



**Producción de *Apium graveolens* mediante la fertilización orgánica de *Arthrospira platensis*, en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris**

Quisupangui Almache, Jessica Paola

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal, Ph. D.

08 de agosto del 2023



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**  
**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Certificación:**

Certifico que el trabajo de titulación: **Producción de *Apium graveolens* mediante la fertilización orgánica de *Arthrospira platensis*, en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris**, fue realizado por la señorita: **Quisupangui Almache, Jessica Paola**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 08 de agosto del 2023



firmado electrónicamente por:  
JUAN CRISTOBAL  
ORTIZ TIRADO

**Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal, Ph. D.**

C. C. 170999816-3

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



Quisupangui Almache Jessica Paola T...

## Scan details

Scan time: August 8th, 2023 at 15:6 UTC      Total Pages: 69      Total Words: 17175

## Plagiarism Detection



10.4%

| Types of plagiarism |      | Words |
|---------------------|------|-------|
| Identical           | 1.9% | 332   |
| Minor Changes       | 0.9% | 155   |
| Paraphrased         | 7.6% | 1302  |
| Omitted Words       | 0%   | 0     |

## AI Content Detection

N/A

Text coverage  
 AI text  
 Human text

## 🔍 Plagiarism Results: (71)



JUAN CRISTOBAL  
ORTIZ TIRADO

Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal, Ph. D.

C. C. 170999816-3



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**Responsabilidad de Autoría:**

Yo, **Quisupangui Almache, Jessica Paola**, con cédula de ciudadanía No. 1726686478, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo titulación: **Producción de *Apium graveolens* mediante la fertilización orgánica de *Arthrospira platensis*, en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 08 de agosto del 2023

**Quisupangui Almache, Jessica Paola**

C.C.: 172668647-8



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería Agropecuaria**

**Autorización de Publicación:**

Yo, **Quisupangui Almache, Jessica Paola**, con cédula de ciudadanía No. 1726686478 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Producción de *Apium graveolens* mediante la fertilización orgánica de *Arthrospira platensis*, en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 08 de agosto del 2023

**Quisupangul Almache, Jessica Paola**

C.C.: 172668647-8

## **Dedicatoria**

A mi hijo Adrián Lucero, quien es el pilar fundamental en mi vida, quien me da la motivación para alcanzar nuevas metas y alegra mi vida con su amor.

A mis padres

A mis hermanos, por el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida estudiantil, en especial a mi hermano David quien me ha apoyado desde siempre, mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos

A mi abuelita María en el cielo

**Jessica Paola Quisupangui Almache**

## **Agradecimientos**

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

A Dios, por permitirme estar aquí y por iluminar mi camino.

A mi hijo por su paciencia y compañía durante esta investigación.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA.I, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme como profesional.

A los docentes, por sus enseñanzas y conocimientos impartidos durante toda mi etapa universitaria.

A mi tutor Ing. Juan Cristóbal Ortiz Tirado, Ph. D. por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación, por su paciencia, apoyo y consejos durante el desarrollo del trabajo de titulación.

A la Ing. Daysi Muñoz y el Lic. Marco Taco por su guía en los análisis de laboratorio.

A los Ing. Diego Alonso Vela Tormen, Mgtr e Ing. Julio César Pazmiño Morales, Mgtr. por sus recomendaciones durante la realización del proyecto.

A mis amigos, quienes me han brindado su apoyo a lo largo de la carrera, con quienes he compartido nuevas experiencias y momentos de aprendizaje.

**Jessica Paola Quisupangui Almache**

## Índice de Contenidos

|   |           |
|---|-----------|
| Carátula.....   | 1         |
| Certificación: .....  | 2         |
| Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos..... | 3         |
| Responsabilidad de autoría .....  | 4         |
| Autorización de publicación .....   | 5         |
| Dedicatoria .....   | 6         |
| Agradecimientos .....   | 7         |
| Índice de Contenidos .....  | 8         |
| Índice de tablas.....   | 13        |
| Índice de figuras.....  | 15        |
| Resumen.....  | 16        |
| Abstract.....   | 17        |
| <b>CAPÍTULO I.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>18</b> |
| Antecedentes .....  | 18        |
| Justificación.....  | 20        |
| Objetivos.....  | 22        |
| Objetivo general .....  | 22        |
| Objetivos específicos .....   | 22        |
| Hipótesis.....  | 23        |
| Hipótesis nula .....  | 23        |
| Hipótesis alterna.....  | 23        |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>MARCO REFERENCIAL.....</b>   | <b>24</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| Acuacultura .....  | 24        |
| Hidroponía.....  | 24        |
| Cultivo en aguas profundas o balsas flotantes (BF).....      | 25        |
| Acuaponía .....  | 25        |
| Sistema de recirculación acuícola (RAS) .....                | 26        |
| Sistema de nitrificación (Biofiltro).....                    | 27        |
| Apio .....   | 28        |
| Origen .....   | 28        |
| Clasificación taxonómica.....                                | 28        |
| Descripción botánica.....                                    | 29        |
| Importancia del cultivo de apio.....                         | 29        |
| Contenido nutricional del APIO .....                         | 31        |
| Condiciones agroclimáticas para el cultivo de apio.....      | 32        |
| Ciclo del cultivo.....                                       | 32        |
| Manejo del cultivo.....                                      | 32        |
| Apio premio.....   | 34        |
| Plagas y enfermedades.....                                   | 35        |
| Microalgas .....   | 36        |
| Espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) .....            | 37        |
| Uso de la Espirulina y sus extractos en la agricultura ..... | 38        |
| Trucha arco iris.....  | 39        |
| Fertilización foliar .....                                   | 41        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>                                     | <b>42</b> |
| <b>METODOLOGÍA.....</b>                                      | <b>42</b> |
| Ubicación del área de investigación .....                    | 42        |
| Ubicación política .....                                     | 42        |

|   |    |
|---|----|
| Ubicación geográfica.....                                       | 42 |
| Ubicación ecológica .....                                       | 42 |
| Obtención de espirulina .....                                   | 43 |
| Conteo celular .....  | 43 |
| Elaboración de fertilizante foliar .....                        | 43 |
| Adecuación del sistema acuapónico .....                         | 44 |
| Maduración de biofiltros .....                                  | 45 |
| Manejo de plantas .....   | 46 |
| Análisis bromatológicos .....                                   | 46 |
| Preparación de la muestra .....                                 | 46 |
| Análisis de proteína mediante el método de Kjeldahl .....       | 47 |
| Análisis de fibra vegetal mediante el método gravimétrico ..... | 48 |
| Análisis de ceniza vegetal mediante el método gravimétrico..... | 50 |
| Análisis de grasa mediante soxhlet .....                        | 50 |
| Manejo de peces.....  | 51 |
| Diseño experimental .....                                       | 52 |
| Factores.....   | 53 |
| Tratamientos.....   | 53 |
| Croquis experimental .....                                      | 54 |
| Análisis estadístico.....                                       | 54 |
| Variables a evaluar .....                                       | 54 |
| Conductividad eléctrica, pH, Temperatura y oxígeno .....        | 55 |
| Compuestos nitrogenados .....                                   | 55 |
| Altura de la planta (cm) .....                                  | 55 |
| Diámetro del cuello de la raíz (cm) .....                       | 55 |
| Número de pencas .....  | 55 |

|   |           |
|---|-----------|
| Rendimiento en materia verde (g) .....                            | 55        |
| Índice de área foliar.....  | 55        |
| Análisis bromatológico .....                                      | 56        |
| Parámetros morfométricos de los peces .....                       | 56        |
| Parámetros productivos de los peces.....                          | 56        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                               | <b>57</b> |
| Parámetros físico-químicos del agua en el sistema acuapónico..... | 57        |
| Procesos de maduración del biofiltro .....                        | 59        |
| Proceso de nitrificación del sistema acuapónico.....              | 60        |
| Parámetros productivos del apio .....                             | 63        |
| Altura de las plantas.....  | 63        |
| Altura del apio en la cosecha .....                               | 66        |
| Diámetro del cuello de la raíz (mm) .....                         | 68        |
| Número de pencas .....  | 69        |
| Rendimiento en materia verde.....                                 | 70        |
| Índice de área foliar (IAF).....                                  | 71        |
| Análisis bromatológico .....                                      | 74        |
| Gráficos de interacción.....                                      | 75        |
| Desarrollo de peces en el sistema acuapónico.....                 | 78        |
| Parámetros morfométricos.....                                     | 78        |
| Parámetros productivos .....                                      | 81        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>   | <b>86</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                       | <b>86</b> |
| Conclusiones.....   | 86        |
| Recomendaciones .....   | 87        |

**Bibliografia ..... 88**

## Índice de tablas

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Tabla 1</b>  | <i>Clasificación taxonómica del apio.....</i>   | 28 |
| <b>Tabla 2</b>  | <i>Clases de calibres de apio.....</i>  | 30 |
| <b>Tabla 3</b>  | <i>Información nutricional del apio.....</i>  | 31 |
| <b>Tabla 4</b>  | <i>Principales plagas y control del cultivo de apio.....</i>  | 35 |
| <b>Tabla 5</b>  | <i>Principales plagas y control del cultivo de apio.....</i>  | 36 |
| <b>Tabla 6</b>  | <i>Análisis bioquímico de espirulina.....</i>   | 37 |
| <b>Tabla 7</b>  | <i>Dosis de aplicación de fertilizante foliar .....</i>   | 44 |
| <b>Tabla 8</b>  | <i>Descripción de tratamientos .....</i>  | 53 |
| <b>Tabla 9</b>  | <i>Promedio <math>\pm</math> desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos del agua del sistema acuapónico. ....</i> | 57 |
| <b>Tabla 10</b> | <i>Concentración de nitritos, nitratos, amonio y amoníaco en el proceso de maduración del biofiltro.....</i>                | 60 |
| <b>Tabla 11</b> | <i>Comportamiento de compuestos nitrogenados del sistema acuapónico .....</i>   | 61 |
| <b>Tabla 12</b> | <i>Media <math>\pm</math> desviación estándar de altura del apio en cm. ....</i>  | 63 |
| <b>Tabla 13</b> | <i>Media <math>\pm</math> desviación estándar de altura del apio al momento de la cosecha (cm).....</i>                     | 67 |
| <b>Tabla 14</b> | <i>Prueba de Kruskal Wallis para el diámetro del cuello de la raíz al momento de la cosecha.....</i>                        | 68 |
| <b>Tabla 15</b> | <i>Prueba de Kruskal - Wallis para el número de pencas al momento de la cosecha ...</i>                                     | 69 |
| <b>Tabla 16</b> | <i>Prueba de Kruskal - Wallis para el rendimiento en materia verde al momento de la cosecha.....</i>                        | 71 |
| <b>Tabla 17</b> | <i>Prueba de Kruskal - Wallis para el área foliar al momento de la cosecha .....</i>  | 72 |
| <b>Tabla 18</b> | <i>Análisis bromatológico de los tallos de apio de cada tratamiento .....</i>   | 74 |
| <b>Tabla 19</b> | <i>Análisis de varianza para altura de la planta.....</i>   | 75 |
| <b>Tabla 20</b> | <i>Promedio <math>\pm</math> desviación estándar de los parámetros morfométricos de truchas.....</i>                        | 79 |
| <b>Tabla 21</b> | <i>Aumento de biomasa y porcentaje de crecimiento durante 110 días.....</i>   | 82 |

**Tabla 22** *Media  $\pm$  desviación estándar de los parámetros productivos de la trucha..... 83*

## Índice de figuras

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 1</b>  | <i>Requerimientos de cultivo de apio (ppm)</i> .....  | 34 |
| <b>Figura 2</b>  | <i>Ubicación del área de estudio</i> .....  | 42 |
| <b>Figura 3</b>  | <i>Proceso de maduración del biofiltro</i> .....  | 45 |
| <b>Figura 4</b>  | <i>Trasplante de plántulas de apio</i> .....  | 46 |
| <b>Figura 5</b>  | <i>Preparación de muestras para análisis bromatológico</i> .....  | 47 |
| <b>Figura 6</b>  | <i>Proceso de determinación de porcentaje de proteína de tallos de apio</i> .....   | 48 |
| <b>Figura 7</b>  | <i>Proceso de determinación de porcentaje de fibra de tallos de apio</i> .....  | 49 |
| <b>Figura 8</b>  | <i>Proceso de determinación de porcentaje de ceniza de tallos de apio</i> .....   | 50 |
| <b>Figura 9</b>  | <i>Proceso de establecimiento de peces</i> .....  | 52 |
| <b>Figura 10</b> | <i>Croquis del diseño experimental</i> .....  | 54 |
| <b>Figura 11</b> | <i>Comportamiento de compuestos nitrogenados en la maduración del biofiltro</i> .....   | 60 |
| <b>Figura 12</b> | <i>Comportamiento de compuestos nitrogenados del sistema acuapónico</i> .....   | 62 |
| <b>Figura 13</b> | <i>Curva de crecimiento de apio durante 110 días</i> .....  | 66 |
| <b>Figura 14</b> | <i>Gráficos de barras de altura, número de pencas, diámetro de la base de la raíz, rendimiento en materia verde y área foliar</i> ..... | 73 |
| <b>Figura 15</b> | <i>Interacción del porcentaje de espirulina con el rendimiento de materia verde del apio</i> .....                                      | 76 |
| <b>Figura 16</b> | <i>Interacción de la frecuencia de aplicación con el rendimiento de materia verde del apio</i> .....                                    | 77 |
| <b>Figura 17</b> | <i>Curvas de crecimiento de parámetros morfométricos de trucha arco iris</i> .....  | 81 |
| <b>Figura 18</b> | <i>Curva de crecimiento de biomasa animal de trucha arco iris</i> .....   | 83 |

## Resumen

La contaminación ambiental es un tema de gran preocupación en los últimos años. El uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas de origen químico ha contribuido en la contaminación del agua, aire y suelo. Debido a ello, se han buscado alternativas como el uso de biofertilizantes y se han empleado técnicas más eficientes de producción como la acuaponía. El estudio se realizó en el proyecto piscícola de Pailones de la hacienda “El Prado”- IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Se evaluó el uso de espirulina como biofertilizante foliar en el cultivo de apio a diferentes concentraciones y frecuencias en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris, empleando un diseño experimental factorial (Factor A: concentración de espirulina, 5 niveles (0%, 25%, 50%, 75% y 100%); factor B: frecuencia de aplicación, 2 niveles (8 y 15 días)). Los tratamientos fueron: T1:(SD100%F8), T2:(SD100%F15), T3:(SD75%F8), T4:(SD75%F15), T5:(SD50%F8), T6:(SD50%F15), T7:(SD50%F15), T8:(SD25%F15), T9:(SD0%F8), T10:(SD0%F15). La fertilización foliar de espirulina aumentó la productividad del cultivo, siendo T1y T2 los que presentaron un mayor desempeño en altura de la planta (67,80 y 69,30 cm), diámetro del cuello de la raíz (74,54 y 76,53 mm), rendimiento proyectado en materia verde (105,3 mil y 115,0 mil kg·ha<sup>-1</sup>) e índice de área foliar (10,47 y 10,76), pero no afectó el número de pencas por planta. Los parámetros productivos de la trucha arco iris fueron: GP: 0,93 g·día<sup>-1</sup>, TCE: 0,45 %·día<sup>-1</sup>, FCA: 2,59, EA: 42,42 %, ICC: 1,06 y mortalidad: 0,69 %.

**Palabras clave:** ACUAPONÍA, TRUCHA ARCO IRIS (*Arthrospira platensis*), APIO (*Apium graveolens*), ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*).

## Abstract

Environmental pollution has been a major concern in recent years. The inadequate use of chemical fertilizers and pesticides has contributed to water, air and soil pollution. As a result, alternatives have been sought, such as the use of biofertilizers and more efficient production techniques such as aquaponics. The study was carried out in the Pailones fish farming project of the "El Prado" farm - IASA I of the University of the Armed Forces ESPE. The use of spirulina as a foliar biofertilizer in celery cultivation was evaluated at different concentrations and frequencies in a floating raft type aquaponic system with rainbow trout under a factorial experimental design (Factor A: concentration of spirulina, 5 levels (0%, 25%, 50%, 50%, 75% and 100%); factor B: frequency of application, 2 levels (8 and 15 days)). The treatments were: T1: (SD100%F8), T2: (SD100%F15), T3: (SD75%F8), T4: (SD75%F15), T5: (SD50%F8), T6: (SD50%F15), T7: (SD50%F15), T8: (SD25%F15), T9: (SD0%F8), T10: (SD0%F15). Foliar fertilization of spirulina increased crop productivity, with T1 and T2 showing the highest performance in plant height (67.80 and 69.30 cm), root collar diameter (74.54 and 76.53 mm), projected green matter yield (105.3 thousand and 115.0 thousand kg·ha<sup>-1</sup>) and leaf area index (10.47 and 10.76), but did not affect the number of stalks per plant. The productive parameters of rainbow trout were: GP: 0.93 g·day<sup>-1</sup>, TCE: 0.45 %·day<sup>-1</sup>, FCA: 2.59, EA: 42.42 %, ICC: 1.06 and mortality: 0.69 %.

**Keywords:** AQUAPONICS, TROUT (*Arthrospira platensis*), CELERY (*Apium graveolens*), ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*).

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

El agua es un elemento fundamental para la producción agrícola y consecuentemente para la seguridad alimentaria, se estima que la agricultura consume hasta el 70 % del agua dulce que se extrae en el mundo y que la producción agrícola para 2050 aumentará hasta el 70% para abastecer la demanda alimenticia de la población creciente, lo que hace necesario el uso eficiente de este recurso implementando sistemas integrados de producción como la acuaponía (Hagbrink, 2022).

La acuaponía es un sistema integrado de cultivo entre la hidroponía y la acuicultura, donde la hidroponía se define como el cultivo de plantas sobre soluciones acuosas, y acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos y crustáceos. Dentro de un sistema acuapónico interactúan diversos elementos donde los desechos orgánicos producidos por los organismos acuáticos son transformados en elementos nitrogenados asimilables para las plantas, a través de la acción bacteriana y a su vez, las plantas actúan como biofiltro absorbiendo los nitratos, fosfatos, limpiando y mejorando la calidad de agua para los peces (Ramírez *et al.*, 2008).

Un sistema acuapónico está compuesto generalmente de: tanque de peces, sedimentador, desgasificador, biofiltro, camas de plantas, sifón, sistema de bombeo de agua y sistema de aireación, los cuales *están* conectados estratégicamente, convirtiéndolo en un sistema altamente eficiente (Ramírez *et al.*, 2008).

Actualmente debido a su disponibilidad, los peces más utilizados en la acuaponía son especies como tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), los cuales se adaptan a zonas cálidas y frías respectivamente. Estas especies son cultivadas simultáneamente con hortalizas de hoja de ciclo corto, como la lechuga, acelga, espinaca, apio o escarola, y plantas aromáticas, como la albahaca, menta y orégano. La acuaponía es una

alternativa sostenible, por lo que se han desarrollado diversos modelos comerciales, AquaFarm desarrolló un cultivo de tilapias y diversas hortalizas en sistemas de lechos de leca, Herbs from wales desarrolla un cultivo de trucha arco iris combinado con hortalizas en lechos de leca (arrita), la Universidad de las Islas Vírgenes en el denominado UVI system, desarrollan el cultivo de tilapias y diversas hortalizas en sistemas de balsas flotantes (López, 2019).

El apio es una planta herbácea procedente del Mediterráneo, sin embargo, se mencionan otros centros secundarios como el Cáucaso y la zona del Himalaya. Es una planta perteneciente a la familia de las Umbelíferas, posee raíz pivotante, hojas grandes en forma de corona con pecíolos largos, carnosos y succulentos, siendo los pecíolos o pencas el órgano más consumido. El consumo de apio actualmente ha aumentado tanto en Europa como en América del Norte Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG, 2005).

En Ecuador, de acuerdo con el III censo agropecuario realizado en el año 2000, la provincia con mayor superficie de cultivo de apio es Tungurahua, alcanzando las 12 hectáreas en monocultivo y 4 hectáreas en asociación con otros cultivos. A nivel Nacional el consumo de apio está entre los 400y 500 Tn/mes, siendo las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca las principales consumidoras, abarcando el 50 % de la producción Nacional (Andrade, 2021).

El apio es una de las hortalizas más consumidas en el mundo, siendo los mayores productores los países que se encuentran en Europa y América del Norte, entre ellos España el cual exporta apio a Reino Unido, Francia, Suecia, Alemania o Italia. La demanda de apio se debe a los numerosos beneficios nutricionales y medicinales que esta hortaliza ofrece a quienes la consumen (Integra, 2021).

Las microalgas son organismos unicelulares fotosintéticos altamente eficientes en la producción de biomasa, sobrepasando a las plantas hasta cuatro veces. Tomando en cuenta dicha eficiencia, la variedad de especies y sus redes tróficas, han sido utilizadas en numerosas áreas industriales y de investigación como: producción de energía, biorremediación de aguas

residuales, elaboración de fertilizantes, acuicultura, cosmética, entre otros (Grupo corporativo Cajamar, 2015).

González *et al.* (2022) menciona que el uso de microalgas eucariota y procariotas es limitado, siendo las más estudiadas y utilizadas la *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Isochrysis*, *Nan-nochloropsis*, *Porphyridium*, y *Espirulina*. La *Espirulina* es una cianobacteria color verde-azul de estructura filamentosa capaz de sintetizar sustancias nutritivas que son almacenadas en su citoplasma. Las especies más importantes son la *Spirulina máxima* y *Spirulina platensis*. Los análisis químicos realizados a *Spirulina platensis* ha demostrado que posee proteínas, ficobiliproteínas, vitaminas y minerales (Albuja *et al.*, 2011).

Se han realizado estudios en donde aplicando un complejo de microalgas (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Espirulina*, y *Synechocystis*) como fertilizante foliar en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), aumenta la altura de la planta hasta un 46%, reduciendo el tiempo de germinación de 5 a 3 días al aplicar el complejo, directamente en las semillas. En otro estudio se aplicó un fertilizante foliar con *Spirulina platensis* en plantas de Berenjena (*Solanum melongena*) donde incidió positivamente en el crecimiento vegetativo, número y firmeza de la fruta (González *et al.*, 2022).

## **Justificación**

Actualmente los sistemas agropecuarios son considerados como los responsables de la contaminación ambiental, debido a los gases de efecto invernadero, metano y óxido nitroso que provienen de estas actividades, los cuales contribuyen a diferentes tipos de contaminación del aire y agua. La contaminación del agua por nitratos, fosfatos, y plaguicidas está ligada a la producción agrícola, forestal y pesquera, y sus efectos se ven reflejados con la pérdida de biodiversidad Food and Agriculture Organization (FAO, 2015). Con el fin de mitigar los efectos desfavorables de la producción agropecuaria sobre el medio ambiente se han creado métodos de producción sustentable como la acuaponía, en donde los desechos orgánicos de los peces

son aprovechados por las plantas y a su vez, éstas actúan como biofiltro limpiando el agua para los peces (Jiménez, 2020).

Científicos de Sudáfrica consideran que la acuaponía tiene un gran potencial hablando en términos de seguridad alimentaria, Mchunu *et al.* (2017), pues se establece un equilibrio entre los seres vivos y su entorno, combinando tres bio-sistemas “peces, plantas y bacterias”, ahorrando agua, energía y espacio, por lo cual es considerado un sistema altamente eficiente (López, 2019). La acuaponía es considerada una filosofía de vida más que una técnica o método y su importancia a nivel mundial aumenta considerablemente, ya que abarca dimensiones tales como económica-social, ambiental y cultural, promoviendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (López, 2019).

La creciente demanda de alimentos por parte de la población ha creado la necesidad de usar productos químicos, con el fin de aumentar el rendimiento de los cultivos y cubrir dicha demanda. Si bien es cierto, los productos de síntesis química optimizan el rendimiento de los cultivos, lo que ha provocado una dependencia de dichos productos. Sin embargo, el uso de estos tiene efectos adversos en el medio ambiente que incluyen: eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad, lo que a su vez tienen un efecto dañino en la salud humana (González, 2019). Considerando lo mencionado, actualmente se está cambiando la agricultura moderna por una agricultura más ecológica, con el objetivo de producir alimentos libres de químicos de síntesis, de alto valor nutricional y organoléptico, debido al beneficio humano y ecológico que esta significa (Agroecológica, 2006).

