



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

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**TEMA:**

**“Evaluación del efecto de dos bioabonos de tilapia sobre el crecimiento y rendimiento de dos variedades de lechuga bajo un sistema acuaponico”**

Torres Rojas, Nathaly Carolina

Ing. Mgs. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio

Santo Domingo de los Tsáchilas, 14 de marzo de 2024

# Reporte de verificación de contenido



## Plagiarism and AI Content Detection Report

### TIC Nathaly Torres.pdf

#### Scan details

Scan time:  
March 6th, 2024 at 13:57 UTC

Total Pages:  
77

Total Words:  
19141

#### Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.7%	326
Minor Changes	0.5%	92
Paraphrased	0%	0
Omitted Words	2.5%	479

#### AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	18.6%	3489
Human text	81.4%	15173

[Learn more](#)

Firma:



Ing. Mgs. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio

**DIRECTOR**



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

**Certificación**

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Evaluación del efecto de dos bioabonos de tilapia sobre el crecimiento y rendimiento de dos variedades de lechuga bajo un sistema acuapónico”** fue realización por la señorita: **Torres Rojas, Nathaly Carolina** 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 de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo, 14 de marzo de 2024

Firma:



.....  
**Ing. Mgs. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio**

**C.C. 180212735**



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

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Torres Rojas, Nathaly Carolina** con cédula de ciudadanía N°- 0805400538 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Evaluación del efecto de dos bioabonos de tilapia sobre el crecimiento y rendimiento de dos variedades de lechuga bajo un sistema acuapónico”** 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.

**Santo Domingo, 14 de marzo del 2024**

.....  
**Torres Rojas, Nathaly Carolina**

C.C.: 0805400538



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

**Autorización de Publicación**

Yo **Torres Rojas, Nathaly Carolina**, con cédula de ciudadanía N°- 0805400538, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Evaluación del efecto de dos bioabonos de tilapia sobre el crecimiento y rendimiento de dos variedades de lechuga bajo un sistema acuapónico”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Santo Domingo, 14 de marzo del 2024**

.....  
**Torres Rojas, Nathaly Carolina**

C.C.: 0805400538

## Índice de Contenido

Dedicatoria .....	I
Agradecimiento .....	II
Resumen .....	1
Abstract .....	2
Introducción y estado del arte .....	3
Marco teórico .....	6
Acuaponía .....	6
Generalidades de la acuaponía .....	7
Ciclo del nitrógeno .....	7
Sistemas acuapónicos .....	8
Elementos del sistema Acuapónico .....	9
Morfología del Pez .....	11
Ciclo biológico del pez .....	12
Especies de Tilapias .....	12
Alimentación de la tilapia .....	12
Condiciones para el cultivo de la tilapia .....	14
Componente hidropónico: Lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....	16
Metodología .....	18
Ubicación del área de investigación .....	18
Tipo de investigación .....	20
Técnicas .....	20
Material experimental .....	20
Factor en estudio .....	20
Tratamientos .....	20
Consideraciones .....	21
Esquema de análisis de varianza .....	21
Pruebas de funcionamiento .....	22
Unidad experimental .....	22

Cultivo de lechuga .....	23
Diseño y planificación de la estructura general del sistema acuapónico .....	24
Construcción del invernadero .....	24
Montaje del sistema acuapónico .....	24
Proceso de construcción del sistema acuapónico.....	25
Pruebas al sistema acuapónico.....	27
Inoculación de bacterias del biofiltro.....	27
Semillero .....	27
Introducción de las tilapias al sistema .....	28
Trasplante de plántulas al sistema.....	28
Medición de los organismos vivos.....	29
Limpieza y Desmontaje del Sistema Acuapónico .....	30
Análisis de resultados .....	31
Análisis de la variable altura.....	31
Análisis de la variable longitud de la raíz.....	33
Análisis de la variable concentración de la clorofila .....	35
Análisis de la varianza de la variable diámetro del tallo .....	37
Rendimiento.....	39
Análisis de la varianza de la materia seca hojas .....	39
Análisis de la varianza materia seca raíz .....	42
Cálculo del Porcentaje de materia seca.....	45
Análisis del comportamiento del crecimiento de la planta .....	46
Análisis del agua del sistema acuapónico.....	48
. Análisis químico del agua del bioabono tilapia negra .....	48
Análisis de la calidad del agua del bioabono de tilapia roja .....	52
Análisis costo beneficio .....	56
Rendimiento de la materia fresca de toneladas por hectárea .....	58

Discusión de resultados.....	60
Conclusiones y recomendaciones .....	64
Conclusiones.....	64
Recomendaciones .....	65
Referencias bibliográficas.....	66



## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Ciclo Biológico de Tilapias .....	12
<b>Tabla 2.</b> Alimentación según la fase de cultivo .....	13
<b>Tabla 3.</b> Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia .....	14
<b>Tabla 4</b> Parámetros ideales para el desarrollo del cultivo de tilapia .....	14
<b>Tabla 5</b> Distribución poblacional de tilapia dentro de un cultivo semiintensivo.....	16
<b>Tabla 6.</b> Tratamientos .....	20
<b>Tabla 7</b> Análisis de Varianza (ADEVA).....	21
<b>Tabla 8.</b> Resumen del análisis de varianza de la variable altura de la primera a la sexta semana de cultivo.....	31
<b>Tabla 9</b> Resumen de la varianza de la variable longitud de la raíz de la primera a la tercera semana.....	33
<b>Tabla 10</b> Resumen del análisis de varianza de la variable concentración de la clorofila .....	35
<b>Tabla 11.</b> Resumen de la varianza de la variable diámetro del tallo a partir de la cuarta semana de cultivo.....	37
<b>Tabla 12.</b> Resumen de la varianza de la variable materia seca hojas.....	39
<b>Tabla 13.</b> Resumen de la varianza de la variable materia seca raíz .....	42
<b>Tabla 14</b> Porcentaje de materia seca .....	45
<b>Tabla 15.</b> Análisis químico del agua de bioabono de tilapia negra (kg/ha) .....	48
<b>Tabla 16.</b> Análisis químico del agua de bioabono de tilapia roja (kg/ha).....	52
<b>Tabla 17</b> Inversión en el sistema acuapónico.....	56
<b>Tabla 18</b> Gasto de la puesta en marcha del sistema acuapónico.....	58
<b>Tabla 19.</b> Rendimiento de peso fresco de tonelada por hectárea .....	58
<b>Tabla 20</b> Ingresos estimados .....	59
<b>Tabla 21.</b> Costo beneficio .....	59

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación satelital de la zona de estudio.....	18
<b>Figura 2.</b> Prueba de significancia de la variable altura .....	32
<b>Figura 3.</b> Prueba de significancia de la variable longitud de la raíz .....	34
<b>Figura 4.</b> Prueba de significancia de la variable concentración de la clorofila .....	36
<b>Figura 5</b> Prueba de significancia de la variable diámetro del tallo .....	38
<b>Figura 6.</b> Prueba de significancia de la variable materia seca hojas .....	41
<b>Figura 7.</b> Prueba de significancia de la variable materia seca raíz .....	43
<b>Figura 8</b> Comportamiento del crecimiento de la lechuga en el periodo de seis semanas.....	47

## **Dedicatoria**

Dedico este logro a los ángeles que Dios colocó en mi camino. A mis queridos padres, Monsita y Mino, quienes siempre creyeron en mí y me apoyaron. A mi hermana Emily, mi amiga incondicional, por su constante ánimo. A mi compañero de vida, Jefferson, mi motor y mejor amigo. A mis estimados profesores Vinicio Uday, Stalin Granda, Jorge Lucero, Javier Romero y Patricio Vaca, quienes no solo compartieron su conocimiento, sino también su amistad. Agradezco a Dios y a mi ángel en el cielo, mi mamita Piedad, por su constante apoyo y amor incondicional. Mil gracias por todo.

## Agradecimiento

Le agradezco a Dios, que ha estado conmigo en cada momento, y a mi ángel en el cielo mi mamita Piedad.

Mis papás Milton Torres y María Rojas, que son mi pilar fundamental en mi vida, mi más grande tesoro, por apoyarme en cada etapa de mi vida, siempre con esa fe en mí.

A mi Hermana Emily Torres, mi amiga incondicional con sus palabras y energía positiva impulsándome siempre hacia adelante.

A mi compañero de vida Jefferson Solano que desde el primer día que lo conocí me ha dado su apoyo, ha caminado de mi mano en este largo proceso, gracias amor por enseñarme el verdadero amor.

Mis papitos Samuel Torres, Jota Rojas y Paquita Calderón que son mis otros papás su cariño, desde muy chiquita ha formado la persona que soy ahora.

A mi prima hermana Paulina Torres, que desde pequeñas hemos estado juntas siempre apoyándome, Te amo con todo mi corazón.

A mi cuñado Jorge Mendoza, le agradezco mucho todo su apoyo, aunque a veces lo quiera ahorcar, pero le tengo un gran cariño y respeto por todo el esfuerzo que él da en su vida.

A mis queridos docentes Ing. Stalin Granda, Ing. Patricio Vaca, Ing. Vinicio Uday, el Ing. Javier Romero, Ing. Santiago Ulloa, Ing. Freddy Enríquez y el Dr. Wilian Castillo parte fundamental para la realización de este trabajo, por sus consejos, su amistad y todo el cariño durante todos estos años de estudios.

Mis compañeros Emily Granda, Nayeli Vera y Víctor Tufiño por su apoyo a lo largo de la carrera.

Mi hija perruna Harley que, sin poder decir una sola palabra, solo con su mirada sentía su cariño y amor incondicional.

Agradecida con cada uno de ustedes por ese aporte fundamental a lo largo de mi etapa y de mi vida.

