



**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: “EFECTO DE CUATRO CONCENTRACIONES DE *Chlorella* sp.  
Biotipo I COMO FERTILIZANTE FOLIAR EN LA PRODUCTIVIDAD DE  
FRUTILLA (*Fragaria vesca*) EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS DE ALTURA”**

**AUTOR: HEREDIA CUICHAN, CHRISTIAN EDISON**

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

**SANGOLQUI**

**2020**



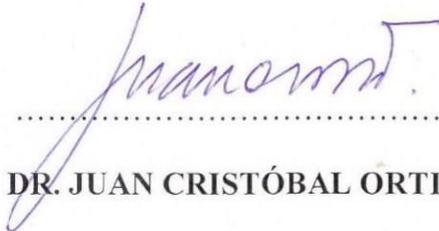
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“EFECTO DE CUATRO CONCENTRACIONES DE Chlorella sp. BIOTIPO I COMO FERTILIZANTE FOLIAR EN LA PRODUCTIVIDAD DE FRUTILLA (Fragaria vesca) EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS DE ALTURA”*** fue realizado por el señor ***Heredia Cuichan, Christian Edison*** 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 sustenten públicamente.

**Sangolquí, 22 de enero de 2020**

  
.....  
**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, *Heredia Cuichan, Christian Edison*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Efecto de cuatro concentraciones de Chlorella sp. Biotipo I como fertilizante foliar en la productividad de frutilla (Fragaria vesca) en sistemas acuapónicos de altura”* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos 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, 22 de enero de 2020**

*Heredia Cuichan, Christian Edison*

CC: 172526511-8



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

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**AUTORIZACIÓN**

*Yo, Heredia Cuichan, Christian Edison, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Efecto de cuatro concentraciones de Chlorella sp. Biotipo I como fertilizante foliar en la productividad de frutilla (Fragaria vesca) en sistemas acuapónicos de altura” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

**Sangolquí, 22 de enero de 2020**

  
.....

***Heredia Cuichan, Christian Edison***

CC: 172526511-8

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su apoyo incondicional, de igual manera a mis amigos que apoyaron al desarrollo de este proyecto, a mi novia por darme ánimos y siempre confiar en mis capacidades.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme levantarme cada mañana, a mis padres por su infinita paciencia y apoyo incondicional.

Al doctor Juan Ortiz, por ser un gran educador y sobre todo una excelente persona, que ha permitido mi formación tanto profesional como personal.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos .....	5
1.1.1 Objetivo general .....	5
1.1.2 Objetivos específicos.....	5
1.2 Hipótesis.....	5

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas acuapónicos .....	6
2.2 Usos de los sistemas acuapónicos .....	8
2.3 Equilibrio en un sistema acuapónico.....	8
2.4 Nitrificación .....	9
2.4.1 Bacterias nitrificantes .....	9
2.5 Trucha arcoíris.....	10
2.5.1 Efluentes.....	11
2.5.2 Toxicidad por amonio .....	12
2.5.3 Trucha en acuaponía.....	13

2.6	Frutilla .....	13
2.7	Variedad Diamante.....	15
2.7.1	Requerimiento nutritivo .....	16
2.7.2	Frutilla en sistemas acuapónicos .....	18
2.8	Microalgas.....	18

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Ubicación del lugar de investigación .....	20
3.1.1	Ubicación Geográfica.....	20
3.2	Materiales .....	21
3.3	Métodos.....	22
3.3.1	Construcción del sistema acuapónico .....	22
3.3.2	Maduración del biofiltro.....	23
3.3.3	Manejo de plantas.....	23
3.3.4	Manejo de peces .....	24
3.3.5	Cultivo de <i>Chlorella</i> Biotipo1 .....	24
3.3.6	Elaboración de producto algal.....	25
3.3.7	Aplicación de fertilizante foliar.....	25
3.3.8	Algas .....	26
3.3.9	Diseño Experimental .....	26
3.3.10	Croquis del diseño.....	29
3.4	Variables a Medir .....	29
3.4.1	Sistema .....	29
3.4.2	Plantas .....	29
3.4.3	Peces .....	30
3.5	Análisis Económico.....	30
3.6	Manual técnico de acuaponía .....	31

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Resultados .....	32
-----	------------------	----

4.2	Biomasa de peces del sistema acuapónico .....	32
4.3	Parámetros físicos del sistema acuapónico. ....	34
4.3.1	Proceso de nitrificación en laboratorio y campo .....	35
4.3.2	Fase de laboratorio .....	35
4.3.3	Fase de campo .....	36
4.4	Análisis químico del agua del sistema acuapónico .....	37
4.5	Características químicas de <i>Chlorella</i> sp. <i>Botipo I</i> .....	38
4.5.1	Análisis morfométricos del sistema hidropónico .....	38
4.5.2	Análisis proximal del follaje de las plantas de Fresa .....	40
4.6	Análisis de calidad del fruto .....	41
4.6.1	Peso de frutos acumulados. ....	41
4.6.2	Ecuación de producción de fresa .....	43
4.7	Análisis económico .....	45

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	53
5.2	Recomendaciones.....	54
5.3	Bibliografía.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Rangos de tolerancia de calidad de agua para los organismos de un sistema acuapónico</i> .....	7
<b>Tabla 2</b>	<i>Guía práctica de diseño de sistemas para unidades de acuaponía a pequeña escala</i> .....	8
<b>Tabla 3</b>	<i>Niveles de temperatura, nitrógeno, oxígeno disuelto y requerimiento de proteína para especies acuáticas usadas en acuaponía</i> .....	10
<b>Tabla 4</b>	<i>Porcentaje de proteína que debe tener el alimento, según el estado de desarrollo de la trucha</i> .....	11
<b>Tabla 5</b>	<i>Toxicidad del amoníaco</i> .....	13
<b>Tabla 6</b>	<i>Rangos de suficiencia de nutrientes para frutilla en las hojas</i> .....	16
<b>Tabla 7</b>	<i>Concentraciones (ppm) de nutrientes de la solución Yamazaky para frutilla</i> .....	17
<b>Tabla 8</b>	<i>Composición de elementos minerales en porcentaje de peso seco de biomasa de Chlorella vulgaris</i> .....	19
<b>Tabla 9</b>	<i>Características químicas del fertilizante foliar de EspAgrotec</i> .....	26
<b>Tabla 10</b>	<i>Análisis de varianza para un DCA con 5 tratamientos y 3 repeticiones</i> .....	28
<b>Tabla 11</b>	<i>Valores promedio desviación estándar de los parámetros de calidad del agua (temperatura, pH y oxígeno) obtenidos durante 150 días en estudio, en un sistema acuapónico de altura</i> .....	34
<b>Tabla 12</b>	<i>Valores promedios desviación estándar de compuestos nitrogenados en el</i> .....	35
<b>Tabla 13</b>	<i>Valores promedios de los compuestos químicos del agua del sistema acuapónico</i> .....	37
<b>Tabla 14</b>	<i>Composición nutrimental del de Chlorella Biotipo I sp</i> .....	38
<b>Tabla 15</b>	<i>Promedio ± desviación estándar de características morfológicas de Fragaria vesca variedad Diamante</i> .....	39
<b>Tabla 16</b>	<i>Promedio ± desviación estándar de concentraciones de macro y micro nutrientes de la hoja de Fragaria vesca variedad Diamante</i> .....	41
<b>Tabla 17</b>	<i>Promedio ± error estándar de la calidad del fruto</i> .....	44
<b>Tabla 18</b>	<i>Promedio ± error estándar de componentes bioquímicos de la fresa</i> .....	45
<b>Tabla 19</b>	<i>Presupuesto parcial de la producción de fresa fertilizada con diferentes concentraciones de Chlorella Biotipo I</i> .....	46
<b>Tabla 20</b>	<i>Análisis de tasa de retorno marginal de la concentración de Chlorella Biotipo I usada como fertilizante foliar, en la producción de frutilla acuapónica</i> .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquema de un sistema acuapónico básico .....	7
<b>Figura 2</b>	Transformación de amonio a nitratos .....	9
<b>Figura 3</b>	Transformación de nitritos a nitratos .....	10
<b>Figura 4</b>	Trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) .....	11
<b>Figura 5</b>	Relación entre la biomasa y la producción de amonio .....	12
<b>Figura 6</b>	Frutilla ( <i>Fragaria vesca</i> variedad Diamante) .....	15
<b>Figura 7</b>	Impacto del pH en la viabilidad de nutrientes para las plantas.....	17
<b>Figura 8</b>	A) Proyecto de Acuicultura, B) Laboratorio de Acuicultura.....	20
<b>Figura 9</b>	Esquema del sistema acuapónico en la Hacienda El Prado IASA I. (1.- Cama flotante, 2.- piscinas de truchas, 3.- Bomba externa, 4.- tanque de sedimentación, 5.- biofiltro, 6.-blower).....	23
<b>Figura 10</b>	Sistema tipo balsa flotante. ....	29
<b>Figura 11</b>	Evaluación de aumento de biomasa de peces en 6 piscinas. ....	32
<b>Figura 12</b>	Biomasa acumulada de peces en el sistema acuapónico. ....	33
<b>Figura 13</b>	Relación entre la biomasa y la producción de amonio (NH <sub>4</sub> +NH <sub>3</sub> ).....	33
<b>Figura 14</b>	Concentraciones de amonio (NH), nitrito (NO <sub>2</sub> ) y Nitrato (NO <sub>3</sub> ) en mg.. Proceso de nitrificación de <i>Bacillus subtilis</i> . ....	35
<b>Figura 15</b>	Evaluación del proceso de nitrificación en campo con <i>Bacillus subtilis</i> , de cada uno de los componentes del sistema acaponado (tanque de bacterias, piscina de peces y plantas). a) Evolución Nitrito. b) Evolución de nitrato. c) Evolución de amonio. ....	37
<b>Figura 16</b>	Promedio de características morfológicas de fresa. ....	40
<b>Figura 17</b>	Producción de frutilla por planta en un sistema acuapónico, bajo cuatro concentraciones de <i>Chlorella</i> Biotipo I y un testigo químico. ....	42
<b>Figura 18</b>	Peso de fruto acumulado por planta, por tratamiento durante 8 semanas. ....	42
<b>Figura 19</b>	Ecuación de producción de frutillas en (g), en función de la concentración de <i>Chlorella</i> Biotipo I aplicado. ....	43
<b>Figura 20</b>	Diámetro promedio de la zona ecuatorial y polar del fruto de frutilla, para cada uno de los tratamientos.....	44
<b>Figura 21</b>	La curva de los beneficios netos de la concentración de fertilizante foliar a base de <i>Chlorella</i> B. I, usada en la producción de frutilla acuapónica. ....	47

## RESUMEN

Actualmente el mal uso de pesticidas en cultivos, provoca residualidad química en los frutos atentando a la salud, por otro lado, tecnologías como la acuaponía permiten producir alimentos sanos y nutritivos, aprovechando los efluentes de la producción acuícola. La acuaponía resulta de la combinación de hidroponía y acuicultura. El presente estudio trató sobre el uso adecuado de biofertilizantes algales en sistemas acuapónicos, destinados a la producción de frutillas y trucha. Se evaluó el rendimiento de frutilla en el sistema acuapónico con la aplicación de cuatro concentraciones de *Chlorella* Biotipo I (ChB1), cabe mencionar que el bioproducto algal tiene células. mL y fue contrastado con el fertilizante químico de EspAgrotec. Los tratamientos evaluados fueron: T1(ChB1 al 100%), T2(ChB1 al 75%), T3(ChB1 al 50%), T4(ChB1 al 25%) y un testigo. Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos, de los cuales el tratamiento T1(ChB1 100%) destacó en producción con 55,06 gramos por planta, nutricionalmente los frutos del tratamiento T1 y Testigo mostraron los valores más altos de proteína con 0,73% y 0,81%. Económicamente el tratamiento con mejor tasa de retorno fue el T1 con 287,93%, seguido del tratamiento T3 con 272,91%. En cuanto a los parámetros: Número de hojas por planta, número de frutos, clorofila, hojas/flor y grados Brix fueron estadísticamente similares para todos los tratamientos.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **ACUAPONÍA**
- *Chlorella* Biotipo I
- **BIOPRODUCTO ALGAL**

## ABSTRACT

Currently the misuse of pesticides on crops, causing chemical residues in fruits health preying on the other hand, technologies like aquaponics allow producing healthy and nutritious foods, taking advantage of effluents from aquaculture production. Aquaponics is the combination of hydroponics and aquaculture. This study sought on the proper use of algal biofertilizer in aquaponic systems, for the production of strawberries and trout. strawberry performance was evaluated in the aquaponic system with the application of four concentrations of *Chlorella* Biotype I (ChB1), it is noteworthy that the algal cells have bioproduct. mL and it was compared with chemical fertilizer of EspAgrotec. The treatments were: T1 (ChB1 to 100%), T2 (ChB1 to 75%), T3 (ChB1 to 50%), T4 (ChB1 to 25%) and a control. The results showed statistical differences ( $p < 0.05$ ) between treatments, the treatment of which T1 (ChB1 100%) noted in production with 55.06 grams per plant, fruit nutritionally treatment of T1 values and showed more Witness high protein with 0.73% and 0.81%. Economically treatment better return rate was 287.93% T1, T3 followed by treatment with 272.91%. As for the parameters: number of leaves per plant, number of fruits, chlorophyll, leaf / flower and Brix were statistically similar for all treatments.

### KEYWORDS:

- **AQUAPONICS**
- *Chlorella* **BIOTIPE I**
- **ALGAL BIOPRODUCT**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. Actualmente, este sector presenta el mayor crecimiento a nivel mundial, FAO (2015) menciona que la actividad acuícola, representa casi el 50% de los productos pesqueros mundiales destinados a la alimentación, lo que la convierte en una de las principales fuentes de alimentación para la especie humana. Sin embargo, esto implica mayor uso de recursos naturales y problemas ambientales como la contaminación del agua con excretas y alimento no consumido por las especies acuícolas explotadas. En respuesta a esta problemática surge la acuaponía. (Samuel-Fitwi, Wuertz, Schroeder, & Schulz, 2012) .Este sistema se compone de un proceso de reciclaje de nutrientes, donde las plantas reciben los nutrientes desde el agua de cultivo de los peces. Estas actúan como filtros para la absorción de nutrientes que no fueron asimilados por los animales. En el sistema, es imprescindible el uso de bacterias nitrificantes, que tienen como función convertir las excretas de los peces en compuestos asimilables por las plantas, y no tóxicos para los peces, tales como nitratos (Ramírez, Sabogal, Gómez, Rodríguez Caicedo, & Hurtado Giraldo, 2009)

Un estudio realizado en Colombia en el municipio de Ocaña, al norte de Santander, determinó que la implementación de un sistema acuapónico es viable, puesto que los productos procedentes de este sistema, son naturales, orgánicos y cuentan con una gran aceptación. Además, se demostró mediante un análisis económico que los ingresos superan a los gastos, lo que lo convierte en una alternativa rentable (Pedroza & Ortiz, 2016). Cabe destacar que la acuaponía es

una tecnología amigable con el medio ambiente y aporta de manera positiva a la producción y la calidad de vida de las personas.

El Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) demostró que los sistemas acuapónicos son productivos y rentables en cultivos como: lechuga, coliflor, frutilla, tomate, presentando una disminución de costos en control químico, además por cada tonelada de peces que produce este sistema adicionalmente genera alrededor de siete toneladas de cultivo vegetal. Las plantas cultivadas en este sistema respondieron bien al análisis de nitrógeno, presentando contenidos altos de proteína cruda (Heras, 2008). En Dicha investigación también se comprobó que el 70% de los ingresos provenían del componente vegetal del sistema, por lo cuál es necesario asegurar las mejores condiciones para tener el mejor rendimiento.

El uso de fertilizantes en sistemas acuapónicos, mejora el rendimiento de las plantas, así por ejemplo la aplicación de 150 ppm de nitrógeno en plantas de tomate, promueve un mayor desarrollo radicular, aumento de número de racimos y flores por racimo. Sin embargo el uso de dosis altas de fertilizantes químicos (150 y 200 ppm de Nitrógeno) ocasionaron la muerte de los peces en el sistema acuapónico (Barahona-, Arquimides; Castillo, 2011). Por esta razón se debe optar por fertilizantes orgánicos.

Para garantizar la inocuidad y nutrición de los cultivos sin afectar a los peces, se puede utilizar microalgas como biofertilizante. Por esto, investigadores Químicos, de la Universidad de Almería trabajan en el desarrollo de nuevas tecnologías en la producción sostenible de biofertilizantes de uso agrícola a través del cultivo de microalgas en aguas residuales, de esta manera aprovechan recursos y generan un rédito económico y energético. El uso de estos biofertilizantes garantiza 55%

menos del coste en producción, distribución y aplicación respecto al uso de fertilizantes químicos(Ferrer, Passos, Gutiérrez, & García, 2013).

