foliar**

**Árboles frutales, vid y arbustos:** la aplicación foliar da como resultado un crecimiento más vigoroso, mejora la fructificación y la calidad de la fruta. Usar 2 litros por 200 litros de agua y aplicar con cualquier equipo de aplicación por aspersión para cubrir bien el follaje de las plantas. Aplicar cada 2 ó 3 semanas, comenzando desde la brotación de los árboles. Se pueden realizar hasta 6 aplicaciones en cada ciclo de cultivo.

- Aplicación cuando aparecen los primeros brotes después del reposo vegetativo.
- Aplicación en botón rosado.
- Aplicación en el cuajado de frutos.

#### **Frutillas y fresas**

1ra Aplicación: Cuando hay suficientes hojas.

2da Aplicación: Al inicio de la floración.

3era Aplicación: Al cuajado de los frutos.

Siguiente aplicación cada 2 - 3 semanas hasta la cosecha.

**Tabla 4***Características de Seaweed extract*

<b>ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>	
Ingredientes activos (Incluyendo bioestimulantes)	12.00 %
<b>MACRONUTRIENTES Y OLIGOELEMENTOS</b>	
Nitrógeno (N)	0.10 - 0.38 %
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.10 - 0.20 %
Potasio (K <sub>2</sub> O)	0.96 - 1.80 %
Calcio (Ca)	0.88 - 2.60 %
Magnesio (Mg)	0.41 - 0.88 %
Azufre (S)	1.70 - 2.00 %
Cloro (Cl)	0.24 - 0.48 %
Sodio (Na)	0.28 - 0.40 %
<b>MICRONUTRIENTES</b>	
Boro (B)	9.60 - 12.0 ppm
Manganeso (Mn)	1.20 - 6.00 ppm
Hierro (Fe)	18.0 ppm
Cobre (Cu)	0.48 - 1.8 ppm
Cobalto (Co)	0.12 - 1.3 ppm
Zinc (Zn)	4.2 - 12.0 ppm
<b>COMPUESTOS REGULADORES DE CRECIMIENTO</b>	
Auxinas	0.12 - 0.14 g/galón de extracto
AIA	0.22 - 0.26 g/galón de extracto
Citoquininas	Aproximadamente 100 ppm
Giberelinas	Activas
<b>CARBOHIDRATOS, PROTEÍNAS Y ÁCIDOS ORGÁNICOS</b>	
Manitol	1.0 %
Ácido Algínico	3.5 %
Proteína cruda	48 - 1.2 %
Fibra cruda	0.6 - 1.2 %
Cenizas	2.0 - 2.6 %
Azúcares	6.0 %
<b>VITAMINAS</b>	
Vitamina E	24 - 4.20 mg/100g
Tiamina	0.14 - 0.29 ppm
Niacina	2.50 - 4.00 ppm
Caroteno	3.00 - 10.00 ppm
Ácido fólico	0.04 ppm
Biotina	0.02 - 0.09 ppm
Vitamina C	12.00 - 240.00 ppm
Riboflavina	1.00 - 2.00 ppm

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

La investigación se llevó acabo en el proyecto de Acuicultura de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.



*Figura 2.* A) Laboratorio de Acuicultura, B) Proyecto de Acuicultura

Fuente: (GoogleMaps, 2018)

#### 3.1.1 Ubicación Política

El presente trabajo de investigación se realizó en la Provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, Parroquia San Fernando en la Hacienda El Prado, IASA I (Carrera de Ingeniería Agropecuaria), Pailones.

#### 3.1.2 Ubicación Geográfica

La Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, se encuentra a una altitud 2748 msnm. Sus coordenadas geográficas son  $0^{\circ}23'11.16''$  al sur,  $78^{\circ}25'1.56''$  al oeste.

### 3.1.3 Ubicación Ecológica

La descripción ecológica del IASA I, según (Arce, 2018):

Se encuentra en un piso altitudinal montano bajo, región latitudinal templada, zona de vida bosque húmedo y corresponde a las siguientes características:

Altitud: 2748 m.s.n.m.

Temperatura promedio: 13.96 °C

Precipitación: 1332.72 mm

## 3.2 Materiales

Los materiales utilizados en el presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

### 3.2.1 Materiales de Campo

4 tanques con capacidad de 0,5m<sup>3</sup>, 2 tubos PVC de 2 pulgadas, Madera, Manguera difusora, Espuma flex, Vasos de plástico, 20 metros de manguera de aireación, Alimento balanceado y 4 atomizadores de 500mL



**Figura 3.** A) Sistema acuapónico técnica de lámina nutritiva (NFT) y B) Sistema acuapónico técnica balsa flotante

### 3.2.2 Materiales de Laboratorio

2 vasos de precipitación, 2 pipetas de 5mL, 1 pipeta de 10mL, 2 tubos de ensayo cónicos tipo Falcon tapa a rosca de 50mL, 2 cajas Petri, 5 metros de manguera de aireación, 5 recipientes plásticos de 5 litros, 3 recipientes plásticos de 20 litros, 3 tubos de ensayo, soporte universal, pinzas universal, esferas de vidrio, papel filtro, materiales volumétricos, embudos de vidrio, Erlenmeyer, crisoles, capsula de porcelana, sistema de titulación, tubos de kjeldahl, unidad de destilación de kjeldahl y fundas de papel.

### 3.2.3 Equipos

Molino de laboratorio, Balanza analítica, Equipo de soxhlet, Placa de calentamiento, Estufa, Desecador, Microscopio óptico OLYMPUS, Incubadora de laboratorio, 2 motores doble salida para acuario, Equipo Kjeldahl para determinación de proteína, Cámara de extracción de gases, Espectrofotómetro de absorción atómica, Sonda Multi-paramétrica, Espectrofotómetro YSI 9000, Refrigerador, Computador, Cámara digital y Centrífuga HERML Z366, Mufla, Equipo manto calefactor Kjeldahl y Clorómetro Hansatech CL-01

### 3.2.4 Reactivos

Agua pectonada, Fertilizante foliar nitrofosKa, Fertilizante foliar Kristalón, Bio-estimulante SEAWEED EXTRACT®, Kits de análisis ánimo, nitrito y nitrato, Ácido clorhídrico, Óxido de lantano, Metanol, Hidróxido de sodio, Ácido sulfúrico, Sulfato de potasio, Solución indicadora, Ácido bórico, Tabletas de Kjeldahl, Acido perclórico, AIA, Cloruro férrico y Acetona.

### 3.2.5 Organismos

- Microorganismos: cepa de microalga *Chlorella* sp correspondiente al biotipo 1, de acuerdo a los resultados obtenidos por el Laboratorio De Acuicultura Y Recursos Acuáticos de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria – IASA.
- Bacterias nitrificantes: *Bacillus subtilis* de Bayer ®, Pond plus
- Fresa: Plántulas de fresa obtenidas en el sector del Quinche
- Truchas: obtenidas de las instalaciones del proyecto de acuicultura ubicado en Pailones, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

### 3.3 Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en tres fases:

- Primera fase: contempló un ensayo de nitrificación para determinar el tiempo de maduración de las bacterias nitrificantes (autóctonas y *Bacillus subtilis*), así como la masificación de microalga *Chlorella* sp. Biotipo 1.
- Segunda fase: consistió en la instalación de los sistemas acuapónicos: técnica de lámina nutritiva (NFT) y balsa flotante (BF), así como la incorporación a los sistemas de bacterias nitrificantes (*Bacillus subtilis*) hasta su maduración y completar los procesos de nitrificación. Simultáneamente se, incorporaron truchas de 85 gramos a una densidad de carga inicial de  $5,1 \text{ kg/m}^3$  hasta llegar a una densidad final de  $18 \text{ kg/m}^3$ .
- Tercera fase: posterior a la maduración del sistema se agregaron plantas de fresa, las cuales fueron fertilizadas con productos de base algal, tanto comercial (Seaweed extract) y experimental (*Chlorella* sp. Biotipo1) de manera foliar.



El área total de estudio fue de 12m<sup>2</sup> donde se colocó cada uno de estos componentes en los respectivos sistemas. El experimento se desarrolló en el proyecto de acuicultura, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

### **3.3.1 Primera fase: Evaluación de los procesos de nitrificación en condiciones controladas de laboratorio por parte de consorcios bacterianos *Bacillus subtilis*, que se utilizaron en el sistema acuapónico**

#### **3.3.1.1 Ensayo de nitrificación**

Para el ensayo de nitrificación se probaron bacterias nativas y *Bacillus subtilis*, PondPlus-Bayer®.

Para aislar bacterias nitrificantes nativas se tomó una muestra de agua de las salidas de las piscinas del Proyecto Acuícola de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria – ESPE, y se lo dejó reposar por cuatro días, obteniendo un sedimento, con bacterias nitrificantes nativas. Para las pruebas con el producto comercial en base a *Bacillus subtilis* (PondPlus) se tomó agua de las mismas instalaciones, y se inoculó 1.5 g del producto.

Una vez aisladas e inoculadas las bacterias nitrificantes se procedieron a realizar las curvas de producción de Nitratos, se utilizó 0,5 mL de hidróxido de amonio (NH<sub>4</sub>OH) que sirvió como sustrato inicial para la producción de NO<sub>3</sub>. Realizando un seguimiento semanal registrando parámetros como: Temperatura (T), pH, Conductividad eléctrica (Ce), sólidos totales disueltos (STD), NH<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>. Las medidas de estos parámetros ayudaron a establecer el tiempo de maduración de las bacterias y su eficiencia, para posteriormente ser utilizadas en los sistemas acuapónicos.

### **3.3.2 Segunda fase: Determinación de nutrientes minerales generados en dos sistemas de circulación cerrada, entre truchas en crecimiento y el complejo bacteriano (*Bacillus subtilis*)**

Para llevar a cabo este objetivo se realizó análisis de agua tanto del área de bacterias, peces y plantas en el sistema hidropónico. De esta manera se determinó el aporte de nutrientes minerales que brindaron los sistemas a las plantas de fresa. Esto se realizó en el momento en que el sistema se encontraba en funcionamiento y los peces en crecimiento.