## **Resumen**

El presente estudio tuvo como objetivo general evaluar el efecto de dos bioabonos de tilapia sobre el crecimiento y rendimiento de dos variedades de lechuga bajo un sistema acuapónico. Para lograr este objetivo, se empleó un diseño experimental completamente al azar por bloques y submuestras. La población de estudio consistió en 40 muestras, distribuidas en dos tratamientos y dos variedades de lechuga, con submuestras de 5 repeticiones por cada tratamiento. La metodología incluyó la aplicación de bioabonos de tilapia a plantas de lechuga y el seguimiento del desarrollo vegetativo. Se utilizaron variables agronómicas como el crecimiento y %MS para evaluar el rendimiento de las plantas. Se hizo el ANOVA, de los datos obtenidos y habiendo diferencias estadísticas se evaluaron las medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey. Los resultados mostraron diferencias significativas en el desarrollo vegetativo de las variedades de lechuga. Estas diferencias sugieren que cada variedad puede responder de manera diferente a las condiciones del sistema.

Palabras claves: sistema acuapónico, bioabonos de tilapia, lechuga, crecimiento vegetativo, rendimiento.

### **Abstract**

The general objective of this study was to evaluate the effect of two tilapia biofertilizers on the growth and yield of two lettuce varieties under an aquaponic system. To achieve this objective, a completely randomized experimental design by blocks and subsamples was used. The study population consisted of 40 samples, distributed in two treatments and two lettuce varieties, with subsamples of 5 replicates for each treatment. The methodology included the application of tilapia biofertilizers to lettuce plants and the monitoring of vegetative development. Agronomic variables such as growth and %MS were used to evaluate plant performance. ANOVA was performed on the data obtained, and if there were statistical differences, the means of the treatments were evaluated using Tukey's test. The results showed significant differences in the vegetative development of the lettuce varieties. These differences suggest that each variety may respond differently to the conditions of the system.

Keywords: aquaponic system, tilapia biofertilizers, lettuce, vegetative growth, yield

## **Introducción y estado del arte**

### **Estado de arte**

La acuicultura se ha consolidado como una práctica fundamental para asegurar la disponibilidad de alimentos a nivel nacional e internacional. Durante los últimos años, la producción pesquera y acuícola total ha experimentado un notable aumento. En 1950, esta producción se situaba en aproximadamente 19 millones de toneladas en peso vivo, incrementando las ventas de alrededor de 179 millones de toneladas en 2018, con un crecimiento anual promedio del 3,3 %. Sin embargo, en 2019 se observó una ligera disminución del 1 % con respecto a 2018, seguida de un modesto aumento del 0,2 % en 2020, elevando la producción a 178 millones de toneladas. El valor total de primera venta de esta producción de animales acuáticos se estimó en 406 000 millones de USD en 2020, destacando que 265 000 millones de USD provinieron específicamente de la producción acuícola. Este incremento en la producción pesquera y acuícola a nivel mundial refleja una tendencia significativa en el contexto global (Carrion & Cordova, 2020).

Este ascenso en la producción y consumo de productos acuícolas no solo impacta positivamente en la seguridad alimentaria, sino que también contribuye al fortalecimiento de la economía nacional. En este sentido, la acuicultura desempeña un papel relevante al participar con un 3.3% en el Producto Interno Bruto (PIB) del sector agropecuario, según datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021).

La problemática actual en la acuicultura convencional se destaca por la falta de adopción de técnicas para gestionar los desechos de especies acuícolas. En contraste, la acuicultura controlada, como la acuaponía, ofrece alternativas sin necesidad de suelo, destacando por su eficiencia en el manejo del agua y desechos, el objetivo es lograr rendimientos superiores comparados con sistemas convencionales (Somerville et al., 2020).

Este enfoque hacia la eficiencia en el manejo del agua se conecta con la búsqueda de prácticas sostenibles en el tratamiento del agua en sistemas acuícolas tradicionales, un desafío actual, el vertimiento inadecuado puede perjudicar el medio ambiente y la biodiversidad, agravando la eutrofización y perturbando la fauna acuática. La creciente escasez de agua mundial subraya la necesidad de enfoques sostenibles en acuicultura, especialmente en el tratamiento responsable del agua (Somerville et al., 2019).

Según Carrión (2019), la conexión entre la acuicultura y la gestión sostenible del agua se refuerza al considerar la distribución y accesibilidad del agua en el planeta, Solo el 0.007%

del agua en la tierra es directamente disponible para el consumo humano, destacando la limitada porción utilizable, ante la perspectiva de escasez futura, es crucial adoptar prácticas conscientes en su gestión y consumo (Madrigal, 2022).

El desafío del agua en la agricultura es esencial para alimentar una población en crecimiento, utilizando tierra y agua como recursos principales (Caicedo et al., 2020). La demanda creciente ha llevado a una degradación crítica y sobreexplotación. Según la FAO (2021), se vierten al medio ambiente anualmente unos 2,250 km<sup>3</sup> de desechos. De esto se tiene que la actividad agrícola es la principal fuente de estos vertidos (Téllez et al., 2023). Esto destaca la necesidad de abordar de manera sostenible las prácticas agrícolas y la gestión de residuos

La conexión entre la agricultura y la gestión sostenible se mantiene al considerar que, aunque busca mejorar rendimientos, la agricultura contemporánea, con técnicas mecanizadas e insumos químicos, ha contribuido a la erosión y contaminación hídrica. Por lo tanto, es esencial adoptar prácticas agrícolas sostenibles para preservar los recursos naturales.