Las microalgas son una alternativa a los fertilizantes químicos ya que contienen diferentes metabolitos, minerales y fitohormonas, que estimulan el crecimiento de las plantas, optimizando su rendimiento. Diferentes estudios realizados con microalgas como *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Spirulina*, y *Synechocystis* han demostrado que tienen un alto potencial como

bioestimulantes y biofertilizantes que pueden ser aplicados como enmiendas al suelo o como fertilizante foliar (González *et al.*, 2022).

En la actualidad el consumo y producción de alimentos orgánicos ha alcanzado un importante posicionamiento en la población, por lo que se ha convertido en un mercado sólido para los productores agrícolas y pecuarios. En Ecuador la producción de alimentos orgánicos está enfocada principalmente al mercado de exportación, siendo los principales cultivos las frutas, cereales y leguminosas, hortalizas y plantas aromáticas (Ortiz y Flores, 2008).

El apio es una planta de alto consumo por parte de la población por su contenido de calorías, proteínas, hidratos de carbono, fibra, agua, calcio, sodio, potasio, fósforo y ácidos esenciales como linoléico y palmítico los cuales reducen los problemas cardiovasculares. Debido a su composición el apio posee propiedades tales como: sedantes, diuréticas, aperitivas, digestivas, remineralizantes, depurativas, regeneradoras de la sangre, anti-infecciones y cicatrizantes (El Universo, 2020).

En base a esto, el presente estudio evaluará el efecto de la Espirulina en el cultivo de apio orgánico bajo un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Evaluar la producción orgánica de *Apium graveolens* fertilizado con *Arthrospira platensis*, en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris.

### ***Objetivos específicos***

- Evaluar los procesos de nitrificación del complejo bacteriano en un sistema acuapónico tipo balsa flotante.
- Evaluar parámetros productivos del apio en un sistema acuapónico tipo balsa flotante, bajo la acción biofertilizante de espirulina y excretas provenientes de la trucha arco iris.
- Evaluar los parámetros productivos de truchas bajo un sistema acuapónico tipo balsa flotante con apio.

## **Hipótesis**

### ***Hipótesis nula***

“La producción de apio orgánico (*Apium graveolens*) se mantiene constante y no genera cambios en su productividad con el uso de espirulina (*Arthrospira platensis*) como fertilizante foliar a diferentes concentraciones y frecuencias”.

### ***Hipótesis alterna***

“La producción de apio orgánico (*Apium graveolens*) se incrementa en el tiempo y genera cambios en su productividad con el uso de espirulina (*Arthrospira platensis*) como fertilizante foliar a diferentes concentraciones y frecuencias”.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **Acuacultura**

La acuacultura es el conjunto de actividades dirigidas al cultivo de especies acuáticas, tales como animales y vegetales, los cuales se desarrollan de forma controlada, teniendo una producción constante en el tiempo de acuerdo con la planificación establecida, lo que significa un escenario atractivo para el productor, considerando además que los productos acuícolas son altamente comercializados ya que han ganado gran importancia dentro de la canasta familiar. La producción acuícola está ligada a cinco factores fundamentales, medio ambiente, instalaciones de cultivo, disponibilidad de insumos, especies de cultivo y asistencia técnica, algunos de ellos con facilidad de ser manipulados (Bocek, 2007).

#### **Hidroponía**

La hidroponía suele definirse como cultivo sin suelo, quimio-cultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo. La principal característica de esta técnica de cultivo es que no se necesita del suelo para la etapa de crecimiento del cultivo, ya que la planta absorbe directamente los nutrientes que se encuentran en el agua, además de ello, no depende de fenómenos meteorológicos, permite cultivar la misma especie, mantiene el equilibrio entre aire, agua y nutrientes, facilidad de control de parámetros clave de la solución nutritiva, reduce el costo de producción, acorta el tiempo de la cosecha, entre otros (Zarate, 2014).

La hidroponía es considerada un sistema altamente eficiente, en virtud de que aumenta significativamente el rendimiento por unidad de área de los cultivos a comparación con un cultivo convencional en suelo, tomando en cuenta que se puede trabajar bajo mayor densidad de siembra y se proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo, lo que incide directamente con la productividad de la planta y eficiencia en el uso de recursos (Beltrano y Gimenez, 2015).

### ***Cultivo en aguas profundas o balsas flotantes (BF)***

La técnica de BF consiste en tanques o tinas impermeables donde se sobrepone mallas o láminas flotantes que sirven como soporte para el material vegetal en crecimiento, las raíces pasan a través de agujeros y quedan sumergidas en la solución nutritiva de la cual toman los elementos nutritivos que los cultivos requieren para su crecimiento y desarrollo (OASIS Grower Solutions, s/f). Esta técnica ofrece mejores condiciones fitosanitarias e inocuidad para el cultivo, ahorra de 60 – 70 % el uso de agua y reduce la superficie de plantación hasta un 70 – 80%. Los cultivos recomendados para BF son cultivos de hoja comestible, generalmente son: achicoria, albahaca, berro, espinacas, radicchio, rúcula y hierbas medicinales, además de flores de corte y otras ornamentales (PortalFruticola, 2019).

### **Acuaponía**

La acuaponía es un sistema integrado de cultivo entre la hidroponía y la acuicultura, donde la hidroponía se define como el cultivo de plantas sobre soluciones acuosas, y acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos y crustáceos. Dentro de un sistema acuapónico interactúan diversos elementos donde los desechos orgánicos producidos por los organismos acuáticos son transformados en elementos nitrogenados asimilables para las plantas a través de la acción bacteriana y su vez, las plantas actúan como biofiltro absorbiendo los nitratos, limpiando y mejorando la calidad de agua para los peces (Ramírez *et al.*, 2008).

Un sistema acuapónico es altamente eficiente, esto debido a que sus componentes están conectados estratégicamente, los cuales están compuestos generalmente de: tanque de peces, sedimentador, desgasificador, biofiltro, camas de plantas, sifón, sistema de bombeo de agua y sistema de aireación, los cuales están conectados estratégicamente convirtiéndolo en un sistema altamente eficiente (Ramírez *et al.*, 2008).

Los sistemas acuapónicos requieren de un equilibrio dinámico entre las comunidades presentes: peces, plantas y bacterias. El manejo de dichas comunidades se verá reflejada en la

calidad de agua durante el funcionamiento del sistema por lo que ésta debe ser monitoreada constantemente para verificar el proceso de nitrificación (Candarle, 2018).

Los peces más utilizados en la acuaponía son especies como tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), esto debido a que se adaptan a zonas cálidas y frías respectivamente. Estas especies son cultivadas simultáneamente con hortalizas de hoja de ciclo corto, como la lechuga, acelga, espinaca, apio o escarola, y plantas aromáticas, como la albahaca, menta y orégano (Ramírez *et al.*, 2008).

### **Sistema de recirculación acuícola (RAS)**

Es un sistema bio-integrado donde se fusiona la acuicultura de recirculación y la producción hidropónica de plantas, en donde las plantas aprovechan los desechos generados por los elementos acuáticos, los cuales son un punto problemático en toda producción. La eliminación de amonio y nitritos es una de las problemáticas que se presenta en este tipo de sistemas, pues estos metabolitos tóxicos son el producto de desechos de los peces provenientes de las excretas, orina y de los residuos del alimento proporcionado. Se dice que el 88% del nitrógeno presente en un cultivo de peces proviene del alimento balanceado (Mora *et al.*, 2003).

En un RAS existen varias formas de disminuir metabolitos tóxicos tales como: a) por arrastre del aire, b) por intercambio iónico y c) por biofiltración. Siendo este último el más utilizado debido a costo, eficiencia y manejo. El biofiltro está compuesto por bacterias nitrificantes las cuales se encargan de transformar los metabolitos tóxicos en compuestos menos agresivos para los peces, obteniendo así nitritos a partir del amonio y nitratos a partir de nitritos (Mora *et al.*, 2003).

Dentro de un sistema de recirculación existen componentes esenciales para el éxito y eficiencia del sistema, los cuales son: 1) Tanque para mantener los peces. 2) Tanque de sedimentación en donde se separa las partículas provenientes de los desechos originadas por los peces, algas y alimento no consumido. 3) Biofiltro el cual tiene el objetivo de convertir el

amoníaco tóxico liberado por los peces en nitritos y nitrados que son inofensivos. 4)

Componente hidropónicos en donde se instalará la producción vegetal. 5) Bomba de sumidero que recopile el agua utilizada y la devuelva al sistema (Gutiérrez, 2012).

### **Sistema de nitrificación (Biofiltro)**

El funcionamiento adecuado del biofiltro está ligado a tres elementos indispensables: a) bacterias nitrificantes (Tabletas PRO 4000X); b) sustrato donde se puedan albergar las bacterias (plástico de tapas de botellas-manguera corrugada) y c) oxígeno (aireador y temporizador).

Una amplia gama de bacterias Grampositivas se usa como probióticos en todo el mundo. Las principales especies de *Bacillus* utilizadas como probióticos en acuicultura son: *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus* y *B. amyloliquefacien* formadores de endosporas (Zorriehzahra *et al.*, 2016).

Existen 2 tipos de bacterias estrictamente aeróbicas que interactúan dentro del biofiltro, las bacterias oxidantes de amoníaco (BOA) conocidas como nitrosomas, las cuales convierten el amoníaco en nitritos y las bacterias oxidantes de nitritos (BON) conocidas como Nitrobacter los cuales convierten los nitritos en nitratos (FAO, 2022).



Las bacterias nitrificantes son una parte esencial en la implementación de un sistema RAS, por lo que el proceso de maduración del biofiltro debe ser desarrollado y monitoreado cuidadosamente. Este proceso puede tomar 3 a 5 semanas dependiendo de las condiciones ambientales del sitio de estudio y de la adición constante de una fuente de amonio para la activación y desarrollo de la colonia de bacterias, además de ello se debe evitar la luz solar directa debido a los rayos UV, los cuales impiden su crecimiento (Candarle, 2018).

Es de gran importancia estabilizar el biofiltro antes de cerrar el sistema acuapónico, pues durante la maduración de este biofiltro existen fluctuaciones de los compuestos nitrogenados, los cuales pueden ser perjudiciales y hasta mortales para los peces (Candarle,

2018). Se debe cuidar que los parámetros de calidad de agua se encuentren dentro de los rangos adecuados tales como: T°: 17 a 34 °C, pH: 6 a 8,5 (Mora *et al.*, 2003).

## **Apio**

### ***Origen***

El apio es originario del mediterráneo, además de ello se mencionan otros centros secundarios como el Cáucaso y la zona del Himalaya. Su uso como hortaliza progresó en la edad media y actualmente se ha distribuido al litoral mediterráneo y al medio oriente (SAG, 2005).

### ***Clasificación taxonómica***

Según Lineo, citado por (Surec, 2017) desde un punto de vista taxonómico como se describe en el cuadro a continuación:

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica del apio*

| <b>Taxonomía</b>  |                            |
|-------------------|----------------------------|
| Reino             | Plantae                    |
| Clase             | Magnoliopsida              |
| Subclase          | Asteridae                  |
| Familia           | Apiales                    |
| Género            | Apiaceae                   |
| Especie           | Apium                      |
| Nombre científico | <i>Apium graveolens L.</i> |
| Nombre común      | Apio                       |

*Nota.* Taxonomía y clasificación del apio. Recuperado de Surec (2017).

### ***Descripción botánica***

Es una planta bienal, presenta un sistema radicular dotado de una raíz pivotante, potente y profunda, con raíces secundarias superficiales adventicias. Las hojas se desarrollan a partir del cuello de la raíz a modo de roseta, alternas y vigorosas llegando a alcanzar de 30 a 80 cm de altura. Las hojas tienen limbos pinnados, divididos en dos o tres segmentos cuneiformes dentados en el ápice, las hojas centrales están agrupadas, tienen pecíolos poco desarrollados y nacen en torno al escapo central de la planta. Tiene como característica que los pecíolos de estas hojas son más anchos en la parte basal de la planta y más angostos en la parte superior, presentan nervaduras longitudinales de mayor consistencia (López, 2017).

### ***Importancia del cultivo de apio***

Citando a EROSKI (2012), Narváez (2012) señaló que la demanda de apio de variedades verdes y blanco ha aumentado en el mercado inglés y francés respectivamente. Este escenario se replica en el consumo de apio en general, siendo esta el 70% de apio verde y 30% de apio blanco. Debido a su demanda, el apio ha sido un producto de exportación en los últimos años liderado por España, Estados Unidos y México (Data México, 2022).

Según el III censo agropecuario realizado en el año 2000 en Ecuador, la provincia con mayor área cultivada de apio fue Tungurahua, donde se registró un total de 12 hectáreas en monocultivo y 4 hectáreas en cultivos asociados. En la actualidad las ciudades con mayor demanda de apio son Quito, Guayaquil y Cuenca el cual, abarcando hasta el 50 % del consumo total del país con 400 y 500 Tn·mes<sup>-1</sup> (Andrade, 2021).

Enríquez (2015), ubica a Pichincha como la zona más productora de apio, continuando con Ambato y Calacalí debido a la presencia de empresas productoras de apio de alta calidad que abarcan hasta 15 hectáreas.

Por su contenido nutricional, el apio es una hortaliza con alta demanda debido a las propiedades y beneficios a la salud que esta brinda, tales como: disminución de la hipertensión, eliminación de cálculos renales, ayuda a la digestión, elimina las impurezas del cuerpo por su

acción diurética, reduce el colesterol en sangre, reducción de peso, por mencionar algunas (Panocca y Quenta, 2015). Además de los usos terapéuticos, el apio es usado en la industria culinaria y agroalimentaria en ensaladas frescas o como condimentos en polvo o aceites (extracción) (Carrillos, 2002). Además, ha sido utilizado en medicina tradicional por su contenido de imoneno, selineno, glucósidos de furocumarina, flavonoides y vitaminas A y C, los cuales tienen un papel fundamental en la disminución de la presión arterial y se ha demostrado su uso en el asma, bronquitis y afecciones inflamatorias (Rodríguez y Rojas, 2022).

El apio puede clasificarse en tipos comerciales, tales como apio de hoja que es comercializado en atados de hojas y apio de planta donde se comercializa por unidad según el uso culinario. En ambos casos existen defectos que deben considerarse al momento de la comercialización, estos defectos pueden ser no críticos como: manchas, heridas leves y deshidratación no severa, deformación y quemado no severo y defectos críticos como: podredumbre, herida grave, quemado severo, deshidratación severa (pérdida de turgencia), sobre madurez (hojas amarillas) y presencia de insectos Comisión Administradora del Mercado Modelo (CAMM, 2002).

La clasificación de las clases según el calibre se define bajo el concepto de peso de las plantas y atados de hojas, siendo 250 g el peso mínimo de comercialización.

## **Tabla 2**

### *Clases de calibres de apio*

| <b>Calibre</b> | <b>Peso de planta o atado (g)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| Grande         | Mayor a 800                       |
| Mediano        | De 500 a 800                      |
| Chico          | De 250 a 500                      |

*Nota:* Calibre de apio según su peso. Recuperado de CAMM (2002).

## Contenido nutricional del APIO

**Tabla 3**

*Información nutricional del apio*

| <b>Nutriente</b>      | <b>Valor</b> | <b>Nutriente</b>                                      | <b>Valor</b> |
|-----------------------|--------------|---|--------------|
| Valores nutricionales |              | Vitaminas   |              |
| Calorías              | 16.0 kcal    | Vitamina C  | 3.1 mg       |
| Agua                  | 95.43 g      | Colina  | 6.1 mg       |
| Hidratos de carbono   | 2.97 g       | Vitamina A (RAE)                                      | 22.0 µg      |
| Proteínas             | 0.69 g       | Vitamina K1   | 29.3 µg      |
| Grasa total           | 0.17 g       | Vitamina E (alfa-tocoferol)                           | 0.27 mg      |
| Ceniza                | 0.75 g       | Ácidos grasos   |              |
| Hidratos de carbono   |              | Á. Grasos saturados (mirístico, palmítico. Esteárico) | 0.042 g      |
| Fibra                 | 1.6 g        | Ácidos Grasos   |              |
| Azúcares totales      | 1.34 g       | Monoinsaturados (palmitoleico, oléico)                | 0.032 g      |
| Minerales             |              | Ácidos Grasos Poliinsaturados (omega 6 – linoleico)   | 0.079 g      |
| Calcio                | 40.0 mg      | Zinc  | 0.13 mg      |
| Hierro                | 0.2 mg       | Manganeso   | 0.103 mg     |
| Magnesio              | 11.0 mg      | Selenio   | 0.4 µg       |
| Potasio               | 260.0 mg     | Fluoruro  | 4.0 µg       |
| Sodio                 | 80.0 mg      | Fósforo   | 24.0 mg      |

*Nota.* Recuperado de Olarte (2014).

### ***Condiciones agroclimáticas para el cultivo de apio***

La temperatura óptima para el cultivo de apio difiere de acuerdo con la fase del cultivo. En etapa de semillero, la temperatura debe oscilar entre 17 °C y 20°C considerando un mínimo de 13°C a 15°C para evitar la floración prematura. En la fase de campo se debe mantener una temperatura de 16°C a 20°C. Sin embargo, soportan hasta temperaturas de 8°C a 10°C pero no inferiores a 5°C ya que retrasa el crecimiento general de la planta y produce pencas quebradizas. Además, la presencia de heladas en la fase vegetativa puede provocar ahuecamiento de las pencas y necrosis en la base del cuello (Choque, 2021).

El requerimiento hídrico del cultivo de apio es alto, con un requerimiento total promedio de 800 mm, iniciando con una demanda moderada y aumentando juntamente con el desarrollo del cultivo (Gamboa, 2022). Es poco tolerante al estrés hídrico, afectando directamente a la calidad comercial de la planta (Choque, 2021). Los suelos deben ser profundos y fértiles, ricos en MO y con un pH que oscila entre 6,8 a 7,2. Es un cultivo sensible a la salinidad con una tolerancia de 3 a 4 mmhos·cm<sup>-1</sup> (Quispe, 2019).

La Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE, 2008) indicó que el rendimiento de apio bajo condiciones óptimas puede alcanzar un rendimiento de hasta 115 mil kg·ha<sup>-1</sup>.

### ***Ciclo del cultivo***

El ciclo del cultivo difiere dependiendo la época en la que se cultive, en época fría el ciclo puede llegar hasta 130 días y en época cálida el ciclo puede ser de 60 – 75 días o más hasta alcanzar el tamaño requerido. La cosecha se realiza generalmente cuando la planta alcanza un peso de 700 g sin considerar la raíz (Andrade, 2021).

### ***Manejo del cultivo***

#### ***Siembra***

El apio puede sembrarse en cualquier época del año siempre y cuando exista una fuente hídrica constante. Debido a que la germinación de las semillas presenta dificultades, es recomendable el manejo de semilleros. Estos pueden ser al suelo o en bandejas previamente

adecuadas y desinfectadas, es recomendable cubrir el semillero con plástico traslúcido con el fin de aumentar la temperatura del semillero generando un efecto desinfectante, además se puede hacer uso de Trichoderma y micorrizas que protegen las plántulas y ayudan al enraizamiento durante la etapa de semillero, la cual tiene una duración aproximada de 45 a 50 días Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2018).

### **Trasplante**

Las plántulas de apio deben haber alcanzado una altura mínima de 4 cm y tener 3 o 4 hojas previo al trasplante, el sustrato del semillero debe ser humedecido para cuidar las raíces y facilitar la recuperación vegetativa. Es recomendable una siembra no profunda, apisonar la tierra y regar a fondo (Quispe, 2019).

InfoAgro (2022) menciona que en plantas que se han mantenido en semillero hasta alcanzar 15 cm de altura, se recomienda una poda de la parte aérea a 10 a 12 cm de altura, cuidando la relación entre la parte aérea y subterránea de la planta.

La densidad de siembra recomendada en un sistema convencional es de 40 cm a 50 cm entre hileras y 30 cm entre plantas (INTA, 2018).

### **Cosecha**

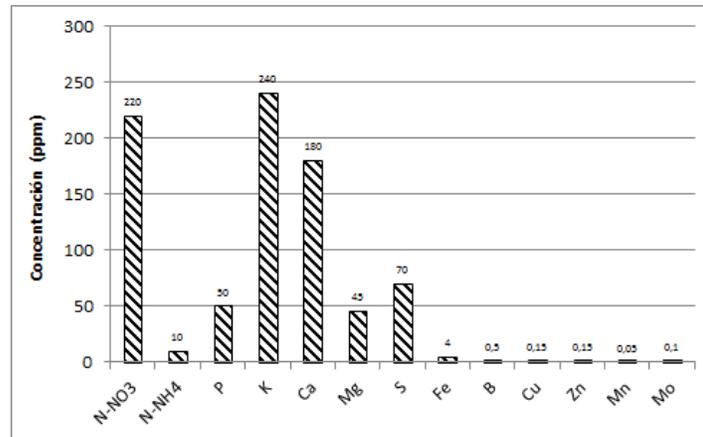
La cosecha debe realizarse al alcanzar el tamaño requerido por el mercado y antes de que las pencas adquieran esponjosidad. Esta debe realizarse en horas frescas del día, ser desinfectados y reservados en un lugar ventilado evitando la exposición al sol (Intagri, 2022).

### **Requerimientos nutricionales del apio**

La disponibilidad de nutrientes es de gran importancia en el desarrollo del cultivo. Además, estudios realizados por Sánchez *et al.* (2002), reportaron que la mayor cantidad de N, P y K se concentra en los tallos, mientras que el Ca y Mg se concentra en las hojas.

## Figura 1

Requerimientos de cultivo de apio (ppm)



Nota. La gráfica nos muestra la concentración de nutrientes para el cultivo apio. Aadaptado de Choque (2021).

Antes de realizar un aporte al suelo, es necesario conocer el estado de sus suelos y el requerimiento nutricional del cultivo (INTA, 2018).

### **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución para transmitir corriente eléctrica a nivel iónico (HANNA instrument, 2023). Está altamente ligada al contenido de sales disueltas en el agua, por lo que, a mayor conductividad eléctrica mayor contenido de sales, las cuales se disuelven en el agua en iones positivos y negativos encargados de conducir la energía. La conductividad eléctrica adecuada dependerá propiamente del cultivo, en el caso del apio al tener una tolerancia a la salinidad moderadamente sensible la conductividad eléctrica óptima es de  $1,2 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$  (Choque, 2021).

### **Apio premio**

Apio premio, es una variedad híbrida precoz muy productiva, vigorosa de follaje verde claro, con pencas grandes de excelente consistencia y fácil de crecer. Posee un excelente sistema radicular y un ciclo promedio de 80 a 85 días. Es resistente a época lluviosa debido a

su sanidad lo que significa menos controles fitosanitarios y soporta altas densidades de siembra hasta de (0.20 x 0.15 metros) (INSUSEmillas, 2016). Bejo (2023), menciona que esta variedad puede alcanzar un peso de 1000 a 1900 gr-planta<sup>-1</sup>.

### ***Plagas y enfermedades***

#### ***Plagas y su control***

**Tabla 4**

*Principales plagas y control del cultivo de apio*

| <b>Plagas</b>  | <b>Control</b>  |
|--|---|
| <i>Cortador mochero ((Agratis sp., Feltia sp.)</i><br>Corta las plantas jóvenes a la altura del suelo.             | Control cultural adecuado, fertilización edáfica y control de malezas.<br>• Insecticidas de contacto e ingestión, Clorpirifos   |
| Mosca minadora ( <i>Lyriomisa</i> sp.) Las<br>Daño en las hojas.   | Siembra escalonada, eliminar malezas, colocar trampas amarillas y usar coberturas de plástico.<br>• Sistemáticos translaminares con base en Abacmetina, ciromazina      |
| Afidos o pulgones ( <i>Aphis</i> sp., <i>Myzus persicae</i> )<br>Vectores de virus y chupan la savia de las hojas. | Eliminar restos vegetales y plantas invasoras, evitar cultivos escalonados y aumentar densidad.<br>• Insecticidas sistemáticos y aceites agrícolas: Oxamilo, Endosulfan |

*Nota:* Recuperado de SAG (2005).