El uso de la microalga *Chlorella* sp *Biotipo 1*, como fertilizante foliar, en el cultivo de frutilla, mostró efectos positivos en el desarrollo del cultivo. Las frutillas que se obtuvieron en dicho estudio, presentaron un peso promedio de 15 gramos y cada planta produjo de 3 a 4 frutos, adicionalmente los frutos alcanzaron un dulzor de 7° Brix(Córdova, 2019). Es importante mencionar que el uso de este biofertilizante no causó mortalidad de los peces en el sistema acuapónico.

Factores como el aumento de población, la escasez de agua , cambio climático y la pobreza, especialmente en los países en desarrollo, hacen que sea necesario buscar tecnologías de producción de alimentos de alta calidad protéica, que sean sostenibles y sustentables con el medio ambiente (FAO, 2018).Las principales preocupaciones de cada país es tener seguridad alimentaria y producir alimentos sanos. Debemos tener en cuenta que anualmente se registran 420.mil personas muertas y más de 600 millones enfermedades a causa de alimentos contaminados con bacterias, químicos, entre otros(ONU, 2019).

Según (EWG, 2016), la frutilla es uno de los cultivos con mayor residualidad de pesticidas, el 98% de las muestras que analizaron, presentaron entre 10 a 17 pesticidas diferentes, algunos de estos químicos son causantes de cáncer, daños hormonales, problemas reproductivos y hasta daños neurológicos. La única manera de evitar el uso de plaguicidas es optar por una producción amigable con el medio ambiente, para lo cual la acuaponía con el uso de biofertilizantes, resulta ideal para generar alimentos sanos, nutritivos y libres de pesticidas.

La Acuaponía en la actualidad es una forma de producción rentable y amigable con el medio ambiente, puesto que permite obtener productos vegetales de interés a través de subproductos de desecho de los peces. El sistema acuapónico comprende la integración de peces, plantas y bacterias de manera equilibrada (Flores Ortega et al., 2015). La implementación de estos sistemas en Ecuador, resulta viable ya que se puede aprovechar el nitrógeno producido en la actividad acuícola, la misma que ha tenido un crecimiento en su producción a lo largo del tiempo, siendo así, que en el año 2010 la producción acuícola total fue de 272.520 Tn y para el año 2017 la producción nacional fue de 464.500 Tn, es decir que en siete años este rubro se incrementó en un 58%. En el país esta actividad se ha desarrollado en base al cultivo de camarón en la región Costa, trucha en la región Interandina y tilapia en la región Amazónica (Cumbicos, Ruiz, & Cruz, 2018; FAO, 2005). Considerando el notable crecimiento de la acuicultura es necesario pensar en la acuaponía como una solución viable para el aprovechamiento de los desechos, conservación de recursos naturales y obtención de productos libres de pesticidas.

La producción del componente vegetal en sistemas acuapónicos, puede ser mejorado con la aplicación de biofertilizantes, sin embargo la obtención de biomasa algal necesaria para el fertilizante, implica procesos complejos y costosos en el cultivo de microalgas (Hernández, Alexis; Labbé, 2014). El uso de biofertilizantes en concentraciones adecuadas, asegurará efectividad y evitará pérdidas económicas.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

- Evaluar las dosis de *Chlorella* sp. Botipo I como fertilizante foliar en la productividad de frutilla (*Fragaria vesca*) en sistemas acuapónicos de altura.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de cuatro concentraciones de *Chlorella* sp. Botipo I en la productividad y contenido nutricional de *Fragaria vesca*, en acuaponía de altura con trucha arco iris.
- Elaborar un manual técnico para la divulgación de los procesos de producción de *Fragaria vesca* en acuaponía de altura con trucha arco iris, desarrollados en el proyecto piscícola de la Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Determinar costos de producción de *Fragaria vesca* en acuaponía de altura con trucha arco iris.

## 1.2 Hipótesis

H1: “El uso de *Chlorella* sp. Botipo I como fertilizante foliar en diferentes dosis, mejora la productividad de Frutilla (*Fragaria vesca*) en sistemas acuapónicos de altura”.

H0: “El uso de *Chlorella* sp. Botipo I como fertilizante foliar en diferentes dosis, no genera cambios significativos en la productividad de Frutilla (*Fragaria vesca*) en sistemas acuapónicos de altura”.

## CAPÍTULO I I

### REVISIÓN DE LITERATURA

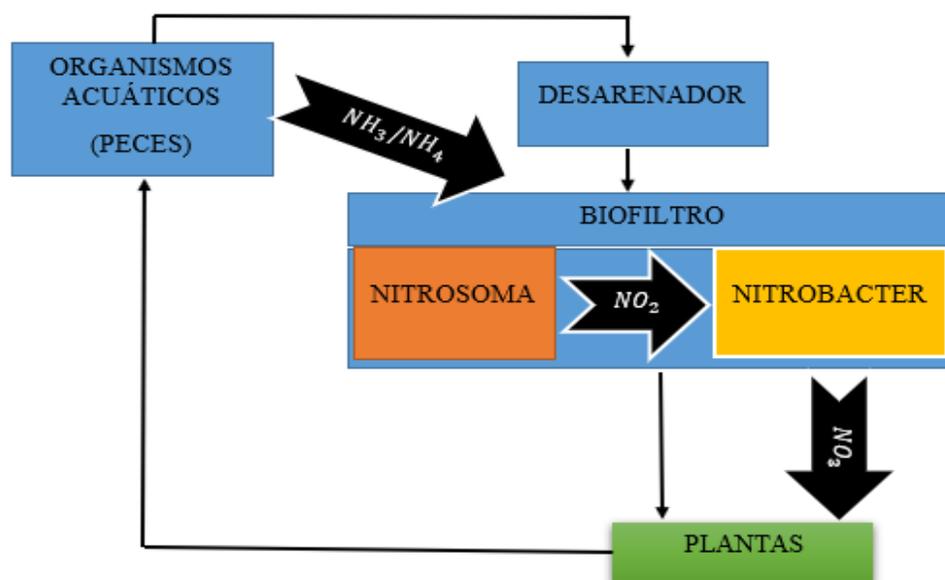
#### 2.1 Sistemas acuapónicos

Un sistema acuapónico es la combinación de dos actividades agrícolas, las cuales son: la acuicultura y la agricultura hidropónica basada en producir plantas en un medio acuático. La combinación de estas dos actividades, lo convierte en un sistema sustentable y sostenible, debido a su capacidad de producir alimentos aprovechando todos los recursos, de esta manera se obtiene productos de origen animal y otro de origen vegetal (Candarle, 2016).

El funcionamiento del sistema acuapónico, se basa en que los desechos orgánicos producidos por un organismo acuático, que por lo general son peces, son convertidos a través de la acción bacteriana, en nitratos, que sirven como fuente de alimentos para las plantas. Éstas al tomar los nitratos limpian el agua para los peces actuando como un filtro biológico (Ramírez, D; Sabogal, D; Jiménez, P; Hurtado, Neves, Guzmán, Duran, & Henríquez, 2008).

Los sistemas acuapónicos, constan de varios elementos como: tanques de peces, filtros y cultivo de plantas. El agua proveniente de los tanques de peces es recolectada y dirigida hacia filtros que retienen sólidos, posteriormente esta agua pasa a un biofiltro donde será procesado los desechos disueltos. El biofiltro está formado por bacterias nitrificantes que transforman el amoníaco presente en el agua en nitratos, el cuál es ideal para las plantas. Los nutrientes generados en el biofiltro son enviados hacia las camas del cultivo, de esta manera son absorbidos por las plantas y el agua resultante es direccionada hacia las piscinas de los peces, puesto que ya se

encuentra purificada. Este sistema logra un beneficio mutuo entre plantas, peces e inclusive bacterias siempre y cuando el sistema esté en equilibrio (Lucia, 2017).



**Figura 1.** Esquema de un sistema acuapónico básico

Fuente: (Ramírez et al., 2009)

**Tabla 1**

*Rangos de tolerancia de calidad de agua para los organismos de un sistema acuapónico*

Organismos	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/Litro)	Nitrato (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Bacterias	17-34	6-8,5	<3	<3		4-8
Peces de agua fría	10-18	6-8,5	<1	<0,1	<400	6-8
Peces de agua caliente	22-32	6-8,5	<3	<1	<400	4-6
Plantas	14-34	6-8,5	<3	<1		>3

Fuente:(Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli, 2014)

## 2.2 Usos de los sistemas acuapónicos

Los sistemas acuapónicos conocidos como “balsas flotantes”, se caracterizan por el gran volumen de agua que hace las veces de reservorio del sistema, estos reservorios, pueden construirse con cajones, bateas, etc. los cuales alojan planchas de tergotol u otro similar con perforaciones que alojen a las plántulas a cultivar. En las escalas comerciales, los canales largos y profundos con planchas de polietileno, soportan los vegetales en la superficie del agua, con sus raíces suspendidas; exponiéndolas plenamente al agua del sistema. Las planchas protegen al agua de la exposición solar y de la incidencia de la temperatura ambiental, este sistema requiere de oxigenación (Gorosito et al., 2017; Jiménez, 2018).

## 2.3 Equilibrio en un sistema acuapónico

Para poder llegar a un equilibrio en el sistema acuapónico se debe considerar sus tres componentes, como se muestra en la siguiente tabla 2 (Somerville et al., 2014).

**Tabla 2**

*Guía práctica de diseño de sistemas para unidades de acuaponía a pequeña escala*

Volumen del tanque de los peces (L)	Max. peces Biomasa (kg)	Velocidad de alimentación (g / día)	Bomba tasa de flujo (L / h)	Volumen del filtro (L)	Min. volumen de medio biofiltro (L)		Plantas Área de cultivo ()
					Volcanic tuff	Bioballs	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1200	20-50	100	50	2
1000	20	200	2000	100-200	200	100	4
1500	30	300	2500	200-300	300	200	6
2000	40	400	3200	300-400	400	300	8
3000	60	600	4500	400-500	600	400	12

## 2.4 Nitrificación

Un sistema de nitrificación es un proceso bacteriano aeróbico en el cuál el amonio se transforma en nitritos y posteriormente en nitratos, los cuales pueden ser asimilados por las plantas (Otal Salaverri, Vilches Arenas, Pineda, García López, & Fernández Pereira, 2002).

### 2.4.1 Bacterias nitrificantes

El proceso de nitrificación depende de muchos factores como: temperatura, pH y componentes en el agua o suelo, por esta razón podemos encontrar bacterias quimio autotróficas, es decir que sintetizan componentes químicos a partir de estructuras simples o quimio litotróficas, las cuales sintetizan estructuras a partir de compuestos inorgánicos y obtienen energía durante dicho proceso (Cabrera, 2007; Ivami, 2015).

*Bacillus* sp presenta diversas características y versatilidad para su aplicación, haciéndolo un excelente candidato en el mejoramiento de la disponibilidad de nutrientes, produce enzimas Nitrogenasas, que efectúan procesos de fijación de nitrógeno permitiendo que sea fácilmente asimilable por las plantas (Ramírez, Corrales ; Constanza, Lozano, & Gómez, Liliana; Ramos, María ; Rodríguez, 2017).



**Figura 2.** Transformación de amonio a nitratos

Fuente:(Cabrera, 2007)



**Figura 3.** Transformación de nitritos a nitratos

Fuente:(Cabrera, 2007)

## 2.5 Trucha arcoíris

La trucha arco iris es una especie originaria de América del Norte, con cierto grado de domesticidad y proveniente de varias especies del Pacífico, presente de forma natural en los ríos que desembocan en el Pacífico. Por su mayor grado de domesticidad frente a otras especies de salmónidos, se la considera más sencilla de estabular. Algunas variedades soportan temperaturas cálidas y aguas con menos movimiento que la trucha común (JACUMAR, 2016).

**Tabla 3**

*Niveles de temperatura, nitrógeno, oxígeno disuelto y requerimiento de proteína para especies acuáticas usadas en acuaponía*

Especie	Temperatura (°C)		Nitrógeno amoniacal total (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Proteína cruda en alimento (%)
	Vital	Óptimo			
Carpa común	3-34	25-30	<1	>4	30-38
Tilapia del Nilo	14-36	27-30	<2	>4	28-32
Pez gato	5-34	24-30	<1	>3	25-36
Trucha arcoíris	10-18	14-16	<0,5	>6	42

Fuente: (Somerville et al., 2014)



**Figura 4.** Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

Fuente: (Isselee Eric, 2010)

La alimentación es un factor determinante para el crecimiento y desarrollo de la trucha arcoíris, las proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales son componentes básicos para una adecuada nutrición (FAO, 2016).

**Tabla 4**

*Porcentaje de proteína que debe tener el alimento, según el estado de desarrollo de la trucha*

<b>Características</b>	<b>Alevines</b>	<b>Juvenil</b>	<b>Juvenil</b>	<b>Adulto</b>	<b>Reproductores</b>
Peso en gramos	Menor a 0,5	0,5-10	10-110	Mayores a 110	Mayores a 800
Porcentaje de proteína	50-55	48	45	40	40

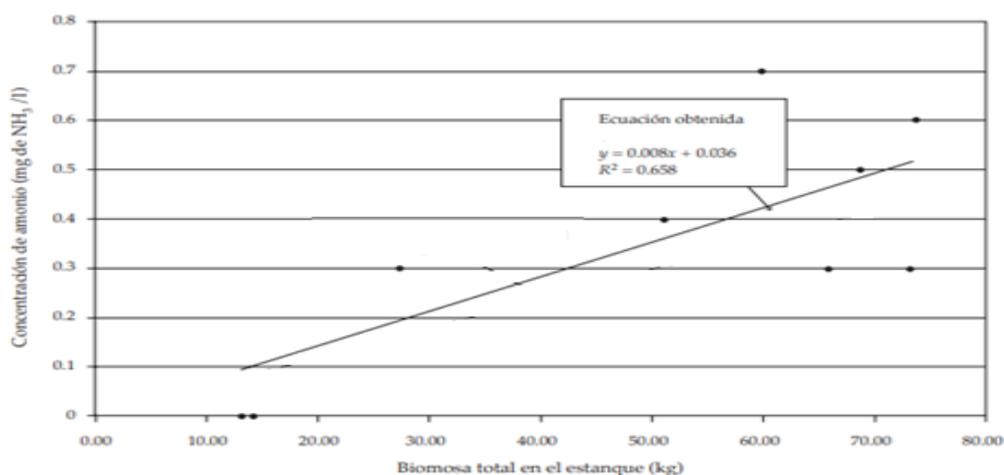
Fuente:(Guerrero, 2006)

### 2.5.1 Efluentes

Los desperdicios presentes en las piscinas son principalmente alimento no consumido y excretado. La acumulación de dichos desechos aumenta progresivamente concentraciones de sustancias nocivas para los peces, de no ser controlados, puede causar enfermedades e inclusive la muerte de los peces(FAO, 2016).

Según (García, Daury ; Gallego, Iván ;Aguilar, Burrola; Díaz, Carlos ; Fall, Cheikh ; Burrola, 2011), la relación entre la biomasa y la generación de amonio por los peces, responde a

un modelo matemático de tipo regresivo de primer orden, en el cual el aumentar la biomasa es directamente proporcional al incremento de la producción del amonio. El comportamiento de la relación encontrada se expresa en la figura 5.



**Figura 5.** Relación entre la biomasa y la producción de amonio

### 2.5.2 Toxicidad por amonio

El pH es un indicativo del grado de amoníaco presente en el agua, el amonio total representa la suma de la forma ionizada  $NH_4^+$  (forma poco tóxica) y de la no ionizada  $NH_3$  (forma tóxica). Cuando el pH es de 7,0, apenas el 0,7 % de amoníaco total es  $NH_3$ , mientras que con un pH 8,0 se tendrá amoníaco total en forma tóxica (Kubitza, 2017).

**Tabla 5**  
*Toxicidad del amoníaco*

	<b>Amoníaco (NH<sub>3</sub>) en mg/L</b>	<b>Amonio (NH<sub>4</sub>) en mg</b>
Óptimo	0	0,4
Aceptable	0,006	1
Aceptable temporalmente (15 días)	0,025	1,6
Mortalidad total	0,08	3

Fuente:(Blanco, 1995)

### 2.5.3 Trucha en acuaponía

La trucha común (*Salmo trutta*) es una especie de pez que pertenece a la clase Actinopterygii, al orden Salmoniformes y a la familia de los salmónidos. Las truchas comunes tienen su vientre de color amarillo y sus flancos de tono dorado, con manchas verdosas, que se mezclan con otras manchas color rojo, las cuales son rodeadas por un aro de color blanco. (Donoso Gabriela V., 2018).