La escasez de agua tiene un impacto crítico en la seguridad alimentaria, siendo esencial tanto para la supervivencia humana como para la preservación de la biodiversidad. La producción diaria de alimentos para cada individuo requiere de 2,000 a 5,000 litros de agua, y en la actualidad, con la población mundial superando los 7,700 millones de personas, la demanda de agua está en constante aumento. Dicho desafío se intensifica al considerar las proyecciones hasta el año 2050, donde se predice un aumento en la densidad poblacional pudiendo llegar a 9,000 millones de personas (Téllez et al., 2023). Este crecimiento exponencial incrementará significativamente la demanda de agua, planteando un reto considerable para garantizar la alimentación de una población en constante expansión

Según las observaciones de Montesinos (2021), al analizar la cadena alimentaria, se destaca que la humanidad generalmente consume productos derivados tanto de fuentes vegetales como animales, el proceso para obtener estos productos está intrínsecamente vinculado a la utilización de recursos naturales como el agua y la tierra; en la actualidad, alrededor del 70% de los recursos hídricos a nivel global se destinan a la producción de alimentos agrícolas.

En este contexto, Salazar et al., citados en Tuttillo (2021) resaltan que los sistemas acuapónicos se destacan por reducir el consumo de agua, ya que esta se recircula de manera constante en este tipo de alternativas de producción. Además, la hidroponía se presenta como una opción más eco amigable en comparación con la agricultura convencional, ya que



disminuye de manera significativa la necesidad de utilizar agroquímicos y promueve la implementación de un plan de manejo integrado de plagas y enfermedades.

Asimismo, Cutiño et al (2018) afirman que la adopción de sistemas de acuaponía no solo constituye una vía para elevar las condiciones socioeconómicas de las personas, sino que también despliega un impacto positivo en la seguridad alimentaria al generar alimentos de alta calidad.

De lo expuesto, se puede decir que, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, existe condiciones climáticas propicias que permiten la producción y cultivo de alimentos a lo largo de todo el año, no siendo excepción las técnicas acuapónicas. No obstante, la ausencia de sistemas acuapónicos que proporcionen una alternativa para el uso eficiente y adecuado del agua, suelo y residuos orgánicos como materia prima, representa una brecha (Tutillo, 2021). Por ende, este proyecto introduce una perspectiva innovadora para la producción responsable de alimentos, ofreciendo una solución que reduce el impacto ambiental.

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de dos bioabonos de tilapia sobre el crecimiento y rendimiento de dos variedades de lechuga bajo un sistema acuapónico.

### **Objetivos específicos**

- Implementar un sistema acuapónico NFT en el área urbana del cantón La Concordia
- Medir el desarrollo vegetativo de las dos variedades de lechugas (Batavia y Jade) mediante variables agronómicas
- Analizar los datos obtenidos en el ensayo con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

## Marco teórico

### Acuaponía

La acuaponía, se presenta como una tecnología altamente prometedora en el ámbito de la producción de alimentos. Este enfoque se define como un sistema que integra dos o más componentes, siendo estos los peces y las plantas, en un diseño que se basa en la recirculación del agua, donde, los nutrientes excretados directamente por los organismos cultivados en la producción acuícola, como peces, camarones y bivalvos, o generados a través de la descomposición microbiana de desechos orgánicos, son absorbidos y utilizados como nutrientes esenciales por las plantas cultivadas como lo que se tiene en el método hidropónico (Somerville et al., 2022). Este proceso simbiótico entre la acuicultura y la hidroponía se presenta como una estrategia eficiente para maximizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental asociado con la producción de alimentos.

La acuaponía se revela como un enfoque eficaz para la producción sostenible de alimentos, el cual se fundamenta en principios como la reutilización de aguas residuales, la integración de sistemas acuícola-agrícolas en un policultivo que amplía la diversidad y la producción total (Morales et al.,2023). Además, ofrece la posibilidad de obtener productos considerados "más saludables", generando impactos socioeconómicos significativos a nivel local (Mesa Villegas, 2021). Este enfoque no solo aborda la eficiencia en la utilización de recursos, sino que también contribuye a la mejora de la salud de los productos finales y tiene repercusiones positivas en las comunidades locales.

Los fundamentos de la acuaponía tienen sus raíces en épocas ancestrales, aunque el inicio exacto de esta técnica aún suscita debates. Múltiples investigaciones sugieren que la acuaponía se originó en Xochimilco, México, hace más de 2,500 años, remontándose a civilizaciones antiguas como los Aztecas. En estas sociedades, se llevaba a cabo la cría de peces en conjunción con los cultivos de maíz, zapallo y otras plantas, en islas agrícolas artificiales conocidas como "chinampas". Estas chinampas, construidas en pantanos y lagos, constituían espacios donde los canales navegables circundantes eran utilizados para criar peces. Los desechos producidos por los peces eran recolectados del fondo de los canales y empleados como fertilizantes para los cultivos circundantes (Morales et al, 2023). Esta técnica ancestral de integrar la acuicultura y la agricultura ilustra la longevidad y la adaptabilidad de los principios que fundamentan la acuaponía.