## Enfermedades y su control

Tabla 5

Principales plagas y control del cultivo de apio

| Enfermedad  | Control   |
|---|---|
| Tizón tardío ( <i>Deuteromiceto Septoria apícala</i> ) Halo amarillo y manchas redondas con bordes oscurecidos. | Reducir el inculó, usar semilla certificada y evitar el monocultivo.<br>• Mancozeb, 0.7-1 Kg·Mz <sup>-1</sup> , Clorotalonil 1.5-2 litro·Mz <sup>-1</sup> . Productos cúpricos.                       |
| Tizón temprano ( <i>deuteromiceto Cercospora apii</i> ) Capa gris sobre manchas amarillas o marrón grisáceo.    | Usar semillas de buena genética y aplicar rotación de semilleros.<br>• Fungicida protestante: Mancozeb, 0.7-1 Kg·Mz <sup>-1</sup><br>• Fungicida sistemático: Tiofanato, 0.5-1 litro·Mz <sup>-1</sup> |

Nota. Recuperado de SAG (2005).

## Microalgas

Las microalgas son organismos unicelulares fotosintéticos altamente eficientes en la producción de biomasa, sobrepasando a las plantas hasta cuatro veces. Tomando en cuenta dicha eficiencia, la variedad de especies y sus redes tróficas, han sido utilizadas en numerosas áreas industriales y de investigación como: producción de energía, biorremediación de aguas residuales, elaboración de fertilizantes, acuicultura, cosmética, entre otros. Las microalgas generalmente son organismos fotoautótrofos, ya que obtienen la energía de la luz proveniente del sol y se desarrollan a partir de materia inorgánica. Sin embargo, algunas especies son capaces de crecer empleando materia orgánica como fuente de energía o de carbono, pueden ser: fotoautótrofa, ftoheterótrofa, mixotrófica y heterótrofa (Grupo corporativo Cajamar, 2015).

Los productos algales más utilizados como biofertilizantes son los extractos líquidos, los cuales pueden ser aplicados directamente al suelo o de forma foliar, en el mercado se pueden

encontrar biofertilizantes a partir de microalgas de espirulina o chlorella, o una combinación de ambas microalgas (López *et al.*, 2020).

### ***Espirulina (Arthrospira platensis)***

Es una cianobacteria filamentosa multicelular no diferenciadas cuyas células alcanzan un ancho de hasta 16  $\mu\text{m}$ , los filamentos se presentan en forma de hélice abierta con medidas desde 100 a 500  $\mu\text{m}$ , con un diámetro de la inclinación de una vuelta de la hélice desde 20 a 100  $\mu\text{m}$ . Las células poseen membrana plasmática cercada por una pared celular multiestratificada, Gram-negativa, con presencia de una hilera de poros alrededor del filamento y a la vez una cápsula de polisacáridos envuelve la pared celular (Ramírez y Olvera, 2006).

Mediante análisis bioquímicos se ha determinado que *Arthrospira platensis* contiene proteínas, vitaminas, ácidos grasos, minerales, carbohidratos, ácidos nucleicos y pigmentos (Ramírez y Olvera, 2006).

La espirulina es utilizada como fuente de aminoácidos para el hombre, animales y plantas, por su alto contenido proteico, aminograma y digestibilidad, tomando en cuenta que tiene una biodisponibilidad de proteínas en su masa seca de aproximadamente 60-70 % (López *et al.*, 2020). Considerada como el alimento concentrado más nutritivo que se conoce para la humanidad y clasificado como una de las mejores fuentes de proteína por la FDA (Soni *et al.*, 2017).

### ***Análisis bioquímico de Arthrospira platensis***

**Tabla 6**

*Análisis bioquímico de espirulina*

| <b>Composición</b> |                      |                      |
|--------------------|----------------------|----------------------|
| Nombre             | Cantidad             | Unidad               |
| Proteína           | 5,92 (f) – 60-70 (s) | %                    |
| Ceniza             | 0,6                  | g                    |
| Clorofila          | 3,29                 | mg · g <sup>-1</sup> |
| Lípidos            | 0,39                 |                      |

| <b>Composición</b> |                    |    |
|--------------------|--------------------|----|
| Carbohidratos      | 2,42               | g  |
| Vitaminas          | A, B, D, E, PP(B3) |    |
| Minerales          |                    |    |
| Calcio             | 12                 | mg |
| Hierro             | 2,79               | mg |
| Magnesio           | 19                 | mg |
| Fósforo            | 11                 | mg |
| Potasio            | 127                | mg |
| Sodio              | 98                 | mg |
| Zinc               | 0,2                | mg |
| Cobre              | 0,6                | mg |
| Manganeso          | 0,19               | mg |
| Ácidos grasos      | 4,9 – 5,7          | %  |
| Ficocianina        | 16                 | %  |

*Nota.* Adaptado de Simbaña (2017); Food Data Central (FDC, 2019)

### ***Uso de la Espirulina y sus extractos en la agricultura***

Con el auge de la agricultura sostenible, el uso de esta cianobacteria ha incrementado de forma significativa ya que aumenta la resistencia de los cultivos a enfermedades y al estrés ambiental, mejora la calidad del producto final lo que se traduce en mayor producción e ingreso económico (López *et al.*, 2020). Sin embargo, Alves *et al.*, (2016) expone que los estudios con *Spirulina platensis* en campo son escasos y que la mayoría de los estudios existentes han sido realizados en cultivos hortícolas.

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de espirulina como biofertilizante optimiza la producción de los cultivos de estudio, ejemplo de ello son: la aplicación de fertilizante a base de espirulina en *Solanum melongena* L. en donde se obtuvo como resultado el incremento del rendimiento de las plantas sin mostrar cambios en los niveles foliares de N, P, K y Na; en *Phaseolus vulgaris.*, la aplicación foliar del biofertilizante estimuló el crecimiento, las

concentraciones de clorofilas, N, P y K, al igual que aumentó el número y calidad de las semillas (López *et al.*, 2020). Oliveira *et al.* (2013) reportó un aumento en el rendimiento del cultivo de remolacha roja con una fertilización foliar de espirulina, aumentando hasta un 56% en materia fresca, además de aumentar el promedio de materia seca, y diámetro del fruto.

### **Trucha arco iris**

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) pertenece al grupo de salmónidos, orden Salmoniformes y clase Actinopterygii, originarios de América del norte. En el año de 1874 fue introducida a un gran número de países para uso ornamental y de crianza, la producción de esta ha incrementado con el paso de los años y se pronostica que continúe con este comportamiento.

En Ecuador, la producción de trucha arco iris es altamente aceptada, donde se han creado microempresas dedicadas a esta actividad, además de criaderos que generan fuentes de empleo para un gran número de personas. La alta demanda de la trucha ha llevado a la búsqueda de nuevas técnicas de mejoramiento para obtener truchas de mejor calidad, talla y peso (Batallas, 2018).

Los efluentes de un cultivo de trucha provienen de la producción principal y del lavado, con un 85-99 % de flujo de agua, los cuales contienen bajas concentraciones de sólidos totales, nitrógeno y fósforo, alcanzando valores de 14, 1.4 y 0.13 mg L<sup>-1</sup> respectivamente esta descarga constante de dichos elementos contamina el recurso hídrico, modifica las condiciones ambientales y afecta a las especies acuáticas. Estos contaminantes generan problemas de eutrofización, provocando crecimiento de fitoplancton, daño de sistemas acuáticos, disminución de especies nativas o propias de sistemas oligotróficos y como consecuencia el deterioro del medio ambiente (Hoyos, 2011).

La trucha arco iris es una de las especies más utilizadas dentro de los sistemas acuapónicos de recirculación y ha sido empleada con diferentes hortalizas; Vie Aquaponics produce más de 0,5 Tn de trucha arco iris anualmente y 2 mil 600 plantas de lechuga, menta,

hierba buena, orégano, apio y fresa orgánica de alta calidad, (Gobierno regional Cajamarca, 2022); Chamorro *et al.* (2011) dentro de su estudio “Design, construction and preliminary evaluation of an aquaponic system performance, using lettuce (*Lactuca sativa*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a recirculating aquaculture system” evaluó el desempeño del sistema acuapónico mejorando la calidad del agua y removiendo los contaminantes para cultivo de trucha arco iris, en otro estudio realizado por Muñoz y Tipán (2020), valoraron un sistema acuapónico para pepinillo bajo efectos bio-estimulantes algales y humus líquido.

La calidad del agua para la producción de trucha arco iris debe mantenerse dentro de rangos adecuados, tales como: oxígeno 7,5 a 12 ppm; temperatura de 13 a 18 °C y pH de 6,5 a 8,5 (FAO, 2022). La trucha arco iris es un pez con alta resistencia, de crecimiento rápido, tolerante a diferentes ambientes y manipulaciones, tiene la capacidad de soportar gamas de variación de temperatura. La temperatura es un factor determinante en el crecimiento y maduración de la trucha, así como la alimentación (FAO, 2009).

Los compuestos nitrogenados (nitritos, nitratos, amonio/amoniaco) son determinantes dentro del sistema acuapónico. El amonio y los nitritos son altamente tóxicos para los peces por lo que se debe mantener los niveles de estos compuestos por debajo de 1 mg·L<sup>-1</sup>. La trucha arco iris tolera un contenido de nitrógeno amoniacal por debajo de 0,5 mg·L<sup>-1</sup> y nitritos por debajo de 0,3 mg·L<sup>-1</sup>, (FAO, 2022).

La alimentación de la trucha es diferente de acuerdo con la fase de producción, López (2015) sugiere una alimentación fraccionada de 2-3 veces al día para la fase de engorde. La dieta suministrada dentro de un sistema acuapónico está relacionado con la cantidad de amoniaco en el agua residual, considerando que el 30 % de las proteínas suministradas por la dieta son aprovechada por los peces y el 70 % del N se pierde, por lo que alrededor del 61 % del nitrógeno del alimento se convierte en amoniaco, la cual está sujeta a la nitrificación, además, por cada gramo de nitrógeno desperdiciado, se producen 1,2 g de amoniaco (FAO, 2022).

$$NH_3 = g \text{ de alimento} \times \frac{\% \text{ proteína del alimento}}{100 \text{ g alimento}} \times \frac{\% N_2 \text{ de la proteína}}{100 \text{ g proteína}} \times \frac{N_2 \text{ desperdiciado}}{100 \text{ g } N_2 \text{ total}} \times \frac{1,2 \text{ g } NH_3}{1 \text{ g } N_2}$$

## Fertilización foliar

La fertilización foliar (FF) ha sido utilizada ampliamente desde hace muchos años, contribuyendo al rendimiento final de un cultivo. Si bien la FF puede ser una buena opción sobre la fertilización convencional cuando se presentan factores que afecten la absorción de nutrientes por vía radicular como: origen, características físicas, químicas y biológicas del suelo, humedad, plagas y enfermedades, la fertilización foliar no reemplaza la fertilización convencional. Además, la FF no puede ser la única fuente de nutrientes del cultivo y debe ser aplicada como un complemento, (Meléndez y Molina, 2002).

El área foliar del cultivo es crítica dentro de la FF, pues las hojas son el órgano más importante en la absorción de nutrientes aplicados por aspersion, siendo estas la fábrica de fotosintatos de la planta, (Trinidad y Aguilar, 1999). A pesar de que la hoja no es el órgano especializado en absorción como lo son las raíces, diversos estudios han demostrado que tienen la capacidad de absorber nutrientes de una solución acuosa, (Meléndez y Molina, 2002). Añadiendo a lo descrito Aguilar *et al.* (2005), señalan que existe una estrecha relación entre el área foliar de una planta y el aumento de biomasa y rendimiento final de un cultivo.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### Ubicación del área de investigación

##### *Ubicación política*

El presente trabajo de investigación se realizó en el invernadero del proyecto acuícola Pailones y en el laboratorio de acuicultura, los mismos que están ubicados en la Hacienda El Prado, barrio San Fernando, parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

#### Figura 2

##### *Ubicación del área de estudio*



Nota. A) Laboratorio de acuicultura, B) Proyecto acuícola Pailones.  
Tomado de Google (2022)

##### *Ubicación geográfica*

El laboratorio de acuicultura se encuentra ubicado a una latitud de  $0^{\circ}23'15.66''S$ , longitud de  $78^{\circ}24'51.40''O$  y altitud de 2723 m; mientras que el proyecto acuícola Pailones se encuentra a una latitud de  $0^{\circ}25'23.66''S$ , longitud de  $78^{\circ}24'44''W$  y altitud de 2926 m.

##### *Ubicación ecológica*

La hacienda el Prado está ubicada en el piso altitudinal Montano Bajo y zona de vida bosque húmedo, con una humedad relativa de 67,91%, temperatura mínima de  $7,95^{\circ}C$ , temperatura máxima de  $19,93^{\circ}C$ , temperatura media de  $13,96^{\circ}C$  y una precipitación anual de 1332,72 mm (Arce, 2009).

## **Obtención de espirulina**

La cosecha de espirulina se realizó en las piscinas ubicada en Pailones, las cuales se mantuvieron dentro de los parámetros adecuados de T°, pH, CE para garantizar una producción de biomasa lineal y constante.

La realimentación se realizó tomando en cuenta el volumen cosechado, usando agua purificada para evitar la contaminación del medio y consecuentemente la pérdida de biomasa.

Los componentes que se utilizaron para el medio de realimentación fueron: bicarbonato ( $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), sal en grano ( $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y Kristalon rojo ( $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), aforado a pH 10.

La cosecha de la biomasa viva se realizó una vez que la espirulina alcanzó una concentración de  $6,8 \times 10^5$  filamentos  $\cdot\text{mL}^{-1}$  lo cual corresponde a un valor de absorbancia de 1,4 por espectrofotometría a 550 nm (Simbaña, 2017).

### **Conteo celular**

El conteo celular se realizó con el fin de evaluar el crecimiento celular. Se realizó mediante una dilución con agua destilada utilizando la siguiente fórmula:

$$DC_{\text{inóculo}} = N \times 10^3 \times FD$$

**En donde:**

**DC inóculo:** Densidad Celular del inóculo (filamentos  $\cdot\text{mL}^{-1}$ )

**N:** Número de filamentos contabilizados.

**10<sup>3</sup>:** Factor de conversión de 0,1  $\mu\text{L}$  a mL

**FD:** Factor de dilución

El conteo se realizó cuando el cultivo de espirulina alcanzó una absorbancia de 1,4 en donde se obtuvo una concentración de  $6,7 \times 10^5$  filamentos  $\cdot\text{mL}^{-1}$ .

### **Elaboración de fertilizante foliar**

Después de la cosecha de la biomasa viva, la espirulina se sometió a congelación durante 48 horas con el fin de romper las paredes celulares de esta, posteriormente se descongeló a temperatura ambiente. Una vez descongelada la biomasa se diluyó en agua

destilada a una razón de 2 partes de agua destilada por 1 de biomasa, la cual fue considerada como la solución al 100 % de donde se realizaron diluciones al 75%, 50% y 25%.

Utilizando la fórmula de concentraciones, se calculó el contenido de filamentos de la solución.

$$C_i \times V_i = C_2 \times V_2$$

**Donde:**

$C_i$ : Concentración inicial

$V_i$ : Volumen inicial

$C_j$ : Concentración de la dilución

$V_j$ : Volumen final de la dilución

**Tabla 7**

Dosis de aplicación de fertilizante foliar

| Dosis de fertilizante foliar | filamentos $\cdot \text{mL}^{-1}$ |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 100%                         | $2,23 \times 10^5$                |
| 75%                          | $1,67 \times 10^5$                |
| 50%                          | $1,12 \times 10^5$                |
| 25%                          | $5,58 \times 10^4$                |

*Nota.* Los filamentos  $\text{m} \cdot \text{L}^{-1}$  de las dosis se refieren a filamentos de espirulina en un litro de fertilizante foliar. Autoría propia.

**Adecuación del sistema acuapónico**

El sistema acuapónico contó de tres tanques de plástico (200L), el primero empleado como sedimentador y los dos restantes como biofiltros, en donde se llevó a cabo el proceso de nitrificación; dos camas de cultivo rectangulares 0,79 x 7,06 m donde se colocó las plántulas de apio; dos piscinas circulares de un diámetro de 2,66 m y una profundidad de 1,10 m donde se colocó 200 truchas por piscina, con una peso aproximado de 150 g; un tanque de 500 litros encargado de recolectar el agua residual de las piscinas de truchas; una bomba de 0,5 HP que

devuelve el agua del tanque de recolección al tanque de sedimentación y finalmente un sistema de aireación continua (aireador y temporizador).

Las camas de cultivo se manejaron bajo un sistema de balsa flotante con planchas de poliestireno, además, los tanques de sedimentación y nitrificación fueron cubiertos con plástico negro para evitar la proliferación de alga dentro de estos.

### **Maduración de biofiltros**

Se utilizó 25 g de tabletas del complejo bacteriano PRO 4000X de Agrobimsa en los dos tanques de 200L, las tabletas están compuestas de *Bacillus subtilis*  $2 \times 10^9$  CFU·g<sup>-1</sup> y *Bacillus licheniformis*  $2 \times 10^9$  CFU·g<sup>-1</sup>, transcurrida 24 horas de la siembra de las bacterias en el biofiltro se añadió 25 g de carbamida CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> disuelto en 10 L de agua en cada tanque para activar las bacterias nitrificantes, las cuales serán las encargadas de controlar los niveles de compuestos nitrogenados dentro de sistema acuapónico. El complejo bacteriano fue suministrado cada 10 días, añadiendo 15 g de tabletas en cada tanque.

El proceso de nitrificación fue monitoreado mediante análisis de agua en donde se determinó las concentraciones de nitrito, nitrato, amonio y amoníaco cada 10 días durante 30 días.

### **Figura 3**

*Proceso de maduración de biofiltro.*



*Nota.* Maduración de biofiltro previo al establecimiento del sistema acuapónico.

Autoría propia.

### **Manejo de plantas**

Después de la instalación del sistema acuapónico y maduración de biofiltros se trasplantaron 100 plántulas de apio premio a una distancia entre plantas de 0,25 m y entre hileras de 0,25 m. Eliminando previamente el sustrato de las raíces y colocando las plántulas en vasos plásticos con esponjas.

Los datos que se evaluaron fueron: altura de planta cada 10 días y altura, diámetro del cuello de la raíz, número de pencas, rendimiento en materia verde y área foliar a la cosecha.

### **Figura 4**

*Trasplante de plántulas de apio*



*Nota.* Plántulas de apio trasplantadas en balsas flotantes con una distancia entre hileras de 0,25 m y 0,25 m entre plantas. Autoría propia.

### **Análisis bromatológicos**

Se realizaron análisis de contenido de proteína, fibra, ceniza y grasa presentes en los tallos de apio de cada uno de los tratamientos, todos los análisis fueron realizados en el laboratorio de química del IASA I siguiendo el respectivo protocolo.

### **Preparación de la muestra**

Se pesó los tallos de apio y las fundas de papel de cada uno de los tratamientos, se colocó los tallos de apio dentro de las fundas de papel debidamente rotuladas. Se introdujeron las fundas

de papel con las muestras dentro de la estufa por 24 horas a una temperatura de 50 °C, después de que las muestras se hayan enfriado, se trituro los tallos de apio haciendo uso de un molino de laboratorio hasta obtener un polvo homogéneo.

### **Figura 5**

*Preparación de muestras para análisis bromatológico*



*Nota. Secado y homogeneización de muestras. Autoría propia.*

### **Análisis de proteína mediante el método de Kjeldahl**

#### **Digestión**

Se introdujo 1,5 g de la muestra dentro del papel parafina y fue colocado dentro del tubo de Kjeldahl, se añadió 1/3 de tableta catalizadora y 15 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), se colocó en el digestor durante 2 horas a 80 °C y finalmente se dejó reposar hasta que se enfríe.

#### **Destilación**

Se añadió 75 mL de agua destilada en cada tubo y se colocó en la unidad de destilación, al mismo tiempo se añadió 30 ml de ácido bórico al 4% en un matraz Erlenmeyer de 250 mL más 2 gotas de indicador de Tashiro y se colocó en la alargadera del refrigerante cuidando de que la misma esté sumergida dentro de la disolución de ácido bórico. Una vez

colocados el tubo de la muestra y el erlenmeyer se dosificó el hidróxido de sodio (NaOH) y se inició la destilación durante cinco minutos, (Martínez y Segovia, 2012).

### **Valoración**

Posteriormente a la destilación se procedió a titular el contenido del matraz con una solución 0.1N de ácido clorhídrico.

Las fórmulas utilizadas para calcular el porcentaje de N se describen a continuación:

$$\%N = \frac{14xNxVx100}{mx1000}$$

**Donde:**

**N:** Normalidad de la solución (0.1)

**V:** Gastos de titulación de HCl al 0.1 N.

**m:** Masa de la muestra en gramos

Una vez calculado el % N se utilizó el Factor k =6.25 para determinar el porcentaje de proteína.

### **Figura 6**

*Proceso de determinación de porcentaje de proteína de tallos de apio*



*Nota.* Digestión, destilación y valoración. Autoría propia.

### **Análisis de fibra vegetal mediante el método gravimétrico**

#### **Digestión**

Se pesó 3 g de muestra homogeneizada y se colocó en un matraz de 250 mL, adicionalmente se añadió 100 mL de ácido clorhídrico 1N y se llevó a la placa de calentamiento hasta llegar al punto de ebullición durante 2 horas.

### **Filtrado**

Se vertió el contenido con la muestra a un matraz de 250 mL con ayuda de un embudo y papel filtro haciendo un lavado con 200 mL de agua destilada, posteriormente se lavó el papel filtro sobre un matraz con 100 mL de hidróxido de sodio 1N y se llevó una vez más a la placa de calentamiento durante 2 horas, finalmente se realizó un filtrado adicional con 200 mL de agua destilada.

### **Secado**

Una vez filtrada la muestra se llevó el papel con la muestra a la estufa durante 24 horas a una temperatura de 80 °C para finalmente pesarlas y realizar los cálculos correspondientes usando la fórmula que se describe a continuación:

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

**Donde:**

**A:** Peso papel + muestra

**B:** Peso papel

**C:** Peso de la muestra

### **Figura 7**

*Proceso de determinación de porcentaje de fibra de tallos de apio*



*Nota.* Digestión, filtrado y secado. Autoría propia.

### **Análisis de ceniza vegetal mediante el método gravimétrico**

Se pesó el crisol solo y 3 g de la muestra homogeneizada, se colocó la muestra en el crisol y se quemó dentro de la cámara extractora de gas sobre una placa de calentamiento hasta que no se observó la salida de humo. Se colocó el crisol en la mufla a 500°C durante 4 horas, se dejó enfriar y se pesó.

El cálculo de porcentaje de ceniza se realizó haciendo uso de la fórmula que se describe a continuación:

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

**Donde:**

**Pf:** Peso final

**C:** Peso crisol

**M:** Peso de la muestra

### **Figura 8**

*Proceso de determinación de porcentaje de ceniza de tallos de apio*



*Nota.* Pesado, quemado, secado y pesado. Autoría propia.

### **Análisis de grasa mediante soxhlet**

Inicialmente se pesó el balón de destilación con 7 esferas en su interior. Se introdujeron 3 g de muestra homogeneizada dentro del dedal de papel filtro y se colocó dentro del sifón soxhlet al montar el sistema, se vertió el solvente al sifón hasta que caiga al balón y se añadió 20 mL de solvente adicionales. Una vez verificadas las conexiones, se dejó fluir el agua por el

refrigerante, se prendió la placa de calentamiento a una temperatura de 250°C y se dejó hasta alcanzar un máximo de 4 sifonadas. Inmediatamente se retiró el dedal del sifón soxhlet y extrayendo la mayor cantidad del solvente del balón con el objetivo de que quede solo la grasa de la muestra. Se desmontó el sistema y se dejó el balón en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 80 °C para evaporar el solvente sobrante de la grasa, se dejó enfriar y se pesó. El porcentaje de grasa en tallos de apio se realizó haciendo uso de la fórmula que se describe a continuación.