En un sistema acuapónico lo más recomendable es alimentar a los peces en función del cultivo vegetal, así por ejemplo cuando el cultivo está en fase vegetativa se puede alimentar con 40 o 50 gramos de alimento por metro cuadrado por día, en cambio cuando el cultivo entra en fase de fructificación se debe alimentar con un rango de vegetales fructíferos: 50–80 gramos de alimento por metro cuadrado por día (Somerville et al., 2014),

### 2.6 Frutilla

La frutilla pertenece a la familia de las rosáceas, su raíz es fasciculada y superficial con un tamaño máximo de 30cm, tienen hojas trifoliadas de color verde oscuro con varias estomas para

realizar una intensa transpiración. Se conocen más de 160 especies del género *Fragaria*, esta variabilidad permite que la frutilla pueda ser cultivada en climas tropicales hasta países de cuatro estaciones (Angulo, 2009).

Según (Gloria,Carmen;Riquelme,Jorge; Hirzel,Juan; France,Andrés; Pedreros, Alberto; Uribe, Hamil; Abarca, 2017), la floración y producción de las plantas de frutilla está dada por la temperatura (horas frío acumulada) y el fotoperiodo, en base a este último factor la frutilla puede ser:

**Plantas de día corto (no reflorecientes):** Son variedades cuyo requerimiento de horas luz es menor de 14 horas para el desarrollo de yemas florales, entre ellas tenemos: Camarosa,Camino real ,Ventana , Palomar ,Mojave, Benicia, Sabrosa , Sabrina, Sahara, Safari, entre otros.

**Plantas de día largo (reflorecientes):** Su requerimiento de horas luz es mayor de 14 horas para el desarrollo de yemas florales. Las variedades más conocidas son: Earligrow, Annapolis, Honeoye, Delmarvel, Seneca, Jewel, Jewel, Kent, Allstar, entre otros.

**Plantas de día neutro (remontantes):** No presentan respuesta al fotoperiodo (duración del día); requieren de temperaturas en el suelo superiores a los 12°C para el desarrollo de yemas. Algunas de estas variedades son: Albión, San Andreas, Monterrey, Portola, Aromas, Cristal, Amandine, Diamante, entre otras.

## 2.7 Variedad Diamante

Se caracteriza por producir frutos de buena calidad (entre 15 y 30 gramos por fruto), sus frutos son más firmes que las otras variedades, la forma de las plantas son compactas con hojas erectas, al ser una variedad de día neutro tiene mayor acumulación de azúcares hasta 10 grados Brix. Es resistente a ácaros y hongos (Eurosemillas, 2019).



**Figura 6.** Frutilla (*Fragaria vesca* variedad *Diamante*)

Fuente. (Villagrán, 1994)

Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de frutilla:

Temperatura: 12-20°C

Humedad: 65 a 70%.

Luz: 12h de luz

pH: 6-7

Riego: 2-3 riegos por semana

(Morales, 2017; Villagrán, 1994)

### 2.7.1 Requerimiento nutritivo

Según (Morales, 2017), la fertilización realizada en el cultivo de frutilla está ligada al rendimiento y calidad del fruto, la fertilización depende del sistema de producción: hidropónico, semi hidropónico o en suelo, por lo cual el plan de fertilización debe ser de acuerdo a la etapa fisiológica de la planta, teniendo en cuenta que la falta o exceso de algún nutriente afectará directamente al producto.

El cultivo de frutilla alcanza un óptimo desarrollo a un pH de 6-6,5, una conductividad eléctrica máximo de 0,9 – 1 dS/m o en su defecto los sólidos solubles no deben superar los 650 ppm. La frutilla extrae nutrientes en cantidades relativamente bajas, el problema radica en que el 90% de nutrientes es absorbido a un radio de 25 cm de la corona de la planta, a continuación se presenta los valores estándares de requerimiento de la frutilla (Correa, María; Bórquez, Ana; Kirschbaum, 2008).

**Tabla 6**

*Rangos de suficiencia de nutrientes para frutilla en las hojas*

<b>Nutrientes</b>	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Mg (%)</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>B ppm</b>
Cantidad	2.5-3.2	0.25-0.4	1.5-2.5	0.5-1.5	0.25-0.5	25-200	15-100	20-60

Para cultivar frutilla en un medio hidropónico podemos recurrir a formulaciones más específicas , así por ejemplo la solución Yamasaky tiene una conductividad de 1.0 dS/m, el pH de esta solución tiene mínimas variaciones ya que usa NH<sub>4</sub> como una pequeña fuente de nitrógeno, estos valores se detallan en la siguiente tabla (CEAC, 2012).

**Tabla 7**

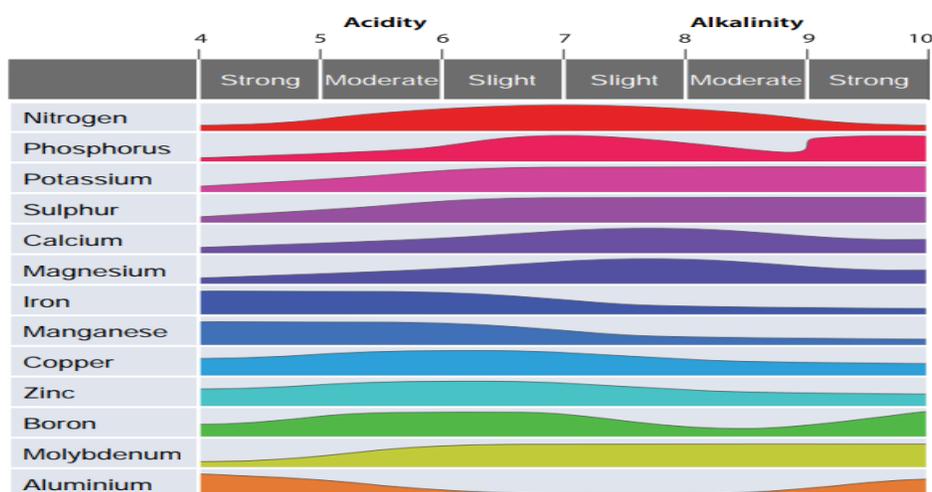
*Concentraciones (ppm) de nutrientes de la solución Yamazaky para frutilla*

<b>Solución Hidropónica</b>	<b>NO<sub>3</sub>-N</b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	<b>PO<sub>4</sub>-P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>SO<sub>4</sub>-S</b>
Yamazaky-frutilla	70	7	15	117	40	12	16

### 2.7.1.1 Disponibilidad de nutrientes en función del pH

El pH en una solución nutritiva o en el suelo es un indicativo de la disponibilidad de nutrientes, nos permite conocer la presencia de H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>, los mismos que son determinantes de la solubilidad de los nutrientes en el suelo (Osorio, 2012).

En un sistema acuapónico maduro la disponibilidad de nutrientes es mayor a pesar de tener un pH relativamente alto, esto se debe a que la acuaponía es un ecosistema completo en el cual existen interacciones biológicas, entre las raíces de las plantas, las bacterias y los hongos por lo tanto existe menor bloqueo de nutrientes que en un hidropónico. Es recomendable tener un pH comprendido este 6 y 7 (Somerville et al., 2014).



**Figura 7.** Impacto del pH en la viabilidad de nutrientes para las plantas

Fuente: (Somerville et al., 2014)

### 2.7.2 Frutilla en sistemas acuapónicos

Según Candarle (2016) y Heras (2008), la producción de plantas en un sistema acuapónico genera un 70% de ganancia, por tanto, es indispensable seleccionar un cultivo de gran aceptación en el mercado, y cuyo precio sea constante. La ventaja de estos sistemas radica en el aprovechamiento de las excretas de peces, es una opción de producción ecológica, se debe proporcionar de 50 a 80 gr de alimento/día a los peces por cada metro cuadrado de cultivo.

### 2.8 Microalgas

En la actualidad el estudio de microalgas va en aumento debido a su amplia gama de aplicaciones así por ejemplo: fuente de aceites, biocombustibles, pigmentos, antioxidantes y gracias a su alto valor nutritivo puede ser usado como fertilizante (Barros, Gonçalves, Simões, & Pires, 2015). La generación y uso de biomasa proveniente de microalgas permite reciclar y revalorizar recursos naturales (Beltrán , Julio ; Guajardo , Claudio ; Barceló, Icela ; López, 2017).

*Chlorella* sp se caracteriza por tener una forma elipsoidal y de un color verde. Pertenece a la división *Chlorophyta* y a la clase de las *Chlorophyceae*. El crecimiento de *Chlorella* sp. se encuentra en función del sustrato empleado. Una opción económica de cultivo es el uso de exudado gomoso de *Acacia macracantha* más fosfatos, pues ha demostrado una alta eficiencia como sustituto de sustrato para el cultivo de *Chlorella* sp, además es de fácil obtención(Vera, Antonio; Mart, Maritza ; Morillo; Montes, 2004).

Según (Gomez, 1997), la biomasa obtenida al inicio de la fase estacionaria del cultivo de *Chlorella vulgaris*, en un cultivo a gran escala presenta la siguiente composición bioquímica y mineral :

**Tabla 8**

*Composición de elementos minerales en porcentaje de peso seco de biomasa de Chlorella vulgaris*

<b>Elemento</b>	<b>Concentración (%)</b>	<b>Elemento</b>	<b>Concentración (%)</b>
K	1 0,10	Mn	0,001 0,05
Na	1,0 0,02	Al	<0,001
Mg	0,57 0,10	Bo	<0,001
Ca	1,0 0,02	Cr	<0,001
Zn	0,03 0,02	Pb	<0,001
Fe	0,19 0,02	Sn	<0,001
Cu	0,003 0,001		
Co	0,001 0,00		

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del lugar de investigación

El presente proyecto de investigación se realizó en el área de Pailones y los laboratorios de la institución, en la carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Ubicado en la parroquia Selva Alegre, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha



*Figura 8.* A) Proyecto de Acuicultura, B) Laboratorio de Acuicultura

Fuente: (GoogleMaps, 2019)

##### 3.1.1 Ubicación Geográfica

###### **Proyecto de Acuicultura**

Latitud: 0°25'23.66"S

Longitud: 78°24'44"W

Altitud: 2926 m.s.n.m.

###### **Laboratorio de Acuicultura**

Latitud: 0°23'15.66"S

Longitud: 78°24'51.40"O

Altitud: 2723 m.s.n.m.

## 3.2 Materiales

### Material biológico:

- Truchas: Recurso disponible en el invernadero de acuicultura ubicado en Pailones, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Plantas de frutillas: Plántulas de frutilla de la variedad Diamantes obtenidas en el sector del Quinche.
- Microalgas: Cepa *Chlorella biotipo 1*, en base a los estudios realizados en el laboratorio de cepa de Acuicultura y Recursos Acuáticos de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria – IASA.
- Bacterias nitrificantes: *Bacillus subtilis* de Bayer ®, el producto es Pond plus

### Materiales fungibles:

- Espuma Flex: 3 panchas de 2x1 con 2cm de espesor.
- Aireadores: 3 piedras difusoras y 1 m de manguera difusora.
- Vasos de plástico: 100 vasos de 5oz.
- Tubería de PVC: Diámetros de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  y 1 pulgada..
- Bomba de agua periférica: Presión de 50 psi y un caudal de 48L/min.
- Tanques: 3 con capacidad de 2000L.
- Atomizadores: 5 de 500mL de capacidad.

### Equipos:

- Espectrofotómetro YSI 9000
- Balanza analítica

- Estufa
- Microscopio
- Cámara de Neubauer
- Computadora

### **Reactivos**

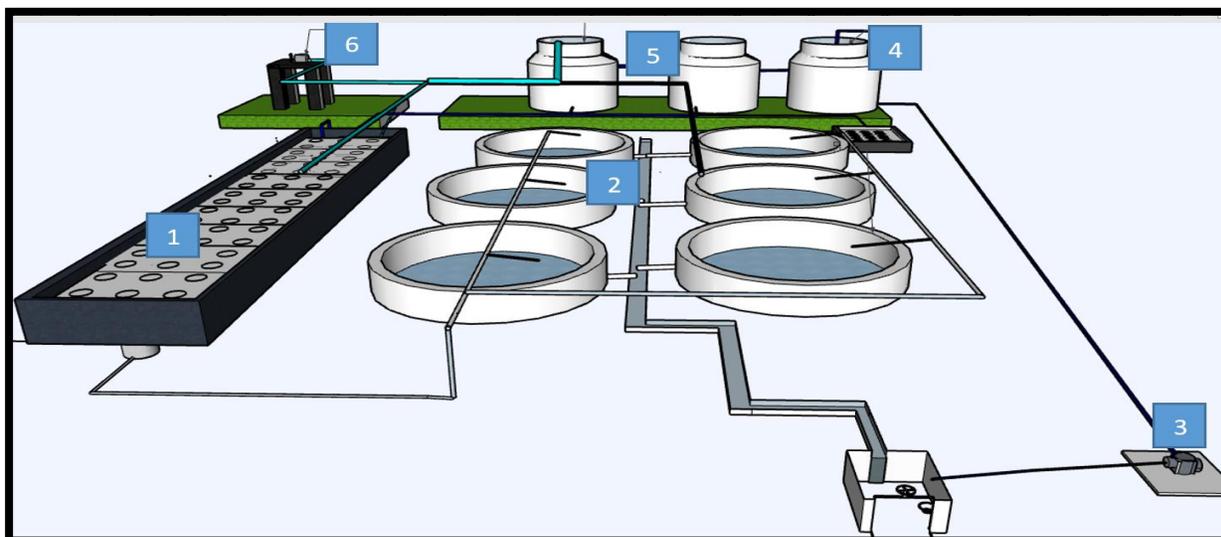
- Fertilizante foliar nitrofosKa
- Fertilizante foliar Fertisol de EspAgrotec
- Kits de análisis de nitrito, amonio, fosfatos, calcio y magnesio

## **3.3 Métodos**

### **3.3.1 Construcción del sistema acuapónico**

Para el montaje del experimento, se adoptó los sistemas propuestos por (Ramírez et al., 2009). El sistema acuapónico de altura para la producción de frutilla contó con: Seis piscinas circulares de 2,8 de capacidad cada una, con truchas en etapa de engorde, un tanque de 1, para colectar los efluentes de las seis piscinas, un tanque sedimentador de 2000 litros de capacidad, dos biofiltros con capacidad de 2000 litros cada uno y provistos de bacterias nitrificantes (*Bacillus subtilis* de Bayer ®), finalmente un sistema de balsa flotante rectangular con un aforo de 2430 litros y con la capacidad de albergar 72 plantas.

Todo el sistema está conectado mediante tubería de  $\frac{3}{4}$  y 1 pulgada, tanto para el agua como para la oxigenación y se utilizó el 60% del efluente gracias a una reguila en el tanque colector. A continuación, se presenta el esquema del sistema acuapónico:



**Figura 9.** Esquema del sistema acuapónico en la Hacienda El Prado IASA I. (1.- Cama flotante, 2.- piscinas de truchas, 3.- Bomba externa, 4.- tanque de sedimentación, 5.- biofiltro, 6.-blower)

Fuente: Autor

### 3.3.2 Maduración del biofiltro

Previo al funcionamiento del sistema acuapónico, se activó las bacterias nitrificantes, para lo cual, se inoculó 10gr *Bacillus subtilis*, PondPlusBayer® y 10mL de hidróxido de amonio (NH<sub>4</sub>OH) 1M en 20 litros de agua del sistema. El proceso de maduración se verificó haciendo análisis de nitritos, nitratos y amonio cada 5 días, una vez las bacterias maduren, serán incorporadas al sistema.

### 3.3.3 Manejo de plantas

Se utilizó plántulas de frutilla de la variedad Diamante, de aproximadamente 2 meses.

Las plántulas pasaron por un periodo de adaptación de 15 días, en el lugar de investigación. Transcurrido este tiempo, se colocó las mejores plántulas en el sistema y se les aplicó una infusión de canela y agua destilada al 50%, para prevenir plagas o enfermedades.

Posteriormente se realizó una poda semanal, eliminando hojas viejas y estolones. Cuando la planta entro en producción se tomó los datos productividad (número frutos y calidad de fruto), de 6 plantas por tratamiento.