### **3.3.3 Tercera fase: Evaluación de parámetros productivos del cultivo de *Fragaria vesca* en dos sistema acuapónicos (NFT y balsas flotantes) y bajo la acción de *Chlorella* sp. Biotipo 1 en aspersiones foliares**

#### **3.3.3.1 Masificación de biomasa de *Chlorella***

Para la masificación de *Chlorella*, se sembró una muestras de la cepa en tubos de ensayo que contenía 10 mL de agua destilada y fertilizante foliar Nitrofoska ( $570\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Los tubos fueron cubiertos con tapones de gases estériles para permitir el intercambio gaseoso y se expusieron a iluminación artificial con un fotoperiodo de doce horas de luz y doce horas de oscuridad.

Para la producción de *Chlorella*, luego de 10 días de la siembra se colocó el inóculo en un matraz Erlenmeyer autoclavados con 200 mL de medio nutritivo en las condiciones antes señaladas. Se instaló aireación permanente mediante un motor para acuario de peces y se mantuvo a temperatura ambiente  $20^{\circ}\text{C}$ , cada 3 días se adicionó 200 mL de medio de cultivo nuevo para enriquecer las cepas hasta alcanzar un litro del inóculo. Se realizó el conteo celular, para determinar su concentración. Una vez alcanzado  $2 \times 10^6$  células. $\text{mL}^{-1}$ , se masificó en recipientes de 20 litros, manteniendo iluminación e aireación. Constantemente se agregó medio

nutritivo para favorecer al crecimiento del inóculo hasta alcanzar una concentración de  $19 \times 10^6$  células.mL<sup>-1</sup>.

### 3.3.3.1.1 Conteo celular

Para determinar la concentración celular del inóculo, tanto al inicio como al final de la masificación, se realizaron conteos en la cámara de Neubauer. Se observó en el microscopio óptico y aplicó la siguiente fórmula:

$$DCInóculo = N * 10^4 * FD$$

Dónde:

DC Inóculo: Densidad celular del inóculo (células.mL<sup>-1</sup>)

N: Promedio de células presentes. De acuerdo al número de cuadrantes contados en la cámara de Neubauer.

10<sup>4</sup>: Factor de conversión de 0.1 μL a 1 mL.

FD: Factor de dilución

Para la cosecha de *Chlorella*, una vez que se alcanzó la concentración deseada por mililitro, se realizó la cosecha de la biomasa algal. Para lo cual se retiró la aireación y se lo mantuvo en oscuridad por tres días para obtener la sedimentación de la biomasa.

Finalmente se recolectó el sedimento y centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos; la biomasa obtenida se colectó en recipientes plásticos herméticos y almacenados en refrigeración a 4°C.

### 3.3.3.2 Elaboración del producto algal

Para la elaboración del producto a base de biomasa de *Chlorella*, se utilizó el concentrado obtenido una vez centrifugado, esto se diluyó en un litro agua destilada a una concentración de

$19 \times 10^6$  células.mL<sup>-1</sup> para posteriormente aplicarlo a la planta de forma foliar.

### 3.3.3.2.1 Análisis de proteína por método Kjeldahl

Para realizar este análisis se ejecutó el siguiente protocolo:

- Digestión: se pesó 1.5 g de la muestra homogenizada envuelta en papel parafina; se colocó en el tubo de Kjeldahl. Después se colocó ¼ de pastilla de tableta catalizadora de Kjendahl y con 15 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para cada muestra; se llevó al digestor Kjeldahl por el transcurso de 2 horas a 300°C. Una vez transcurrido este tiempo dejar enfriar y colocar 75 mL de agua destilada.
- Destilación: a cada tubo colocar 75 mL de agua destilada con cuidado por los bordes y colocarlo en la unidad de destilado. Se colocó en un Erlenmeyer 30 mL de ácido bórico al 4% y 2 gotas colorante, se mezcló y colocó bajo el refrigerante del destilador VELP. Encender el equipo y dejar destilar por 5:30 minutos.
- Titulación: se tituló el contenido del matraz con la solución 0,1N de ácido clorhídrico hasta observar un viraje de color verde a rosado.

Para finalizar el proceso se utilizó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de nitrógeno.

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{0,014(V1 - V0)N}{m} * 100$$

Dónde:

V<sub>1</sub> = Es la cantidad de ácido clorhídrico que utiliza en la titulación.

V<sub>0</sub> = Es el ácido clorhídrico inicial pero es una constante q siempre será 0

m = Es el peso de la muestra que se va a analizar.

### 3.3.3.2.2 Concentración de ácido indol acético (AIA) en muestras algales

Para calcular la concentración de AIA, primero se realizó una curva de calibración con AIA puro para lo cual se preparó el reactivo de Salkowski con 2 ml de  $\text{FeCl}_3$  al 0,5 M, 49 mL de agua des-ionizada y 49 mL de ácido perclórico al 70%. Se realizó una dilución al 0, 10, 20, 50, 100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  de AIA (solución 10 mg de AIA en 10 mL de alcohol) y se transfirió 2ml del reactivo de Salkowski.

Para la medición de AIA, se diluyó 0,1 mL del concentrado de *Chlorella* en 10 mL de agua, de esta solución se tomó 1 mL y 2 mL del reactivo de Salkowski. Se dejó reaccionar por 25 minutos con ausencia de la luz, para finalizar el proceso se procedió a leer con ayuda del espectrofotómetro calibrado a una absorbancia de 530 nm y encerado con el blanco previamente.

### 3.3.3.2.3 Concentración de nutrientes minerales

Se colocó una muestra de materia seca de 3 g en un crisol, se realizó la calcinación en la mufla llevar a una temperatura de  $500^\circ\text{C}$  en dos horas. Se calcinó por 4-8 horas a  $500^\circ\text{C}$ . Luego de esto se dejó enfriar la mufla a temperatura ambiente, sacar el crisol, evitando disturbar la ceniza y taparlo; agregar cuidadosamente 2 mL de agua desionizada para humedecer las cenizas. Posterior a ello se agregó 10mL de  $\text{HCl}$   $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  y se calentó en la estufa hasta su ebullición. Dejar enfriar, luego se filtró el contenido del crisol a través del papel filtro, tomando el filtrado en un matraz aforado de 50 mL o 100 mL. Se lavó con agua y se procedió a determinar las concentraciones de cada uno de los elementos deseados (K, Cu, Fe, Mg, P, Mn, Ca y Zn) (Sadzawka *et al.*, 2007).

Se usó un espectrofotómetro de absorción atómica con llama de aire-acetileno y se calibró con la serie de estándares de los elementos: K, Cu, Fe, Mg, P, Mn, Ca y Zn, leer la concentración de:

K a 766,5 nm; Cu a 324,8 nm; Fe a 248,3 nm; Mg a 285,2 nm; P a 466 nm; Mn a 279,5; Ca a 422,7 nm y Zn a 213,9 nm (Sadzawka *et al.*, 2007).

Se determinó cada uno de los macro y micronutrientes de la muestra de *Chlorella* con la siguiente fórmula:

$$\text{Elemento}/(\text{mg}/\text{kg}) = \frac{(a - b) * V}{m}$$

Dónde:

a = mg.L<sup>-1</sup> del elemento en el filtrado de la muestra

b = mg.L<sup>-1</sup> promedio del elemento en los filtrados de los blancos

V = volumen final en mL del filtro

m = masa en g de muestra

### **3.3.4 Diseño experimental**

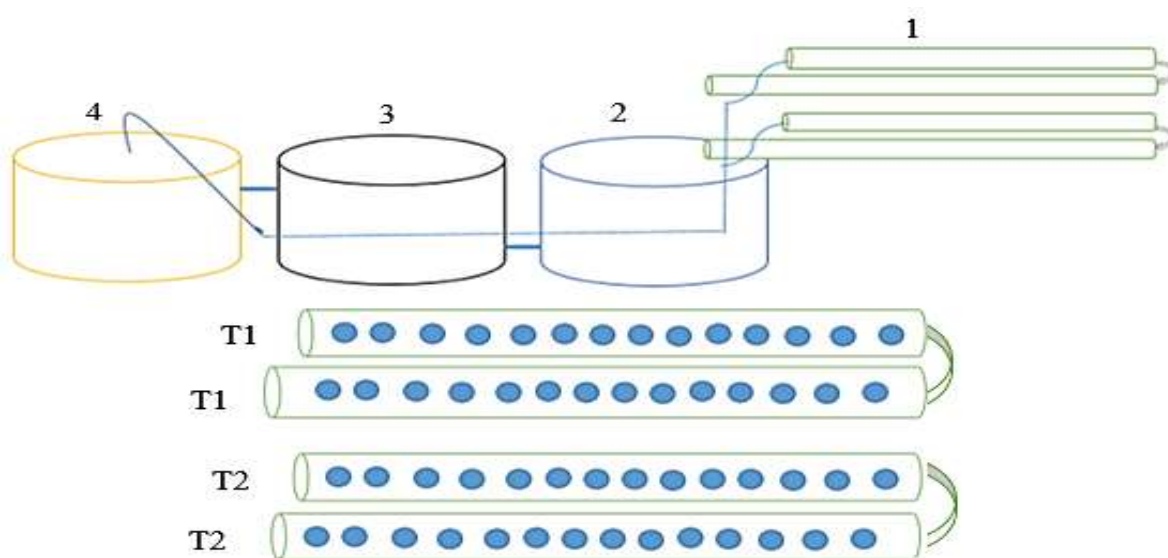
Se aplicó un diseño bifactorial 2x2. El n muestral estuvo representado por 56 plantas durante 90 días de experimentación.