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

**Donde:**

**B1:** Peso inicial del balón

**B2:** Peso del balón con muestra final

**m:** Masa de la muestra en gramos

### **Manejo de peces**

Para el experimento se utilizaron 400 truchas arco iris perteneciente al proyecto acuícola de Pailones, distribuidas en 200 truchas por piscina.

El manejo sanitario de los peces se realizó con sal en grano a una concentración de 2%, con la finalidad de prevenir enfermedades bacterianas. Se colocó la solución en una tina y se sumergieron las truchas por alrededor de 30 segundos para después devolverlas a las piscinas.

La ración alimenticia fue calculada con un intervalo de 10 días en función de la biomasa animal de cada una de las piscinas y fue fraccionada en 3 partes iguales durante el día y suspendida un día antes de la toma de datos.

## Figura 9

Proceso de establecimiento de peces



Nota. Limpieza, clasificación y desinfección de peces previo al inicio del ensayo. Autoría propia.

### Diseño experimental

Se aplicó un DEF (diseño experimental factorial)  $a \times b = 5 \times 2$ . El factor de interés  $A$  fue la concentración de espirulina, con  $a = 5$  niveles (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). El factor de interés  $B$  fue la frecuencia de aplicación de la espirulina, con  $b = 2$  niveles (8 días y 15 días). La unidad experimental fue una planta de apio y se realizó 10 repeticiones por tratamiento. Mediante el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$
$$i = 1; 2; 3; 4; 5 \quad j = 1; 2 \quad k = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10$$

#### Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable de respuesta

$\mu$  = Media general de la variable.

$\alpha_i$  = Efecto debido al  $i$ -ésimo nivel del factor A (Concentración de Espirulina).

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B (Frecuencia de aplicación).

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de interacción de  $\alpha\beta$

$\varepsilon_{ijk}$  = Error aleatorio

## **Factores**

Los factores que se evaluaron en el experimento son:

- **Dosis aplicada:** Espirulina en diferentes concentraciones: 1 (100%), 2 (75%), 3 (50%), 4 (25%), 5 (0%)
- **Frecuencia de aplicación:** F1 (8 días), F2 (15 días)

## **Tratamientos**

Los tratamientos evaluados en el cultivo de apio son los detallados a continuación.

**Tabla 8**

*Descripción de tratamientos*

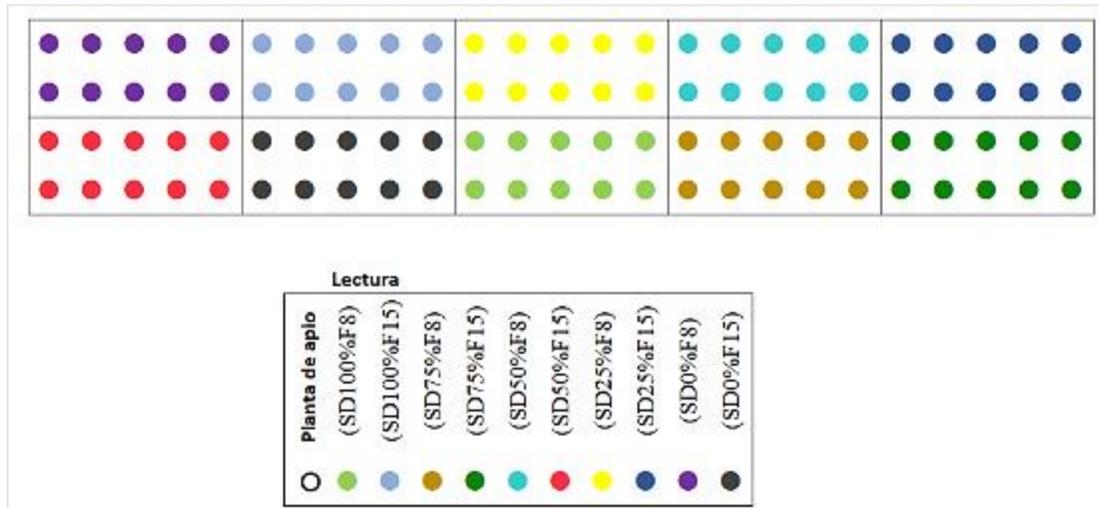
| <b>Tratamiento</b> | <b>Código</b> | <b>Descripción</b>  |
|--------------------|---------------|---|
| 1                  | (SD100%F8)    | Espirulina al 100% cada 8 días                                    |
| 2                  | (SD100%F15)   | Espirulina al 100% cada 15 días                                   |
| 3                  | (SD75%F8)     | Espirulina al 75% cada 8 días                                     |
| 4                  | (SD75%F15)    | Espirulina al 75% cada 15 días                                    |
| 5                  | (SD50%F8)     | Espirulina al 50% cada 8 días                                     |
| 6                  | (SD50%F15)    | Espirulina al 50% cada 15 días                                    |
| 7                  | (SD25%F8)     | Espirulina al 25% cada 8 días                                     |
| 8                  | (SD25%F15)    | Espirulina al 25% cada 15 días                                    |
| 9                  | (SD0%F8)      | Aguas residuales de trucha arco iris sin aplicación de Espirulina |
| 10                 | (SD0%F15)     | Aguas residuales de trucha arco iris sin aplicación de Espirulina |

*Nota.* Autoría propia

## Croquis experimental

Figura 10

*Croquis del diseño experimental*



Nota. Autoría propia

## Análisis estadístico

En primer lugar, se realizó un análisis exploratorio de datos que incluye promedios, desviaciones estándar, coeficientes de variación y gráficos de interacción. El principal método de estadística inferencial fue un diseño experimental factorial, (Gutiérrez y Salazar, 2012). Para comparar las respuestas experimentales entre los tratamientos, para las variables cuyos datos cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad se aplicó la prueba de Duncan a un nivel de confianza de 95%, para variables cuyos datos no cumplieron con supuestos de homogeneidad de la varianza, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis y para conocer la interacción entre factores se aplicó la prueba Scheirer para datos no paramétricos. Todos los datos fueron analizados con la ayuda del software estadístico InfoStat®.

## Variables a evaluar

Se registró parámetros productivos del apio, peces y calidad de agua cada 10 días.

### **Conductividad eléctrica, pH, Temperatura y oxígeno**

Estos parámetros fueron tomados cada 10 días, haciendo uso de un conductímetro, peachímetro, termómetro y oxímetro.

### **Compuestos nitrogenados**

La concentración de nitritos, nitratos, amonio y amoníaco fue evaluada realizando análisis del agua del biofiltro durante su maduración (30 días) y la duración del cultivo (110 días).

### **Altura de la planta (cm)**

Se midió haciendo uso de un flexómetro regulado en centímetros y milímetros, tomando en cuenta desde la base del cuello de la raíz hasta el ápice de la penca más larga cada 10 días.

### **Diámetro del cuello de la raíz (cm)**

Se tomaron los datos con ayuda de un calibrador al momento de la cosecha, tomando una muestra de cada uno de los tratamientos.

### **Número de pencas**

Se contabilizó al momento de la cosecha, tomando una muestra de cada uno de los tratamientos.

### **Rendimiento en materia verde (g)**

Para la evaluación se pesó las muestras de cada tratamiento con ayuda de una balanza. Las unidades utilizadas fueron  $\text{Kg} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ , la cual fueron transformadas a  $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

### **Índice de área foliar**

Este parámetro se midió haciendo uso del programa ImageJ y usando la fórmula

$$IAF = \left( \frac{(\text{Área foliar})(\text{Densidad de población})}{\text{Área sembrada}} \right)$$

### **Análisis bromatológico**

Para este análisis se determinó el porcentaje de proteína, grasa, fibra y ceniza de los tallos de apio después de la cosecha.

### **Parámetros morfométricos de los peces**

Los parámetros morfométricos considerados fueron: peso, longitud total, longitud parcial y ancho, los cuales fueron evaluados cada 10 días haciendo uso de un ictiómetro y una balanza digital.

### **Parámetros productivos de los peces**

Para los parámetros productivos considerados fueron: ganancia de peso, tasa de crecimiento específico, factor de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, índice de condición corporal y porcentaje de mortalidad. Haciendo uso de las fórmulas que se describen a continuación:

$$\text{Ganancia de Peso (g)} = \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}}{\text{Tiempo (días)}}$$

$$\text{Tasa de crecimiento Específico (T.C.E)} = \frac{(\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso Inicial})}{\text{Tiempo (días)}} \times 100$$

Donde ln = Logaritmo Natural

$$\text{Factor de Conversión Alimenticia (F.C.A)} = \frac{\text{Total de alimento consumido (g)}}{\text{Peso ganado (g)}}$$

$$\text{Eficiencia Alimenticia (E.A)} = \frac{\text{Peso ganado (g)}}{\text{Alimento ingerido}} \times 100$$

$$\text{Índice de Condición Corporal} = \frac{\text{Peso corporal (g)}}{(\text{Longitud total})^3} \times 100$$

$$\text{Mortalidad (\%)} = \frac{\text{Número de peces muertos}}{\text{Número de peces vivos}} \times 100$$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Parámetros físico-químicos del agua en el sistema acuapónico

En la tabla 9, se observa los parámetros fisicoquímicos del agua dentro del sistema acuapónico en el transcurso de 110 días que duró el experimento. Los parámetros de temperatura, pH, oxígeno y conductividad eléctrica en las piscinas se mantuvieron en un promedio de 14,83 °C de T°; 8,20 de pH; 8,95 mg·L<sup>-1</sup> de oxígeno y 225,13 μS·cm<sup>-1</sup> de CE. Cumpliendo con los parámetros expuestos por la FAO (2022) de temperatura, con intervalos entre 13 a 18 °C, oxígeno de 7,5 a 12 ppm y 6,5 a 8,5 de pH en un sistema acuapónico. Además, se menciona que los parámetros de calidad de agua en el biofiltro deben mantenerse entre 17 a 34°C, pH: 6 a 8,5, OD: 4 a 8 mg·L<sup>-1</sup>. Bajo estas condiciones se pudo evidenciar que el pH se mantuvo en los rangos adecuados con un promedio de 8,06. Sin embargo, la temperatura y el oxígeno mantuvieron valores inferiores a 13,94 °C y superiores de 8,76 mg·L<sup>-1</sup> respectivamente. Cabe resaltar que estos valores son similares a los obtenidos por Muñoz y Tipán (2020) en la producción de truchas con pepinillo, en donde la temperatura promedio fue de 13,88 °C, pH: 8,21, y oxígeno: 8,5 - 8,76 mg·L<sup>-1</sup>, mismos que no afectaron el desarrollo bacteriano dentro del biofiltro. FAO (2022) menciona que una temperatura por debajo de 17 °C reduce la productividad de las bacterias nitrificantes.

**Tabla 9**

*Promedio ± desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos del agua del sistema acuapónico.*

| Componente |       | Temperatura (°C) | pH        | Oxígeno (mg·L <sup>-1</sup> ) | Conductividad (uS·cm <sup>-1</sup> ) |
|------------|-------|------------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Biofiltro  | Media | 13,94±1,97       | 8,07±0,25 | 8,76±0,86                     | -                                    |
|            | Mín.  | 11,51            | 7,40      | 7,86                          | -                                    |
|            | Max.  | 17,85            | 8,65      | 10,56                         | -                                    |
|            | Media | 14,83±2,13       | 8,20±0,16 | 8,95±1,55                     | -                                    |

| <b>Componente</b> |       | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>pH</b> | <b>Oxígeno (mg·L<sup>-1</sup>)</b> | <b>Conductividad (uS·cm<sup>-1</sup>)</b> |
|-------------------|-------|-------------------------|-----------|------------------------------------|---|
| Piscina           | Mín.  | 11,70                   | 7,90      | 7,13                               | -   |
| peces             | Max.  | 18,02                   | 8,66      | 13,24                              | -   |
| Camas de cultivo  | Media | 14,30±1,75              | 8,17±0,15 | 8,88±1,64                          | 225,13±21,91                              |
|                   | Mín.  | 12,00                   | 8,00      | 6,10                               | 190,21                                    |
|                   | Max.  | 17,59                   | 8,66      | 12,24                              | 265,23                                    |

*Nota.* Parámetros fisicoquímicos de los componentes del sistema acuapónico durante 110 días del estudio. Autoría propia.

Los parámetros de calidad de agua en las camas de cultivo presentaron valores de 14,30 °C, pH: 8,17, OD: 8,88 mg·L<sup>-1</sup> y CE: 225,13 μS·cm<sup>-1</sup>, coincidiendo con lo mencionado por Candarle (n.d.) en parámetros como la temperatura 16 a 30°C, pH:5,5 a 7,5, OD: > 3. Sin embargo, el pH de 8.1 en el presente estudio fue elevado, ya que Intagri, (2022) menciona que el pH idóneo para el cultivo de apio debe estar entre 6,8 a 7,2. Hay que resaltar que un pH elevado puede afectar el desarrollo de las plantas, por la baja absorción de nutrientes por vía radicular.

Con respecto a la conductividad, Arteaga (2022) sugiere que cuando existe una alta CE, se puede presentar toxicidad en las plantas, y cuando es baja, presenta deficiencia de nutrientes. Según Hardeep, (2017) se requiere una CE óptima entre: 1800 a 2400 μS·cm<sup>-1</sup> para un desarrollo adecuado del mismo. Salvador (2021) expresa que dentro de un sistema acuapónico las plantas presentan una mayor velocidad de crecimiento con una CE mayor a 1200 μS·cm<sup>-1</sup> sin embargo, estas se desarrollan sin mayor inconveniente desde una CE de 300 μS·cm<sup>-1</sup>, lo que coincide con lo mencionado por Homoki *et al.* (2020) donde mencionan que la CE dentro del sistema acuapónico puede estar entre 300 a 1100 μS·cm<sup>-1</sup>, lo que se asemeja a los resultados obtenidos en el presente estudio, cuyo valor está por debajo de los valores presentados por Suárez (2021) en su estudio de caracterización y optimización de la

producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos a pequeña escala con una CE de  $490 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Reyes *et al.* (2013) menciona que el contenido de sales en el agua y por consiguiente la CE dentro de un sistema acuapónico, es mayor cuando existe mayores desechos sólidos provenientes de los peces, considerando que este sistema tuvo un recambio de agua significativo debido a las condiciones climáticas del área de estudio, donde se presentaban tormentas frecuentes, por lo que se debía apagar el sistema automático de oxigenación y permitir el recambio de agua en las piscinas de los peces para evitar la mortalidad de estos. Bajo estas consideraciones, se puede inferir que ésta eliminación de agua residual, interfirió en la CE en las camas de cultivo hidropónico.

### **Procesos de maduración del biofiltro**

En la tabla 10 se muestra la concentración de compuestos nitrogenados durante el periodo de maduración del biofiltro con el uso del complejo bacteriano PRO 4000X de Agrobimsa. La calidad inicial del agua el cual corresponde a "DI" muestra una concentración de  $0,28$ ;  $1,32$ ;  $0$  y  $0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de nitritos, nitratos, amonio y amoníaco respectivamente; Día 0 (D0) nos muestra la concentración de compuestos nitrogenados después de añadir carbamida, donde se observó una concentración de  $0,17$ ;  $0,11$ ;  $1,4$  y  $1,29 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de nitritos, nitratos, amonio y amoníaco respectivamente, y Día 10 (D10), Día 20 (D20) y Día 30 (D30) nos muestra el proceso de nitrificación dentro del biofiltro durante 30 días, en donde se observa un incremento de nitratos hasta  $1,760 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , una disminución de: nitritos hasta una concentración de  $0,059 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , amonio hasta un  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y amoníaco hasta  $0,046 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , valores que según FAO (2022) no son tóxicos para las truchas, ya que esta especie tolera concentraciones de nitrógeno amoniacal por debajo de  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y nitritos por debajo de  $0,3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

**Tabla 10**

*Concentración de nitritos, nitratos, amonio y amoníaco en el proceso de maduración del biofiltro.*

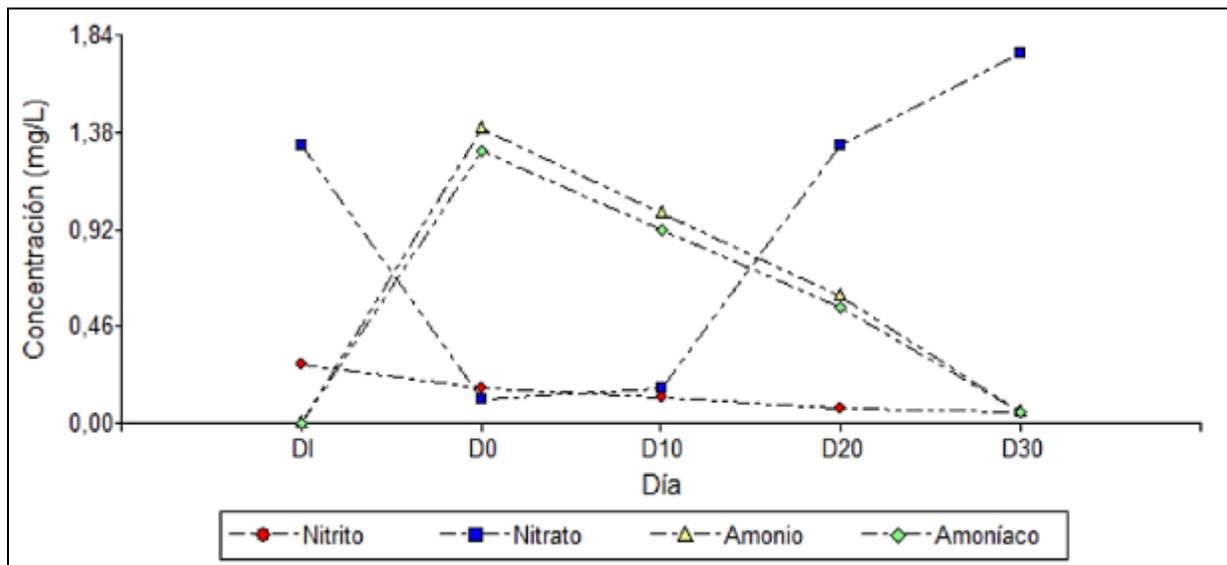
| Días | Nitritos | Nitratos | Amonio | Amoníaco |
|------|----------|----------|--------|----------|
| D1   | 0,283    | 1,323    | 0      | 0        |
| D0   | 0,170    | 0,110    | 1,400  | 1,292    |
| D10  | 0,120    | 0,170    | 1,013  | 0,923    |
| D20  | 0,071    | 1,320    | 0,605  | 0,550    |
| D30  | 0,052    | 1,760    | 0,050  | 0,046    |

*Nota.* Comportamiento de compuestos nitrogenados durante 30 días.

Autoría propia.

**Figura 11**

*Comportamiento de compuestos nitrogenados en la maduración del biofiltro.*



*Nota.* Autoría propia

### **Proceso de nitrificación del sistema acuapónico**

Después de la maduración del biofiltro y la instalación completa del sistema, se realizaron análisis de los compuestos nitrogenados con el fin de corroborar el proceso de nitrificación dentro del sistema haciendo uso del complejo bacteriano PRO 4000X de

Agrobimsa, en donde se pudo evidenciar el aumento progresivo de nitratos, un leve aumento y posterior reducción de amonio/amoníaco y cambios no significativos de nitritos. En la tabla 11 y figura 12 podemos observar el proceso de nitrificación del sistema acuapónico durante el ensayo, donde: la concentración de nitritos en D0 fue de 0,059 mg·L<sup>-1</sup> y aumentó hasta 0,1 mg·L<sup>-1</sup> en D20 para finalmente disminuir progresivamente hasta 0,020 mg·L<sup>-1</sup> en D110; la concentración de nitratos en D0 fue de 1,76 mg·L<sup>-1</sup> disminuyendo hasta 1,32 mg·L<sup>-1</sup> al D10 para finalmente tener un aumento progresivo hasta 4,88 mg·L<sup>-1</sup>; la concentración de amonio y amoníaco aumentaron inicialmente de 0,05 a 0,85 mg·L<sup>-1</sup> y 0,05 a 0,78 mg·L<sup>-1</sup> respectivamente en D40. Este comportamiento puede deberse a una merma en la población bacteriana, debido a la baja concentración de nitrógeno amoniacal en el sistema, y finalmente redujo sus concentraciones hasta llegar a 0,05 mg·L<sup>-1</sup>.

**Tabla 11**

*Comportamiento de compuestos nitrogenados del sistema acuapónico*

| <b>Sistema acuapónico</b> | <b>Nitrato</b> | <b>Nitrato</b> | <b>Amonio</b> | <b>Amoníaco</b> |
|---------------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| D0                        | 0,059          | 1,76           | 0,05          | 0,046           |
| D10                       | 0,062          | 1,32           | 0,1           | 0,09            |
| D20                       | 0,100          | 1,66           | 0,14          | 0,13            |
| D30                       | 0,089          | 1,76           | 0,5           | 0,46            |
| D40                       | 0,059          | 1,98           | 0,85          | 0,78            |
| D50                       | 0,050          | 2,06           | 0,73          | 0,67            |
| D60                       | 0,036          | 2,42           | 0,5           | 0,46            |
| D70                       | 0,016          | 2,73           | 0,15          | 0,14            |
| D80                       | 0,011          | 3,10           | 0,05          | 0,05            |
| D90                       | 0,022          | 3,96           | 0,05          | 0,05            |
| D100                      | 0,053          | 4,54           | 0,1           | 0,09            |
| D110                      | 0,020          | 4,88           | 0,05          | 0,05            |

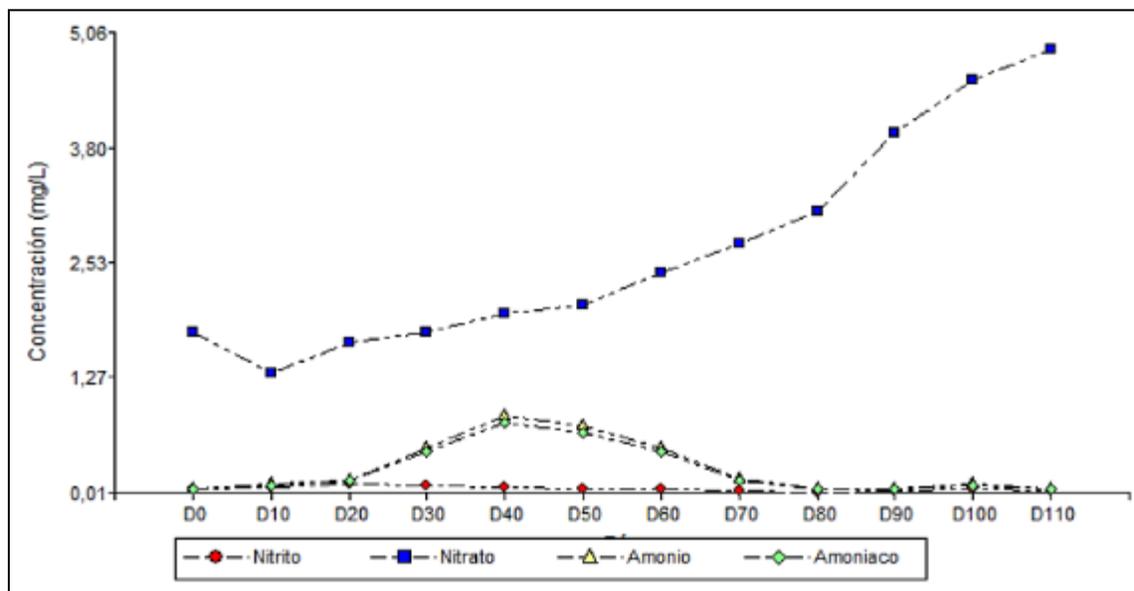
*Nota.* Niveles de nitritos, nitratos, amonio y amoníaco dentro del sistema acuapónico. Autoría propia.

Los compuestos nitrogenados dentro del sistema acuapónico se mantuvieron por debajo de los rangos de tolerancia de la calidad de agua expuestos por FAO (2022), en donde menciona que el amonio, nitritos y nitratos debe mantenerse por debajo de 3, 3 y 400  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en el biofiltro y los mencionados por Candarle (2018) de amonio  $< 1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , nitritos  $< 1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y nitratos  $< 400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en peces, y en plantas  $< 30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de amonio y  $< 1$  de nitritos. En contraste a lo mencionado, Gallego y García (2017) en su estudio de remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro expresa que una concentración de amonio mayor a  $0,92 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  no es aceptables dentro de la acuaponía. La concentración de nitratos está muy por debajo de los reportados por el mismo autor de  $59,14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Este escenario puede deberse al recambio de agua dentro del sistema por las condiciones climáticas del área de estudio antes mencionadas.