### **3.3.4 Manejo de peces**

Se utilizó truchas arco iris del proyecto ubicado en Pailones pertenecientes a la institución. Se realizó un programa de alimentación cada 10 días, para cada una de las 6 piscinas, considerando su biomasa, la misma que se calculó multiplicando el número de peces por su peso promedio.

Una vez al mes se colocó a los peces en una solución de agua y sal en grano al 1,2% durante 1 minuto, para prevenir enfermedades.

### **3.3.5 Cultivo de *Chlorella Biotipo1***

Se cultivó una muestra purificada de *Chlorella biotipo 1*, en tubos de ensayo con solución nutritiva (10 mL de agua destilada y fertilizante foliar Nitrofoska (1g.L-1)), transcurrido diez días de la siembra, se colocó el contenido de los tubos en un matraz Erlenmeyer, provisto de 200mL de solución nutritiva (SN), cantidad que aumentó cada 3 días hasta llegar a 1 litro.

Cuando el cultivo alcanzó una densidad de  $2 \times 10^6$  células. mL<sup>-1</sup>, se transfirió el contenido a un recipiente de 20 litros, con 5 litros de (SN) aumentando cada 15 días 5 litros de (SN), adicionalmente se proporcionó aireación constante con ayuda de un motor de acuario y la temperatura se mantuvo en 20°C.

La densidad celular se calculó con la siguiente fórmula:

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

Donde:

DCI= Densidad celular de inóculo en células por mL

N= Promedio celular de acuerdo al número de cuadrantes considerados en la cámara de Neubauer.

= Factor de conversión de 0.1  $\mu\text{L}$  a 1 mL

FD= Factor de dilución.

### **3.3.6 Elaboración de producto algal**

Una vez que el cultivo de *Chlorella* biotipo1 alcanzó una densidad celular de  $20 \times 10^6$  células.mL<sup>-1</sup>, se retiró la iluminación y la oxigenación, posteriormente se colocó el cultivo en un lugar oscuro por tres días hasta que se precipite. Una vez precipitado se eliminó el sobrenadante del cultivo y se procedió a centrifugar a 3500 rpm durante 10 minutos.

Con la biomasa obtenida se preparó cuatro concentraciones de productos algales:  $20 \times 10^6$  células.mL.L<sup>-1</sup>,  $15 \times 10^6$  células.mL.L<sup>-1</sup>,  $10 \times 10^6$  células.mL.L<sup>-1</sup> y  $5 \times 10^6$  células.mL.L<sup>-1</sup>.

### **3.3.7 Aplicación de fertilizante foliar**

Se aplicó 20 ml de producto algal por planta y se contrastó con el fertilizante foliar químico de EspAgrotec, cuya dosis de aplicación es de 1kg/200 litros, el producto fue ideal para el crecimiento y desarrollo de la planta.

**Tabla 9***Características químicas del fertilizante foliar de EspAgrotec*

<b>Ingredientes activos</b>	<b>Concentración en %</b>
Nitrógeno (N)	9
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	9
Potasio (K <sub>2</sub> O)	41
Magnesio (Mg)	0,11
Cobre (Cu)	0,06
Calcio (CaO)	0,3
Hierro (Fe)	0,06
Manganeso (Mn)	0,06
Zinc (Zn)	0,06
Boro (B)	0,06

### 3.3.8 Algas

Se realizó un análisis bromatológico de las algas por método de absorción atómica para determinar la cantidad de macro y micronutrientes, además que se determinó la cantidad de proteína por método de análisis proximal.

### 3.3.9 Diseño Experimental

En el presente proyecto se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), en el cual se colocaron plantas de frutilla en un sistema acuapónico asegurando que tengan las mismas condiciones, los factores a considerar son las concentraciones de *Chlorella* sp biotipo I en cuatro

concentraciones que son:  $20 \times 10^6$  células/mL,  $15 \times 10^6$  células/mL,  $10 \times 10^6$  células/mL y  $5 \times 10^6$  células/mL. De manera que se obtuvo 4 tratamientos con tres repeticiones cada una, dando un total de 12 unidades experimentales y un testigo con sus tres repeticiones.

### **3.3.9.1 Características de las unidades experimentales**

Las características de las unidades experimentales a evaluar 15 unidades experimentales, cada unidad experimental estuvo conformada por 6 plantas de frutilla.

### **3.3.9.2 Factores a probar**

El diseño fue unifactorial en donde se evaluó las diferentes concentraciones de *Chlorella* sp Biotipo I actuó como fertilizante foliar (Factor: concentración de *Chlorella* sp Biotipo I).

### **3.3.9.3 Tratamientos a comparar**

Se evaluó el rendimiento de frutilla bajo cuatro concentraciones de *Chlorella* sp Biotipo1:

T1: *Chlorella* sp Biotipo1 al 100% ( células/mL),

T2: *Chlorella* sp Biotipo1 al 75% ( células/mL),

T3: *Chlorella* sp Biotipo1 al 50% (10 células/mL),

T4: *Chlorella* sp Biotipo1 al 25% ( células/mL)

T5: solución inorgánica.

### **3.3.9.4 Tipo de diseño**

En el presente estudio empleo un Diseño Completamente al Azar (DCA) 5x3 (cinco tratamientos con tres repeticiones).

### 3.3.9.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza a todos los datos obtenidos en la investigación, previa verificación de diferencias entre tratamientos a un nivel de confianza del 95%. Se aplicó el Test de Duncan para el análisis de medias, con un nivel de significancia de  $p=0,05$ . Se empleó una regresión no lineal a la variable de producción de frutilla en función de la concentración de fertilizante foliar.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza para un DCA con 5 tratamientos y 3 repeticiones*

<b>Fuente de variación (F.V)</b>	<b>Grados libertad (gl)</b>
Tratamiento	5
Error experimental	10
Total	15

### 3.3.9.6 Modelo matemático

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

Donde:

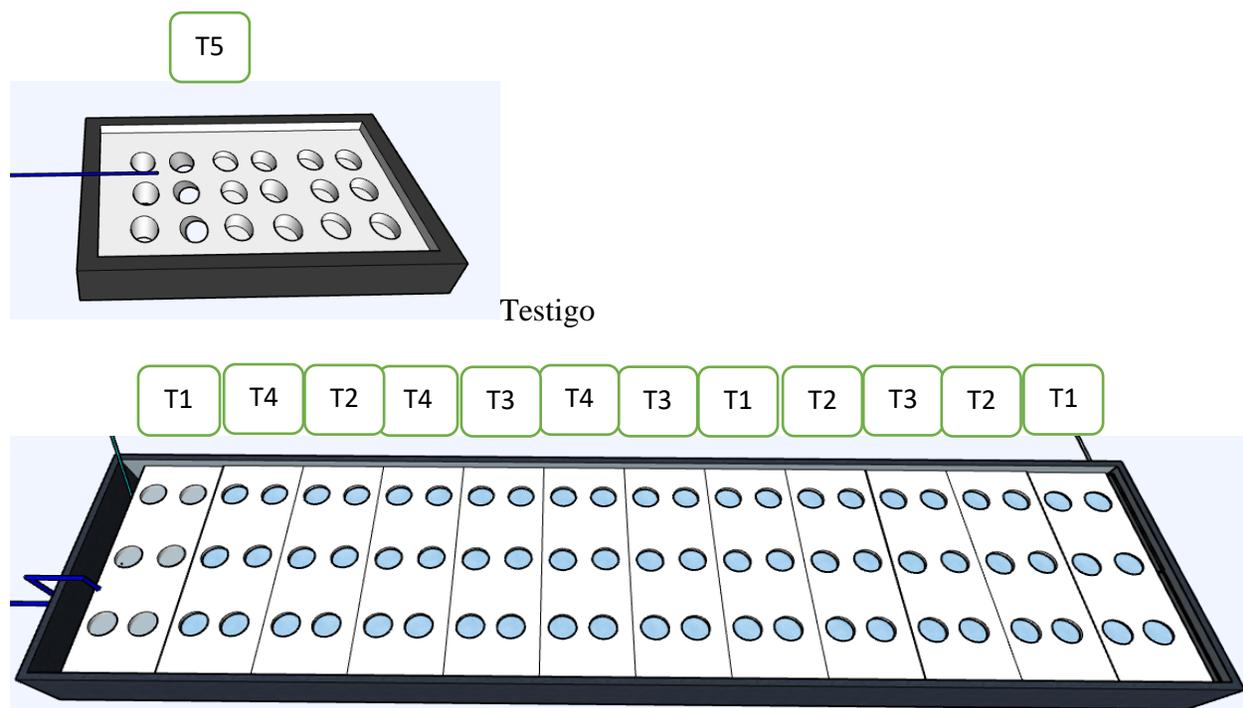
= Productividad de la frutilla

= Media general

= Efecto de la i-ésima fertilización foliar

= error experimental

### 3.3.10 Croquis del diseño



*Figura 10.* Sistema tipo balsa flotante.

## 3.4 Variables a Medir

### 3.4.1 Sistema

- Se tomaron datos de temperatura tres veces al día (8:00 am, 12:00pm y 16:00pm).
- Los datos de pH, dureza, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, oxígeno disponible, fosfatos, nitratos, nitrógeno total amoniacal. Se tomó cada 10 días a las 10:00 am y 16:00 pm.

### 3.4.2 Plantas

- **Número de Hojas:** Se contó el número de hojas de 6 plantas, por tratamiento, cada 7 días.

- **Número de fruto:** Se contó el número de frutos presentes en 6 plantas, por tratamiento, cada 7 días durante 2 meses.
- **Calidad de fruto:** Se evaluó el color, grados brix, peso, diámetro ecuatorial y polar, de 5 frutos por cada tratamiento.
- **Relación fuente/ demanda:** Se determinó la relación entre: Hojas/flores y Hojas/frutos, cada 7 días.
- **Clorofila:** La medición se realizó de todas las plantas, de cada tratamiento, al finalizar la investigación.
- **Análisis bromatológico del fruto:** Se determinó la cantidad de proteína, lípidos y grasa por método de análisis proximal.

### 3.4.3 Peces

Se calculó cada 10 días, la biomasa de peces, factor de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia y mortalidad. Para lo cual se tomará una muestra significativa de cada piscina mediante la siguiente fórmula:  $n = 2 * \sqrt{N}$

Donde:

N= Tamaño de la población

n= Muestra

### 3.5 Análisis Económico

Se aplicó el método del presupuesto parcial propuesto por (Perrin, R.; Winkelmann, D.; Moscardi, E.; Anderson, 1988), el cuál plantea obtener los beneficios netos de cada uno de

los tratamientos mediante la diferencia entre el beneficio bruto, se calculó con la siguiente fórmula:

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

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

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

En donde:

$\Delta\textit{BNA}$ : cambio de los beneficios netos (T3-T4, T2-T3, T1-T2).

$\Delta\textit{CV}$ : cambio de los costos variables (T3-T4, T2-T3, T1-T2).

### **3.6 Manual técnico de acuaponía**

Se elaboró en base a los conocimientos adquiridos en la presente investigación, constó de 5 capítulos en los que se aborda los temas principales de la acuaponía como: componentes del sistema acuapónico, especies animales y vegetales adecuadas para el sistema, como elaborar un fertilizante a base de algas, manejo de peces y plantas, entre otros temas.

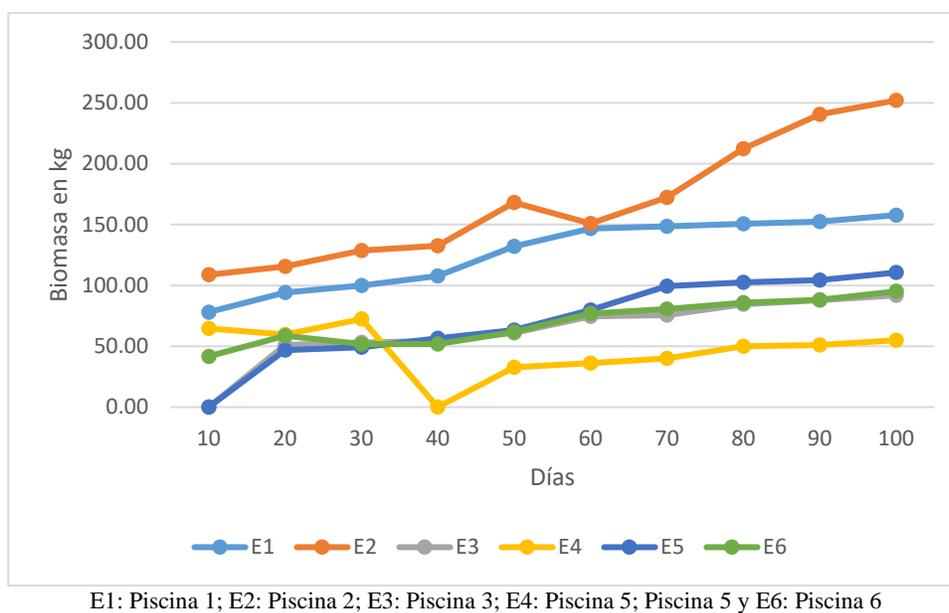
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

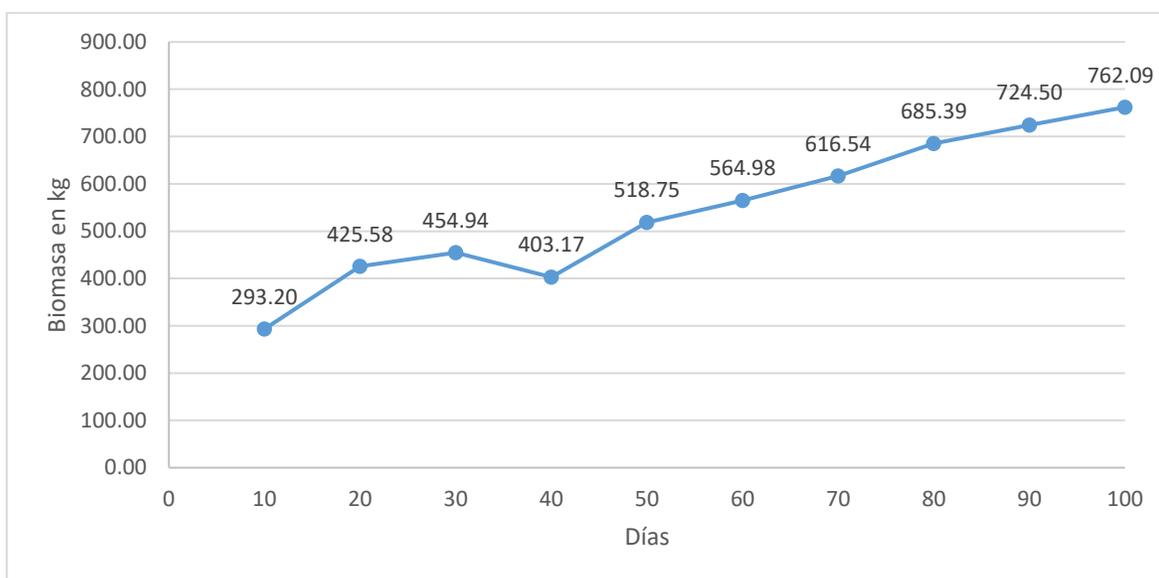
#### 4.2 Biomasa de peces del sistema acuapónico

Durante el proceso de desarrollo del cultivo de fresa, el aporte nutricional fue otorgado por los lixiviados del alimento y desecho de los peces. El aumento de su biomasa fue mayor en la piscina 2 con 252kg y menor en la piscina 4 con 54,81 (Figura 11).



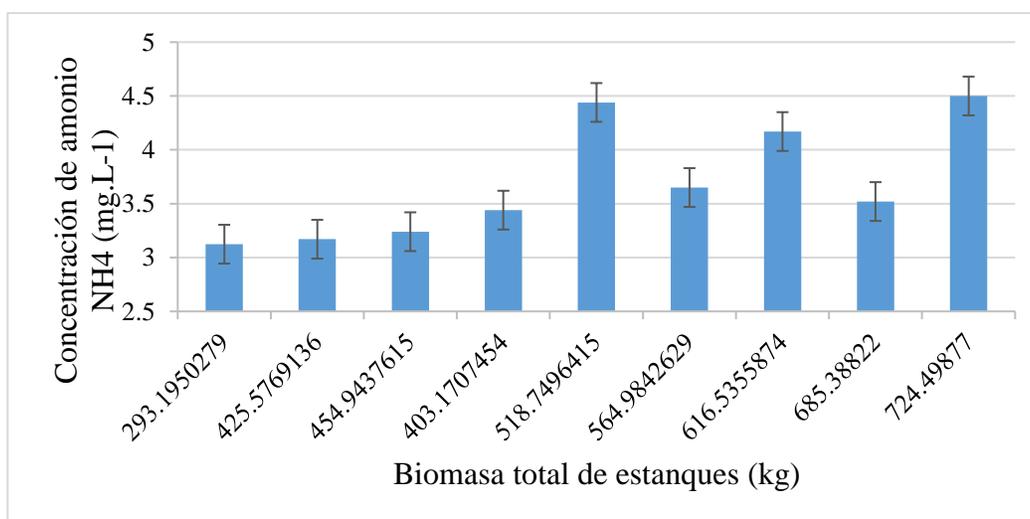
**Figura 11.** Evaluación de aumento de biomasa de peces en 6 piscinas.