#### **3.3.4.1 Características de unidades experimentales**

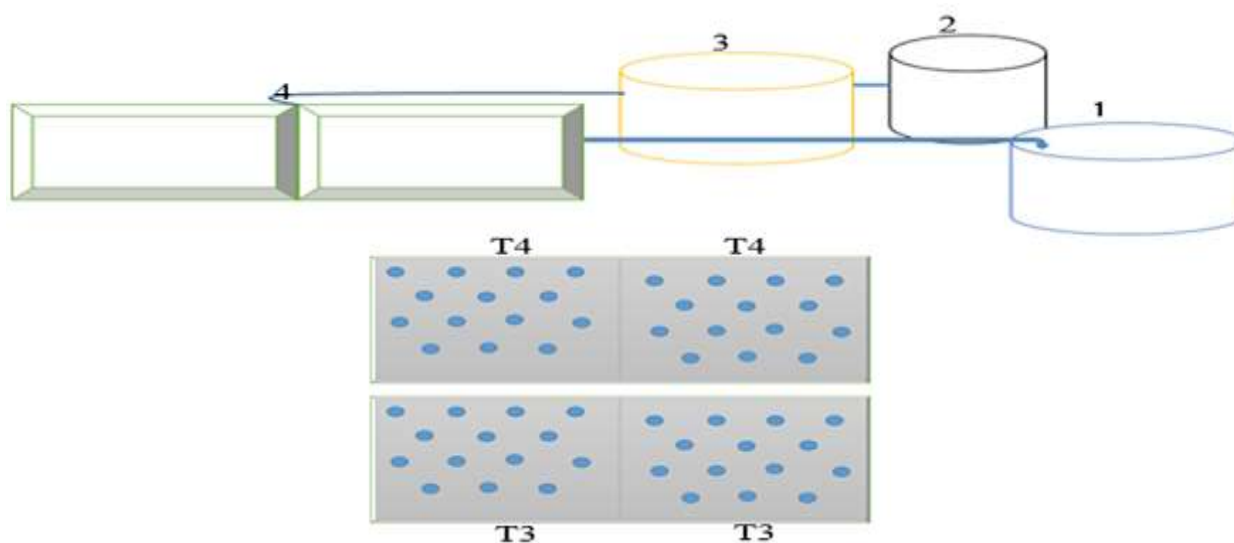
La unidad experimental fue el componente hidropónico (dos en total), en el cuál se colocó 14 plantas por tratamiento, para la aplicación del bioproducto foliar (*Chlorella* Biotipo 1 y Seaweed extract), y posteriormente se observó su efecto mediante las variables a medir.

### 3.3.4.2 Croquis del diseño

El croquis se realizó, en base a la distribución de las unidades experimentales, el sistema NFT y balsa flotante se observa en la figura 4 y 5 respectivamente.



**Figura 4.** Sistema NFT. Referencias: 1.- componente hidropónico, 2.- tanque de peces, 3.- sedimentador, 4.- filtro biológico



**Figura 5.** Sistema Balsa flotante. Referencias: 1.- componente hidropónico, 2.- tanque de peces, 3.- sedimentador, 4.- filtro biológico

### 3.3.4.3 Factores

Los factores evaluados en la investigación fueron sistemas acuapónicos y tipo de biofertilizante foliar (Tabla 5).

**Tabla 5**  
*Factores evaluados en la investigación*

<b>Factor</b>	<b>Nivel</b>
Sistemas acuapónico	NFT
	Balsa flotante
Bioproducto algal	Cepa Nativa ( <i>Chlorella</i> sp.)
	Cepa Comercial(Seaweed extract )

### 3.3.4.4 Tratamiento

Los sistemas acuapónicos estuvieron representados por: técnica de solución nutritiva (NFT) y Balsa flotante (BF), mientras que los bioproductos por extractos de *Chlorella* sp. Biotipo 1 y extractos de plantas marinas (Seaweed extract)

**Tabla 6**  
*Tratamientos evaluados en el cultivo de fresa, aplicación de bioproducto y diferente tipo de sistema acuapónico*

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
T1	NFT+ <i>Chlorella</i>
T2	NFT+Seaweed
T3	Balsa flotante+ <i>Chlorella</i>
T4	Balsa flotante+Seaweed

### 3.3.5 Variables medidas

#### 3.3.5.1 Primera fase

##### 3.3.5.1.1 Condiciones físico-química del agua



- **Amonio, Nitrito y Nitratos:** Se midió semanalmente utilizando kits (YSI), con un espectrofotómetro (YSI 9000) seleccionando la longitud de onda (640-Amonio, 520-Nitrito y 570-Nitrato).

### 3.3.5.2 Segunda fase

#### 3.3.5.2.1 Calidad de agua sistemas acuapónicos

- **pH, Conductividad Eléctrica y Total Sólidos Disueltos:** estos parámetros se midieron con un pHmetro – conductivímetro.
- **Nitrógeno, Fosforo, Magnesio, Calcio, Flúor, Potasio, Hierro, Cloro, Zinc, Sodio y Boro:** Se midió utilizando kits (MERCK), con un espectrofotómetro (Spectroflex6600) seleccionando la longitud de onda (570-N, 466-P, 258-Mg, 422-Ca, 575-F, 580-K, 248-Fe, 540-Cl, 213-Zn, 589-K y 559-B).

### 3.3.5.3 Tercera fase

#### 3.3.5.3.1 Composición nutrimental de *Chlorella sp.* Biotipo 1

- **Proteína y Nitrógeno:** mediante el método de Kjeldahl
- **Fosforo:** mediante molibdato vanadato por espectrofotometría
- **Ca, Mg, Mn, Fe, Cobre y Zn:** mediante el método de tejidos vegetales por absorción atómica.

#### 3.3.5.3.2 Parámetros productivos plantas

- **Nº de frutos:** se utilizó un registro de cada tratamiento con el número de plantas respectivas, registrando el número de frutos semanales obtenidos durante un tiempo de 60 días.

- **Firmeza:** se utilizó un Penetrómetro, este análisis se realizó con dos frutos por cada planta de cada tratamiento.
- **Sólidos solubles totales (°Bx):** se utilizó un refractómetro, este proceso se realizó con dos frutos por cada planta de cada tratamiento.
- **Análisis bromatológico del fruto:** una vez recolectado los frutos y secados en la estufa a 100° por 24 horas de todos los tratamientos, se llevaron al laboratorio de suelos del IASA I y se realizaron los análisis proximales de Humedad y Ceniza por método de calcinación y secado, Grasa por método de Soxhlet, Fibra por método químico gravimétrico y Proteína por el método de Kjeldahl.
- **Peso específico hoja (PEH):** al final de la fase de campo se seleccionó plantas en buen y mal estado, se midió el área foliar mediante malla de punto; posteriormente se secaron las hojas en una estufa a 100°C por 24 horas. Con estos datos se calculó el peso específico mediante la siguiente fórmula:

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

- **Relación de hojas/flores:** se realizó mediante la relación entre el número de hojas y el número de flores obtenidos de la misma.
- **Relación de hojas/fruto:** se realizó mediante la relación entre el número de hojas y el número de frutos obtenidos de la misma.
- **Composición nutrimental de follaje:** para la determinación de Nitrógeno (N) se utilizó el método de Kjeldahl; mientras que para Calcio (Ca), Fosforo (P), Potasio (K) y Hierro (Fe) se realizó mediante absorción atómica en el laboratorio de suelos del IASA I y finalmente para

determinación de Boro (B) se mandó a realizar a los laboratorios de AGROCALIDAD utilizando el método de colorimetría.

### 3.3.6 Análisis estadístico

Previa normalización de datos y verificación de Varianza con las pruebas de Shapiro wilks y Levene se realizó un análisis de varianza con todos los datos obtenidos de la investigación. Previa verificación de diferencias entre tratamientos a un nivel de confianza del 95% y un poder de la prueba del 85%, se aplicó el Test de Duncan para análisis de medias, a una significancia de  $p=0,05$ .

**Tabla 7**

*Análisis de varianza para un bifactorial con 4 tratamientos y 2 repeticiones*

Fuentes de variación (F.V)	Grados de libertad (gl)
Tratamientos	(3)
Bioproducto	1
Sistema de recirculación	1
Interacción BxSR	1
Error experimental	4
Total	7

#### 3.3.6.1 Modelo matemático

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk}$$

En donde:

$Y_{ijk}$  = Productividad

$\mu$  = media general

$A_i$  = efecto del  $i$  ésimo nivel del fertilizante

$B_j$  = efecto del  $j$  ésimo nivel del sistema de recirculación

(AB)  $ij$  = efecto de la interacción entre el  $i$  ésimo del fertilizante y el  $j$  ésimo nivel del sistema de recirculación

$E_{ijk}$  = error experimental

### **3.3.7 Métodos específicos de manejo del experimento**

#### **3.3.7.1 Instalación del sistema**

Se realizó la limpieza y desinfección de los sistemas acuapónicos ya instalados con anterioridad en el invernadero de Pailones. Se verificó el funcionamiento y constancia de cada uno de los componentes necesarios del mismo.

#### **3.3.7.2 Componente acuícola**

Se contó con tanques de  $0,5\text{m}^3$  en cada sistema, el cual contó con una salida de agua de  $\frac{1}{2}$  pulgada, para posteriormente ingresar a un sistema de filtración y nitrificación.

En el mismo se colocó 30 truchas con un peso inicial de  $85 \pm 5\text{g}$  las cuales fueron adquiridas del proyecto de acuicultura de la ESPE.

#### **Parámetros métricos de Trucha**

- **Peso:** se midió mediante balanza electrónica de las instalaciones cada dos semanas.
- **Talla:** largo y ancho, estos datos se midió con la ayuda del tablero graduado.

#### **3.3.7.3 Filtro biológico**

Para tener este filtro se utilizó bacterias nitrificantes *Bacillus subtilis*, para esto se realizó un

ensayo previo para evaluar la eficiencia de nitrificación por parte de estos organismos.

Este nos ayudó a transformar el nitrógeno amoniacal obtenido del alimento de los peces y sus excretas a nitrato.

Tanto el componente acuícola como el filtro biológico, tendrán una limpieza continua conforme se observe la calidad del agua y los tanques.

#### **3.3.7.4 Sistema hidropónico**

Se contó con dos sistemas diferentes el uno NFT y el otro “balsa flotante”, pero los mismos tuvieron la capacidad de albergar el mismo número de plantas.

El sistema en NFT disponía de 2m de largo con tubería de PVC de 2 pulgadas y el sistema Balsa flotante (BF) fue montado con cajones de 2m de largo por 1m de ancho, los dos contaron con un sistema de recirculación de agua, a un intervalo de una hora por sistema.