El contenido de amonio/amoniaco obtenido estuvo por debajo de los reportados por Córdova (2019), en su estudio de acuaponía con fresa, donde presentó valores máximos de amonio de hasta  $0,93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

### Figura 12

*Comportamiento de compuestos nitrogenados del sistema acuapónico*



*Nota:* Compuestos nitrogenados a lo largo de 110 días. Autoría propia.

## Parámetros productivos del apio

### Altura de las plantas

En la tabla 12 se presenta la altura promedio de las plantas de cada uno de los tratamientos (cm) cada diez días, hasta el momento de su cosecha (110 días), cuyos datos después de verificar supuestos y realizar transformaciones, se observó que no cumplen con la homogeneidad de varianzas. Considerando lo dicho y que el número de datos de cada tratamiento es superior a cinco, se realizó un análisis de la varianza no paramétrica con la prueba de Kruskal – Wallis, la cual es evaluada según los rangos o rankings de cada grupo de datos y se debe contar con al menos 5 repeticiones por cada tratamiento.

**Tabla 12**

*Media ± desviación estándar de altura del apio en cm.*

| Tratamiento | Días  | D0        | D10        | D20                  | D30                 | D40                  | D50                  |
|-------------|-------|-----------|------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1           | M±D.E | 6,20±0,79 | 10,75±1,03 | 16,60±2,32           | 21,50±1,08          | 26,60±1,35           | 35,00±0,67           |
|             | Mdna  | 6,00      | 10,75      | 16,50                | 21,50               | 26,50                | 35,00                |
|             | Rank  | -         | -          | 80,50 <sup>a</sup>   | 58,95 <sup>ab</sup> | 72,05 <sup>a</sup>   | 77,20 <sup>a</sup>   |
| 2           | M±D.E | 6,50±0,53 | 10,85±1,06 | 16,85±1,70           | 21,90±0,74          | 26,50±0,53           | 34,70±0,82           |
|             | Mdna  | 6,50      | 11,00      | 17,00                | 22,00               | 26,50                | 34,50                |
|             | Rank  | -         | -          | 75,55 <sup>a</sup>   | 68,35 <sup>a</sup>  | 75,25 <sup>a</sup>   | 70,60 <sup>ab</sup>  |
| 3           | M±D.E | 6,30±0,48 | 10,05±1,14 | 15,50±0,85           | 21,60±0,70          | 24,60±0,84           | 34,20±0,79           |
|             | Mdna  | 6,00      | 10,25      | 15,50                | 21,50               | 25,00                | 34,00                |
|             | Rank  | -         | -          | 57,85 <sup>abc</sup> | 60,9 <sup>ab</sup>  | 31,50 <sup>cde</sup> | 62,20 <sup>abc</sup> |
| 4           | M±D.E | 6,40±0,52 | 9,50±0,82  | 14,60±0,97           | 21,90±0,88          | 26,20±0,79           | 34,80±1,23           |
|             | Mdna  | 6,00      | 9,50       | 14,50                | 22,00               | 26,00                | 35,00                |
|             | Ranks | -         | -          | 35,40 <sup>cd</sup>  | 67,85 <sup>a</sup>  | 67,70 <sup>ab</sup>  | 74,50 <sup>a</sup>   |
| 5           | M±D.E | 6,50±0,53 | 10,20±1,06 | 16,10±1,20           | 21,50±1,08          | 25,50±0,71           | 32,60±2,22           |
|             | Mdna  | 6,50      | 10,00      | 16,00                | 21,50               | 26,00                | 33,00                |
|             | Rank  | -         | -          | 68,80 <sup>ab</sup>  | 58,95 <sup>ab</sup> | 51,20 <sup>ac</sup>  | 47,30 <sup>bc</sup>  |
| 6           | M±D.E | 6,60±0,52 | 10,15±0,94 | 14,90±0,74           | 21,60±1,07          | 26,20±0,92           | 32,90±1,66           |
|             | Mdna  | 7,00      | 10,00      | 15,00                | 22,00               | 26,50                | 32,00                |
|             | Rank  | -         | -          | 42,45 <sup>cd</sup>  | 61,60 <sup>ab</sup> | 67,45 <sup>ab</sup>  | 47,85 <sup>bc</sup>  |

| Tratamiento | Días  | D0                | D10                 | D20                  | D30                 | D40                   | D50                  |
|-------------|-------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| 7           | M±D.E | 6,50±0,53         | 10,25±0,68          | 14,60±0,70           | 20,40±1,43          | 25,20±1,03            | 34,00±1,41           |
|             | Mdna  | 6,50              | 10,00               | 14,50                | 20,00               | 26,00                 | 34,00                |
|             | Rank  | -                 | -                   | 34,00 <sup>cd</sup>  | 38,40 <sup>bc</sup> | 45,50 <sup>bcd</sup>  | 60,30 <sup>abc</sup> |
| 8           | M±D.E | 6,40±0,52         | 10,30±0,95          | 15,10±1,29           | 21,20±1,32          | 26,00±0,94            | 31,90±2,56           |
|             | Mdna  | 6,00              | 10,00               | 15,00                | 21,00               | 26,00                 | 32,00                |
|             | Rank  | -                 | -                   | 46,75 <sup>bcd</sup> | 52,80 <sup>ab</sup> | 62,50 <sup>ab</sup>   | 43,55 <sup>c</sup>   |
| 9           | M±D.E | 6,30±0,67         | 9,65±0,88           | 14,40±1,17           | 19,80±0,92          | 24,10±0,74            | 27,30±1,34           |
|             | Mdna  | 6,00              | 9,50                | 15,00                | 19,50               | 24,00                 | 27,00                |
|             | Rank  | -                 | -                   | 33,90 <sup>cd</sup>  | 24,40 <sup>cd</sup> | 22,20 <sup>de</sup>   | 13,80 <sup>d</sup>   |
| 10          | M±D.E | 6,20±0,63         | 9,90±1,02           | 14,40±0,84           | 18,30±1,77          | 22,10±1,85            | 26,00±0,94           |
|             | Mdna  | 6,00              | 10,00               | 14,00                | 18,00               | 22,00                 | 26,00                |
|             | Rank  | -                 | -                   | 29,80 <sup>d</sup>   | 12,80 <sup>d</sup>  | 9,65 <sup>e</sup>     | 7,70 <sup>d</sup>    |
| n=10        |       | H=3,36;<br>p=0,88 | H=15,33;<br>p=0,065 | H=38,01;<br>p≤0,05   | H=38,59;<br>p≤0,05  | H=55,37,01;<br>p≤0,05 | H=61,43;<br>p≤0,05   |

| Tratamiento | Días  | D60                | D70                 | D80                 | D90                  | D100               | D110                |
|-------------|-------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| 1           | M±D.E | 41,90±0,74         | 46,40±0,84          | 53,20±1,48          | 57,70±1,64           | 62,00±1,63         | 67,80±1,40          |
|             | Mdna  | 42,00              | 47,00               | 53,50               | 57,00                | 62,00              | 68,00               |
|             | Rank  | 88,35 <sup>a</sup> | 87,10 <sup>a</sup>  | 85,75 <sup>a</sup>  | 58,40 <sup>abc</sup> | 50,00 <sup>b</sup> | 72,30 <sup>ab</sup> |
| 2           | M±D.E | 42,10±0,99         | 46,80±1,03          | 54,60±1,51          | 59,30±0,82           | 65,60±0,84         | 69,30±1,06          |
|             | Mdna  | 42,00              | 47,00               | 55,00               | 59,50                | 65,00              | 69,50               |
|             | Rank  | 89,40 <sup>a</sup> | 89,95 <sup>a</sup>  | 92,85 <sup>a</sup>  | 80,10 <sup>a</sup>   | 93,1 <sup>a</sup>  | 88,15 <sup>a</sup>  |
| 3           | M±D.E | 39,70±1,16         | 44,40±1,17          | 51,00±0,82          | 58,10±1,29           | 62,00±1,25         | 66,90±1,29          |
|             | Mdna  | 39,00              | 44,00               | 51,00               | 58,00                | 62,00              | 67,00               |
|             | Rank  | 59,15 <sup>b</sup> | 65,30 <sup>ab</sup> | 70,40 <sup>ab</sup> | 63,65 <sup>abc</sup> | 48,50 <sup>b</sup> | 45,15 <sup>bc</sup> |
| 4           | M±D.E | 39,20±1,14         | 43,50±1,35          | 50,10±0,74          | 58,60±1,96           | 63,30±1,89         | 67,00±0,94          |
|             | Mdna  | 39,00              | 43,50               | 50,00               | 58,5                 | 63,00              | 67,00               |
|             | Ranks | 51,60 <sup>b</sup> | 53,70 <sup>bc</sup> | 57,65 <sup>bc</sup> | 68,95 <sup>ab</sup>  | 65,15 <sup>b</sup> | 59,40 <sup>bc</sup> |

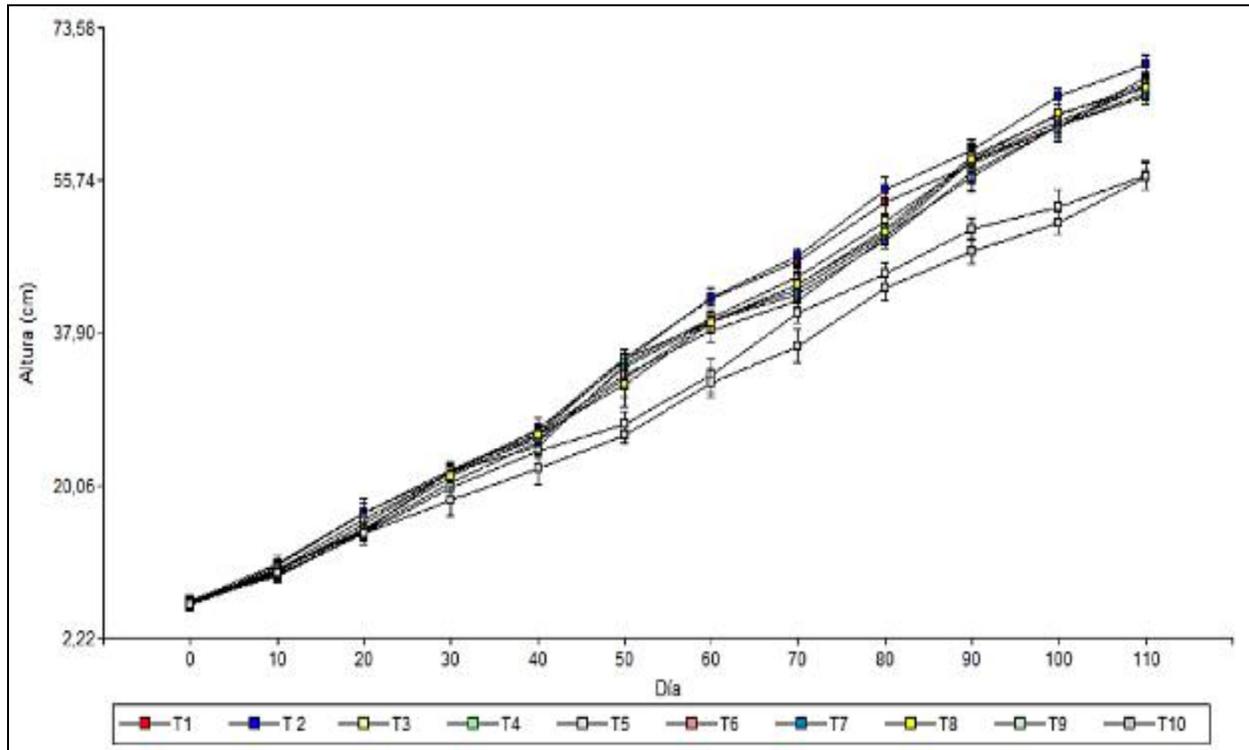
| Tratamiento | Días  | D60                | D70                  | D80                 | D90                  | D100                | D110                |
|-------------|-------|--------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 5           | M±D.E | 39,30±1,06         | 43,00±0,67           | 49,30±1,42          | 56,10±1,60           | 62,10±1,79          | 66,00±1,33          |
|             | Mdna  | 39,50              | 43,00                | 49,00               | 55,00                | 62,00               | 66,00               |
|             | Rank  | 53,40 <sup>b</sup> | 47,30 <sup>bc</sup>  | 45,35 <sup>bc</sup> | 39,15 <sup>cd</sup>  | 50,75 <sup>b</sup>  | 81,80 <sup>bc</sup> |
| 6           | M±D.E | 38,20±1,23         | 41,70±2,67           | 49,10±0,88          | 58,00±2,36           | 62,60±1,51          | 66,80±1,55          |
|             | Mdna  | 38,00              | 42,00                | 49,00               | 58,00                | 63,00               | 67,00               |
|             | Rank  | 38,60 <sup>b</sup> | 37,80 <sup>cd</sup>  | 42,35 <sup>c</sup>  | 61,65 <sup>abc</sup> | 58,45 <sup>b</sup>  | 48,40 <sup>bc</sup> |
| 7           | M±D.E | 39,20±1,14         | 42,40±1,35           | 48,80±0,92          | 56,80±1,32           | 62,00±1,49          | 65,70±0,67          |
|             | Mdna  | 40,00              | 42,50                | 48,50               | 57,00                | 62,00               | 66,00               |
|             | Rank  | 52,55 <sup>b</sup> | 41,15 <sup>bcd</sup> | 38,20 <sup>cd</sup> | 46,85 <sup>bc</sup>  | 48,95 <sup>b</sup>  | 39,45 <sup>c</sup>  |
| 8           | M±D.E | 39,10±1,29         | 43,60±1,84           | 49,70±0,95          | 58,20±1,48           | 63,50±1,18          | 66,50±1,35          |
|             | Mdna  | 39,50              | 43,50                | 50,00               | 58,00                | 63,00               | 66,00               |
|             | Rank  | 50,95 <sup>b</sup> | 54,70 <sup>bc</sup>  | 51,45 <sup>bc</sup> | 65,25 <sup>ab</sup>  | 69,10 <sup>ab</sup> | 51,55 <sup>bc</sup> |
| 9           | M±D.E | 32,90±1,91         | 40,30±1,25           | 44,90±1,29          | 50,10±1,20           | 52,60±2,12          | 56,30±1,64          |
|             | Mdna  | 32,00              | 40,00                | 45,00               | 50,00                | 52,50               | 56,00               |
|             | Rank  | 11,60 <sup>c</sup> | 21,35 <sup>de</sup>  | 13,70 <sup>de</sup> | 14,90 <sup>de</sup>  | 12,95 <sup>c</sup>  | 10,45 <sup>d</sup>  |
| 10          | M±D.E | 32,10±1,79         | 36,40±2,01           | 43,10±1,37          | 47,40±1,43           | 50,80±1,23          | 56,20±1,55          |
|             | Mdna  | 32,50              | 36,00                | 42,50               | 48,00                | 50,50               | 56,50               |
|             | Rank  | 9,40 <sup>c</sup>  | 6,75 <sup>e</sup>    | 7,30 <sup>e</sup>   | 6,10 <sup>e</sup>    | 8,05 <sup>c</sup>   | 10,55 <sup>d</sup>  |
| n=10        |       | H=75,79;<br>p≤0,05 | H=73,16;<br>p≤0,05   | H=82,56;<br>p≤0,05  | H=61,48;<br>p≤0,05   | H=67,22;<br>p≤0,05  | H=67,72;<br>p≤0,05  |

*Nota.* Días después del trasplante (DDT), Tratamientos: T1: (SD100%F8), T2: (SD100%F15), T3: (SD75%F8), T4: (SD75%F15), T5: (SD50%F8), T6: (SD50%F15), T7: (SD50%F15), T8: (SD25%F15), T9: (SD0%F8), T10: (SD0%F15). Número de datos por tratamiento e intervalos de tiempo (n=10). (Prueba no paramétrica Kruskal Wallis). Ranks con una letra común son estadísticamente iguales. Autoría propia.

La figura 13 nos muestra el comportamiento de la altura a lo largo de 110 días de cada uno de los tratamientos cada 10 días.

**Figura 13**

*Curva de crecimiento de apio durante 110 días*



*Nota.* Días después del trasplante (DDT), Tratamientos: T1: (SD100%F8), T2: (SD100%F15), T3: (SD75%F8), T4: (SD75%F15), T5: (SD50%F8), T6: (SD50%F15), T7: (SD50%F15), T8: (SD25%F15), T9: (SD0%F8), T10: (SD0%F15). Autoría propia.

**Altura del apio en la cosecha**

Los datos de altura tomados al momento de la cosecha se presentan en la tabla 13, cuyos datos cumplieron con los supuestos de homogeneidad, por lo que se aplicó la prueba de Duncan la cual muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

**Tabla 13**

*Media ± desviación estándar de altura del apio al momento de la cosecha (cm).*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Medias D.E.</b>       | <b>Min</b> | <b>Max</b> |
|--------------------|--------------------------|------------|------------|
| T1                 | 67,80±1,40 <sup>b</sup>  | 66,00      | 70,00      |
| T2                 | 69,30±1,06 <sup>a</sup>  | 68,00      | 71,00      |
| T3                 | 66,90±1,29 <sup>bc</sup> | 64,00      | 68,00      |
| T4                 | 67,00±0,94 <sup>bc</sup> | 65,00      | 68,00      |
| T5                 | 66,00±1,33 <sup>c</sup>  | 64,00      | 68,00      |
| T6                 | 66,80±1,55 <sup>bc</sup> | 65,00      | 69,00      |
| T7                 | 65,70±0,67 <sup>c</sup>  | 65,00      | 67,00      |
| T8                 | 66,50±1,35 <sup>c</sup>  | 65,00      | 69,00      |
| T9                 | 56,30±1,64 <sup>d</sup>  | 54,00      | 59,00      |
| T10                | 56,20±1,55 <sup>d</sup>  | 53,00      | 58,00      |

*Nota.* Medias con una letra en común son estadísticamente iguales (Duncan, P>0.05). Autoría propia.

La Prueba de Duncan para la altura del apio al momento de la cosecha mostró valores con diferencias significativas. El mejor tratamiento fue T2 con una altura promedio de 69,30 cm, que corresponde a una aplicación foliar de espirulina al 100% con una frecuencia de 15 días. La altura más baja se obtuvo en T10 que corresponde al testigo, con un valor de 56,20 cm, el cual es estadísticamente similar a T9 con 56,30 cm.

La altura de la planta a la cosecha de T2 fue similar a los resultados obtenidos por Enríquez (2015), donde evaluó 2 variedades de apio bajo fertilización orgánica, entre ellas apio variedad "premio", donde obtuvo una altura promedio a la cosecha de 68,13 cm, y a la vez similar a los resultados obtenidos por Molina (2017) en su estudio con soluciones nutritivas en condiciones hidropónicas, donde obtuvo una altura de 47,30 cm a la cosecha (70 días). En contraste, Morales (2022) reportó plantas de apio con una altura de 36,36 cm (60 días) en su estudio de biofortificación con yodo agrícola, lo que está por debajo de la altura máxima obtenida en el presente estudio de 42,10 cm.

El aumento de la altura en T2 con respecto a los testigos (T9 y T10) concuerda con Pérez *et al.* (2020) que menciona que la biofertilización de cultivos con espirulina aumenta de forma significativa la altura de las plantas, por otro lado, Moursy *et al.* (2019) reportó un aumento significativo en la altura del cultivo de maíz con biofertilización de espirulina.

***Diámetro del cuello de la raíz (mm)***

Los datos del diámetro del cuello de la raíz de las plantas de apio no cumplieron con el supuesto de homogeneidad, por lo que se procedió a realizar un análisis de la varianza no paramétrica con la prueba de Kruskal – Wallis, considerando que se cuenta con un N=10.

La tabla 14 nos presenta las medianas y rangos de cada tratamiento, en donde se observa que los tratamientos con el mayor diámetro del cuello de la raíz fueron T2 y T1 (H: 81,54, P<0.05) con 76,53 mm y 74,54 mm respectivamente, los cuales son estadísticamente similares y a la vez T3 y T4 son estadísticamente similares a T1. El menor diámetro del cuello de la raíz se obtuvo con los tratamientos T8, T9 y T10 con 54,51 mm; 48,31 mm y 47,39 mm respectivamente, los cuales son estadísticamente iguales.

**Tabla 14**

*Prueba de Kruskal Wallis para el diámetro del cuello de la raíz al momento de la cosecha*

| <b>Tratamiento</b> | <b>N</b> | <b>Medias ± D.E.</b> | <b>Medianas</b> | <b>Ranks</b> |
|--------------------|----------|----------------------|-----------------|--------------|
| T1                 | 10       | 74,54±3,04           | 74,68           | 88,55 ab     |
| T2                 | 10       | 76,53±2,37           | 76,56           | 92,45 a      |
| T3                 | 10       | 59,22±2,30           | 59,33           | 63,95 bc     |
| T4                 | 10       | 59,49±2,05           | 59,90           | 65,90 bc     |
| T5                 | 10       | 56,01±2,58           | 55,63           | 44,95 cd     |
| T6                 | 10       | 56,41±3,84           | 56,30           | 49,40 cd     |
| T7                 | 10       | 54,12±4,44           | 55,33           | 38,05 de     |
| T8                 | 10       | 54,51±1,20           | 54,29           | 36,00 def    |

| Tratamiento | N  | Medias ± D.E. | Medianas | Ranks               |
|-------------|----|---------------|----------|---------------------|
| T9          | 10 | 48,31±4,09    | 48,37    | 14,95 <sup>ef</sup> |
| T10         | 10 | 47,39±1,81    | 47,96    | 10,80 <sup>f</sup>  |

*Nota.* Ranks con una letra común son estadísticamente iguales (Kruskal Wallis, H: 81,54, P<0.05). Autoría propia.

El diámetro del cuello de la raíz de T2 y T1 fue superior a lo expuesto por Santos (2019) en su estudio con tres inductores de crecimiento, donde reportó un valor máximo de 64,30 mm a la cosecha con aplicación de Biozyme, y con los presentados por Narváez (2012) en su estudio del efecto de tres abonaduras orgánicas en el cultivo de apio, donde obtuvo un diámetro del cuello de la raíz de 63,8 mm con la aplicación de compost.

Considerando que el cultivo hidropónico es más eficiente que el cultivo en suelo, se hace referencia a los resultados obtenidos por Maicua (2021) en su estudio comparativo de rendimiento de apio bajo un sistema de siembra convencional y acuapónico, alcanzando un diámetro del cuello de la raíz de 47,57mm, lo que se encuentra por debajo de la altura promedio obtenida de este estudio.

### **Número de pencas**

Los datos del número de pencas no están sujetas a la normalidad y homogeneidad, por lo que se utilizó la prueba para datos no paramétricos Kruskal - Wallis, donde se observó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (H=3,60, p=0,8698), se puede apreciar que las medias y medianas entre los tratamientos son similares, por lo que el análisis de varianza no arrojó una división entre los tratamientos como se observa en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Prueba de Kruskal - Wallis para el número de pencas al momento de la cosecha*

| Tratamiento | N  | Medias<br>D.E. | Medianas |
|-------------|----|----------------|----------|
| T1          | 10 | 7,30±0,48      | 7,00     |
| T2          | 10 | 7,60±0,52      | 8,00     |

| Tratamiento | N   | Medias<br>D.E. | Medianas |
|-------------|-----|----------------|----------|
| T3          | 10  | 7,60±0,52      | 8,00     |
| T4          | 10  | 7,50±0,53      | 7,50     |
| T5          | 10  | 7,60±0,52      | 8,00     |
| T6          | 10  | 7,40±0,84      | 8,00     |
| T7          | 10  | 7,30±0,48      | 7,00     |
| T8          | 10  | 7,40±0,52      | 7,00     |
| T9          | 10  | 7,60±0,52      | 8,00     |
| T10         | 10  | 7,20±1,03      | 8,00     |
| Promedio    | 100 | 7,45±0,61      | 8,00     |

*Nota.* No existe varianzas entre los tratamientos

(Kruskal Wallis, H: 3,60, P=0,8698). Autoría propia.