La figura 12 muestra un aumento acumulado de biomasa de peces en el sistema acuapónico, este aumento va de 293,20 kg a 762,09 kg.



**Figura 12.** Biomasa acumulada de peces en el sistema acuapónico.

El incremento de las concentraciones de amonio total ( $\text{NH}_4+\text{NH}_3$ ) está relacionado al aumento de biomasa. Sin embargo, la piscina de los peces de un sistema acuapónico debe ser limpiado cada cierto tiempo, para evitar niveles tóxicos de nitrógeno, esto provoca una disminución de amonio total. El comportamiento de esta relación se expresa en la (figura 13).



**Figura 13.** Relación entre la biomasa y la producción de amonio ( $\text{NH}_4+\text{NH}_3$ ).

### 4.3 Parámetros físicos del sistema acuapónico.

Durante los 150 días de estudio los resultados indican que, las condiciones fisicoquímicas del sistema acuapónico (tanque de peces, bacterias y plantas), son idóneas para el desarrollo de bacterias, peces y plantas (Tabla 11). Los componentes del sistema acuapónico presentan valores estadísticamente similares ( $p>0,05$ ). El promedio de temperatura estuvo alrededor de  $13^{\circ}\text{C}$ , el pH en 8,3, el oxígeno disuelto en 8,6, sólidos disueltos en un rango de 135ppm en el tanque de plantas, a 187 en el tanque de peces y la conductividad eléctrica en un rango de 139uS/cm en el tanque de peces, a 219 uS.cm-1 en el tanque de Bacterias.

**Tabla 11**

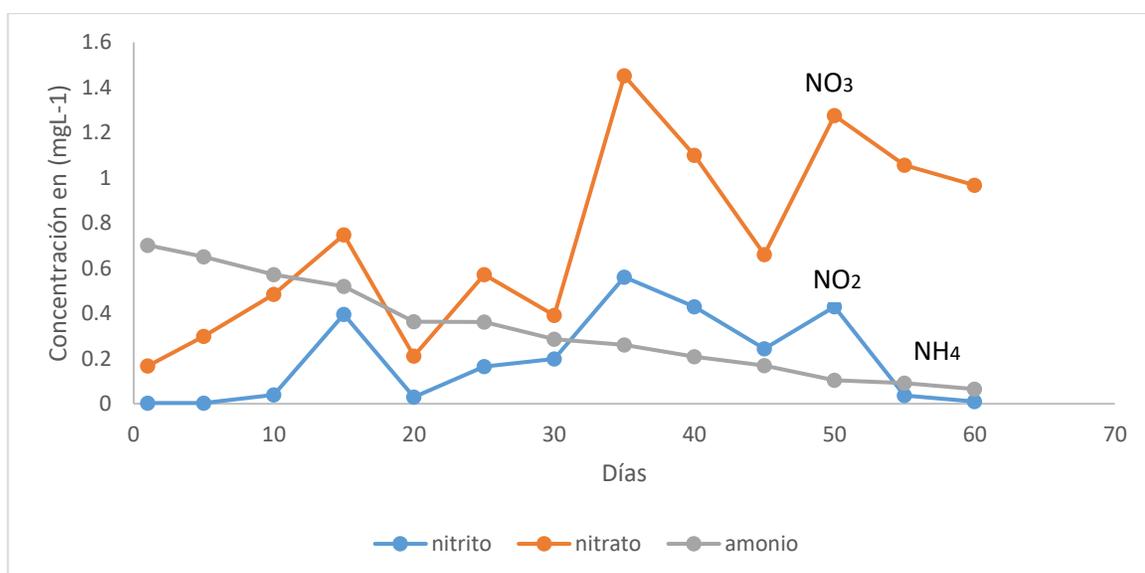
*Valores promedio desviación estándar de los parámetros de calidad del agua (temperatura, pH y oxígeno) obtenidos durante 150 días en estudio, en un sistema acuapónico de altura*

		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	Oxígeno (	Sólidos	Conductividad (uS.cm-1)
<b>Ambiente</b>	<b>Media</b>	$13,78\pm 6,06$				
	<b>Mín</b>	5,8				
	<b>Máx</b>	30,7				
<b>Tanque de Bacterias</b>	<b>Media</b>	$13,75\pm 1,6$	$8,29\pm 0,07$	$8,71\pm 0,41$	$167,48\pm 9,91$	$219,68\pm 12,71$
	<b>Mín</b>	9,9	8,1	7,88	147,55	194,4
	<b>Máx</b>	18,6	8,4	9,6	173,55	227,5
<b>Tanque de peces</b>	<b>Media</b>	$13,3\pm 1,52$	$8,48\pm 0,1$	$8,63\pm 1,09$	$187,59\pm 36,27$	$138,92\pm 51,07$
	<b>Mín</b>	10,8	8,1	0,94	145,32	40,7
	<b>Máx</b>	17,5	8,8	10,35	230,86	184,3
<b>Tanque de plantas</b>	<b>Media</b>	$13,2\pm 1,22$	$8,33\pm 0,09$	$8,64\pm 0,54$	$135,48\pm 30,78$	$189,37\pm 26,95$
	<b>Mín</b>	12,6	8	7,4	91	144
	<b>Máx</b>	18,3	8,6	9,7	171,6	221,2
<b>Tanque del testigo</b>	<b>Media</b>	$13,91\pm 1,39$	$8,35\pm 0,09$	$8,63\pm 0,41$	$134,99\pm 7,39$	$180,77\pm 16,74$
	<b>Mín</b>	11,3	8	7,03	126,76	161,50
	<b>Máx</b>	17,6	8,5	9,4	141,05	191,80

### 4.3.1 Proceso de nitrificación en laboratorio y campo

### 4.3.2 Fase de laboratorio

El proceso de nitrificación con el uso de *Bacillus* sp, en condiciones de laboratorio, evidenció una adecuada transformación de nitrógeno amoniacal a nitrato. El monitoreo realizado durante 60 días mostró un aumento de NO<sub>3</sub> de 0,2 a 1,02 mientras el NH<sub>4</sub> bajo de 0,7 a 0,009, estos valores se muestran en la (Figura 14) y (Tabla 12).



**Figura 14.** Concentraciones de amonio (NH), nitrito (NO<sub>2</sub>) y Nitrato (NO<sub>3</sub>) en mg.. Proceso de nitrificación de *Bacillus subtilis*.

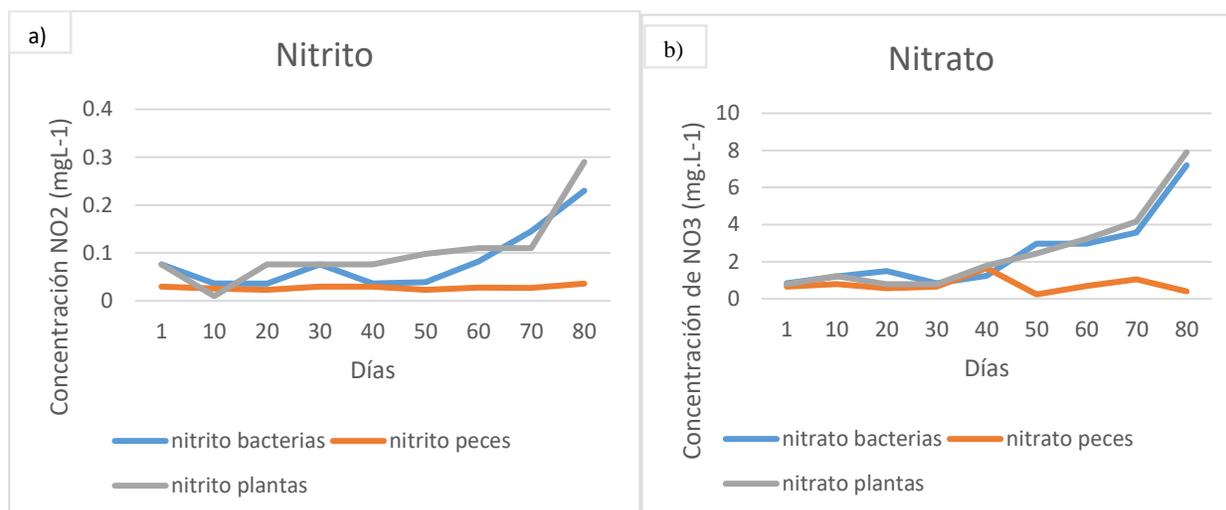
**Tabla 12**

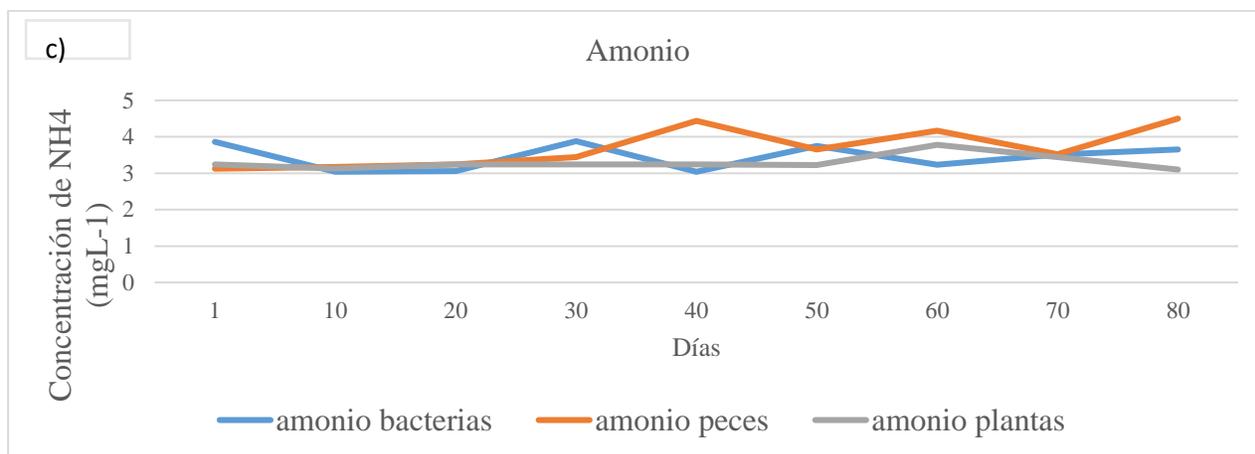
*Valores promedios desviación estándar de compuestos nitrogenados en el proceso de nitrificación en laboratorio*

Parámetro (mg. L <sup>-1</sup> )	Media	Mín	Máx
Nitrito	0,2±0,2	0	0,56
Nitrato	0,72±0,45	0,17	1,45
Amonio	0,33±0,22	0,07	0,7

### 4.3.3 Fase de campo

El contenido de amonio al iniciar en los tres tanques es relativamente alto respecto a los demás compuestos nitrogenados (Nitrito y Nitrato), podemos apreciar que el contenido de amonio inicia con 3 en las piscinas de los peces y se acumula progresivamente en el taque de bacterias mostrando un valor de 4, finalmente se observa un descenso de estas concentraciones a 3 gracias a la acción de las bacterias nitrificantes. Este proceso mejora conforme transcurre el tiempo tal es el caso que a los 80 días del estudio se observa una mejor transformación del Amonio, iniciando con  $4,5\text{NH}_4$  en la piscina de los peces y llegando a las piscinas con plantas con un valor de 3. La reducción de Amonio dió como resultado un aumento de  $\text{NO}_3$  cuyos valores iniciales fueron 0,8 para los tres tanques, transcurrido los 80 días dichos valores aumentaron a 8 en la piscina con plantas y en el tanque de bacterias. En el caso de las piscinas de peces ocurrió una reducción a 0,4 (Figura 15).





**Figura 15** Evaluación del proceso de nitrificación en campo con *Bacillus subtilis*, de cada uno de los componentes del sistema acaponado (tanque de bacterias, piscina de peces y plantas). a) Evolución Nitrito. b) Evolución de nitrato. c) Evolución de amonio.

#### 4.4 Análisis químico del agua del sistema acuapónico

Durante la fase experimental se registraron rangos de amonio de 3,04 a 4,5, lo que generó 8 . Adicionalmente se obtuvo cantidades considerables de macro y micronutrientes que se presentan en la (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Valores promedios de los compuestos químicos del agua del sistema acuapónico*

Parámetros ()	Media	Mín	Máx
Nitrito	0,1±0,15	0,01	0,76
Nitrato	6,36±1,49	0,24	8,00
Amonio	3,48±0,41	3,04	4,5
Mg	11,02±0,95	10	12,4
Mn	16,41±067	0,01	82
S	8,52±0,63	8	9,6
P	4,54±2,07	1,8	7,5
Ca	47,2±2,05	34	56

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

Los análisis bromatológicos realizados a *Chlorella* sp. *Botipo I* revelaron un contenido importante de proteína (51,9%). En cuanto al contenido de macro y micronutrientes evaluados por absorción atómica, es ideal como suplemento nutricional para el componente vegetal del sistema acuapónico, tiene un mayor aporte de Nitrógeno con 8,3% y hierro con 166,7mg/kg (tabla 14).

**Tabla 14**  
*Composición nutrimental del de Chlorella Biotipo I sp*

<b>Nutrientes</b>	<b><i>Chlorella B1</i></b>	<b>Unidad</b>
Nitrógeno	8,3	%
Fósforo	0,5	%
Potasio	0,4	%
Magnesio	0,2	%
Calcio	0,2	%
Manganeso	62,4	mg/kg
Hierro	166,7	mg/kg
Cobre	24,5	mg/kg
Zinc	23,8	mg/kg
Proteína	51,9	%

##### 4.5.1 Análisis morfométricos del sistema hidropónico

Los datos morfométricos recolectados durante 3 meses mostraron diferencia significativa entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). Esta diferencia se dió en el número de flores por planta y la relación hojas flores con un  $p=0,0459$  y  $p=0,0154$  respectivamente. Con respecto al número de flores por planta, el mejor tratamiento fue el T4 con  $10,33 \pm 2,7$  flores, seguido por T2 con  $9,44 \pm 4,41$  flores y

el tratamiento con menor formación de flores fue el T1 con  $6,94 \pm 3,46$  flores, el mismo que es estadística mente similar con el testigo, cuyo valor es  $6,1 \pm 3,62$  flores.

En cuanto a la relación hojas/flores, el mejor tratamiento fue el testigo con  $1,31 \pm 0,73$  hojas/flores, seguido de T3 con  $1,06 \pm 0,83$  hojas/flores y T1 con  $0,99 \pm 0,48$  hojas/flores.

Por otra parte, las variables de número de hojas, número de frutos, clorofila y la relación hojas/fruto no mostraron diferencia significativa entre tratamientos ( $p > 0,05$ ), los valores se muestran en la siguiente tabla 15 y figura 16.