En la última parte de 2015, se llevó a cabo un proyecto acuapónico pionero en el estado de Minnesota, EE. UU. Urban Organic's, una empresa dedicada a la producción de alimentos orgánicos en la ciudad de St. Paul, atrajo la atención de la destacada empresa global de tecnología acuífera, Pentair. Ambas compañías anunciaron una colaboración significativa, enfocada en respaldar y promover un nuevo sector de producción de alimentos saludables. Este proyecto tenía como objetivo atender las necesidades de países en desarrollo, áreas con climas áridos y centros urbanos con limitaciones de espacio (Vallecilla, 2023)

En Ecuador, la adopción de la acuaponía para la producción de alimentos se ve restringida, ya que se centra principalmente en proyectos de investigación a pequeña escala desarrollados en diversos centros de aprendizaje y universidades del país (Martínez, 2022). Esta situación refleja la realidad actual de la acuaponía en el continente, donde su implementación se limita en gran medida a iniciativas de investigación y aprendizaje en entornos académicos y no ha alcanzado una escala más amplia en la práctica comercial o de producción a gran escala.

### **Generalidades de la acuaponía**

La acuaponía se configura como un sistema innovador de producción de alimentos que fusiona la acuicultura y la hidroponía en una unidad integrada, este enfoque va más allá de la simple interacción entre peces y plantas, ya que incorpora microorganismos que desempeñan funciones vitales para el éxito del sistema. En esencia, el principio fundamental para el funcionamiento efectivo de un sistema acuapónico está intrínsecamente vinculado con el ciclo del nitrógeno (Somerville et al., 2022). Este proceso establece una simbiosis entre los componentes acuáticos y vegetales, donde los desechos de los peces, ricos en amoníaco, son transformados por bacterias en nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, cerrando así un ciclo sostenible y eficiente.

### **Ciclo del nitrógeno**

El ciclo del nitrógeno constituye el pilar fundamental para el funcionamiento efectivo de un sistema acuapónico, este proceso se inicia al alimentar a los peces con un balanceado rico en proteínas y minerales, como consecuencia de la ingestión de este alimento, los peces transforman el nitrógeno presente en las proteínas en un subproducto denominado "nitrógeno amoniacal", el cual puede resultar tóxico para los organismos acuáticos. Los desechos generados, incluyendo el nitrógeno amoniacal y otros subproductos de la cría de peces,

atravesan una transformación, primero a nitritos y luego a nitratos, gracias a la acción bacteriana de *Nitrosomas* spp. y *Nitrobacter* spp., respectivamente (Lopez, y otros, 2020).

El nitrato resultante se convierte en un nutriente esencial para las plantas, siendo la principal forma en que incorporan nitrógeno en sus células para la síntesis de proteínas, impulsando así su crecimiento (Lopez, y otros, 2020), este proceso cíclico revela la interdependencia crucial entre los componentes acuáticos y vegetales en un sistema acuapónico, se crea así una dinámica sostenible en la que los desechos de un componente se transforman en nutrientes esenciales para el otro, cerrando un ciclo biológico beneficioso para ambos, es decir, el ciclo del nitrógeno en un sistema acuapónico establece una conexión simbiótica vital entre la cría de peces y el cultivo de plantas, propiciando un equilibrio beneficioso para el conjunto del sistema.

### **Sistemas acuapónicos**

Los sistemas acuapónicos pueden ser conceptualizados como la fusión armoniosa entre un sistema hidropónico y un sistema acuícola. El sistema hidropónico se caracteriza por cultivar plantas mediante el uso de soluciones minerales en lugar de suelo agrícola, mientras que el sistema acuapónico implica el cultivo de peces destinados al consumo humano (Lennard et al, 2019). La razón esencial detrás de la integración de estos sistemas en la agro-acuicultura es aprovechar de manera eficiente los recursos compartidos entre la acuicultura y la producción vegetal, tales como el agua y los nutrientes.

Este enfoque busca desarrollar prácticas de producción primaria que sean económicamente viables, y, al mismo tiempo, más sostenibles desde el punto de vista ambiental. La sinergia entre estos dos sistemas ofrece una perspectiva prometedora para lograr un equilibrio eficaz entre la rentabilidad económica y la responsabilidad ambiental en la producción de alimentos.

Un sistema acuapónico está compuesto por elementos fundamentales que incluyen el tanque de peces (u otros organismos acuáticos), el clarificador (o filtro de sólidos), el biofiltro, las camas de crecimiento para las plantas, los sistemas de bombeo de agua y los sistemas de aireación (Carrion & Cordova, 2020). Estos componentes pueden interconectarse de manera que el agua enriquecida con nutrientes fluye desde el tanque de peces al clarificador, donde se eliminan tanto las partículas grandes como las pequeñas en suspensión. (Mesa Villegas, 2021). Este diseño integral facilita la circulación eficiente del agua y la gestión efectiva de los

nutrientes, creando un entorno propicio para el desarrollo saludable de los organismos acuáticos y las plantas en el sistema acuapónico.