Este comportamiento en esta variable difirió en los resultados obtenidos por (Amores, 2015) cuyo autor obtuvo un cambio significativo de 6,75 a 8,65 pencas·planta<sup>-1</sup> bajo una fertilización con vermicompost y de Machaca (2007) con un incremento en el número de pencas de 5,6 a 8,4 pencas·planta<sup>-1</sup> bajo una fertilización de estiércol de ovino.

Por otro lado, Soza y Suazo (2022) no reportaron cambios en esta variable coincidiendo con los resultados de este estudio. Desde otra mirada, Wuang *et al.* (2016) reportó que la fertilización con espirulina no influyó en el número de hojas de hortalizas de acelga roja y rúcula.

### **Rendimiento en materia verde**

La prueba para datos heterogéneos Kruskal – Wallis mostró que T2 y T1 son estadísticamente iguales (H: 80,72, P<0.05), además de ser los tratamientos con mayor rendimiento proyectado en materia verde con respecto al resto de tratamientos, con 115 mil kg·ha<sup>-1</sup> y 105,3 mil kg·ha<sup>-1</sup> respectivamente. A la vez T1 es estadísticamente igual a T3 y T4 90,9 - 95,9 mil kg·ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos con los que se obtuvieron menor rendimiento proyectado en materia verde fueron T9 y T10 (testigos) con 58,4 y 60,0 mil kg·ha<sup>-1</sup> respectivamente como se puede observar en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Prueba de Kruskal - Wallis para el rendimiento en materia verde al momento de la cosecha*

| <b>Tratamiento</b> | <b>N</b> | <b>Medias D.E.</b> | <b>Medianas</b> | <b>Ranks</b> |
|--------------------|----------|--------------------|-----------------|--------------|
| T1                 | 10       | 105312±3519,03     | 106480,00       | 84,65 ab     |
| T2                 | 10       | 115000±7715,40     | 113000,00       | 94,20 a      |
| T3                 | 10       | 90912±8965,33      | 92240,00        | 60,15 bcd    |
| T4                 | 10       | 95952±7187,56      | 96800,00        | 68,75 bc     |
| T5                 | 10       | 81376±6837,57      | 81920,00        | 44,85cd      |
| T6                 | 10       | 86592±13748,58     | 89760,00        | 52,35 cd     |
| T7                 | 10       | 76672±3915,41      | 76240,00        | 36,00 de     |
| T8                 | 10       | 78240±11326,27     | 80000,00        | 39,55 d      |
| T9                 | 10       | 58432±11345,04     | 57280,00        | 12,70 e      |
| T10                | 10       | 60016±3949,15      | 58560,00        | 11,80 e      |

*Nota.* Ranks con una letra común son estadísticamente iguales (Kruskal Wallis, H: 80,72, P<0.05). Autoría propia.

Los rendimientos obtenidos en T1 y T2 fueron mayores a los reportados por Sánchez (2013) en su estudio con fertilizantes orgánicos, donde alcanzó 26,9 mil kg·ha<sup>-1</sup> bajo una fertilización de Humus de lombriz, a los reportados por Carrillos (2002), donde obtuvo un rendimiento de 77,3 mil kg·ha<sup>-1</sup> y de Santos (2019) con un rendimiento de 63,2 mil kg·ha<sup>-1</sup> con aplicación de Aminofol. Quispe (2019) reportó un rendimiento de 130 mil kg·ha<sup>-1</sup> con una fertilización de té de poliniza.

Por otro lado, Nguemezi *et al.* (2015) en su estudio con fertilización foliar con espirulina en tomate obtuvo un aumento significativo en la altura de la planta, diámetro del tallo y la biomasa hasta un 19%, 32,96% y 43,45 % respectivamente.

### **Índice de área foliar (IAF)**

Al no cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad se utilizó la prueba para datos no paramétricos Kruskal – Wallis (H: 47,16, P<0.05). En la tabla 17 se detalla las medias ± desviación estándar, medianas y rangos de cada uno de los tratamientos, donde se observa

que el tratamiento con mayor IAF es T2 con 10,97 el cual no tiene diferencias significativas con T1, T4 y T3 con 10,46; 8,58 y 8,46 respectivamente.

El tratamiento con menor área foliar fue T10 con 4,32 el cual no presenta diferencias significativas con T8, T7 y T9 con 6,36; 6,21 y 4,36 respectivamente.

**Tabla 17**

*Prueba de Kruskal - Wallis para el área foliar al momento de la cosecha*

| Tratamiento | N  | Medias D.E. | Medianas | Ranks                |
|-------------|----|-------------|----------|----------------------|
| T1          | 10 | 10,47±0,12  | 10,46    | 44,80 <sup>a</sup>   |
| T2          | 10 | 10,76±0,58  | 10,97    | 46,20 <sup>a</sup>   |
| T3          | 10 | 8,46±0,21   | 8,52     | 34,80 <sup>abc</sup> |
| T4          | 10 | 8,58±0,26   | 8,68     | 36,00 <sup>ab</sup>  |
| T5          | 10 | 7,27±0,34   | 7,16     | 25,00 <sup>bcd</sup> |
| T6          | 10 | 7,35±0,20   | 7,42     | 26,00 <sup>bcd</sup> |
| T7          | 10 | 6,21±0,12   | 6,29     | 13,60 <sup>de</sup>  |
| T8          | 10 | 6,36±0,08   | 6,36     | 17,40 <sup>cde</sup> |
| T9          | 10 | 4,36±0,23   | 4,36     | 6,00 <sup>de</sup>   |
| T10         | 10 | 4,32±0,52   | 4,32     | 5,00 <sup>de</sup>   |

*Nota.* Ranks con una letra común son estadísticamente iguales (Kruskal Wallis, H: 47,16, P<0.05). Autoría propia.

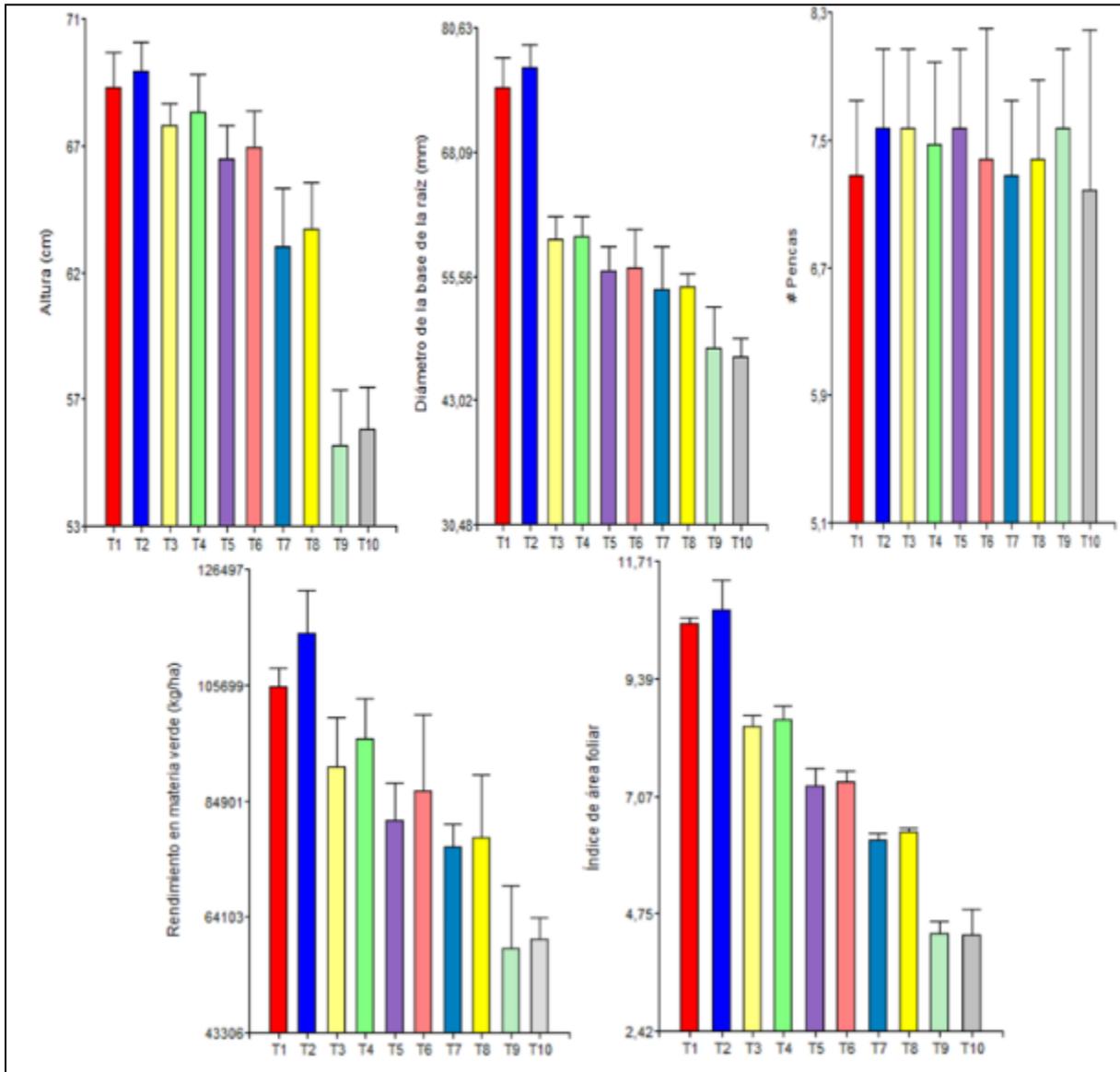
Sánchez *et al.* (2002) en su estudio de crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes del apio con fertirrigación alcanzó un índice de área foliar máxima de 8,6 lo cual es inferior a la alcanzada en el presente estudio.

Desde otro punto de vista, Alves *et al.* (2016) en su estudio de fertilización de berenjena con espirulina aumentó el crecimiento vegetativo del cultivo y consecuentemente su área foliar.

La figura 14 nos muestra los gráficos de barras de altura (cm), diámetro de la base de la raíz (mm), número de pencas, rendimiento en materia verde ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y área foliar ( $\text{cm}^2$ ) en donde se puede observar las diferencias y similitudes de cada uno de los tratamientos.

**Figura 14**

Gráficos de barras de altura, número de pencas, diámetro de la base de la raíz, rendimiento en materia verde y área foliar.



Nota. Las barras nos muestran de manera visual las diferencias de las variables (altura, diámetro de la base de la raíz, número de pencas, área foliar y rendimiento en materia verde) entre los tratamientos. Autoría propia.

### **Análisis bromatológico**

La tabla 18, muestra los resultados del análisis bromatológico de los tallos de apio, donde podemos observar que el tratamiento T2 con 100 % de espirulina cada 15 días tuvo mayor contenido de ceniza, proteína y fibra con respecto a los testigos (T9 y T10). El porcentaje de grasa fue similar entre los tratamientos.

González *et al.* (2021) citó a Trowel (1992), el cual define la fibra dietética (FD) como el residuo del tejido vegetal al final de la digestión humana, con un contenido de celulosa, ligninas y pentosas. De igual forma, define a la fibra cruda como la porción de carbohidratos que resiste a la extracción por ebullición con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio. Señala además que la FD es diferente a la fibra cruda, sin embargo, pueden emplearse como una medida similar.

**Tabla 18**

*Análisis bromatológico de los tallos de apio de cada tratamiento*

| <b>Tratamientos</b> | <b>%CENIZA</b>      | <b>%PROTEÍNA</b>    | <b>%GRASA</b>       | <b>%FIBRA</b>        |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| T1                  | 2,656 <sup>a</sup>  | 0,283 <sup>a</sup>  | 0,176 <sup>a</sup>  | 2,777 <sup>a</sup>   |
| T2                  | 2,680 <sup>a</sup>  | 0,291 <sup>a</sup>  | 0,172 <sup>a</sup>  | 2,808 <sup>a</sup>   |
| T3                  | 2,481 <sup>ab</sup> | 0,275 <sup>a</sup>  | 0,173 <sup>a</sup>  | 2,481 <sup>b</sup>   |
| T4                  | 2,517 <sup>ab</sup> | 0,271 <sup>a</sup>  | 0,174 <sup>a</sup>  | 2,698 <sup>b</sup>   |
| T5                  | 2,399 <sup>b</sup>  | 0,180 <sup>bc</sup> | 0,1717 <sup>a</sup> | 2,482 <sup>b</sup>   |
| T6                  | 2,586 <sup>ab</sup> | 0,199 <sup>bc</sup> | 0,172 <sup>a</sup>  | 2,428 <sup>bc</sup>  |
| T7                  | 2,315 <sup>bc</sup> | 0,151 <sup>cd</sup> | 0,171 <sup>a</sup>  | 1,899 <sup>cde</sup> |
| T8                  | 2,312 <sup>bc</sup> | 0,154 <sup>cd</sup> | 0,178 <sup>a</sup>  | 1,992 <sup>bcd</sup> |
| T9                  | 1,991 <sup>c</sup>  | 0,149 <sup>cd</sup> | 0,174 <sup>a</sup>  | 1,230 <sup>e</sup>   |
| T10                 | 2,019 <sup>c</sup>  | 0,144 <sup>d</sup>  | 0,172 <sup>a</sup>  | 1,277 <sup>de</sup>  |

*Nota.* Porcentaje de ceniza, proteína, grasa y fibra de tallos de apio.

Autoría propia

El Instituto de Capacitación Profesional de Chile (INCAP, 2012), expone un contenido de ceniza, proteína, grasa y fibra dietética de 0,75 %, 0,69 %, 0,17% y 1,60 % respectivamente para tallos de apio y (FDC, 2022) menciona un contenido de ceniza, proteína y grasa de 0,83%,

0,49% y 0,16% en su orden, y Adicionalmente Rodríguez y Rojas (2022) expone valores de ceniza, proteína y fibra dietética de 1,9 % 0,5 % y 4,7 % respectivamente, en tallos de apio.

El contenido de ceniza es mayor a los presentados por INCAP (2012), FDC (2022) y Rodríguez y Rojas (2022), por otro lado, el porcentaje de proteína es menor a los presentados por los mismos autores. Márquez (2014) menciona que el contenido de cenizas en los alimentos es un indicador del contenido total de minerales y materia orgánica,

El porcentaje de fibra es mayor a los presentados por INCAP (2012) e inferior a los presentados por Rodríguez y Rojas (2022) y finalmente el porcentaje de grasa fue similar a los diferentes estudios.

### **Gráficos de interacción**

En la tabla 19 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento en materia verde, donde se observa que existe diferencias significativas para el factor de espirulina, sin embargo, no hay diferencias significativas para el factor de frecuencia y la interacción Espirulina\*Frecuencia.

**Tabla 19**

*Análisis de varianza para altura de la planta*

|                       | <b>SC</b> | <b>gl</b> | <b>CM</b>  | <b>H</b>   | <b>p-valor</b> | <b>sig</b> |
|-----------------------|-----------|-----------|------------|------------|----------------|------------|
| Espirulina            | 66767,125 | 4         |            | 79,3491798 | 2,3926E-16     | *          |
| Frecuencia            | 800,89    | 1         |            | 0,9518152  | 0,32925768     | ns         |
| Espirulina*Frecuencia | 373,235   | 4         |            | 0,44356996 | 0,97875679     | ns         |
| Error                 | 15360,75  | 90        |            |            |                |            |
| Total                 | 83302     | 99        | 841,434343 |            |                |            |

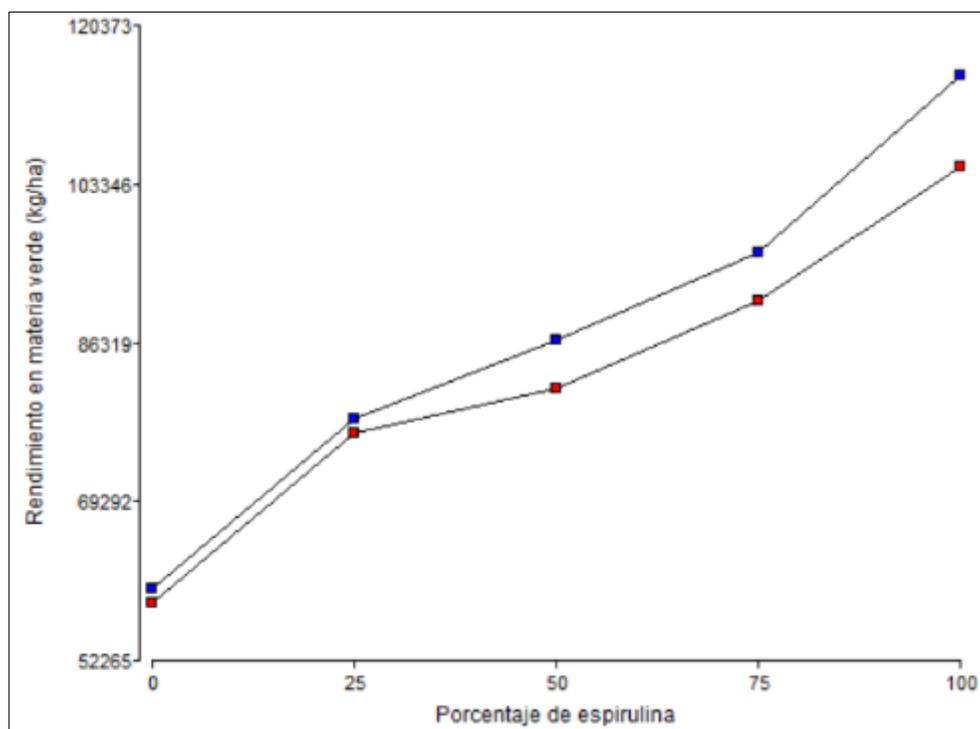
*Nota.* Significativo al 5% (\*), no significativo (ns). (Scheirer,  $p > 0.05$ ). Autoría propia.

La figura 15 nos muestra un efecto positivo con respecto al porcentaje de espirulina, por lo que a mayor porcentaje de espirulina mayor rendimiento de materia verde. Como se puede corroborar con la tabla 16, en donde se observa que los tratamientos T2 y T1 que corresponden a una aplicación foliar de 100% de espirulina cada 15 y 8 días, obtuvieron el

mayor rendimiento en materia verde con 115 mil  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y 105,3 mil  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  respectivamente. Al contrario, con T9 y T10 que corresponden a una aplicación foliar de espirulina al 0%, con los cuales se obtuvieron los rendimientos más bajos con 58,4 mil  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y 60 mil  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  respectivamente.

### Figura 15

*Interacción del porcentaje de espirulina con el rendimiento de materia verde del apio.*



Nota. Porcentaje de espirulina (0%, 25%, 50%, 75%, 100%); Frecuencia de aplicación (8 días, 15 días). Autoría propia

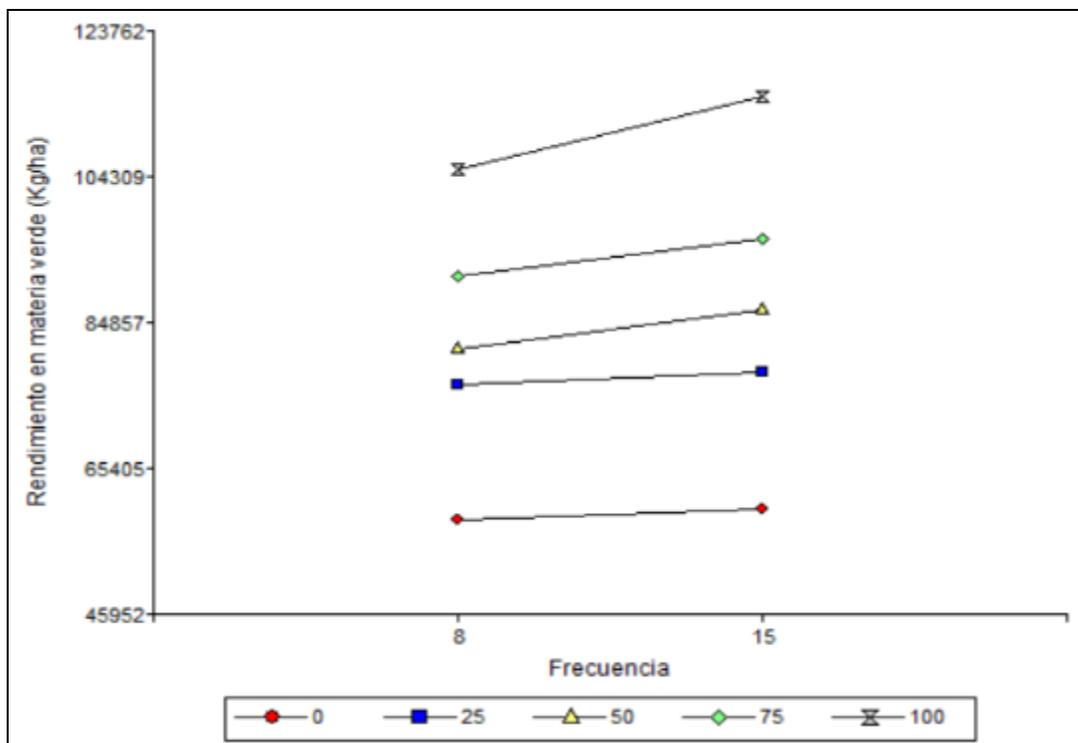
El efecto positivo en el rendimiento de un cultivo según la concentración de espirulina concuerda con los resultados obtenidos por Vivanco (2022) donde obtuvo el mayor rendimiento del cultivo de pepino bajo una biofertilización foliar con espirulina en el tratamiento de mayor concentración. Coincidiendo con Moursy *et al.* (2019) donde obtuvo un mayor rendimiento de maíz con el biofertilizante con mayor concentración de espirulina, llegando a ser similar con una fertilización nitrogenada.

El efecto favorecedor de la espirulina se sustenta con numerosos estudios, donde se ha demostrado que la espirulina aviva el sistema inmune de las plantas, aumenta su tolerancia al estrés ambiental, la resistencia a enfermedades, la producción del cultivo y la calidad del mismo a pesar de que la espirulina tiene un contenido inferior de NPK que diferentes fertilizantes químicos, sin embargo, posee un mayor contenido de Ca, Fe, Mn, Zn y Se, los cuales moderan la nutrición vegetal (López *et al.*, 2020).

Con respecto al efecto de la frecuencia para el rendimiento del cultivo, se observa que no existe interacción entre los tratamientos con diferente frecuencia de aplicación, ya que se puede observar que las rectas del gráfico son similares como nos muestra la figura 16, donde los rendimientos obtenidos de un tratamiento bajo diferentes frecuencias de biofertilización son similares, como se puede corroborar en la tabla 16.

**Figura 16**

*Interacción de la frecuencia de aplicación con el rendimiento de materia verde del apio.*



Nota. Frecuencia de aplicación (8 días, 15 días); Porcentaje de espirulina (0%, 25%, 50%, 75%, 100%). Autoría propia.

La fertilización con extractos algales ha ganado importancia a lo largo del tiempo, siendo utilizadas diferentes especies, en cuyos estudios se puede evidenciar el efecto en la producción de los cultivos y en la frecuencia de aplicación como en el estudio de Muñoz y Tipán (2020) donde reportó una diferencia significativa en la frecuencia de aplicación, obteniendo un mayor rendimiento a una mayor frecuencia. Esto obedece a un mayor aporte nutricional en un mismo intervalo de tiempo. Por el contrario, Calvachi (2022) aplicó un extracto algal en diferentes frecuencias sin presentar cambios significativos en este factor al igual que en el presente estudio.

Esto puede deberse a la técnica de aplicación del fertilizante y el estrés mecánico ejercido en las plantas en este proceso.

Adicionalmente, es importante mencionar que la fertilización foliar tiene sus limitaciones. Las Industrias Agrícolas Unidas (IAUSA, 2016) menciona que, así como beneficia a las plantas, las altas concentraciones de nutrientes por las frecuentes aplicaciones pueden causar fitotoxicidad, pues el agua se evapora y las sales persisten en las hojas, por lo que recomienda una mayor frecuencia de aplicación en dosis más bajas, no obstante, es poco operativo y elevan los costos de producción.