En esta área se realizó actividades preventivas como aplicación de productos naturales como fue la aplicación de jabón negro para evitar la presencia de plaga en el cultivo y también macerados para evitar la presencia de hongos en el mismo.



**Figura 6.** Sistemas hidropónicos

### **Parámetros métricos de Fresa**

- **Presencia de raíz:** se observó la presencia de raíces nuevas en cada una de las plantas trasplantadas.
- **Número de hojas:** se contabilizó cada semana el número de hojas nuevas presentes en la planta.
- **Número de flores:** se determinaron y cuantificaron a partir del momento en que empezaron a brotar las flores.
- **Clorofila:** se utilizó el medidor de clorofila Hansatech CL-01, con el cual se tomó el dato de todas las plantas de cada tratamiento. El horario de muestreo fue entre las 10 -11am; esto se realizó el final de la investigación.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 Primera fase

##### 4.1.1.1 Condiciones físico - químicas del agua

Los parámetros fisicoquímicos del agua de los sistemas acuapónicos son adecuados para el desarrollo de peces y plantas (Tabla 8). El promedio de temperatura se mantuvo en 17 °C, pH 7,7, conductividad 328 uS.cm<sup>-1</sup>, oxígeno disponible 11,83 mg.L<sup>-1</sup>, y sólidos 249 mg.L<sup>-1</sup>. No se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos (p>0,05).

**Tabla 8**

*Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos del agua de los sistemas acuapónicos durante 150 días de duración de la investigación.*

Sistema Parámetro	NFT			BF		
	Media	Mín.	Max.	Media	Min.	Max.
T°	17,06 ± 0,26	15	18,9	17,67 ± 0,23	15,5	19,5
pH	7,78 ± 0,09	7,26	8,42	7,77 ± 0,08	7,25	8,34
Conductividad uS.cm <sup>-1</sup>	328,92 ± 96,42	3,2	1528	271,74 ± 59,00	7,8	1162
Oxígeno mg.L <sup>-1</sup>	11,83 ± 0,51	7,54	15,91	11,12 ± 0,55	6,12	14,25
Sólidos mg.L <sup>-1</sup>	248,99 ± 71,54	2,6	1144	204,46 ± 43,61	5,85	858

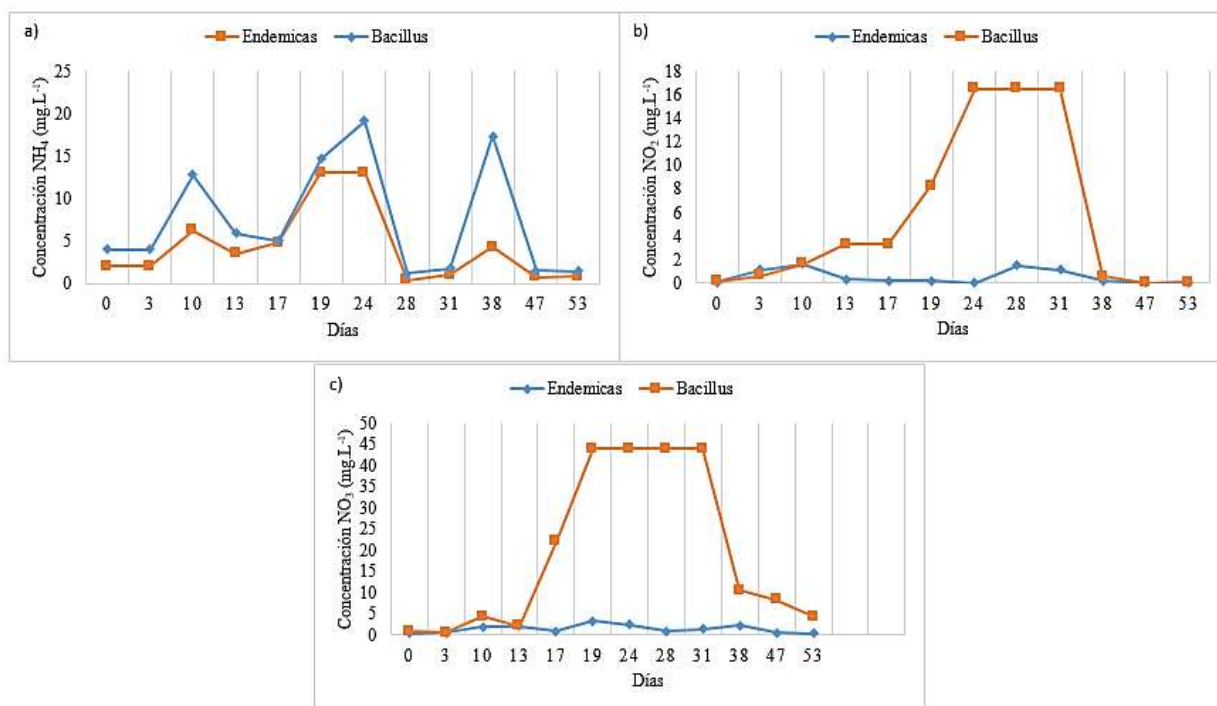
\*NFT: Técnica de solución nutritiva recirculante; \*BF: Balsa flotante

##### 4.1.1.2 Análisis del proceso de nitrificación

##### Laboratorio:

Las muestras rescatadas de fuentes naturales, presentan un comportamiento diferente

( $p < 0,05$ ) en la transformación de nitrógeno amoniacal disponible en los efluentes piscícolas. Los valores permiten evidenciar la eficiencia de transformación del grupo *Bacillus* vs bacterias nitrificantes nativas. Al final se ve una transformación a  $\text{NO}_3$  de  $1,46 \text{ mg.L}^{-1}$  vs  $19,13 \text{ mg.L}^{-1}$  respectivamente y durante 60 días de seguimiento (Figura 7; Tabla 9).



**Figura 7.** Evaluación del proceso de nitrificación de bacterias endémicas vs *Bacillus subtilis*.  
a) Evolución de amonio. b) Evolución de nitrito. c) Evolución de nitrato

**Tabla 9**

Valores promedios de compuestos nitrogenados en el proceso de nitrificación en laboratorio

Parámetro ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Bacterias endémicas			<i>Bacillus subtilis</i>		
	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.
Amonio	$4,32 \pm 1,28$	0,39	13	$3,07 \pm 1,08$	0,2	13
Nitrito	$0,50 \pm 0,23$	0	2	$5,50 \pm 1,93$	0	16
Nitrato	$1,46 \pm 0,28$	0,38	3,4	$19,13 \pm 5,55$	0,66	44,00



**Campo:**

Se establecen rangos de 0,05 a 2,6 mg.L<sup>-1</sup> de Amonio en los dos sistemas, permitiendo una transformación a nitratos hasta los 17,85 mg.L<sup>-1</sup> en el NFT y 11,43 ppm en balsas flotantes en promedio. Es evidente la diferencia entre los dos sistemas (p<0,05).

**Tabla 10**

*Valores promedios de compuestos nitrogenados en el proceso de nitrificación en campo*

Parámetro (mg.L <sup>-1</sup> )	NFT*			BF*		
	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.
Amonio	0,76 ±0,17	0,05	2,6	0,93 ±0,19	0,04	2,6
Nitrito	1,16±0,29	0,01	6,04	0,81 ±0,12	0	1,73
Nitrato	17,83± 3,67	0,62	44	11,43 ±2,1	0,48	44

\*NFT: Técnica de solución nutritiva recirculante; \*BF: Balsa flotante

**4.1.2 Segunda fase****4.1.2.1 Desarrollo de peces en sistemas acuapónicos**

Los datos más relevantes en el desarrollo de peces durante 150 días que permanecieron en los sistemas acuapónicos se revelan en la tabla 11, aquí se observa que los pesos iniciales promedios (PIP) fueron similares en el NFT con 87,30 g y BF con 89,57 g. Al final de la investigación la BF obtuvo mayor peso final promedio (PFP) con una diferencia de 15g. En cuanto a ganancia de peso (GP) la BF fue mayor con un incremento de 1,63 g/día, aunque este valor no es mayor al del NFT.

En cuanto a los datos de tasa de crecimiento específico (TCE), se observa que fue de 0,86 y 0,88 (crecimiento diario en %/día), en NFT y BF respectivamente; en cuanto al factor de conversión alimenticia (FCA) los dos tratamientos tuvieron 1,30, el factor de conversión alimenticia nos indica la cantidad de alimento consumido por cada g de biomasa que gana.

#### 4.1.2.2 Análisis químico del agua del sistema acuapónico

Durante el desarrollo de las plantas de fresa, la nutrición aportada a las mismas fue por la lixiviación del alimento y desechos metabólicos de la trucha arcoíris. Los cuales se detallan en la tabla 12.

**Tabla 11**

*Datos de crecimiento de Trucha Arcoíris en un sistema acuapónico con Fresa*

Tratamiento	PIP* (g)	PFp* (g)	GP*(g/Día)	TCE* (%/día)	FCA* (g)	EA *(%)
NFT*	87,30±0,87	318,00±0,00	1,54±0,01	0,86±0,01	1,3±0,00	76,92±0,00
BF*	89,57±0,50	333,00±0,00	1,63±4,3E-03	0,88±4,8E-03	1,30±0,00	76,92±0,00

\*NFT: técnica de solución nutritiva recirculante; \*BF: balsa falsa; \*PIP: peso inicial promedio; \*PFp: peso final promedio; \*GP: ganancia de peso; \*TCE: Tasa de crecimiento específica; \*FCA: factor de conversión alimenticia; \*EA: eficiencia alimenticia.