En el ámbito del cultivo acuícola, los desechos metabólicos generados por peces u otras especies, así como los restos de su alimento, experimentan una transformación gracias a una amplia población de bacterias y microorganismos. Estos desechos se convierten en minerales disueltos, aprovechados por las plantas para su crecimiento, resultando en materia orgánica vegetal. Este proceso crea un producto de valor a partir de subproductos desechables. Una ventaja adicional radica en que el agua, ya filtrada y libre de nutrientes, queda disponible para su reutilización por parte de los peces u otras especies acuícolas (López, 2019).

Dada esta dinámica, los sistemas acuapónicos se destacan no solo por su interés en la producción y rentabilidad, sino también por su capacidad para abordar el tratamiento de desechos de manera efectiva. Además, ofrecen una alternativa ecológica para el autoconsumo, siendo ambientalmente sostenibles en su enfoque holístico hacia la producción de alimentos.

En el marco de los sistemas de acuaponía, se presenta una innovadora forma de acuicultura que combina la cría de animales acuáticos con el cultivo de plantas en agua, utilizando la técnica de hidroponía y la recirculación continua del agua en el sistema. Los sistemas de recirculación acuapónicos surgen como una alternativa práctica que fusiona los enfoques de circulación cerrada empleados en la acuicultura y los sistemas hidropónicos (Martínez, 2022). Esta metodología se destaca por su eficacia en la reducción del impacto ambiental al aprovechar los efluentes generados por la acuicultura y reutilizar el agua de los componentes acuáticos.

Los sistemas acuapónicos no solo representan una estrategia ambientalmente sostenible, sino que también abren nuevas oportunidades de ingresos para los pequeños productores. Estos productores pueden aprovechar de manera más eficiente los sistemas de recirculación cerrados disponibles en el mercado, lo que resalta la viabilidad económica y ambiental de esta práctica (Lennard & Goddek, 2019)

### ***Elementos del sistema Acuapónico***

#### ***Componentes biológicos***

En lo que respecta a los componentes biológicos, la variedad de especies que pueden ser cultivadas en sistemas de acuaponía, tanto en el ámbito vegetal como acuático, es diversa. Sin embargo, es crucial seleccionar cuidadosamente la combinación de ambas (peces y plantas)

durante la operación del sistema (Caldas et al., 2019). Este proceso de elección requiere atención especial para garantizar la armonía y el rendimiento óptimo del sistema acuapónico.

Según Agrotendencia (2020), al seleccionar el cultivo acuícola en sistemas acuapónicos, es aconsejable elegir organismos que puedan tolerar altas densidades, maximizando así el aprovechamiento del espacio disponible. Estos organismos deben exhibir resistencia a enfermedades comunes en el entorno acuático y, además, demostrar un buen crecimiento. Es esencial que sean capaces de soportar variaciones de temperatura y posean cierta tolerancia a compuestos nitrogenados. La elección cuidadosa de estos organismos contribuirá al éxito y la eficiencia del sistema acuapónico.

Según investigaciones llevadas a cabo por Love et al. (2015), citado en Martínez (2022), las especies acuáticas comúnmente empleadas en sistemas acuapónicos incluyen: tilapia (69%), peces ornamentales (43%), bagre (25%), otros animales acuáticos (18%), perca (16%), bluegill (15%), trucha (10%), y bajo (7%). Estos resultados proporcionan un panorama de las preferencias y elecciones frecuentes en la selección de especies para sistemas acuapónicos.

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) destaca como la especie de pez más ampliamente empleada en la acuaponía. Aunque diversos cultivos han logrado un desarrollo exitoso en sistemas acuapónicos, el principal objetivo de este tipo de sistema es cultivar vegetales que generen el máximo nivel de ingresos, tanto por unidad de área como por unidad de tiempo (Valdez & Aguilar, 2019). Este enfoque subraya la búsqueda de eficiencia y rentabilidad en la producción de alimentos mediante la acuaponía, con la tilapia desempeñando un papel crucial en este contexto.

En consecuencia, la elección de las plantas o vegetales en los sistemas acuapónicos adquiere una importancia vital. Este sector representa aproximadamente entre el 66% y el 90% de las ganancias totales en este tipo de sistemas, según indican algunas referencias (Somerville et al., 2020), estos porcentajes se deben, entre otros factores, al rápido crecimiento del componente vegetal en comparación con el animal. Este enfoque estratégico resalta la relevancia crítica de seleccionar cuidadosamente las especies vegetales para optimizar la rentabilidad del sistema

En este contexto, los cultivos de plantas categorizados como "de hojas", como lechuga (*Lactuca sativa*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y espinaca (*Spinacea oleracea*), se presentan como los más idóneos, estas especies exhiben bajos requerimientos nutricionales, lo que resulta

en una menor carga para los peces (Martínez, 2022). En consecuencia, estos cultivos son extremadamente adecuados para la implementación de sistemas acuapónicos simples, ya que facilitan la gestión de siembras y cosechas en períodos cortos.