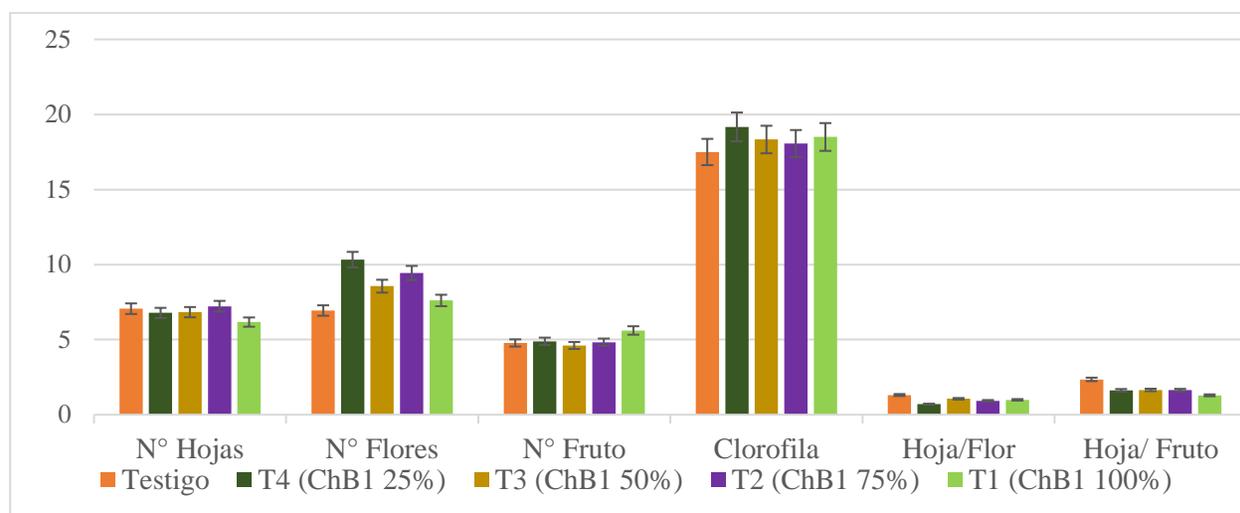
**Tabla 15**

*Promedio  $\pm$  desviación estándar de características morfológicas de *Fragaria vesca* variedad Diamante*

Descripción	Testigo	T4	T3	T2	T1	p-Valor
Hojas	$7,06 \pm 2,13a$	$6,78 \pm 1,31a$	$6,83 \pm 1,79a$	$7,22 \pm 1,11a$	$6,17 \pm 1,15a$	0,5047
Flores	$6,94 \pm 3,46b$	$10,33 \pm 2,7a$	$10,04 \pm 0,07^a$	$9,44 \pm 4,41ab$	$7,61 \pm 3,62b$	0,0459
Frutos	$4,78 \pm 2,6a$	$4,89 \pm 2,11a$	$4,4 \pm 0,04^a$	$4,83 \pm 1,47a$	$5,61 \pm 2,33a$	0,7117
Clorofila	$17,5 \pm 4,15a$	$19,17 \pm 3,62a$	$18,19 \pm 0,01^a$	$18,06 \pm 4,08a$	$18,5 \pm 3,38a$	0,823
Hoja/Flor	$1,31 \pm 0,73a$	$0,7 \pm 0,26c$	$0,16 \pm 0,01^a$	$0,93 \pm 0,43bc$	$0,99 \pm 0,48bc$	0,0154
Hoja/ Fruto	$2,35 \pm 2,25a$	$1,63 \pm 0,71a$	$1,65 \pm 0,74a$	$1,64 \pm 0,61a$	$1,29 \pm 0,71a$	0,2971

\*T1: Concentración de *Chlorella Biotipo I* al 100%; T2: Concentración de *Chlorella Biotipo I* al 75% T3: Concentración de *Chlorella Biotipo I* al 50%; T4: Concentración de *Chlorella Biotipo I* al 25%; T5: Químico de EspAgrotec. Medias con una letra común no presentan diferencia significativa (Duncan  $p > 0,05$ ).

En la figura 16 se puede apreciar que el T1(ChB1 100%) muestra una mayor producción de frutos a pesar de ser el tratamiento con menor producción de flores, lo que demuestra una mayor eficiencia en cuajado del fruto.



\*T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *fragaria* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25% %; \*T5: Químico de EspAgrotec.

**Figura 16.** Promedio de características morfológicas de fresa.

#### 4.5.2 Análisis proximal del follaje de las plantas de Fresa

La concentración de macro y micronutrientes presente en las hojas de fresa, mostraron diferencia significativa para macro y micro nutrientes ( $p < 0,05$ ). Los elementos de Nitrógeno y Manganeso mostraron diferencia significativa entre tratamientos a un ( $p = 0,008$ ) para Nitrógeno y ( $p = 0,0001$ ) para Manganeso.

Respecto a las concentraciones de Nitrógeno, los tratamientos T1, T2 y testigo fueron estadísticamente similares y presentaron los valores más altos que son:  $1,25 \pm 0,06\%N_1$ ,  $21 \pm 0,03\%N$  y  $1,22 \pm 0,06\%N$  respectivamente. En cuanto a la concentración de Manganeso, los mejores tratamientos fueron T1 con  $57,09 \pm 0,18$  (mg/kg) Mn y el testigo con  $48,55 \pm 0,11$  (mg/kg) Mn. El tratamiento T4 mostró la menor concentración de macro y micro nutrientes, los valores mencionados se presentan en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Promedio ± desviación estándar de concentraciones de macro y micro nutrientes de la hoja de Fragaria vesca variedad Diamante*

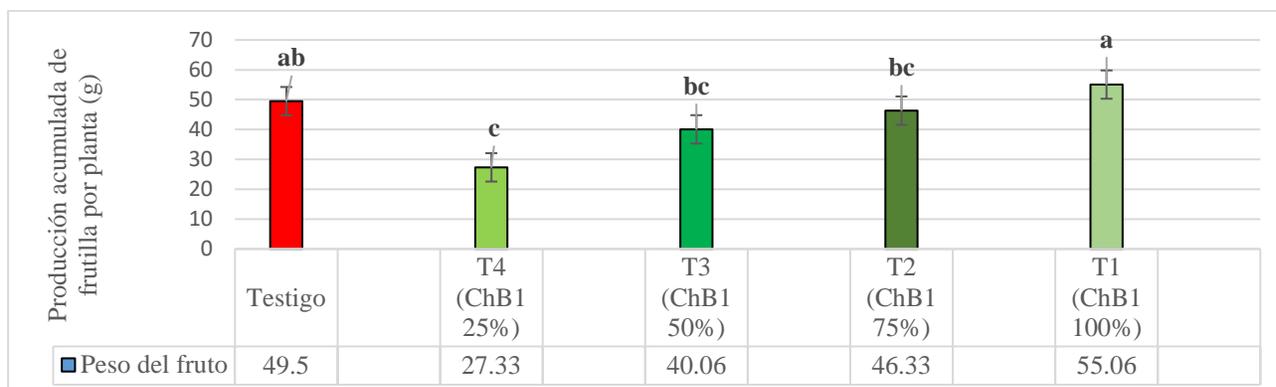
<b>Elemento</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>Testigo</b>	<b>p-Valor</b>
N (%)	1,25±0,06a	1,21±0,03a	0,9±0,01b	0,9±0,29b	1,22±0,06a	0,008
P (%)	0,35±0,01a	0,34±0,01a	0,41±0,07a	0,3±0,01a	0,34±0,03a	0,2072
K (%)	0,39±0,03a	0,4±0,01a	0,4±0,04a	0,36±0,04a	0,4±0,04a	0,5375
Mg (%)	0,21±0,06a	0,2±0,01a	0,19±0,01a	0,14±0,04a	0,19±0,07a	0,9827
Ca (%)	0,27±0,05b	0,22±0,01ab	0,16±0,01a	0,16±0,01a	0,14±0,02a	0,0502
Mn(mg/kg)	57,09±0,18a	47,4±0,69bc	47,29±0,38b	45,9±0,03c	48,55±0,11ab	0,0001
Fe (mg/kg)	183,44±0,08a	151,3±0,02a	165,85±0,06a	158,33±0,09a	155,36±0,06a	0,5162

\*T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%; \*Testigo: Químico de EspAgrotec. Medias con una letra común no presentan diferencia significativa (Duncan  $p > 0,05$ ).

## 4.6 Análisis de calidad del fruto

### 4.6.1 Peso de frutos acumulados.

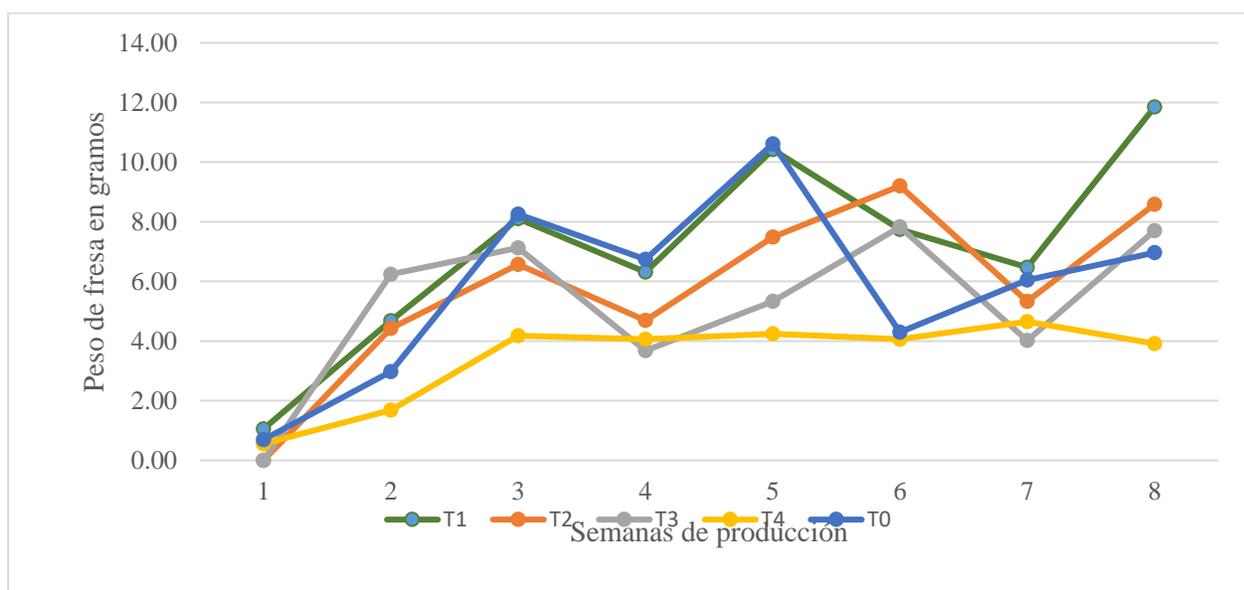
Comparando los resultados obtenidos en peso acumulado de cada planta por tratamiento. Podemos apreciar una diferencia significativa entre tratamientos con un  $p = 0,0101$ . Se obtuvo una mayor producción del tratamiento T1 con 55,06 gramos de frutilla por planta y el testigo con 49,5 gramos de frutilla por planta. La figura 17 representa la producción promedio acumulada del fruto de cada tratamiento durante 60 días.



\*T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%; \*Testigo: Químico de EspAgrotec. Medias con una letra común no presentan diferencia significativa (Duncan  $p > 0,05$ ).

**Figura 17.** Producción de frutilla por planta en un sistema acuapónico, bajo cuatro concentraciones de *Chlorella Biotipo I* y un testigo químico.

Evaluando la producción por semanas podemos apreciar un notable aumento en la semana 4 y 5 de todos los tratamientos. El tratamiento T1 y testigo obtuvieron frutos similares hasta la quinta semana, sin embargo, al finalizar la producción el tratamiento T1 mostró un mayor rendimiento (figura 18) (tabla 15).



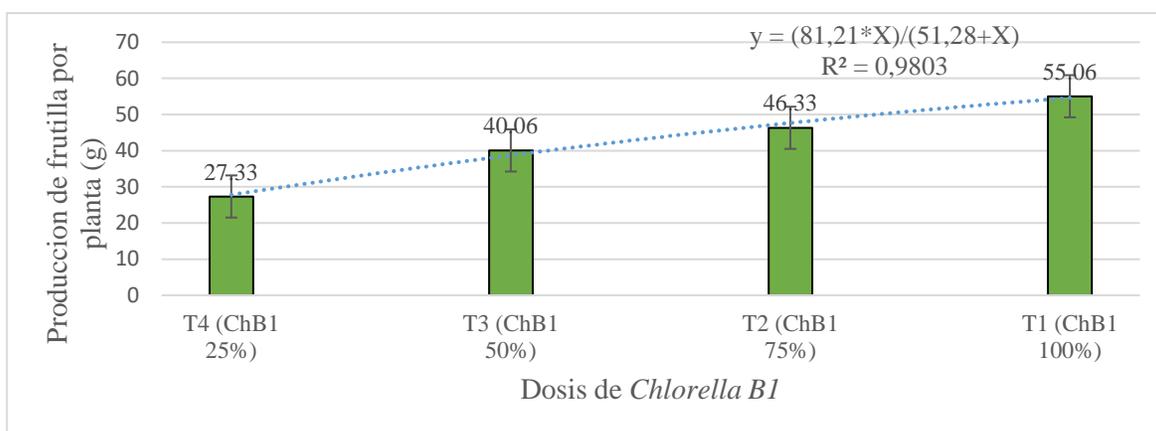
T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%; \*T0: Químico de EspAgrotec.

**Figura 18.** Peso de fruto acumulado por planta, por tratamiento durante 8 semanas.

#### 4.6.2 Ecuación de producción de fresa.

la relación entre la Producción y la concentración de *Chlorella Biotipo I*, responde a un modelo matemático: Producción de frutilla (g) =  $(81,21 * X) / (51,28 + X)$

El comportamiento de la relación encontrada se expresa en la figura 19.



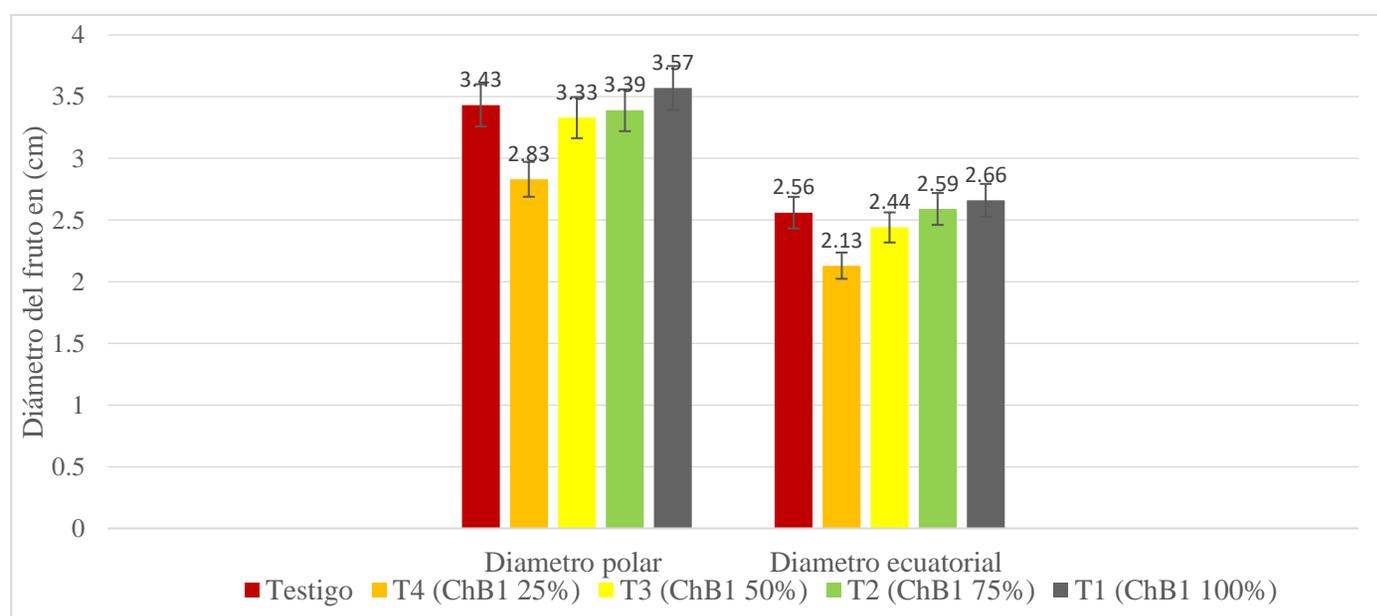
**Figura 19.** Ecuación de producción de frutillas en (g), en función de la concentración de *Chlorella Biotipo I* aplicado.

Las medidas tomadas de manera cronológica permitieron evaluar el comportamiento de los frutos hasta el día de su cosecha. En la tabla 15 se identifica diferencia significativa entre tratamientos para las variables de peso del fruto ( $p=0,0012$ ), diámetro polar ( $p=0,00029$ ) y diámetro ecuatorial ( $p=0,0011$ ). El peso promedio de los frutos tiene un rango de 13,5 a 5,94 g/plantas. El tratamiento T1 muestra mayor diámetro polar y ecuatorial con 3,57cm y 2,66 cm respectivamente. En el caso de los °Brix no se detectó diferencia significativa para los tratamientos, los valores mencionados se aprecian en la (tabla 17) y (figura 20).

**Tabla 17***Promedio ± error estándar de la calidad del fruto*

Descripción	T1	T2	T3	T4	Testigo	p-Valor
° Brix	10,77±1,85a	10,79±1,18a	11,35±1,6a	10,71±1,48a	11,12±1,22a	0,4904
Peso del fruto	10,5±3,13ab	10,11±3,34ab	9,22±3,66bc	5,94±1,8c	13,17±9,25a	0,0012
Diámetro polar	3,57±0,28a	3,39±0,31ab	3,33±0,23b	2,83±0,27c	3,43±0,42ab	0,0002
Diámetro ecuatorial	2,66±0,3a	2,59±0,21ab	2,44±0,23b	2,13±0,20c	2,56±0,34ab	0,0011

T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%; \*Testigo: Químico de EspAgrotec. Medias con una letra común no presentan diferencia significativa (Duncan  $p>0,05$ ).