## **Desarrollo de peces en el sistema acuapónico**

### ***Parámetros morfométricos***

La tabla 20 nos muestra la media y desviación estándar de las variables morfométricas tales como: peso, longitud total, longitud parcial y ancho de las truchas en el transcurso de 110 días que duró el experimento. La cosecha se realizó cuando el peso promedio de las truchas alcanzó 250 g, peso mínimo sugerido por el Instituto Nacional de Pesca (2018) para la comercialización de la trucha, la cual corresponde a una talla promedio aproximada de 30 cm.

El peso promedio inicial de las truchas en el día 0 de piscina 1 (P1) y piscina 2 (P2) fue de 148,59 g y 150,31 g respectivamente, el peso promedio final alcanzado después de 110

días fue de 248,91 y 251,16 g respectivamente, lo que nos muestra una ganancia de peso de 100,32 g para P1 y 100,85 g para P2.

Los peces de P1 tuvieron un aumento de 3,64 cm en su longitud total, iniciando con 24,01 cm y finalizando después de 110 días con 28,04 cm, mientras que P2 tuvo un aumento de 2,87 cm, iniciando con 25,05 y finalizando con 27,92 cm.

Con respecto a la longitud parcial, inicialmente para P1 fue de 19,66 cm y al término del experimento alcanzó 23,03 cm, mientras que para P2 la longitud parcial inicial fue de 19,87 llegando hasta 23,54 cm, aumentando 3,37 cm en P1 y 3,67 para P2.

El ancho promedio inicial de P1 y P2 en el día 0 fue de 4,79 y 4,74 cm respectivamente, alcanzando un ancho final promedio de 5,75 cm para P1 y 5,77 cm para P2 al término de 110 días.

El peso y longitud total obtenidos son proporcionales a lo obtenido por Morales (2019) en el cultivo de truchas de engorde bajo invernadero, con un aumento en el peso total de 86,72 g y longitud de 3,30 cm al momento de la cosecha, los valores obtenidos en el presente estudio son superiores debido al tiempo del estudio.

**Tabla 20**

*Promedio  $\pm$  desviación estándar de los parámetros morfométricos de truchas*

| <b>Piscina</b> | <b>Día</b> | <b>Peso<br/>(g)</b> | <b>Longitud<br/>total (cm)</b> | <b>Longitud<br/>parcial (cm)</b> | <b>Ancho<br/>(cm)</b> |
|----------------|------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| P1             | 0          | 148,59 $\pm$ 4,89   | 24,01 $\pm$ 1,19               | 19,66 $\pm$ 1,24                 | 4,79 $\pm$ 0,33       |
|                | 10         | 152,06 $\pm$ 5,46   | 24,58 $\pm$ 1,17               | 20,08 $\pm$ 1,23                 | 4,99 $\pm$ 0,34       |
|                | 20         | 157,03 $\pm$ 5,14   | 24,71 $\pm$ 1,37               | 20,19 $\pm$ 1,32                 | 5,05 $\pm$ 0,32       |
|                | 30         | 164,10 $\pm$ 5,02   | 25,15 $\pm$ 1,18               | 20,22 $\pm$ 1,00                 | 5,12 $\pm$ 0,36       |
|                | 40         | 172,17 $\pm$ 6,08   | 25,37 $\pm$ 1,53               | 20,30 $\pm$ 1,10                 | 5,16 $\pm$ 0,41       |
|                | 50         | 183,03 $\pm$ 7,43   | 24,85 $\pm$ 1,20               | 20,61 $\pm$ 1,18                 | 5,28 $\pm$ 0,37       |

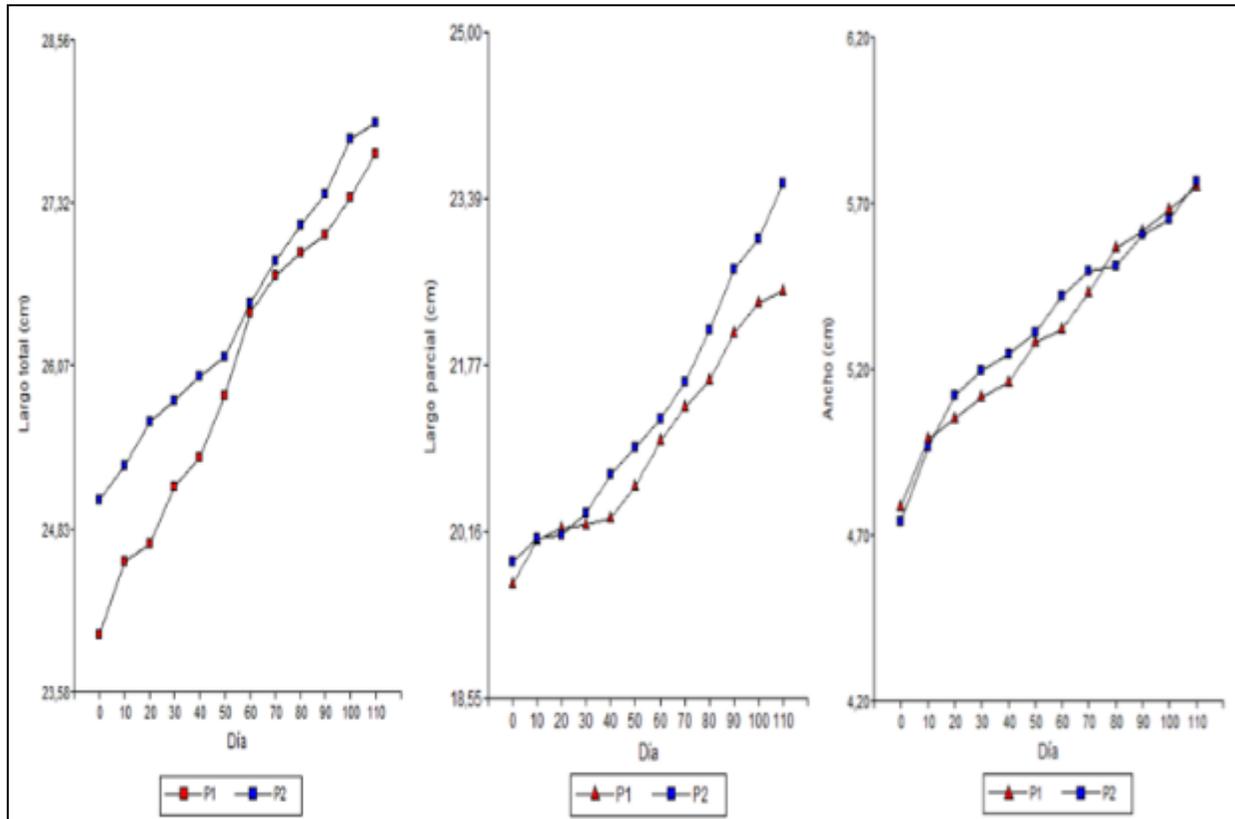
| Piscina | Día | Peso         | Longitud   | Longitud     | Ancho     |
|---------|-----|--------------|------------|--------------|-----------|
|         |     | (g)          | total (cm) | parcial (cm) | (cm)      |
|         | 60  | 195,48±8,79  | 26,48±1,19 | 21,03±1,19   | 5,32±0,38 |
|         | 70  | 207,66±9,12  | 26,76±1,72 | 21,36±1,35   | 5,43±0,37 |
|         | 80  | 216,62±10,0  | 26,94±1,66 | 21,63±1,23   | 5,57±0,32 |
|         | 90  | 226,41±10,79 | 27,07±1,53 | 22,08±1,27   | 5,62±0,34 |
|         | 100 | 237,14±12,08 | 27,36±1,38 | 22,38±1,33   | 5,68±0,36 |
|         | 110 | 248,91±10,56 | 27,69±1,49 | 23,03±1,31   | 5,75±0,29 |
|         | 0   | 150,31±4,24  | 25,05±1,20 | 19,87±1,24   | 4,74±0,29 |
|         | 10  | 153,27±4,91  | 25,31±1,21 | 20,09±1,26   | 4,97±0,32 |
|         | 20  | 160,03±4,53  | 25,65±1,28 | 20,12±0,91   | 5,12±0,35 |
|         | 30  | 167,10±5,08  | 25,80±1,52 | 20,33±1,25   | 5,20±0,30 |
|         | 40  | 175,51±5,21  | 25,99±1,28 | 20,71±1,21   | 5,24±0,37 |
| P2      | 50  | 186,41±6,33  | 26,14±1,55 | 20,97±1,37   | 5,31±0,41 |
|         | 60  | 197,03±6,83  | 26,55±1,43 | 21,25±1,43   | 5,42±0,39 |
|         | 70  | 207,55±9,25  | 26,88±1,14 | 21,60±0,97   | 5,50±0,28 |
|         | 80  | 216,55±10,37 | 27,14±1,90 | 22,12±1,48   | 5,51±0,36 |
|         | 90  | 227,17±11,20 | 27,39±1,22 | 22,70±1,89   | 5,61±0,47 |
|         | 100 | 238,07±11,87 | 27,81±1,37 | 23,00±1,54   | 5,65±0,37 |
|         | 110 | 251,16±10,42 | 27,92±2,49 | 23,54±1,53   | 5,77±0,44 |

*Nota.* Peso, longitud total, longitud parcial y peso cada 10 días. Autoría propia.

En la figura 17 podemos observar las gráficas de variación del largo total, largo parcial y ancho de la trucha arco iris durante el estudio.

**Figura 17**

*Curvas de crecimiento de parámetros morfométricos de trucha arco iris*



*Nota.* Curvas de crecimiento de largo total, largo parcial y ancho de trucha arco iris de P1 y P2. Autoría propia.

**Parámetros productivos**

**Incremento de la biomasa animal de trucha arco iris**

En la tabla 21 se presenta la biomasa de P1 y P2, las cuales presentaron un incremento de 67,52 % y 67,09 % respectivamente, iniciando con 29,72 y 30,06 Kg hasta llegar a una biomasa final de 49,78 Kg para P1 y 50,233 Kg para P2.

**Tabla 21**

*Aumento de biomasa y porcentaje de crecimiento durante 110 días.*

|           | <b>Días</b> | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>BT(P1+P2)</b> | <b>% incremento</b> |
|-----------|-------------|-----------|-----------|------------------|---------------------|
| <b>BI</b> | D0          | 29,72     | 30,06     | 59,78            | -                   |
|           | D10         | 30,41     | 30,65     | 61,07            | 2,15                |
|           | D20         | 31,41     | 32,01     | 63,41            | 6,08                |
|           | D30         | 32,82     | 33,42     | 66,24            | 10,81               |
|           | D40         | 34,43     | 35,10     | 69,54            | 16,32               |
|           | D50         | 36,61     | 37,28     | 73,89            | 23,60               |
|           | D60         | 39,10     | 39,41     | 78,50            | 31,32               |
|           | D70         | 41,53     | 41,51     | 83,04            | 38,91               |
|           | D80         | 43,32     | 43,31     | 86,63            | 44,92               |
|           | D90         | 45,28     | 45,43     | 90,72            | 51,75               |
|           | D100        | 47,43     | 47,61     | 95,04            | 58,99               |
| <b>BF</b> | D110        | 49,78     | 50,23     | 100,01           | 67,31               |

*Nota.* Biomasa inicial (BI); Biomasa final (BF), piscina 1 (P1), piscina 2 (P2), Biomasa total (BT), porcentaje de crecimiento (% Crecimiento). Autoría propia.

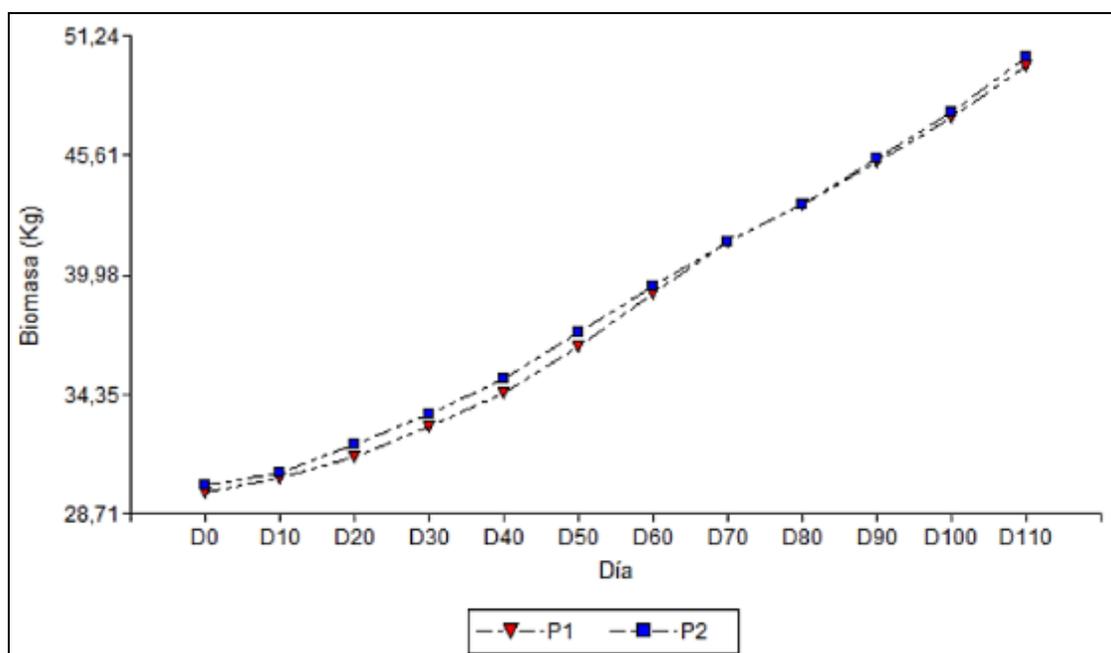
El porcentaje de aumento de biomasa promedio fue de 67,31 %, lo que es similar a los obtenidos por Muñoz y Tipán (2020), donde alcanzó un incremento de 63 % y 77% en truchas de engorde e inferior a los obtenidos por Calvachi (2022) donde obtuvo un incremento de biomasa promedio de 48,74 a los 30 días.

Paye (2022) en su sistema acuapónico de raíz flotante con lechuga, reportó un porcentaje de incremento de biomasa de 30,28 % a los 60 días, cuyo valor es similar al obtenido en el presente estudio con 31,32 % en el mismo intervalo de tiempo.

En la figura 18 se puede observar el incremento de biomasa cada 10 días hasta finalizar el experimento, se puede percibir que la curva de crecimiento es constante y similar entre P1 y P2.

**Figura 18**

*Curva de crecimiento de biomasa animal de trucha arco iris*



*Nota.* Incremento de biomasa animal a lo largo de 110 días de P1 y P2. Autoría propia.

A lo largo de los 110 días del estudio, en P1 se obtuvieron valores promedios de GP de 0,90 gr·día<sup>-1</sup>, TCE de 0,45%·día<sup>-1</sup>, FCA de 2,68, EA 41,52%, ICC de 1,08 y un porcentaje de mortalidad de 0,56%. Para P2 se obtuvieron valores de GP de 0,96 g·día<sup>-1</sup>, TCE de 0,46%·día<sup>-1</sup>, FCA de 2,51, EA 43,31%, ICC de 1,04 y un porcentaje de mortalidad de 0,83%. Los parámetros productivos promedios fueron de GP: 0,93 g·día<sup>-1</sup>, TCE: 1,45 %·día<sup>-1</sup>, FCA: 2,59, EA: 42,42 %, ICC: 1,06 y Porcentaje de mortalidad: 0,69 %.

**Tabla 22**

*Media ± desviación estándar de los parámetros productivos de la trucha*

|           | <b>Piscina</b> | <b>GP(g·día<sup>-1</sup>)</b> | <b>TCE(%·día<sup>-1</sup>)</b> | <b>FCA</b> | <b>EA (%)</b> | <b>ICC</b> | <b>Mortalidad</b> |
|-----------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|------------|---------------|------------|-------------------|
| <b>P1</b> | Media          | 0,90± 0,29                    | 0,45±0,13                      | 2,68±1,01  | 41,52±12,79   | 1,08±0,06  | 0,56±1,30         |
|           | Mín            | 0,35                          | 0,23                           | 1,59       | 19,69         | 1,02       | 0                 |
|           | Max            | 1,24                          | 0,66                           | 5,08       | 62,97         | 1,22       | 3,33              |
| <b>P2</b> | Media          | 0,96±0,29                     | 0,46±0,11                      | 2,51±1,00  | 43,31±10,30   | 1,04±0,07  | 0,83±2,07         |

| <b>Piscina</b>  | <b>GP(g·día<sup>-1</sup>)</b> | <b>TCE(%·día<sup>-1</sup>)</b> | <b>FCA</b> | <b>EA (%)</b> | <b>ICC</b> | <b>Mortalidad</b> |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|------------|---------------|------------|-------------------|
| Mín             | 0,3                           | 0,19                           | 1,74       | 18,23         | 0,95       | 0                 |
| Max             | 1,38                          | 0,6                            | 5,49       | 57,49         | 1,15       | 6,67              |
| <b>Promedio</b> | 0,93±0,29                     | 0,45±0,12                      | 2,59±0,99  | 42,42±11,40   | 1,06±0,07  | 0,69±1,70         |

*Nota.* Valores GP: ganancia de peso; TCE: tasa de crecimiento específico; FCA: factor de conversión alimenticia; ICC: Índice de condición corporal; EA: eficiencia alimenticia. Autoría propia.

El estudio realizado por Crespo (2018) en truchas de engorde, obtuvo parámetros productivos promedios de FCA: 2,27, EA: 53,67 %, ICC: 1,13, TCE: 0,8 %·día<sup>-1</sup>, GP: 1,14 g·día<sup>-1</sup>. Se puede observar una similitud en el FCA con 2,59 y valores inferiores en EA, ICC, TCE y GP con 42,42 %, 1,06, 0,45 %·día<sup>-1</sup> y 0,93 g·día<sup>-1</sup>. Además, la TCE es inferior a los reportados por Perdomo *et al.* (2013) con un valor de 1,68 %·día<sup>-1</sup>. Con respecto al ICC, es similar al obtenido por Morales y Quirós (2007) de 1,11.

El bajo porcentaje de mortalidad concuerda con los resultados obtenidos por Morales (2019) en donde tuvo una mortalidad máxima de 1% en cultivo de truchas bajo invernadero, sin embargo, difiere en el FCA: 1,63, siendo este más bajo en su estudio.

Un FCA de 2,59 es considerado muy alto según Yapuchura *et al.* (2018) quienes establecen un FCA aceptable en la producción de trucha arco iris de 1 a 1,1, considerando que el valor más bajo de FCA es el más eficiente. Adicionalmente, Zafra *et al.* (2019) menciona que la EA se considera efectiva, cuando sus valores superan el 50 %. El bajo porcentaje de mortalidad de los peces nos sugiere que el proceso de nitrificación del sistema acuapónico está equilibrado. Sin embargo, hay que tomar en cuenta el recambio de agua de las piscinas.

Los parámetros productivos obtenidos en este estudio pueden deberse a factores tales como: genética utilizada para los ensayos, manejo de los peces tales como el tipo e intervalo de suministro de alimento, considerando que el número de raciones de alimento por día incide

directamente en los parámetros productivos de la trucha, ya que en los estudios comparativos suministran el alimento con mayor frecuencia.

Adicionalmente, se debe considerar que los factores climáticos del área de estudio no fueron favorables para el manejo del sistema, ya que el agua que ingresaba en las piscinas en los días con fuertes lluvias tenía un grado considerable de turbidez, por lo que se debía interrumpir el suministro de alimento, pues este se precipita al fondo de la piscina, lo que significa un desperdicio de alimento. Según Gómez y Samboni (2003) un aumento de materia orgánica (MO) en el agua, disminuye los niveles de oxígeno, pues la descomposición de MO es un proceso aerobio, por lo que usa oxígeno y produce dióxido de carbono.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- Los procesos de nitrificación del sistema acuapónico haciendo uso del complejo bacteriano fueron eficientes para la reducción de compuestos nitrogenados tóxicos para los peces, disminuyendo la concentración de nitritos y amonio/amoniaco hasta  $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de y  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente.
- La temperatura por debajo de  $17^{\circ}\text{C}$  dentro del biofiltro afectó la producción de nitratos, alcanzando una concentración máxima de  $4,88 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , lo cual no cubre los requerimientos nutricionales del cultivo de apio.
- La fertilización vía foliar con espirulina compensó la baja disponibilidad de nutrientes dentro del sistema acuapónico, de modo que el cultivo no presentó síntomas de deficiencias nutricionales.
- La fertilización foliar de apio con espirulina no afectó el número de pencas por planta, pero la concentración de espirulina al 100% aumentó la productividad del cultivo, siendo los tratamientos T1 (Espirulina al 100% cada 8 días) y T2 (Espirulina al 100% cada 15 días) los que presentaron un mayor desempeño con respecto al resto, con una altura de la planta a la cosecha de 67,80 cm y 69,30 cm respectivamente, diámetro del cuello de la raíz de 74,54 mm para T1 y 76,53 mm para T2 y un rendimiento en materia verde de  $105,3 \text{ mil kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para T1 y  $115 \text{ mil kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para T2, mientras que el índice de área foliar fue similar entre T1, T2, T3 y T4 con un promedio de 10,47, 10,76, 8,46 y 8,58 respectivamente.
- Las condiciones climáticas poco favorables en el área de estudio afectaron los parámetros productivos de la trucha arco iris, presentando valores no aceptables dentro de la producción, con un promedio de GP:  $0,93 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ , TCE: 0,45 %, FCA: 2,59 y una EA de 42,42 %.

- Los bajos niveles de componentes nitrogenados tóxicos del agua dentro del sistema acuapónico mantuvieron un porcentaje de mortalidad baja de 0,69 %.

### **Recomendaciones**

- Debido a que en el estudio realizado T1 y T2 fueron los tratamientos con mayor producción del cultivo y no se evidenció diferencias entre estos, es recomendable utilizar el biofertilizante al 100 % cada 15 días ya que es el que genera menos uso de recursos y consecuentemente menor inversión económica.
- Realizar análisis de factibilidad económico y financiero del uso de espirulina como biofertilizante en un sistema acuapónico para la toma de decisiones en torno a la rentabilidad económica.
- Evaluar diferentes dietas en trucha arco iris que mejoren la disponibilidad de nutrientes dentro del sistema acuapónico en general.
- Realizar estudios comparativos de fertilización con espirulina a nivel radicular siguiendo el mismo protocolo.

## Bibliografía

- Agroecológica, A. (2006). *Manual básico de agricultura ecológica* [Archivo PDF].  
<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollorural/areas/produccion-ecologica/agricultura-ecologica/paginas/agricultura-ecologica-manual-basico.html>
- Aguilar, L., Escalante, J., Fucikovsky, L., Tijerina, L., y Engleman, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población de girasol. *Revista Terra Latinoamericana*, 23(3), 303–310. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311101001.pdf>
- Albuja, R., Araujo, P., y López, A. (2011). *Obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de Spirulina platensis, mediante degradación anaerobia*.  
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5015/2/T-ESPE-033046-A.pdf>
- Alves, G., Rocha, C., Lopes, J., Franciraldo, J., y Alves, W. (2016). Growth, yield, and postharvest quality in eggplant produced under different foliar fertilizer (*Spirulina platensis*) treatments. *Revista Ciencias Agrarias*, 37(6), 3893–3901.  
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p3893>
- Amores, A. (2015). *Comportamiento agronómico de las hortalizas de hoja cilantro y apio con dos fertilizantes orgánicos en el centro experimental* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3517>
- Andrade, J. (2021). *Análisis de sistemas de almacenamiento para brócoli (*Brassica oleraceae*) y apio (*Apium graveolens*) en centros de distribución del cantón Ambato* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7906/1/TESIS%20FINAL%20Juan%20Carlos%20Andrade.pdf>
- Arce, M. (2009). Normal climática y distribución de la precipitación de la hacienda El Prado-IASA. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 8(4-5).  
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1422>

- Arteaga, A. (2022). *Efecto de sustancias minerales altamente diluidas aplicadas al cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) en un sistema hidropónico* [Proyecto de investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6662>
- Batallas, M. (2018). *Evaluar la suplementación con polen en alevines de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) medidos a través del peso y talla* [Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15658>
- Bejo. (15 de mayo de 2023). *Premio Bejo Guatemala*. Bejo. Recuperado el 12 de diciembre de 2022 de <https://www.bejogt.com/apio/premio>
- Beltrano, J., y Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Universidad Nacional de la Plata.  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- Bocek, A. (2007). *Acuicultura* [Archivo PDF]. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/60-acuicultura.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/60-acuicultura.pdf)
- Calvachi, K. (2022). *Evaluación de un sistema acuapónico para girasol (*Helianthus annuus* L.) Var. Vincent Choice y su estimulación mediante fertilización foliar con *Chlorella* sp. Biotipo III* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/35899/IASA%20I-TT-0030.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Candarle, P. (2018). *Técnicas de acuaponía* [Archivo PDF].  
[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/\\_archivos//000000\\_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831\\_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf)
- Carrillos, C. (2002). *Evaluación de tres densidades y dos arreglos espaciales en producción orgánica hidropónica de apio* [Tesis, Universidad de El Salvador].  
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1560/1/13100385.pdf>

Chamorro, E., Morillo, M., Burbano, E., Casanoba, D., Mejia, E., Pecillo, E., Zamora, D., Angulo, G., y Sanchez, I. (2011). Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema de recirculación acuícola. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción*, 6(6).