Por otro lado, hortalizas como tomate (*Lycopersicon esculentum*), pimiento (*Capsicum sp.*) y pepino (*Cucumis sativus*), al demandar mayores suministros nutricionales, necesitarán sistemas acuapónicos más complejos (Leal, 2017). Estos sistemas deben ser capaces de mantener una carga de peces más elevada y generar los nutrientes necesarios para satisfacer las demandas de estos cultivos (Carrion & Cordova, 2020). Este enfoque estratégico destaca la importancia de adaptar la elección de plantas a las características y capacidades específicas del sistema acuapónico.

### ***Componente Acuícola. Tilapia (Oreochromis niloticus)***

La tilapia, perteneciente al orden Perciforme y a la familia Cichlidae, es un pez teleósteo originario de África que se encuentra en la mayoría de las regiones tropicales del mundo, donde las condiciones favorecen su reproducción y crecimiento (Mantilla, 2021).

En comparación con otros peces, la tilapia presenta notables cualidades para el cultivo, como un crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación al cautiverio, aceptación de diversos alimentos, alta resistencia a enfermedades, capacidad para soportar condiciones ambientales adversas, tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno y la posibilidad de manipulación genética (Leal, 2017). Además de estas características, la tilapia cuenta con atributos comerciales destacados, como carne blanca de alta calidad, buen sabor, pocas espinas, tamaño adecuado y un precio accesible. Estos atributos contribuyen a su preferencia y demanda en el mercado de la acuicultura a nivel mundial.

### **Morfología del Pez**

Las tilapias presentan características morfológicas únicas que contribuyen a su adaptabilidad y comportamiento distintivo., en su cabeza, exhiben un solo orificio nasal en cada lado, cumpliendo una doble función como entrada y salida de la cavidad nasal. Su cuerpo, generalmente discoidal y comprimido, puede ocasionalmente adoptar una forma alargada, la boca, protáctil y típicamente ancha, está rodeada por labios gruesos y mandíbulas que suelen llevar dientes cónicos e, en algunas ocasiones, incisivos (Churuchumbi, 2019).

En términos de locomoción, las tilapias utilizan tanto aletas pares como impares. Las aletas pares incluyen las pectorales y ventrales, mientras que las impares comprenden las

dorsales, caudal y anal, la porción anterior de las aletas dorsales y anales presenta varias espinas, seguidas por la parte posterior que consta de radios suaves, adoptando la forma de cresta en las aletas dorsales, la aleta caudal, esencial para el equilibrio durante la natación y al lanzarse en el agua, se caracteriza por ser redonda, trunca y raramente cortada (Leal, 2017). Estas características morfológicas específicas contribuyen significativamente a la eficiente movilidad y adaptación de las tilapias en su entorno acuático.

### **Ciclo biológico del pez**

La comprensión del ciclo biológico de las tilapias es esencial para ejercer un control efectivo sobre esta especie. En consecuencia, es crucial examinar y describir las siguientes etapas.

**Tabla 1.**  
*Ciclo Biológico de Tilapias*

<b>Etapas</b>	<b>Estadio</b>	<b>Talla (cm)</b>	<b>Peso (gr)</b>
1	Huevo	0.2 - 0.3	0.01
2	Alevín	0.5 - 1.0	0.10 - 0.12
3	Cría	3 - 7	0.5 - 4.7
4	Juvenil	7 - 10	10 - 50
5	Adulto	10 - 18	70 - 100

*Nota:* En la tabla 1 se describe el ciclo biológico de la tilapia. Tomado de (Martínez, 2022)

### **Especies de Tilapias**

Las tilapias constituyen uno de los grupos de peces más extensamente cultivados a nivel mundial (Lennard & Goddek, 2019). De acuerdo con datos de Bioaquafloc en 2018, las especies de tilapias más prominentemente cultivadas son

- **Oreochromis niloticus** (Tilapia Plateada o del Nilo). Originaria del norte de África e Israel, adaptable y atractiva para el cultivo debido a su tamaño.
- **Oreochromis aureus** (Tilapia Azul). Especie colorida y resistente a la salinidad, la más pequeña y cultivada comúnmente.
- **Oreochromis mossambicus**. Habita en África del Este, de menor tamaño que *O. niloticus* y se diferencia por su hocico (Ormaza & Ormaza, 2023).

### **Alimentación de la tilapia**

La tilapia, siendo un pez omnívoro en su hábitat natural, se alimenta de una variedad que incluye algas, bentos, insectos y, en situaciones de escasez, puede filtrar zooplancton. Sin



embargo, cuando se cultiva con propósitos comerciales, estas fuentes alimenticias naturales no son las más adecuadas, por lo que es esencial complementar sus necesidades nutricionales con alimento balanceado de alta calidad (PRONACA, 2019).

El método de alimentación utilizado en el cultivo de tilapia varía según el sistema adoptado, el tamaño de la granja o estanque, y la disponibilidad y costo de la mano de obra. Dado que el alimento representa entre el 50 y el 60% de los costos de producción en acuicultura, es crucial contar con un conocimiento adecuado de la nutrición y manejo alimentario de estos peces, según destaca la FAO (2020)

PRONACA refiere que un alimento balanceado, por su naturaleza, contiene niveles de nutrientes que satisfacen las necesidades alimenticias del pez. La elección del tipo de alimento para el cultivo de tilapia debe considerar, además de los niveles de proteína y su digestibilidad, el diámetro adecuado de las partículas, que debe corresponder al tamaño de la boca del pez. Esto garantiza un consumo eficiente del alimento, minimiza el desgaste energético y, por ende, optimiza la inversión.