T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%; \*Testigo: Químico de EspAgrotec.

**Figura 20.** Diámetro promedio de la zona ecuatorial y polar del fruto de frutilla, para cada uno de los tratamientos

El análisis bromatológico realizado al fruto, mostró que existe diferencias significativas entre tratamientos, para el componente proteico con un  $p=0,0245$ . El tratamiento T1 y testigo son

estadísticamente similares y tienen los valores más altos con 0,81% y 0,73% respectivamente. Los componentes de ceniza, agua, grasa e hidratos de carbono no muestran diferencia significativa a un  $p > 0,05$ . Los resultados del análisis bromatológico se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Promedio  $\pm$  error estándar de componentes bioquímicos de la fresa*

Componentes%	T1	T2	T3	T4	TESTIGO	p-Valor
Proteína	0,73 $\pm$ 0,03ab	0,66 $\pm$ 0,04b	0,64 $\pm$ 0,04b	0,63 $\pm$ 0,06b	0,81 $\pm$ 0,02a	0,0245
Ceniza	2,9 $\pm$ 0,14a	2,63 $\pm$ 0,09a	2,73 $\pm$ 0,22a	2,96 $\pm$ 0,05a	2,92 $\pm$ 0,05a	0,1657
Agua	88,05 $\pm$ 0,07a	86,35 $\pm$ 0,21a	86,17 $\pm$ 0,39a	87,08 $\pm$ 0,6a	87,65 $\pm$ 0,64a	0,0729
Grasa	2,9 $\pm$ 0,09a	2,77 $\pm$ 0,12a	2,29 $\pm$ 0,09a	2,13 $\pm$ 0,04a	2,33 $\pm$ 0,06a	0,071
Hidratos de Carbono	9,7 $\pm$ 0,01a	8,79 $\pm$ 0,08a	9,03 $\pm$ 0,33a	8,82 $\pm$ 0,04a	9,15 $\pm$ 0,08a	0,168

\*T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%%; \*Testigo: Químico de EspAgrotec. Medias con una letra común no presentan diferencia significativa (Duncan  $p > 0,05$ ).

#### 4.7 Análisis económico

Para el análisis económico se consideraron únicamente los valores de cada producto usado, en el caso costo variable se incluyó la mano de obra, esto tiene por objeto proporcionar una mejor estimación de la tasa de retorno marginal la cual se muestra en la tabla 20. Dentro del total de costos que varían, el testigo es el tratamiento mayor valor, seguido por el tratamiento T1 (*Chlorella* B1 100%), T2 (*Chlorella* B1 75%), T3(*Chlorella* B1 50%), mientras T4(*Chlorella* B1 25%) mostró el menor valor.

Al realizar el análisis de dominios el único tratamiento dominado es el testigo, esto se debe a que sus costos variables son los más altos y su beneficio neto es menor que los tratamientos con

similares costos. El tratamiento que presentó mayor beneficio neto es el T1 (*Chlorella* B1 100%) mientras que el T4(*Chlorella* B1 25%) obtuvo el menor beneficio neto (Tabla 19).

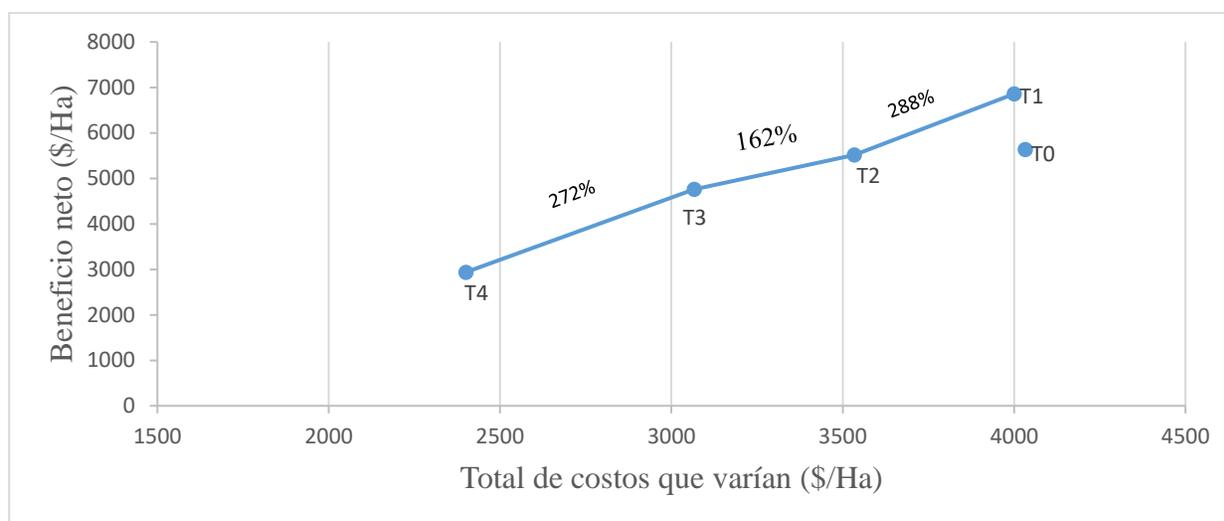
**Tabla 19**

*Presupuesto parcial de la producción de fresa fertilizada con diferentes concentraciones de Chlorella Biotipo I*

	<b>T4</b>	<b>T3</b>	<b>T2</b>	<b>T1</b>	<b>T0 D</b>
Rendimiento medio(kg/ha)	3279,60	4807,20	5559,60	6672,00	5940,00
Rendimiento ajustado(kg/ha)	2787,66	4086,12	4725,66	5671,20	5049,00
Beneficios brutos de campo (\$/ha)	5337,32	7823,39	9047,86	10858,22	9666,94
Costo de fertilizante	800,00	1066,67	1333,33	1600,00	1733,33
luz eléctrica	100	120	220	220	0
Transporte	0	0	0	0	120
Costo de mano de obra	1500	1880	1980	2180	2180
Total costos variables (\$/ha)	2400,00	3066,67	3533,33	4000,00	4033,33
Beneficio neto (\$/ha)	2937,32	4756,72	5514,53	6858,22	5633,61

D: dominado; T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75%  
T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%. \*T0: Químico de EspAgrotec.

En la figura 21, se puede apreciar la relación entre costos que varían y los beneficios netos de cuatro tratamientos no dominados que se encuentran conectados por una línea. La pendiente en T1 y2 es más pronunciada que la pendiente entre T3 y T4, esto quiere decir que al invertir en el tratamiento T1 la tasa de retorno marginal será de 287,93 %, por otro lado, la menor tasa de retorno marginal la tiene el tratamiento T2 con 162,39% (Tabla 20).



\*T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%; T4: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 25%; T0: Químico de EspAgrotec.

**Figura 21.** La curva de los beneficios netos de la concentración de fertilizante foliar a base de *Chlorella B. I.*, usada en la producción de frutilla acuapónica.

**Tabla 20**

*Análisis de tasa de retorno marginal de la concentración de Chlorella Biotipo I usada como fertilizante foliar, en la producción de frutilla acuapónica*

Tratamiento	Total de costos variables \$/ha)	Beneficio neto (\$/ha)	Costos marginales	Beneficios netos marginales	Tasa de retorno marginal (%)
T3	3066,67	4756,72	666,67	1819,40	272,91
T2	3533,33	5514,53	466,67	757,81	162,39
T1	4000,00	6858,22	466,67	1343,69	287,93

\*T1: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 100%; T2: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 75% T3: Concentración de *Chlorella* Biotipo I al 50%.

## 4.2 Discusión

Los análisis del sistema acuapónico demostraron que la cantidad de amonio producido en función de la biomasa va desde los 3,5 ( $mg.L^{-1}$ )NH<sub>4</sub> con 290 kg de biomasa, hasta los 4,5 ( $mg.L^{-1}$ )NH<sub>4</sub> generado por 530 kg de biomasa de peces. Estos valores son similares a los que se obtendría con la ecuación propuesta por (García, Daury ; Gallego, Iván ;Aguilar, Burrola; Díaz, Carlos ; Fall, Cheikh ; Burrola, 2011) , obteniéndose 2,3 ( $mg.L^{-1}$ )NH<sub>4</sub> con 249 kg de biomasa y 4,2( $mg.L^{-1}$ )NH<sub>4</sub> a una biomasa de 530 kg. En cuanto a las condiciones del agua se obtuvo los siguientes promedios: pH de 8,2; temperatura de 13°C, el Oxígeno disuelto 8,6 ( $mg.L^{-1}$ ); Sólidos disueltos en un rango de 135 a 187 ( $mg.L^{-1}$ ); y la conductividad eléctrica 179 uS.cm-1. Los valores obtenidos difieren a los obtenidos por Córdova( 2019) cuyos valores fueron: 17,06 ± 0,5 °C; pH 7,78 ± 0,09; conductividad eléctrica 328,92 ± 96,42 uS/cm y oxígeno disuelto 11,83 ± 0,51 mg.L-1.

Sin embargo son similares a los obtenidos por Alcpal (2017), en este caso el pH fue de 8,6; conductividad eléctrica 210 uS.cm-1. Los parámetros del sistema se encuentran en rangos ideales para el cultivo de trucha arcoíris según Somerville (2014). Por otra parte Osorio (2012) menciona que el pH de 8 en el sistema, provoca en las plantas de frutilla una baja asimilación de fósforo y micronutrientes.

El proceso de nitrificación es la transformación del nitrógeno amoniacal en nitratos, para asegurar que este proceso sea eficiente, Somerville (2014) establece los siguientes rangos: la temperatura debe ser de 17 a 34 °C, el pH de 6 a 8,5, el oxígeno disuelto debe ser mayor a 4 ( $mg.L^{-1}$ ), los valores de Amonio no deben superar los 3 ( $mg.L^{-1}$ )NH<sub>4</sub>. En base a estos rangos podemos decir que el ensayo cumplió con la mayoría de parámetros.

La temperatura fue inferior a los rangos sugeridos, lo que provocó un proceso más lento de nitrificación generando  $7 (mg.L^{-1})$  NO<sub>3</sub> al final del estudio.

Candarle (2016) en su manual de Técnicas de acuaponía, dice que a temperaturas bajas el proceso de maduración del sistema en campo puede llevar hasta 2 meses, y el indicativo más claro de madurez del sistema es el aumento acelerado de nitratos y la disminución tanto de amonio como de nitritos. Las gráficas obtenidas del proceso de nitrificación en campo muestran un incremento acelerado de nitritos a los 70 días pasando de  $4 (mg.L^{-1})$ NO<sub>3</sub> a  $7 (mg.L^{-1})$ NO<sub>3</sub> en 10 días, de igual manera se observa un descenso considerable de amonio y nitritos.

El cultivo de frutilla en sistema acuapónico recibe sus nutrientes de los efluentes de las piscinas de los peces, sin embargo, la cantidad de macro y micro nutrientes generados, requieren de un aporte extra de nutrientes para satisfacer los requerimientos del cultivo. Los nutrientes obtenidos en el sistema acuapónico presentaron rangos adecuados para el cultivo de frutilla, excepto para el nitrógeno cuya concentración fue muy baja  $6,36 \pm 1,497 (mg.L^{-1})$ NO<sub>3</sub>, por esta razón se aplicó el bioproducto algal para compensar este déficit. El uso de *Chlorella Biotipo 1* aplicado como fertilizante foliar mejoró el rendimiento del cultivo de frutilla acuapónica y además su aporte de nutrientes fue significativo (Córdova,2019). Cabe destacar que el bioproducto aporta con fitohormonas en especial auxinas, las mismas que actúan en la raíz, promoviendo su elongación y renovación (Burgos, Cenóz, & Prause, 2009).

Con respecto a la morfología de frutilla, el ensayo mostró diferencias significativas para el número de flores por planta, en donde el mejor tratamiento fue T4 con  $10,33 \pm 2,7$ , en el caso de número de hojas promedio por planta fue de 7 para todos los tratamientos, los valores fueron

similares a los obtenidos por Córdova,(2019), sin embargo este valor fue inferior para el número de hojas obtenido por (Lema, Marcia;Chiqui, 2010).

El tratamiento T4 al tener mayor número de flores respecto al número de hojas, mostró una relación hoja/ flor de  $0,7 \pm 0,26$ , esto dio como resultado un menor cuajado, produjo  $4,89 \pm 2,11$  frutos por planta. Valores similares se registraron en un ensayo realizado por (Acosta, 2013), en donde el promedio de número de flores fue de 10,47 y su cuajado de 4,3 frutos.

El número de frutos producidos en el experimento no mostró diferencia significativa entre tratamientos, cabe destacar que el tratamiento T1 fue el mejor en cuajado de frutos, pues de  $7,61 \pm 3,62$  flores se cuajado  $5,61 \pm 2,33$  frutos.

El análisis proximal realizado a las hojas de la frutilla, dieron como resultado diferencia significativa entre tratamientos para los elementos Nitrógeno y Manganeso. El resto de nutrientes no mostraron diferencias significativas, los valores obtenidos están en los rangos adecuados para el desarrollo de la planta. El contenido de nutrientes en hojas de las plantas de frutilla adulta, debe ser: Nitrógeno (2,5-3,2%), Fósforo (0,25-0,4%), Potasio (1,5-2,5%), Calcio (0,5-1,5%), Magnesio (0,25-0,5%), Hierro (25.200 ppm), Boro(20-60ppm) y Zinc(15.100ppm) (Correa, María; Bórquez, Ana; Kirschbaum, 2008).

En el caso de la clorofila no se encontró diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo, el tratamiento T1 presentó un valor de  $18,5 \pm 3,38$  unidades, para poder transformar los valores de unidades a  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  mediante la fórmula  $Y = (6,0817X) + 7,6084$ , fórmula usada por (Maite, 2011).Por tanto el valor para el tratamiento T1 es igual a  $120,10 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  hoja, este resultado fue mayor al obtenido por Córdova (2019) que fue de  $97,86 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$  hoja.

El peso promedio de frutilla en este experimento fue de  $10,5 \pm 3,13$  g/planta para el tratamiento 1, que es estadísticamente similar al testigo que presentó un peso promedio de  $13,17 \pm 9,25$  g/planta. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Coronel (2014) que obtuvo un valor promedio por planta de 13,14g/planta. Por otro lado fue menor para los valores obtenidos por Córdova (2019) que obtuvo 15,4 g/planta y aún más con Acosta (2013) que obtuvo 24,83 g/planta.

La relación entre la producción de frutilla por planta en gramos y la concentración de *Chlorella Biotipo I*, se ajusta al modelo matemático:  $P = (81,21 * X) / (51,28 + X)$

En donde: P: Producción de frutilla y X: Es la concentración del bioproducto algal.

En base a la ecuación se obtuvo, que la aplicación de concentraciones mayores al 100% de *Chlorella BI*, aumentan en cantidades mínimas la producción de frutilla por planta. Tal es el caso que a 125% la producción sería en promedio de 57,59 ,este valor es similar a los 55,06 gramos producidos con el fertilizante al 100%.

La fresa de la variedad “Diamante”, produce frutos de 10 a 31 gramos/fruto, su contenido de azúcar llega hasta 10° Brix (Eurosemillas, 2019). El único tratamiento que no alcanzó los valores característicos de la variedad, fue el T4 cuyo peso del fruto es de  $5,94 \pm 1,8$  g/fruto, similares resultados obtuvo Coronel (2014) con rangos de 7,5 a 10°Brix. Estudios similares realizado por Córdova (2019), dió como resultado frutos con la mitad de °Brix es decir 6°.

La presente investigación dió como resultado diferencias significativas entre tratamientos, los mejores valores fueron del tratamiento T1, con un diámetro polar de  $3,57 \pm 0,28$ cm d y ecuatorial de  $2,66 \pm 0,3$ cm. Estudios realizados por (Acosta, 2013) , obtuvo valores promedio de 3,71 cm,

3,37 cm y 2,53cm de diámetro Ecuatorial , mientras que para el diámetro polar los valores fueron 4,08 cm,3,92cm y 2,83cm. Con base a estos datos los diámetros del experimento fueron menores a los de la investigación en fresa de Acosta (2013).

El análisis bromatológico del fruto de frutilla, no mostró diferencias significativas entre tratamientos, con la excepción de la proteína que mostró porcentajes estadísticamente similares entre T1 y testigo, los valores fueron 0,81% y 0,73%, estos fueron los porcentajes más altos.