**Tabla 12**

*Concentración de nutrientes en cada uno de los componentes de los sistemas acuapónicos*

Sistema	Elementos (mg.L <sup>-1</sup> )												
	C	N	P	Mg	Ca	F	K	Fe	Cl	Zn	Na	B	
NFT*	Tanque	0,06	0,003	55,122	0	15	0	7,4	<0,05	8	0,067	8,82	0,04
	Peces												
NFT*	Tanque	9,34	0,467	56,829	0	25	0	7,3	<0,05	7	<0,025	25,47	0,01
	Bacteria												
NFT*	Tanque	3,42	0,171	56,585	0	16	0	7,9	<0,05	6	0,083	10,78	0,00
	Plantas												
BF*	Tanque	0,06	0,003	55,122	0	<10	0	8,3	0	6	0,924	13,71	0,01
	Peces												
BF*	Tanque	5,84	0,292	56,829	0	<10	0	8,4	0	6	0,536	3,92	0,00
	Bacteria												
BF*	Tanque	4,76	0,238	56,585	0	13	0	8,8	0	7	<1	6,86	0,02
	Plantas												

\*NFT: Técnica de solución nutritiva recirculante; \*BF: Balsa flotante

### 4.1.3 Tercera fase

#### 4.1.3.1 Características químicas de *Chlorella* sp. Botipo I

Acorde a los análisis bromatológicos realizados a extractos de *Chlorella* Biotipo 1, se detecta concentraciones importantes de proteína (54,8 %), carotenos (35 mg.kg<sup>-1</sup>) y auxinas naturales (17,6 mg.L<sup>-1</sup>). El resto de elementos como Manganeso, hierro, cobre y zinc generan un aporte significativo a la condición nutritiva de un sistema acuapónico de óptimas características (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Composición nutrimental del producto a base de Chlorella sp.*

Componentes	Unidad	<i>Chlorella</i> Biotipo I
Nitrógeno	%	8,76
Fósforo	%	0,45
Potasio	%	0,93
Calcio	%	0,49
Magnesio	%	0,27
Manganeso	mg.kg <sup>-1</sup>	125,73
Hierro	mg.kg <sup>-1</sup>	195,57
Cobre	mg.kg <sup>-1</sup>	74,11
Zinc	mg.kg <sup>-1</sup>	39,66
Proteína	%	54,78
AIA	mg.L <sup>-1</sup>	17,6
Carotenos	Ppm	35,92

#### 4.1.3.2 Análisis morfométricos y productivos de las plantas de fresa

Durante los 90 días de cultivo, los parámetros morfométricos de las plantas muestran diferencias entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Estas diferencias se detectan en flores y frutos con un  $p = 0,0324$  y  $p = 0,0494$  respectivamente.

En cuanto a flores se refiere el mejor tratamiento fue T3 con un promedio de  $13,54 \pm 0,93$  flores, seguido por T4 con  $8,46 \pm 0,93$  y T2 con  $8,32 \pm 0,93$ , similares y al T1 con  $7,43 \pm 0,93$ .

En cuanto a número de frutos tenemos que el mejor tratamiento fue el tratamiento T3 con un promedio de  $8,07 \pm 0,75$  frutos/Mes y el menos eficiente el T4 con  $5 \pm 0,75$  frutos/Mes.

Las características especiales de *Fragaria vesca* presenta diferencias estadísticas entre sistemas de cultivo, detectándose diferencias en hojas, flores y frutos ( $p < 0,05$ ). Las variables raíz, contenido de clorofila, peso específico de hoja y relación hojas/flores y hojas/frutos no detecta diferencias entre tratamientos ( $p > 0,05$ ).

Todas estas variables se pueden evidenciar en la tabla 14.

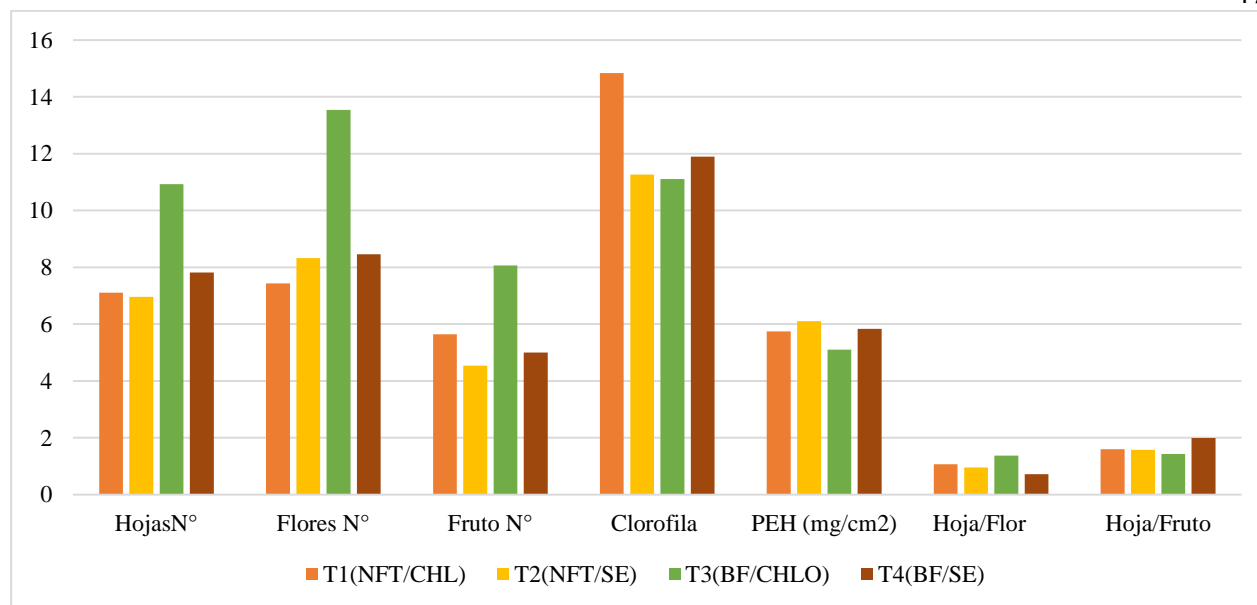
**Tabla 14**

*Promedio  $\pm$  error estándar de características morfológicas de *Fragaria vesca**

Descripción	T1*	T2*	T3*	T4*	p-Valor
Raíz (presencia)	1,00 $\pm$ 0,08a	1,00 $\pm$ 0,08a	0,86 $\pm$ 0,08a	0,71 $\pm$ 0,08a	0,4216
Hojas	7,11 $\pm$ 0,60b	6,96 $\pm$ 0,60b	10,93 $\pm$ 0,60a	7,82 $\pm$ 0,60b	0,0694
Flores	7,43 $\pm$ 0,93b	8,32 $\pm$ 0,93b	13,54 $\pm$ 0,93a	8,46 $\pm$ 0,93b	0,0324
Fruto	5,64 $\pm$ 0,75b	4,54 $\pm$ 0,75ab	8,07 $\pm$ 0,75a	5,00 $\pm$ 0,75b	0,0494
Clorofila	14,84 $\pm$ 1,40a	11,26 $\pm$ 1,40a	11,11 $\pm$ 1,40a	11,90 $\pm$ 1,40a	0,1937
PEH (mg.cm <sup>-2</sup> )	5,74 $\pm$ 1,87a	6,11 $\pm$ 0,69a	5,10 $\pm$ 1,05a	5,83 $\pm$ 1,79a	0,1414
Hoja/Flor	1,07 $\pm$ 0,09a	0,96 $\pm$ 0,08a	1,37 $\pm$ 0,56a	0,72 $\pm$ 0,14a	0,3709
Hoja/Fruto	1,67 $\pm$ 0,19a	1,58 $\pm$ 1,25a	1,43 $\pm$ 0,27a	1,99 $\pm$ 0,64a	0,3953

\*T1: Técnica de solución nutritiva recirculante + *Chlorella* (NFT/CHL); \*T2: Técnica de solución nutritiva recirculante + Seaweed extract (NFT/SE); \*T3: Balsa falsa + *Chlorella* (BF/CHL); \*T4: Balsa falsa + Seaweed extract (BF/SE). Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Duncan  $p > 0,05$ )

La figura 8 muestra el T3 (BF/CHL) como mejor tratamiento obteniendo la mayor producción en cuanto a número de hojas, flores y frutos; mientras que en peso específico el mejor fue T2 (NFT/SE).



T1: Técnica de solución nutritiva recirculante + *Chlorella* (NFT/CHL); T2: Técnica de solución nutritiva recirculante + Seaweed extract (NFT/SE); T3: Balsa falsa + *Chlorella* (BF/CHL); T4: Balsa falsa + Seaweed extract (BF/SE).

**Figura 8.** Promedio de características morfológicas de fresa

#### 4.1.3.3 Análisis proximal del follaje de las plantas de Fresa.

El análisis nutrimental realizado al follaje de la plantas de fresa, arrojó los resultados expresados en la tabla 14, en donde no se detecta diferencias estadísticamente significativas para los macro y micro nutrientes presentes en la planta ( $p > 0,05$ ).

Por otro lado la relación calcio – boro, presenta diferencias significativas entre tratamiento ( $p = 0,0011$ ), en el cuál el tratamiento T3 tuvo el mayor valor con una relación de  $213,61 \pm 0,12$ , seguido por T4 con  $193,48 \pm 2,06$ , T1 con  $153,02 \pm 1,15$  y finalmente T2 con  $109,31 \pm 0,69$ .