<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1515>

Choque, D. (2021). *Evaluación de dos variedades de apio (*Apium graveolens* L.) en tres densidades de trasplante en sistema hidropónico (NFT), en el Centro Experimental de Cota* [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés].

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25766/T-2855.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Comisión Administradora del Mercado Modelo [CAMM]. (2002). *Manual de procedimientos y referencias técnicas para la tipificación de la calidad de frutas y hortalizas frescas* [Archivo PDF].

[https://www.uam.com.uy/images/DESARROLLO\\_COMERCIAL/Informacion\\_tecnica/Manual\\_de\\_procedimientos\\_y\\_referencias\\_t%C3%A9cnicas\\_para\\_la\\_tipificaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_frutas\\_y\\_hortalizas\\_frescas.pdf](https://www.uam.com.uy/images/DESARROLLO_COMERCIAL/Informacion_tecnica/Manual_de_procedimientos_y_referencias_t%C3%A9cnicas_para_la_tipificaci%C3%B3n_de_la_calidad_de_frutas_y_hortalizas_frescas.pdf)

Córdova, J. (2019). Valoración de dos sistemas acuapónicos de cultivo de fresa y su estimulación mediante bio productos algales [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15729/1/T-IASA%20I-005481.pdf>

Crespo, C. (2018). *Evaluación de buclizina en la estimulación del apetito de trucha arco iris en etapa de engorde* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14638/T-IASA%20I-005453.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Data México. (8 de diciembre de 2022). *Apio, Fresco o Refrigerado (Exc. Apionabo): Intercambio comercial, compras y ventas internacionales, mercado y especialización*.  
Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/celery-fresh-or-chilled-exc-celeriac>
- El Universo. (22 de marzo de 2020). *Estos son los beneficios de consumir apio para la salud*. El Universo. El mayor diario nacional.  
<https://www.eluniverso.com/larevista/2020/03/21/nota/7790586/beneficios-consumir-apio-salud/>
- Enríquez, P. (2015). *Evaluación agronómica y productiva de dos variedades de apio (Apium graveolens) con tres tipos de abono orgánico en la parroquia de Pifo, provincia de Pichincha* [Tesis de grado, Universidad Estatal de Bolívar].  
[https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UEB\\_e30a82208b11663db6da4fd63bfb539b](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UEB_e30a82208b11663db6da4fd63bfb539b)
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2009). *Oncorhynchus mykiss*. Cultured aquatic species fact sheets.  
[https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es\\_rainbowtrout.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rainbowtrout.htm)
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2015). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030: Perspectivas para el medio ambiente*.  
<https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2022). *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas*. <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Food Data Central [FDC]. (2019). *Seaweed, spirulina, raw*. U. S. Departamento of Agriculture. Recuperado el 12 de mayo de 2023 de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170091/nutrients>

- Food Data Central [FDC]. (2022). *Celery, raw*. U. S. Departamento of Agriculture. Recuperado el 12 de mayo de 2023 de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2346405/nutrients>
- Gallego, I., y García, D. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(1), 81–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-06>
- Gamboa, S. (2022). *Cultivo y manejo del apio* [Archivo PDF]. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/115507/mod\\_folder/content/0/APIO2022.pdf?forcedownload=1](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/115507/mod_folder/content/0/APIO2022.pdf?forcedownload=1)
- Gobierno regional Cajamarca. (13 de febrero de 2022). *Gobierno Regional asesora emprendimiento de producción de truchas y vegetales en Otuzco*. Gob. Pe. <https://www.gob.pe/institucion/regioncajamarca/noticias/583286-gobierno-regional-asesora-emprendimiento-de-produccion-de-truchas-y-vegetales-en-otuzco>
- Gomez, L., y Samboni, R. (2003). *Formulación y preparación de un concentrado para trucha arco iris a partir de harina de lombriz roja de californiana y harina de chachafruto* [Trabajo de grado, Universidad del Cauca]. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/7197/Formulaci%C3%B3n%20y%20preparaci%C3%B3n%20de%20un%20concentrado%20para%20trucha%20arco%20iris.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes* [Archivo PDF]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf)
- González, P., Alanís, E., Delgado, L., y Cruz, N. (2021). Dietary fiber: history, definition and health effects. *Revista Educación y Salud*, 9(18), 187–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icsa.v9i18.6604>

- González-Pérez, B. K., Rivas-Castillo, A. M., Valdez-Calderón, A., y Gayosso-Morales, M. A. (2022). Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. *Revista World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(1). <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03192-2>
- Google, E. (20 de enero de 2022). *Google Earth*. [Proyecto acuícola Pailones]. <https://n9.cl/frokv>
- Grupo corporativo Cajamar. (2015). *¿Qué son las microalgas? interés y su uso*. Cajamar. <https://www.cajamar.es/storage/documents/microalgas-1444391623-ca345.pdf>
- Gutiérrez, H., y Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3a ed.). McGraw Hill Education. [https://www.researchgate.net/publication/44401609\\_Analisis\\_y\\_Disenio\\_de\\_Experimentos](https://www.researchgate.net/publication/44401609_Analisis_y_Disenio_de_Experimentos)
- Gutiérrez, M. E. M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Revista Informador Técnico*, 76, 247–253. <https://doi.org/10.23850/22565035.36>
- Hagbrink, I. (5 de octubre de 2022). *El agua en la agricultura*. Bancomundial. Recuperado el 15 de mayo de 2023 de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- HANNA instrument. (2023). *Conductividad eléctrica en suelos de cultivo*. Conductividad eléctrica en suelos de cultivo. <https://www.hannabolivia.com/blog/post/437/conductividad-electrica-en-suelos-cultivo>
- Hardeep, B. (2017). *Guía de conductividad eléctrica y pH para cultivos hidropónicos*. Universidad Estatal de Oklahoma. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/electrical-conductivity-and-ph-guide-for-hydroponics.html>
- Homoki, D., Minya, D., Kovács, L., Molnár, Á., Balogh, K., Bársony, P., Fehér, M., Kövics, G., y Stündl, L. (2020). Comparison of the technological background of aquaponic systems. *Acta Agraria Debreceniensis*, 1, 47–52. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/4511>

Hoyos, D. (2011). *Evaluación del impacto de la retención de sólidos suspendidos en los estanques de cultivo de trucha sobre la calidad fisicoquímica del agua para la producción de peces* [Archivo PDF].

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7690/3750-0445521.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Industrias Agrícolas Unidas [IAUSA]. (2016). *¿En qué condiciones se debe utilizar la fertilización foliar?*. Recuperado el 25 de mayo de 2023 de [https://iausa.com.mx/en-que-condiciones-se-debe-utilizar-la-fertilizacion-foliar/#:~:text=Momento%20de%20aplicaci%C3%B3n%20E2%80%93%20El%20mejor,F%20\(27%20%C2%B0%20C\)](https://iausa.com.mx/en-que-condiciones-se-debe-utilizar-la-fertilizacion-foliar/#:~:text=Momento%20de%20aplicaci%C3%B3n%20E2%80%93%20El%20mejor,F%20(27%20%C2%B0%20C)).

Instituto de Capacitación Profesional de Chile [INCAP]. (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centro América* (2a ed.). Instituto de nutrición de Centro América y Panamá. <https://www.sennutricion.org/media/tablas/INCAP.pdf>

InfoAgro. (25 de noviembre de 2022). *Agricultura. El cultivo del apio*. Guía para el cultivo de apio. <https://www.infoagro.com/hortalizas/apio.htm>

Instituto Nacional de Pesca. (9 de septiembre de 2018). *Acuicultura Trucha arcoíris. Gobierno de México*, 24–28. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-trucha-arcoiris#:~:text=Peso%20de%20cosecha%3A%20250%2D300%20g>.

INSUSEMILLAS. (2016). *Premio*. Recuperado el 25 de junio de 2023 de <http://insusemillas.com/prueba/index.php/apio/premio>

Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria [INTA]. (19 de febrero de 2018). *Recomendaciones para la producción de apio en el ciclo productivo 2018*. Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria. [https://issuu.com/intanicaraguense/docs/guia\\_practica\\_inta\\_-\\_apio\\_2018](https://issuu.com/intanicaraguense/docs/guia_practica_inta_-_apio_2018)

Intagri. (24 de enero de 2022). *El Cultivo de Apio*. Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-apio>

Integra. (2021). *Apio* - Regmurcia Integra Digital.

[https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,543,m,2714&r=ReP-20154-DETALLE\\_REPORTAJESPADRE](https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,543,m,2714&r=ReP-20154-DETALLE_REPORTAJESPADRE)

Jiménez, O. (2020). *Acuaponía: una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos*. III Congreso Virtual Internacional sobre Economía Social y Desarrollo Local Sostenible. Instituto Tecnológico de Tlaxiaco, Oaxaca, México. <https://www.eumed.net/actas/20/economia-social/26-acuaponia-una-forma-potencial-y-sustentable-de-cultivar.pdf>

López, J. (2017). Apio. En J. V. Moroto Borrero y C. Baixauli Soria (Ed.) *Cultivos hortícolas al aire libre* (2a ed., pp. 315-338). Cajamar Caja Rural. <https://www.floresyplantas.net/wp-content/uploads/libro-cultivos-hortícolas-al-aire-libre.pdf>

López, D. (2015). *Caracterización estática productiva de las unidades piscícolas en la provincia de Tungurahua* [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/ESPOCH\\_0c5ea5ed135c955fad44534eed617877](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/ESPOCH_0c5ea5ed135c955fad44534eed617877)

López, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., Cabrera-Rodríguez, J. A., López, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., y Cabrera-Rodríguez, J. A. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Revista Cultivos Tropicales*, 41(2). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0258-59362020000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362020000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

López, J. (2019). *Cultivo acuapónico Guía especializada*. Asociación para la Conservación del Medio Marino del Aula del Mar de Málaga. <https://cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>

Machaca, F. (2007). *Efecto de niveles de estiércol de ovino en el rendimiento de variedades de apio (*Apium graveolens* L.), bajo ambiente protegido en el municipio de el Alto* [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés].

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5116/T-1157.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Maicua, L. (2021). *Comparativo de producción de apio cultivado en un sistema convencional y en un sistema acuapónico en el distrito de Yarinacocha* [Tesis, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. [https://api-](https://api-repositorio.unia.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9ed982cb-9e30-4197-b00f-21807fed638c/content)

[repositorio.unia.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9ed982cb-9e30-4197-b00f-21807fed638c/content](https://api-repositorio.unia.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9ed982cb-9e30-4197-b00f-21807fed638c/content)

Márquez, B. (2014). *Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones* [Examen de suficiencia profesional, Universidad Nacional de San Agustín]. [https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-](https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content#:~:text=La%20cantidad%20de%20cenizas%20representa,pr%C3%B3ximo%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20nutricional)

[b34d7ab4fbe2/content#:~:text=La%20cantidad%20de%20cenizas%20representa,pr%C3%B3ximo%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20nutricional](https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content#:~:text=La%20cantidad%20de%20cenizas%20representa,pr%C3%B3ximo%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20nutricional).

Martínez, G., y Segovia, F. (2012). *Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl* [Archivo PDF].

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16338/Determinaci%C3%B3n%20de%20proteinas.pdf>

Mchunu, N., Lagerwall, G., y Senzanje, A. (2017). Food Sovereignty for Food Security, Aquaponics System as a Potential Method: A Review. *Revista Aquaculture Research & Development*, 8(7), 1–9. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000497>

Meléndez, G., y Molina, E. (febrero de 2002). *Fertilización foliar: Principios y aplicaciones*. Universidad de Costa Rica.

[http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp\\_jaboticabal/Memoria\\_CursoFertilizacionFoliar.pdf#page=22](http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Memoria_CursoFertilizacionFoliar.pdf#page=22)

Molina, J. (2017). *Efecto de soluciones nutritivas en 2 variedades de apio (Apium graveolens) sembrado en condiciones hidropónicas en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas*

[Proyecto de investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e31890ff-297e-4132-a5ab-af2ac4308633/content>

Mora, G., Villareal, E., Arredondo, J., Ponce, J., y Barriga, I. (2003). Evaluation of some water quality parameters in a closed aquaculture recirculating-water system, submitted to different loads of fish. *Revista Hidrobiología*, 13(4), 247–253.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v13n4/v13n4a1.pdf>

Morales, C. (2022). *Biofortificación del apio mediante la utilización de yodo agrícola* [Proyecto de investigación, Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36984/1/Tesis-338%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20%20Morales%20Garc%C3%A9s%20Christian%20Eliseo.pdf>

Morales, G. (2019). *Influencia de la temperatura del agua sobre el comportamiento biológico de la trucha arco iris producida en Atillo GAD-Guamote* [Trabajo de titulación, Escuela superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13320/1/TESIS%20GUIDO%20MORALES%20%20C%20Final.pdf>

Morales, G., y Quirós, R. (2007). Desempeño productivo de la trucha arco iris en jaulas bajo diferentes estrategias de alimentación Desempeño productivo de la trucha arco iris en jaulas bajo diferentes estrategias de alimentación. *Revista Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 15(4), 121–129. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/16575>

Moursy, R., Waleed, A., y Badawi, M. (2019). Response of maize productivity to nitrogen fertilizer and spraying with blue green algae extract. *Revista Agronomy and Agricultural Research*, 14(2), 10–20. [https://www.researchgate.net/publication/333093288\\_EI-Moursy\\_et\\_al\\_Response\\_of\\_maize\\_productivity\\_to\\_nitrogen\\_fertilizer\\_and\\_spraying\\_wit](https://www.researchgate.net/publication/333093288_EI-Moursy_et_al_Response_of_maize_productivity_to_nitrogen_fertilizer_and_spraying_wit)

h\_blue\_green\_algae\_extract\_International\_Journal\_of\_Agronomy\_and\_Agricultural\_Research\_IJAAR

Muñoz, M., y Tipán, K. (2020). *Valoración de un sistema acuapónico para pepinillo (Cucumis sativus) bajo el efecto de bioestimulantes algales y humus líquido*. [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24770/1/T-IASA%20I-005599.pdf>

Narváez, C. (2012). *Efecto de tres abonaduras orgánicas en el cultivo de apio (apium graveolens) en la zona de la Libertad Cantón Espejo, Provincia del Carchi* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo].

[https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTB\\_fc3872d89b4932618f76df258cf308aa](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTB_fc3872d89b4932618f76df258cf308aa)

Nguemezi, A., Passannet, A., y Tatchago, V. (2015). Effets des extraits ou de la poudre de Spirulina platensis et Jatropha curcas sur la croissance et le développement de la tomate. *Revista Applied Biosciences*, 90, 8413–8420.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4314/jab.v90i1.2>

OASIS Grower Solutions. (s/f). *Manual de hidroponia*. Oasis Grower Solution.

<https://www.guao.org/sites/default/files/biblioteca/Manual%20de%20hidropon%C3%ADa.pdf>

Olarte, F. (20 de julio de 2014). *Apio (Apium graveolens)*. Ecovidasolar.

<https://www.ecovidasolar.es/diccionario/apio-apium-graveolens/>

Oliveira, J., Mógor, G., y Mógor, Á. (2013). *Produtividade de beterraba em função da aplicação foliar de biofertilizante*. [Resumen de conferencia]. VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Porto Alegre, Brasil. [https://revistas.aba-](https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/13937/9475)

[agroecologia.org.br/cad/article/view/13937/9475](https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/13937/9475)

Ortiz, D., y Flores, M. (2008). *Consumo de productos orgánicos /agroecológicos en los hogares ecuatorianos*. VECO Ecuador. <https://docplayer.es/9767588-Consumo-de-productos-organicos-agroecologicos-en-los-hogares-ecuatorianos.html>

- Panocca, R., y Quenta, Y. (2015). *Efecto protector y regenerativo del extracto puro del apio (Apium Graveolens) en ratas (Rattus Norvergicus) con daño hepático inducido por tetracloruro de carbono* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. [https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/10/915876/efecto-protector-y-regenerativo-del-extracto-puro-del-apio-apiu\\_JzABcNx.pdf](https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/10/915876/efecto-protector-y-regenerativo-del-extracto-puro-del-apio-apiu_JzABcNx.pdf)
- Paye, M. (2022). *Eficiencia de un sistema acuapónico de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) para el cultivo de lechuga (Lactuca sativa) en Ollaraya, región Puno* [Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4614>
- Perdomo, D., Castellanos, K., Estoppiñan. Mario, y Ganchou, F. (2013). Efecto de la estrategia alimenticia en el desempeño productivo de la trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss). *Revista científica*, 23(4), 341–349. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95926991006.pdf>
- Pérez, Y., López, I., y Reyes, Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Revista Cultivos tropicales*, 41(2). <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v41n2/1819-4087-ctr-41-02-e09.pdf>
- PortalFruticola. (16 de octubre de 2019). *Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF): diseño y construcción*. YENTZEN. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/10/16/modulos-hidroponicos-sistema-raiz-flotante-srf-diseno-y-construccion/#:~:text=El%20Sistema%20de%20Ra%C3%ADz%20Flotante,de%20cualquier%20tipo%20de%20sustrato.>
- Quispe, V. (2019). *Efecto de la incorporación de té de pollinaza al suelo y follaje en el rendimiento de apio en la irrigación Majes* [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1ada343c-c797-4752-9ef4-f04a0feb0648/content>

- Ramírez, D., Jiménez, P., y Hurtado, H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1), 32–51.  
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2230>
- Ramírez, L., y Olvera, R. (2006). Uso tradicional y actual de spirulina sp. (*Arthrospira* sp.). *Revista Interciencia*, 31(9), 657–663.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0378-18442006000900008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0378-18442006000900008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Reyes, M., Sandoval, M., Rodríguez, N., Trejo, L., Sánchez, J., y Reta, J. (2013). Aquaponics nutrient concentration in effluent for production of *Solanum lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3529–3542.  
<https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506012.pdf>
- Rodríguez-Pallares, X., y Rojas-González, F. (2022). Valor nutricional de hojas y tallos de brócoli, apio y betarraga disponibles en un mercado mayorista de Santiago de Chile. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, 20(3), 97–107.  
<https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2022.020.03.97>
- Rodríguez, X., y Rojas, F. (2022). Valor nutricional de hojas y tallos de brócoli, apio y betarraga disponibles en un mercado mayorista de Santiago de Chile. *Revista Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, 20(3), 97–107.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2022.020.03.97>
- Secretaría de Agricultura y Ganadería [SAG]. (2005). *Cultivo de apio* [Archivo PDF].
- Simbaña, D. (2017). *Evaluación del crecimiento de espirulina (Arthrospira platensis) mediante alternativas de fertilización orgánica e inorgánica y su masificación en condiciones de campo en la hda. El Prado* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14508/1/T-IASA%20I-005379.pdf>

- Salvador, M. (2021). *Sistema acuapónico en Artazcoz* [Proyecto de fin de Máster, Universidad Pública de Navarra]. [https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/40683/PFM\\_Salvador.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/40683/PFM_Salvador.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sánchez, F. (2013). *Comportamiento agronómico de cuatro hortalizas de hoja con tres abonos orgánicos en la quinta Huertos familiares* [Tesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/47a61325-92ea-4f71-b5bf-061b9ca286f0/content>
- Sánchez, R., Botía, P., Sáez, J., Pérez, A., y Abadía, A. (2002). Crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes del apio en fertirrigación. *Universidad de la Rioja*, 17(2), 291–302. <https://www.yumpu.com/es/document/read/23415480/crecimiento-vegetativo-y-absorcion-de-nutrientes-del-apio-en-inia>
- Santos, G. (2019). *Efecto de tres inductores de crecimiento en el rendimiento de dos variedades de Apio (Apium graveolens) en condiciones de Yanahuanca*. [Tesis, Universidad Nacional Profesional de Agronomía]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2057/1/T026\\_71245419\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2057/1/T026_71245419_T.pdf)
- Sociedad Española de Agricultura Ecológica [SEAE]. (2008). *La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos*. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. <https://agroecologia.net/recursos/publicaciones/manuales-tecnicos/manual-fertilizacion-fpomares.pdf>
- Soni, R., Sudharkar, K., y Rana, R. (2017). Spirulina e From growth to nutritional product: A review. *Revista Science & Technology*, 69(A), 157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010>
- Soza, M., y Suazo, K. (2022). *Comportamiento agronómico de cuatro cultivos: Lechuga (Lactuca sativa L.), Apio (Apium graveolens L.), Hierba buena (Mentha spicata L.) y*

- Cilantro (Cilantro cimarron L.)*, en tres sistemas acuapónicos [Trabajo de tesis, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/4634/1/tnf02s731.pdf>
- Suárez, G. (2021). *Caracterización y optimización de la producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos de pequeña escala* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/128899/Su%C3%A1rez%20C%C3%A1ceres%20Gina\\_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/128899/Su%C3%A1rez%20C%C3%A1ceres%20Gina_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Surec, S. (2017). *Evaluación de tres densidades de siembra en la producción de apio, (apium graveolens l.)*, en la aldea chirijuyú, tecpán, chimaltenango, Guatemala, c.a. [Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://core.ac.uk/download/pdf/94668999.pdf>
- Trinidad, A., y Aguilar, D. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Revista Terra Latinoamericana*, 7(3), 247–255. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317309.pdf>
- Vivanco, B. (2022). *Efecto del biofertilizante a base de espirulina (Arthrospira platensis) sobre la productividad de pepino (Cucumis sativus) en un sistema acuapónico con tilapia roja (Oreochromis sp.)* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35894/1/IASA%20I-TT-0025.pdf>
- Wuang, S., Khin, M., Chua, P., y Luo, Y. (2016). Use of Spirulina biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Revista Algal Research*, (15), 59–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.02.009>
- Yapuchura, C., Mamani, S., Quispe, D., y Flores, E. (2018). Curvas de crecimiento y eficiencia en la alimentación de truchas arcoiris (*Oncorhynchus Mikyys*) en el costo de producción. *Revista Comuni@cción*, 9(11), 68–77. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2219-71682018000100007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-71682018000100007)
- Zafra, A., Díaz, M., Dávila, F., Fernández, R., Vela, K., y Guzmán, H. (2019). Conversión y eficiencia alimenticia de *Oreochromis aureus* var. *suprema* (Cichlidae) con diferente

alimento balanceado en sistema cerrado, Trujillo, La Libertad, Perú. *Revista Araldoa*, 26(2), 815–826. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2413-32992019000200019](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000200019)

Zarate, M. (2014). *Manual de hidroponía* (1a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual\\_de\\_hidroponia.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf)

Zorriehzahra, M. J., Delshad, S. T., Adel, M., Tiwari, R., Karthik, K., Dhama, K., y Lazado, C. C. (2016). Probiotics as beneficial microbes in aquaculture: an update on their multiple modes of action: a review. *Veterinary Quarterly*, 36(4), 228–241. <https://doi.org/10.1080/01652176.2016.1172132>