Los valores obtenidos en esta investigación difieren a los obtenidos por (Guadalupe et al., 2011) con valores de proteína promedio de 1% y ceniza con 0,4%. La variación existente en el porcentaje de proteína está ligado a la aplicación del bioproducto algal.

El análisis económico consideró diferentes escenarios para tomar una decisión, se utilizó el método de Perrin *et al.*, (1988). Para determinar el tratamiento con mejor tasa de retorno marginal, se partió de un presupuesto parcial, considerando el beneficio bruto menos los costos variables. Cuyos beneficios netos fueron T4 con 2937,32 (\$/ha), T3 con 4756,72 (\$/ha), T2 con 5514,53(\$/ha), T1 con 6858,22(\$/ha) y el testigo con 5633,61(\$/ha). Al realizar el análisis de dominancia se encontró que el tratamiento T4 es dominado, por esta razón no se lo consideró en el cálculo de tasa de retorno marginal, es este cálculo se determinó que el mejor tratamiento es el T1 con una tasa de retorno marginal de 287,93%, seguida por el tratamiento T3 con 272,91% y T2 con 162,39%. Pese a los resultados obtenidos que indican una tasa de retorno idónea, se considera que todo tipo de sistema acuapónico a nivel comercial no es redituable de forma inmediata, se considera que a partir de tercer a quinto año se percibirá ganancia. (Adler, Harper, Wade, Takeda, & Summerfelt, 2000).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Las dosis aplicadas del bioproducto algal a bases de *Chlorella* BiotipoI, mostraron valores similares entre tratamientos, para los parámetros: número de hojas por planta con un promedio de 7, número de frutos con un promedio de 5 por planta, clorofila con un promedio de 18, hojas/Fruto con un promedio de 1,5 y grados Brix con un promedio de 10.
- La aplicación de *Chlorella* Biotipo I como fertilizante foliar, en el cultivo de frutilla, contribuyó positivamente la producción. Siendo el mejor tratamiento T1 (*Chlorella BI 100%*) que presentó una producción de 55,06 gramos por planta el tratamiento, mientras que el tratamiento con menor rendimiento fue T4 (*Chlorella BI 25%*) con 27,33 gramos por planta.
- Las concentraciones de *Chlorella* Biotipo I al 100 y 75%, fueron los mejores tratamientos para las variables de: peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial. Mostraron tener valores estadísticamente similares.
- En cuanto a la calidad de fruto el tratamiento de T1 (*Chlorella* Biotipo I al 100%), y el testigo mostraron mayor cantidad de proteína con 0.73% y 0.81% respectivamente. Por otra parte, los demás parámetros no presentaron diferencia significativa entre tratamientos. Si embargo tuvieron rangos de: 2.7 a 2.9% de ceniza, 2.1 a 2,9% de grasa y 8.7 a 9.7% de hidratos de carbono.

- El tratamiento con mayor beneficio neto fue el T1 con 6858,22 (\$/ha), seguido por T2 con 5514,53(\$/ha), T3 con 4756,72(\$/ha) y T4 con 2937,32(\$/ha). El testigo presentó un beneficio neto de 5633,61 (\$/ha), sin embargo, sus costos variables fueron mayores respecto a los demás tratamientos.
- Finalmente, el tratamiento con mejor tasa de retorno marginal fue el T1 con 287,93%, sin embargo, el tratamiento T3 mostró una tasa similar de 272,91%. Cabe mencionar que no se consideró los activos fijos para el análisis.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar más estudios con el biofertilizante a diferentes frecuencias de aplicación y evaluar su efecto en la producción de las plantas.
- Estudiar el uso de soluciones nutritivas en el sistema acuapónico y su efecto en el rendimiento de las plantas.
- En caso de implementar sistemas acuapónicos a nivel comercial, se recomienda cuidar la temperatura del biofiltro para tener un adecuado proceso de nitrificación, adicionalmente sería factible la incorporación de un tanque de mineralización.
- Buscar formas para reducir los costos de construcción y establecimiento de sistemas acuapónicos.
- Se recomienda estudiar el cultivo de microalgas en piscinas, con el propósito de obtener mayor cantidad de biomasa.

### 5.3 Bibliografía

Acosta, A. (2013). *"APLICACIÓN FOLIAR DE TRES DOSIS DE CALCIO Y TRES.*

Adler, P. R., Harper, J. K., Wade, E. M., Takeda, F., & Summerfelt, S. T. (2000). *IJRA - v1n1 - Economic Analysis of an Aquaponic System for the Integrated Production of Rainbow Trout and Plants.*

Alcpal, M., Alcocer, M. J., Directores, P., Fernández, V. M., Luis, C., & Urrestarazu, P. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS HORIZONTALES PARA LA PRODUCCIÓN CONJUNTA DE PECES DORADOS Y LECHUGAS.*

Angulo, R. (2009). *Información de uso exclusivo para personal técnico Fresa Fresa Fragaria ananassa.* Retrieved from [https://www.cropscience.bayer.co/~media/BayerCropScience/Peruvian/Country-Colombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA\\_baja.ashx](https://www.cropscience.bayer.co/~media/BayerCropScience/Peruvian/Country-Colombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA_baja.ashx)

Barahona-, Arquimides; Castillo, J. (2011). *Producción de tomate y tilapia en un sistema acuapónico con 50, 100, 150 y 200 ppm de nitrógeno.* 21.

Barros, A. I., Gonçalves, A. L., Simões, M., & Pires, J. C. M. (2015). Harvesting techniques applied to microalgae: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, pp. 1489–1500. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.037>

Beltrán , Julio ; Guajardo , Claudio ; Barceló, Icela ; López, U. (2017). Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO2. *Revista de Biología.* Retrieved from [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-19572017000300001&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-19572017000300001&script=sci_arttext)

Blanco, M. (1995). La trucha. Cría industrial. In *Mundi-Prensa* (2nd ed.). Madrid, España.

- Burgos, A. M., Cenóz, P. J., & Prause, J. (2009). Efecto de la aplicación de auxinas sobre el proceso de enraizamiento de estacas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(3), 539–546.
- Cabrera, M. (2007). Mineralización y Nitrificación: procesos claves en el ciclo del Nitrógeno. *Informaciones Agronómicas*, (34), 1–9. Retrieved from [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/0a4bde5a32364e1d032579050074666e/\\$FILE/Cabrera- Simposio 2007.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/0a4bde5a32364e1d032579050074666e/$FILE/Cabrera- Simposio 2007.pdf)
- Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponia. *CENADAC*, 1–47. Retrieved from [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/\\_archivos/000000\\_Información y noticias vinculadas al sector/160831\\_Técnicas de Acuaponia.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Información y noticias vinculadas al sector/160831_Técnicas de Acuaponia.pdf)
- CEAC. (2012). Hydroponic Strawberry Information Website. Retrieved August 12, 2019, from [https://cals.arizona.edu/strawberry/Hydroponic\\_Strawberry\\_Information\\_Website/Welcome.html](https://cals.arizona.edu/strawberry/Hydroponic_Strawberry_Information_Website/Welcome.html)
- Córdova, J. (2019). Departamento de ciencias de la vida y de la agricultura. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Correa, María; Bórquez, Ana; Kirschbaum, D. (2008). *Fertilización de frutilla*.
- Cumbicos, D., Ruiz, J., & Cruz, J. (2018). *I CONGRESO DE TECNOLOGÍA EN ACUICULTURA - ITSO 2018* (D. O. Cumbicos Ortega, Ed.). [https://doi.org/http://186.71.28.67/isbn\\_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=62856](https://doi.org/http://186.71.28.67/isbn_site/catalogo.php?mode=detalle&nt=62856)
- Donoso Gabriela V. (2018). Características de la Trucha Común: Hábitat, Información, Alimentación. Retrieved May 22, 2019, from <https://www.paxala.com/la-trucha-comun/>
- Eurosemillas. (2019). Diamante - Eurosemillas - Lo que pide la tierra. Retrieved August 11,

- 2019, from <http://www.eurosemillas.com/es/variedades/fresa/item/4-diamante.html>
- EWG. (2016). EWG's 2016 Dirty Dozen™ List of Pesticides on Produce: Strawberries Most Contaminated, Apples Drop to Second | EWG. Retrieved May 21, 2019, from <https://www.ewg.org/release/ewg-s-2016-dirty-dozen-list-pesticides-produce-strawberries-most-contaminated-apples-drop>
- FAO. (2005). *Características , estructura y recursos del sector. 2005.*
- FAO. (2016). *MANUAL PRÁCTICO PARA EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCOÍRIS.*  
Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- FAO. (2018). Seguridad alimentaria y nutrición en el mundo. Retrieved May 21, 2019, from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura website: <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/es/>
- Ferrer, I., Passos, F. ;, Gutiérrez, R., & García, J. (2013). Producción de biogás a partir de microalgas cultivadas en aguas residuales. *Aguasresiduales.Info*, 1–6.
- Flores Ortega, J. R., González-Sansón, G., Aguilar-Betancourt, C., Kosonoy-Aceves, D., Venegas-Muñoz, A., Lucano-Ramírez, G., & Ruiz-Ramírez, S. (2015). Feeding habits of juvenile *Centropomus robalito* (Centropomidae: Actinopterygii) in Barra de Navidad lagoon, Mexican Central Pacific. *Revista de Biología Tropical*, 63(4), 1071.  
<https://doi.org/10.15517/rbt.v63i4.17264>
- García, Daury ; Gallego, Iván ;Aguilar, Burrola; Díaz, Carlos ; Fall, Cheikh ; Burrola, C. (2011). *Evaluación de un sistema de recirculación y acondicionamiento de agua en truiticultura. II*, 83–96.
- Gloria,Carmen;Riquelme,Jorge; Hirzel,Juan; France,Andrés; Pedreros, Alberto; Uribe, Hamil;

- Abarca, P. (2017). *Manual de manejo agronómico de la frutilla*. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/17 Manual Frutilla.pdf>
- Gomez, L. M. (1997). *Cultivo y aplicación de las microalgas en Cuba*.
- Gorosito, A., Zanazzi, A. N., Cecchi, F., Prario, M., Pérsico, M. M., Asiain, A., ... Mallo, J. C. (2017). *Produccion innovadora y sustentable en un sistema acuaponico en la provincia de buenos aires*. Retrieved from <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8849>
- Guadalupe, W., Lopez, C., Flores, F. B., Para, M., Al, O., De, G., ... America, C. (2011). *FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA PROPUESTA DE PREFORMULACION DE UNA BEBIDA A BASE DE LACTOSUERO Y FRUTAS NATURALES (FRESA Y MARACUYA) PRESENTADO POR*.
- Guerrero, J. (2006). *La nutrición y la alimentación eficiente de los peces*. 2.
- Heras, A. (2008). Desarrollan cultivo de fresa y tilapia por medio de la acuaponia. Retrieved May 21, 2019, from <https://www.jornada.com.mx/2008/04/15/index.php?section=ciencias&article=a02n1cie>
- Hernández, Alexis; Labbé, J. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*. 17. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>
- Isselee Eric. (2010). Natación De Trucha Arco Iris, Aislado En Blanco Fotos, Retratos, Imágenes Y Fotografía De Archivo Libres De Derecho. Image 87954658. Retrieved May 22, 2019, from [https://es.123rf.com/photo\\_87954658\\_natación-de-trucha-arco-iris-aislado-en-blanco.html](https://es.123rf.com/photo_87954658_natación-de-trucha-arco-iris-aislado-en-blanco.html)
- Ivami. (2015). Bacterias nitrificantes (bacterias oxidantes de amonio –AOB-, y bacterias oxidantes de nitritos –NOB-): Cuantificación por PCR en tiempo real. - IVAMI. Retrieved

- May 22, 2019, from <https://www.ivami.com/es/microbiologia-de-abonos-y-fertilizantes/2316-bacterias-nitrificantes-bacterias-oxidantes-de-amonio-aob-y-bacterias-oxidantes-de-nitritos-nob-cuantificacion-por-pcr-en-tiempo-real>
- JACUMAR. (2016). *Trucha Arco Iris Crecimiento Trucha crecimiento*. 3–4. Retrieved from <https://issuu.com/miguelangelsuarez6/docs/trucha>
- Jiménez, A. (2018). Acuaponía: Herramienta educativa para el aprendizaje transversal de las ciencias. *Ciencia y Desarrollo*, 16(2), 83. <https://doi.org/10.21503/cyd.v16i2.1113>
- Kubitza, F. (2017). *PRODUCCION SEGURA EN ESTANQUES Y SUS FUNDAMENTOS I*. 26(154).
- Lema, Marcia;Chiqui, F. (2010). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA*.
- Lucia, O. (2017). *XXI Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral 3 y 4 de Octubre de 2017 LA ACUAPONIA COMO RECURSO DIDÁCTICO TRANSVERSAL*. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/colecciones/bitstream/handle/123456789/8778/7.2.5.pdf>
- Maite, P. (2011). (PDF) *RELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL ENOLÓGICO DE LA UVA Y EL CONTENIDO EN NUTRIENTES Y PIGMENTOS DE LA HOJA EN VIÑEDOS AFECTADOS POR CLOROSIS FÉRRICA*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/290994580\\_RELACION\\_ENTRE\\_EL\\_POTENCIAL\\_ENOLOGICO\\_DE\\_LA\\_UVA\\_Y\\_EL\\_CONTENIDO\\_EN\\_NUTRIENTES\\_Y\\_PIGMENTOS\\_DE\\_LA\\_HOJA\\_EN\\_VINEDOS\\_AFECTADOS\\_POR\\_CLOROSIS\\_FERRICA](https://www.researchgate.net/publication/290994580_RELACION_ENTRE_EL_POTENCIAL_ENOLOGICO_DE_LA_UVA_Y_EL_CONTENIDO_EN_NUTRIENTES_Y_PIGMENTOS_DE_LA_HOJA_EN_VINEDOS_AFECTADOS_POR_CLOROSIS_FERRICA)
- Morales, G. (2017). *BOLETÍN INIA / N° 17*. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp->

content/uploads/ManualesdeProduccion/17 Manual Frutilla.pdf

ONU. (2019). Los alimentos contaminados cuestan muertes, enfermedades y demasiado dinero | Noticias ONU. Retrieved May 21, 2019, from <https://news.un.org/es/story/2019/02/1451101>

Osorio, N. W. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES. In *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal* (Vol. 1). Retrieved from <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Otal Salaverri, E., Vilches Arenas, L. F., Pineda, D., García López, Á., & Fernández Pereira, C. (2002). *Tecnología del agua*. Retrieved from <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/49959>

Pedroza, J. ;, & Ortiz, K. (2016). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE UN CULTIVO ACUAPONICO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER*. UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA.

Perrin, R.; Winkelmann, D.; Moscardi, E.; Anderson, J. (1988). *Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación económica*. Retrieved from <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>

Ramírez, Corrales ; Constanza, L., Lozano, C., & Gómez, Liliana; Ramos, María ; Rodríguez, S. (2017). Bacillus spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 45. <https://doi.org/10.22490/24629448.1958>

Ramírez, D; Sabogal, D; Jiménez, P; Hurtado, H., Neves, S. C., Guzmán, S. J. M., Duran, L., & Henríquez, C. (2008). La Acuaponía : Una Alternativa Orientada Al Desarrollo Sostenible. *Agronomia Costarricense*, 8(2), 32–52. <https://doi.org/10.18359/RFCB.2230>

- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez Caicedo, D., & Hurtado Giraldo, H. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuaponico gold-fish lechuga. *Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 154–170. <https://doi.org/10.18359/RFCB.2128>
- Samuel-Fitwi, B., Wuertz, S., Schroeder, J. P., & Schulz, C. (2012). Sustainability assessment tools to support aquaculture development. *Journal of Cleaner Production*, 32, 183–192. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2012.03.037>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production Integrated Fish and Plant Farming, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 589. In *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (Vol. 1). Retrieved from <http://search.proquest.com/openview/6c3a0de6739c75c63321ef0a7d133463/1?pq-origsite=gscholar&cbl=237320>
- Vera, Antonio; Mart, Maritza ; Morillo; Montes, K. (2004). Cultivo Discontinuo de *Chlorella* Sp. en Medios Enriquecidos con el Exudado Gomoso de Acacia Macracantha. *Boletín Del Centro de Investigaciones Biológicas*, 38(2).
- Villagrán, V. (1994). *El cultivo de la frutilla*. 112. Retrieved from <http://agroecuador.org/index.php/blog-noticias/item/93-el-cultivo-de-la-frutilla>