Toda información mencionada se puede vislumbrar en la tabla 15

**Tabla 15**

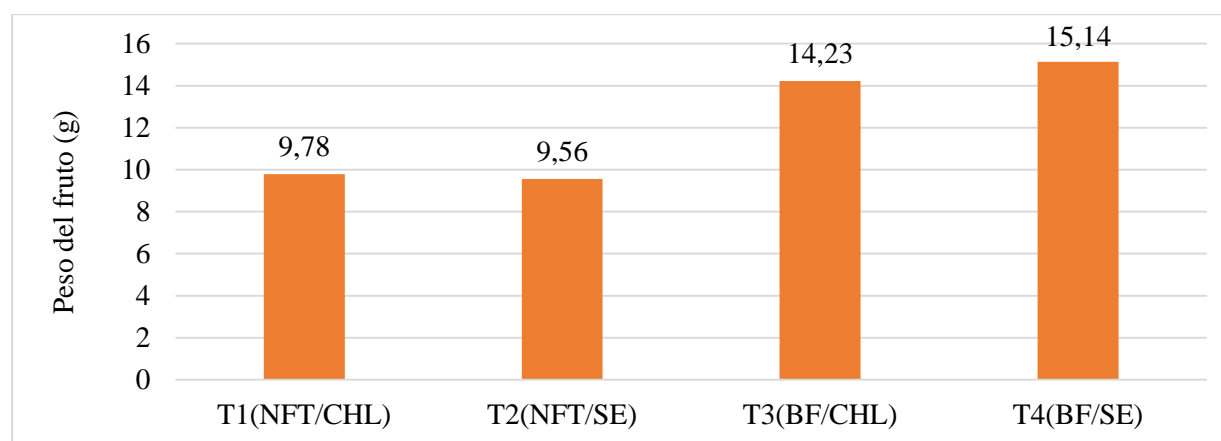
*Promedio ± error estándar de la concentración de nutrientes en follaje de *Fragaria vesca**

Componentes	T1*	T2*	T3*	T4*	P-Valor
N (%)	1,72±0,09	1,98±0,09a	2,25±0,09 <sup>a</sup>	2,08±0,09 <sup>a</sup>	0,078
P (%)	0,58±0,01a	0,57±0,01a	0,59±0,01 <sup>a</sup>	0,59±0,01a	0,4219
K (%)	1,46±0,03a	1,47±0,03a	1,44±0,03 <sup>a</sup>	1,52±0,03a	0,3044
Ca (%)	1,25±0,01a	1,24±0,01a	1,24±0,01 <sup>a</sup>	1,24±0,01a	0,8753
Fe (mg.kg-1)	187,72±26,72a	193,01±26,72a	147,21±26,72a	178,00±26,72a	0,5366
B(mg.kg-1)	81,38±0,00a	113,69±0,00a	57,92±0,00a	63,97±0,00a	0,7164
Ca/B (mg.kg-1)	153,02±1,15a	109,31±0,69a	213,61±0,12 <sup>a</sup>	193,48±2,06b	0,0011

\*T1: Técnica de solución nutritiva recirculante + *Chlorella* (NFT/CHL); \*T2: Técnica de solución nutritiva recirculante + Seaweed extract (NFT/SE); \*T3: Balsa falsa + *Chlorella* (BF/CHL); \*T4: Balsa falsa + Seaweed extract (BF/SE). Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Duncan  $p>0,05$ )

#### 4.1.3.4 Análisis de calidad del fruto

El peso promedio de los frutos va de 9,56 a 15,14 g/unidad. Se detecta diferencias en esta variable (peso) para el factor sistema de cultivo ( $p<0,05$ ) siendo el de mayor valor el del sistema balsa flotante (figura 9).



T1: Técnica de solución nutritiva recirculante + *Chlorella* (NFT/CHL); T2: Técnica de solución nutritiva recirculante + Seaweed extract (NFT/SE); T3: Balsa falsa + *Chlorella* (BF/CHL); T4: Balsa falsa + Seaweed extract (BF/SE).

**Figura 9.** Peso del fruto para los tratamientos Acuapónicos bajo dos tipos de fertilizante foliares

Las variables °Bx y firmeza del fruto no detecta diferencias entre tratamientos ( $p>0,05$ ) (Tabla 16).

**Tabla 16**

*Promedio  $\pm$  error estándar de la calidad del fruto*

Descripción	T1*	T2*	T3*	T4*	p-Valor
°Bx	4,67 $\pm$ 0,50 <sup>a</sup>	5,99 $\pm$ 0,29 <sup>a</sup>	6,08 $\pm$ 0,66 <sup>a</sup>	5,88 $\pm$ 0,82 <sup>a</sup>	0,2483
Firmeza (kg/fuerza)	1,79 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>	2,3 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>	1,85 $\pm$ 0,21 <sup>a</sup>	1,64 $\pm$ 0,23 <sup>a</sup>	0,0501
Peso fruto (g)	9,78 $\pm$ 2,96 <sup>b</sup>	9,56 $\pm$ 1,90 <sup>b</sup>	14,23 $\pm$ 2,93 <sup>ab</sup>	15,14 $\pm$ 2,27 <sup>a</sup>	0,043

\*T1: Técnica de solución nutritiva recirculante + *Chlorella* (NFT/CHL); \*T2: Técnica de solución nutritiva recirculante + Seaweed extract (NFT/SE); \*T3: Balsa falsa + *Chlorella* (BF/CHL); \*T4: Balsa falsa + Seaweed extract (BF/SE).

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Duncan  $p>0,05$ )

En la tabla 17 se presenta el análisis bromatológico realizado al fruto, el cuál no presenta diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las variables analizadas: proteína, ceniza, humedad, grasa y fibra siendo el  $p>0,05$ .

**Tabla 17**

*Promedio  $\pm$  error estándar de composición química de la biomasa del fruto*

Componente (%)	T1*	T2*	T3*	T4*	p-Valor
Proteína	6,20 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup>	6,53 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup>	7,11 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup>	6,36 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup>	0,6306
Ceniza	7,76 $\pm$ 1,53 <sup>a</sup>	4,67 $\pm$ 1,53 <sup>a</sup>	7,00 $\pm$ 1,53 <sup>a</sup>	4,65 $\pm$ 1,53 <sup>a</sup>	0,1505
Humedad	94,41 $\pm$ 0,49 <sup>a</sup>	92,58 $\pm$ 1,07 <sup>ab</sup>	92,59 $\pm$ 0,96 <sup>ab</sup>	90,65 $\pm$ 0,27 <sup>b</sup>	0,0667
Grasa	11,42 $\pm$ 2,50 <sup>a</sup>	6,41 $\pm$ 2,50 <sup>a</sup>	5,88 $\pm$ 2,50 <sup>a</sup>	5,78 $\pm$ 2,50 <sup>a</sup>	0,3644
Fibra	14,70 $\pm$ 2,19 <sup>a</sup>	15,80 $\pm$ 2,19 <sup>a</sup>	12,82 $\pm$ 2,19 <sup>a</sup>	15,53 $\pm$ 2,19 <sup>a</sup>	0,4342

\*T1: Técnica de solución nutritiva recirculante+*Chlorella* (NFT/CHL); T2: \*Técnica de solución nutritiva recirculante+Seaweed extract (NFT/SE); \*T3: Balsa falsa+*Chlorella* (BF/CHL); \*T4: Balsa falsa+ Seaweed extract (BF/SE).

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Duncan  $p>0,05$ )

## 4.2 Discusión

La calidad de agua para peces y plantas en los sistemas acuapónicos implementados, no se vieron afectados durante la investigación. La temperatura media fue de  $17,06 \pm 0,5$  °C; pH  $7,78 \pm 0,09$ ; conductividad eléctrica  $328,92 \pm 96,42$  uS/cm y oxígeno disuelto  $11,83 \pm 0,51$  mg.L-1. Estos parámetros son similares a los obtenidos por Chamorro (2012), en donde obtuvo una temperatura promedio de  $16,6 \pm 0,78$ °C, pH de  $6,13 \pm 0,47$  y oxígeno disuelto  $5,947 \pm 0,36$  mg.L-1. Los valores están en los rangos recomendado por Blanco (1995) para la cultivo de trucha arco iris en confinamiento. Sin embargo, estos parámetros no son comparables con los estudios de Somerville (2014) en sistemas hidropónicos y acuapónicos.

Al hablar del proceso de nitrificación nos referimos a la oxidación del amoníaco a nitrato para evitar la toxicidad en peces. Para que este proceso se realiza de manera eficiente, se deben tener en cuenta parámetros recomendados como la temperatura que va desde los 17 – 34 °C, pH de 6 - 7 y nitrato desde 5 – 150 mg.L-1. Finalizado el ensayo, las concentraciones de nitratos fueron evaluados tanto en laboratorio como campo, llegando a valores de 44 ppm con bacterias del género *Bacillus subtilis*. Estos valores están dentro de los rangos sugeridos para sistemas acuapónicos por Somerville (2014). De la misma manera Sarmiento, (2011) reporta en sistemas de recirculación valores hasta 200 mg.L<sup>-1</sup>.

Con respecto a la producción de peces en sistemas acuapónicos, se tuvo una ganancia de peso 1,63 g/día siendo el mejor el sistema BF . Estos valores son menores al obtenido por Sarmiento, (2011) en sistemas de recirculación con truchas, teniendo una ganancia de 2,7 g/día. Esta investigador justifica sus resultados por la genética de los peces proporcionados para la investigación que llevo acabo. En cuanto al factor de conversión alimenticia se tuvo 1,30 en los



dos sistemas, este valor es similar al reportado por Silvia (2012), con FCA de 1,30 en tilapias en sistemas acuapónicos, el mismo autor cita en su trabajo a Guangzhi quien reportó FC de 1,96 y 1,88 en truchas, en sistemas de recirculación.

En la investigación se utilizó agua proveniente del estanque de peces como solución nutritiva para fresa, y también se tuvo una fertilización foliar a través de productos algales, para que los nutrientes disponibles sean absorbidos de manera eficiente. Varios estudios recomiendan mantener un pH de 6 – 7,5 y concentración de nutrientes en follaje para plantas adultas de nitrógeno (2 – 4%), fósforo (0,3- 0,4 %), potasio (1,3 - 1,8 %), calcio(1 - 2,2 %), magnesio( 0,28 - 0,42 %), hierro( 85 - 200 ppm), zinc(15 - 28 ppm), boro (10 – 100 ppm) (Bolda, Dara, Fallon, Sánchez , & Peterson, 2015). Los resultados obtenidos en la presente investigación a través del efecto de nutrientes disponibles tanto en los sistemas como en los bioproductos, presentan concentraciones dentro de los rangos establecidos para cultivos acuapónicos. Cabe destacar que el suministro de nutrientes en este tipo de sistemas es de forma continua y a baja concentración, permitiendo una adecuada y sostenida asimilación de nutrientes para la producción de flores y frutos, y que demuestran diferencias estadísticas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Cabe destacar que se detectó baja concentración de nitrógeno en el tratamiento T1, evidenciándose el amarillamiento de hojas en las plantas (Vázquez-Gálvez, y otros, 2012). Por otro lado, la presencia de fitohormonas en los bioproductos algales en concentraciones importantes (17,6 ppm) genera una acción foliar importante incidiendo principalmente en el incremento del número de hojas y flores. La acción de las auxinas presentes en los bioproductos tuvieron un efecto directo en la absorción de nutrientes presentes en el agua, división celular y elongación de las células de forma integral (Sandoval , 2017).

Con respecto a la producción de fresa, en parámetros morfométricos, en cuanto al número de hojas por planta, se tuvo que el mejor tratamiento fue T3 con  $10,93 \pm 0,60$ , este valor fue superior al obtenido por Hernández, 2017 el cual registro 7 hojas por planta en el cultivo de lechuga bajo un sistema acuapónico. En referencia al número de frutos por planta, se obtuvieron diferencias significativas, en donde el mejor tratamiento fue T3 con un promedio de  $8,07 \pm 0,75$  siendo superior al obtenido por Coronel (2014), con 3 frutos por planta en sistemas acuapónicos, pero inferior al reportado por Jara & Suni (1999), con 24,6 frutos por planta en sistemas hidropónicos. En cuanto a número de flores de la misma manera que los anteriores parámetros morfométricos el mejor tratamiento fue T3 con  $13,54 \pm 0,93$  por planta, sin embargo este valor es inferior al obtenido por Jara (1999), con 39,7 flores por planta en sistemas hidropónicos con la evaluación de diferentes soluciones nutritivas. Sin embargo Benavides (2007), menciona que obtuvo una producción de 8,42 frutos por planta. Estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación y de sobre manera en el tratamiento 3.

Al hablar de raíz se refiere a la presencia de nuevas raíces una vez trasplantada ya que esto es un indicador de sobrevivencia de la planta en el sistema.

En cuanto a clorofila no se encontró diferencia alguna entre tratamiento, sin embargo el mejor fue T1 con  $(14,84 \pm 1,40 \text{ unidades})$  al transformar a  $\text{ug.cm}^{-2}$  mediante la fórmula  $Y = (6,0817X) + 7,6084$  usada por Maite (2011), nos da  $97,86 \text{ ug.cm}^{-2}$  hoja este valor es superior al obtenido en el cultivo de uva con  $33.78 \text{ } \mu\text{g/cm}^2$  hoja.

En peso específico de igual manera no hubo diferencia estadística, a pesar de esto el mejor tratamiento fue T2 con  $6,11 \pm 0,69 \text{ mg/cm}^2$  este valor es inferior al reportado por Reyes (2000), en hojas de naranjo y tangerino teniendo un máximo valor de  $11 \text{ mg/cm}^2$ , este parámetro se lo

atribuye a la variación en la tasa fotosintética o a la diferencia estructural anatómica y morfológica.

Al comparar los resultados obtenidos en la investigación con los citados por la Cámara de Comercio de Bogotá (2015), en su folleto sobre cultivo de fresa indica que el peso de fresa depende de la variedad y están entre un rango de 6,65 y 16,53 así mismo señala que los grados brix están entre 6,7 y 7,28. Cabe destacar que el presente estudio está en los rangos observados, en donde se ve un efecto de los bioproductos algales en el tratamiento 3 y 4 con pesos por frutos de  $15,14 \pm 2,27$  g. Sin embargo, en grados brix no se logró lo sugerido por la Cámara de Comercio de Bogotá siendo el mejor resultado el tratamiento 3 con  $6,08 \pm 0,66$  °Bx, así mismo en un estudio realizado por Benavides *et al.*, 2007 donde utilizaron diferentes concentraciones de biofertilizante obtuvieron una concentración de 9,19 a 9,21°Bx siendo superior a los obtenidos en este estudio. Estudios realizados por Vázquez (2012), mostró que el uso de productos orgánicos ayudaron a mejorar la firmeza del fruto siendo esta una propiedad de gran importancia para la calidad del fruto conjuntamente con los grados brix. Los resultados obtenidos, demuestran un incremento de firmeza entre tratamientos, siendo el mejor el tratamiento 2 con  $2,33 \pm 0,13$ .

La utilización de productos orgánicos en la composición proximal ha tenido buenos resultados, enriqueciendo dichos parámetros. Estudios realizados por Vázquez (2012), donde utilizaron hongos y vermi-compost sobre la calidad de fresa, demuestran que la combinación de ambos productos incrementan los porcentajes de los parámetros proximales, así como en ceniza y grasa, mientras que para fibra se mantiene. En el presente trabajo se tiene datos similares para ceniza pero se obtuvo una mayor concentración de grasa y fibra que ratifican la exposición a bioproductos algales.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Las condiciones físicas químicas del agua se encontraron dentro de los rangos óptimos para los cultivos, tanto de fresa como de trucha arco iris.
- Las mejores bacterias para el proceso de nitrificación fueron *Bacillus subtilis* transformando el nitrógeno amoniacal a nitratos hasta 44 mg.L-1 de forma continua. Las bacterias se adaptaron a condiciones de campo y realizaron adecuadamente los procesos de transformación.
- El manejo adecuado del sistema de recirculación para el cultivo de truchas generó lixiviados de nutrientes de forma constante. Además el aporte de los nutrientes contenidos en las algas, resultaron adecuados para la producción de fresa, manteniendo los rangos necesarios para un buen desempeño. Sin embargo el tratamiento T1 (NFT/*Chlorella*) presentó deficiencias de nitrógeno.
- Los mejores tratamientos fueron: T3 (BF+*Chlorella*) y T4 (BF+Seaweed) tanto en calidad de planta, número de flores/planta, hojas y frutos/planta, y calidad de fruto en peso y grados brix (°Bx).
- Finalmente los tratamientos T1 (NFT/*Chlorella*) y T2 (NFT/Seaweed) presentan parámetros productivos similares a cultivos terrestres y en algunos casos a sistemas hidropónicos.

## 5.2 Recomendaciones

- Recomendar la masificación y venta de *Chlorella sp.* Biotipo 1, como un producto altamente competitivo con productos foliares orgánicos de diferentes orígenes y con un enfoque al desarrollo local sostenible a pequeña y mediana escala de producción orgánica.
- Implementar el sistema acuapónico a pequeña escala en hogares de bajos recursos con la finalidad de mejorar los niveles nutricionales de la población ecuatoriana, tanto por las bondades nutrimentales de la carne de pescado como de fresa.
- Realizar estudios de acuaponía en otras producciones agrícolas y productos vegetales como tomate árbol, riñón, pimiento, aloe vera y determinar los costos de operación para su implementación a pequeña y mediana escala.
- En el sistema acuapónico se recomienda mantener controlado los parámetros físicos químicos del agua para tener un adecuado proceso de nitrificación y una constante producción de nitrato y disponibilidad de nutrientes.
- Realizar ensayos con diferentes concentraciones de *Bacillus subtilis*, para determinar si se incrementa la producción de nitratos.

### 5.3 Bibliografía

- Álvarez-Calderón, P., Soldi Soldi, H., Castro Silvestre, M., & Del Valle, O. (2014). *Manual de Cultivo de Trucha. En Ambientes Convencionales*. Lima-Perú: FONDEPES.
- APPEN. (1996). Nicaragua for Export. *Exportador*, 22-23.
- Arce, M. (15 de 01 de 2018). Ubicación Ecológica del IASA 1. (J. Córdova, Entrevistador)
- Benavides González, A., Cisne Contreras, J., & Laguna Miranda, R. (2007). FERTILIZACIÓN ORGÁNICA SOBRE TRES GENOTIPOS DE FRESA (*Fragaria spp.*) EN LAS SABANAS, MADRÍZ. *LA CALERA*, 7(8), 49-53.
- Blanco, M. (1995). *Cría Industrial de la Trucha Arco Iris*. España, Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Bolda, M., Dara, S., Fallon, J., Sánchez, M., & Peterson, K. (2015). *Manual de producción de fresa*. México: CRCO.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual fresa*. Colombia: Núcleo Ambiental S.A.S.
- Candarle, P. (2012). *Técnicas de Acuaponia*. CANADAC.
- Castillo, G., Gregor, B., Michelena, G., Días de Villegas, M., Delgado, G., Montano, r., . . . Gálvez, L. (2007). Bioproductos para la agricultura: *ICIDCA sobre los derivados de la*, 41(3), 42 - 51.
- Chamorro, E., Morillo, M., Burbano, E., Casanova, D., Mejía, E., Pecillo, E., . . . Sánchez, I. (2012). DISEÑO, MONTAJE Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y TRUCHA ARCOÍRIS

(*Oncorhynchus mykiss*) EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA.

*Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 6(6).

Chinnasamy, S., Bhatnagar, A., Hunt, R., & Das, K. (2010). Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet mill effluents for biofuel applications. *Bioresource Technology*, 101: 3097-3105.

Chiqui, F., & Lema, M. (2010). *Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (fragaria sp) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) en la parroquia Octavio Cordero Palacios, Cantón Cuenca (Tesis de Pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25:294-306.

Coronel Ochoa, M. E. (2014). *Comparación de rendimientos de cultivos de fresa (Fragaria × ananassa) bajo los sistemas de hidroponía y acuaponía (Tesis de Pregrado)*. UTPL, Loja.

Cuevas, M., & Salaverría, J. (2004). Control de la oxidación y la contaminación en el cultivo in vitro de fresa (*Fragaria X ananassa* Duch.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 4(1), 21-26.

De la Oliva, G. (2011). *MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN ACUÍCOLA EN EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS*. Perú.

Diver, S. (2006). *Acuaponia - Integración de Hidroponía con Acuicultura*. Agricultura Especializada NCAT.

ECUAQUIMICA. (2017). *S\_E\_A\_W\_E\_E\_D\_E\_X\_T\_R\_A\_C\_T\_®*.

El Productor. (28 de Marzo de 2012). *Ecuador: La fresa es un cultivo rentable en Tungurahua.*

Recuperado el 01 de febrero de 2018, de El Productor:  
<https://elproductor.com/noticias/ecuador-la-fresa-es-un-cultivo-rentable-en-tungurahua/>

ElComercio. (2011). *La frutilla es un cultivo rentable.* Recuperado el Enero de 2018, de EL

COMERCIO: <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/frutilla-cultivo-rentable.html>

Escobar , R., & Robalino , D. (2015). *Las prácticas agrícolas y su incidencia en la calidad y productividad de fresas (Fragaria vesca) variedad Albión.* III Congreso científico internacional UNIANDES, Ambato.

Espinosa Robles, P., & Espinosa Mendoza, L. (2013). *Hidroponia rústica.* SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACION.

Exportadora, S. (2015). Recuperado el 20 de 11 de 2018, de Come sano, come peruano:

<http://www.sierraexportadora.gob.pe/comesano/la-importancia-de-comer-alimentos-organico/>

FAO. (2014). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos.* Roma.

Fimbres, Y. (2015). *Caracterización de los nutrientes de interés hidróponico con contenidos en la frección particulada residual del cultivo de tilapia (Oreochromis spp) (Tesis de Posgrado).* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C, La Paz.

Formo. (2012). *Acuaponia Indoor.* Recuperado el 2018, de Historia de la Acuaponia:

<https://acuaponia-argentina.blogspot.com/2012/01/historia-de-la-acuaponia.html>



García-Orellana, Y., Soto, G., Tafur, V., Simbaña, A., Tello, E., & Brito, J. (2016). EFECTO DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO MICROALGAL EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.).

GAVILAN, M. A. (2004). Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En P. A. MANUEL ABAD BERJON, *Tratado de cultivo sin suelo* (págs. 3-20). Madrid: Mundi-Prensa.

Gómez-Merino, F., Ortega-López, N., Trejo-Téllez, L., Sánchez-Páez, R., Salazar-Marcial, E., & Salazar-Ortiz, J. (2015). *AQUAPONICS: SUSTAINABLE AND POTENTIAL ALTERNATIVE FOR FOOD PRODUCTION IN MEXICO*. México: AGROPRODUCTIVIDAD.

González, J., Royano, L., Parralejo, A., & Cabanillas, J. (2015). CULTIVOS ENERGÉTICOS. BIOCOMBUSTIBLES Y BIOPRODUCTOS. 193 - 207.

GoogleMaps. (2018). Obtenido de <https://www.google.com/maps/search/sangolqui,+barrio+san+fernando/@-0.3844222,-78.4165895,1462m/data=!3m1!1e3>

Guzmán, G. (2004). *HIDROPONÍA EN CASA: Una actividad familiar*. Costa Rica.

HERALDO. (2013). *AGRICULTURA*. Recuperado el 10 de 11 de 2018, de HERALDO: [https://www.heraldo.es/noticias/nacional/2013/07/09/una\\_ong\\_detecta\\_pesticidas\\_prohibidos\\_fresas\\_espanolas\\_francesas\\_241282\\_305.html](https://www.heraldo.es/noticias/nacional/2013/07/09/una_ong_detecta_pesticidas_prohibidos_fresas_espanolas_francesas_241282_305.html)

Hernández, L. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja*

(*Oreochromis Mossambicus*) y *Lechuga Crespa (Lactuca Sativa)* ( Tesis de Posgrado).

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157-173.

Hidalgo, D., & Martín, J. (2016). *Tratamiento de efluentes y producción de fertilizantes mediante el cultivo heterótrofo de microalgas*. Industria Ambiental.

HYDROENVIRONMENT. (2018). *HYDROENVIRONMENT h-e.mx*. Obtenido de [https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=147](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=147)

Infante, C., Angulo, E., Zárate, A., Florez, J., Barrios, F., & Zapata, C. (2012). PROPAGACIÓN DE LA MICROALGA *Chlorella* sp. EN CULTIVO POR LOTE: CINÉTICA DEL CRECIMIENTO CELULAR. *Avances en Ciencias e Ingeniería - ISSN: 0718-8706*, 159-164.

INIFAP, I. A. (2011). *Tecnología para sembrar viveros de fresa*. México: INIFAP.

INTAGRI S.C. (2015). *Sistemas Hidropónicos y Soluciones Nutritivas para Fresas*. Obtenido de Intagri: <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/sistema-hidroponicos-soluciones-nutritivas-fresa>

Izquierdo, J. (2003). *Hidroponía*. Chile: FAO.

Jara, E. (1999). *Evaluación de soluciones hidropónicas para la producción de "fresa" *Fragaria x ananassa Duchesne* Cv. Chandler* (Tesis de Pregrado). UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, Lima.

- Jara, E., & Suni, M. (1999). Evaluación de soluciones nutritivas para el cultivo hidropónico de "fresa" *Fragaria x ananassa*. *Revista Peruana de Biología*, 6(1), 61-67.
- Jiménez, A. (2005). *Sistemas de recirculación en acuicultura: una visión y retos diversos para Latinoamérica*. México.
- López-Farfán, D., & Martínez-Yáñez, R. (2016). DETERMINACIÓN DEL TRH PARA EL CRECIMIENTO DE LECHUGAS EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS, RESULTADOS PRELIMINARES. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 2(1), 1439 - 1443.
- Losordo, T., Masser, J., & Rakocy, J. (1992). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: an overview of critical considerations principles of biofiltration*.
- Lucchetti, G., & Gray, G. (1988). 1988. *Water reuse systems: a review of principal components*.
- Marulanda, C., & Izquierdo, J. (2003). *LA HUERTA HIDROPONICA POPULAR*. Santiago, Chile.
- MATEI, P. (2011). *RELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL ENOLÓGICO DE LA UVA Y EL CONTENIDO EN NUTRIENTES Y PIGMENTOS DE LA HOJA EN VIÑEDOS AFECTADOS POR CLOROSIS FÉRRICA (Tesis de Posgrado)*. Universidad de Valladolid.
- Merino, O., & Sal, F. (2007). *Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC.
- Muñoz, C., Sánchez, L., & Maza y Silupú, S. (2008). *Estudio de la fresa en el Perú y el Mundo*. Lima: Ministerio de Agricultura.

Muñoz, M. (2012). *Sistemas de recirculación acuapónicos*. Colombia.

Norton, T., Melkonian, M., & Andersen, Y. (1996). *In Phycologia*.

Ortega, F. (2009). Obtenido de

<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/962/1/P-SENESCYT-0031.pdf>

Ortiz, J. (2015). *Acuacultura. producción dulce acuícola en el Ecuador I*. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Pec, J., & Martínez, R. (2016). PRODUCCIÓN DE PLANTAS ACUÁTICAS CON POTENCIAL FORRAJERO CULTIVADAS EN ACUAPONÍA. *Jóvenes en la ciencia*, 2(1).

PETREA, S., CRISTEA, V., DEDIU, L., CONTOMAN, M., LUPOAE, P., MOCANU, M., & COADA, M. (2013). Vegetable Production in an Integrated Aquaponic System with Rainbow Trout and Spinach. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 70(1), 45 - 54.

Rakocy, J., Masser, M., & Losordo, T. (2006). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC.

Ramírez Sánchez, L., Pérez Trujillo, M., Jiménez, P., Hurtado Giraldo, H., & Gómez Ramírez, E. (2011). EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SISTEMAS ACUAPÓNICOS E HIDROPÓNICOS EN CAMA FLOTANTE PARA EL CULTIVO DE ORÉGANO (*Origanum vulgare*: LAMIACEAE). *FACULTAL DE CIENCIAS BÁSICAS*, 7(2), 242 - 259.

Revista\_ElAgro. (2016). Agricultores le apuestan al cultivo de fresas. *ElAgro*. Recuperado el enero de 2018, de <http://www.revistaelagro.com/agricultores-le-apuestan-al-cultivo-de-fresas/>

Reyes, M., Villegas, Á., Colinas, M., & Calderón, G. (2000). PESO ESPECÍFICO, CONTENIDO DE PROTEÍNA Y DE CLOROFILA EN HOJAS DE NARANJO Y TANGERINO. *AGROCIENCIA*, 34(1), 49-55.

Sadzawka, A., Flores, H., Grez, R., Carrasco, M., Mora, M., Neaman, A., & Demanet, R. (2007). *Métodos de análisis de tejidos vegetales*. Chile: Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.

Sandoval , D. (2017). *Evaluación del crecimiento de espirulina (Arthrospira platensis) mediante alternativas de fertilización orgánica e inorgánica y su masificación en condiciones de campo en la Hda. El Prado*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. IASA I. Campus El Prado., Carrera de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias.

Sarmiento, D. (2011). *EFICIENCIA PRODUCTIVA DE TRUCHA ARCOIRIS, BAJO UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS CON DIFERENTES DENSIDADES DE CARGA ANIMAL EN LA ZONA DE PAILONES, IASA, ECUADOR ( Tesis de Pregrado)*. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, QUITO.

Silva, C. (2012). *Estudio para evaluar el balance de masas de nutrientes y la calidad de agua en un sistema acuaponía ( tesis de Pregrado)*. Instituto Tecnológico de Sonora.

Smith, M. (29 de Septiembre de 2017). *Factores Claves para la Producción de la Trucha Arcoiris*. Recuperado el 26 de Febrero de 2018, de El Productor:

<https://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-acuicolas/factores-claves-para-la-produccion-de-la-trucha-arcoiris/>

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming*. Rome: FAO.

Soria, C., & Aguilar, J. (2002). *Cultivo sin Suelo de Hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias*. Valencia: GENERALITAT VALENCIANA.

Tipán, M. (2017). *Uso de microalgas endémicas del Ecuador (Chlorella sp. Biotipo 3) en la bioacumulación de insecticidas a nivel de laboratorio (Tesis de Pregrado)*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. IASA I. Campus El Prado., Carrera de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias.

Tomaselli, L. (2007). The microalgal cell. In *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*.

Vázquez-Gálvez, G., Castillejo-Álvarez, L., Angoa-Pérez, V., Rivera-Cháve, F., Oyoque-Salcedo, G., & Mena-Violante, H. (2012). Efecto de hongos micorrícicos arbusculares y extracto acuoso de Vermicompost sobre calidad de fresa. *Ra Ximhai*, 8(3).

Xu, H., Miao, X., & Wu, Q. (2006). High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. *Journal of Biotechnology*, 126:499-507.

Zárate, M. (2014). *MANUAL DE HIDROPONIA*. México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.