Finalmente, PRONACA subraya que, para una administración adecuada del alimento a las tilapias, es esencial tener en cuenta las condiciones ambientales, como la temperatura y el oxígeno disuelto, la salud del pez, los requerimientos nutricionales según la fase o etapa de crecimiento, así como el número y peso de los organismos presentes.

**Tabla 2.**  
*Alimentación según la fase de cultivo*

<b>Fase del Pez</b>	<b>Cantidad de Alimento</b>	<b>Raciones al Día</b>
Pre-cría	10-12% de biomasa	8
Levante	3-6% de biomasa	4 y 6
Engorde	1,2-3% de biomasa	2 y 4

*Nota:* en la tabla 2 se detalla la cantidad de alimentación según cada fase. Tomado de (Tutillo, 2021)

Esta información, destaca las cantidades de alimento requeridas para diferentes fases del cultivo de tilapia, así como el número recomendado de raciones diarias.

**Tabla 3.**  
*Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia*

<b>Nutrientes Esenciales</b>	<b>Estadios</b>	<b>Requerimiento Dietario</b>
Proteína	Alevino/Juvenil	45-60% / 35-45%
	Engorde	25-35%
	Reproductor	25-35%
Carbohidratos	Alevino/Juvenil	< 25%
	Engorde	25-30%
	Reproductor	No conocido
Relación Energética	Alevino/Juvenil	120/110 mg/kg
	Engorde	103 mg/kg
	Reproductor	No conocido
Lípidos	Totales	Alevino: 5-8%, Adulto: 8-10%
	Ω-6 EFA	10%
	Ω-3 EFA	Todos los estadios: 0,5-1,0%

*Nota:* En la tabla3 se presenta la información sobre los requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia

### **Condiciones para el cultivo de la tilapia**

Para el cultivo de tilapia, es notable su capacidad para tolerar condiciones que otras especies no podrían soportar. Esta resistencia puede prosperar incluso en condiciones desafiantes, como concentraciones de oxígeno disuelto de hasta 0.10 ppm en el agua, temperaturas mínimas de 20°C y concentraciones máximas de 2.0 ppm de amoníaco (Callejas & Pulgarín, 2021).A pesar de su adaptabilidad a situaciones menos ideales, es esencial considerar los parámetros óptimos para su desarrollo detallado.

**Tabla 3**  
*Parámetros ideales para el desarrollo del cultivo de tilapia*

<b>Parámetros</b>	<b>Rangos ideales</b>
Oxígeno Disuelto (OD)	3 a 10 mg/l
Ozono	0 a 0.005 mg/l
Temperatura	24 a 28 °C
pH	6.5 a 9.0
Dureza (Alcalinidad: CaCO3)	10 a 500 mg/l

<b>Parámetros</b>	<b>Rangos ideales</b>
Magnesio (Mg)	0 a 36 mg/l
Manganeso (Mn)	0 a 0.01 mg/l
Calcio	5 a 160 mg/l
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0 a 2.0 mg/l
Amonio Total	Hasta 2.0 mg/l
Amonio (NH <sub>3</sub> : no ionizado)	0 a 0.05 mg/l
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	0 a 0.1 mg/l
Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	0.5 a 1.5 mg/l
Fósforo Total	0.01 a 3.0 mg/l
Fósforo soluble	0 a 10 mg/l
Sulfuro de Hidrógeno o Ac. Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	0 a 0.003 mg/l
Ácido Cianhídrico (HCN)	0 a 0.1 mg/l
Gas Metano (CH <sub>4</sub> )	0 a 0.15 mg/l
Cadmio en aguas duras	0 a 0.003 mg/l
Cadmio en aguas blandas	0 a 0.004 mg/l
Cloro	0 a 0.003 mg/l
Cobre en aguas duras	0 a 0.03 mg/l
Cobre en aguas blandas	0 a 0.006 mg/l
Cromo (Cr)	0 a 0.03 mg/l
Hierro (Fe)	0 a 0.015 mg/l
Mercurio (Hg)	0 a 0.0002 mg/l
Níquel (Ni)	0 a 0.02 mg/l
Plomo (Pb)	0 0.03 mg/l
Turbidez (Disco Secchi)	30 a 40 cm
Sólidos Disueltos	0 a 30 mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	0 a 500 mg/l

Nota: En la tabla 4 se describe Parámetros ideales para el desarrollo del cultivo de tilapia

Uno de los factores fundamentales para el éxito del cultivo de tilapia es la gestión adecuada de las densidades poblacionales, ya que mantener una proporción adecuada de peces por metro cuadrado o metro cúbico es esencial para asegurar resultados óptimos (Carrion & Cordova, 2020). En este sentido, en un entorno acuícola, se ha observado que los peces tienden

a crecer más rápidamente cuando cuentan con un amplio espacio y una mayor cantidad de agua disponible. En un cultivo semi-intensivo de tilapia en estanques con volúmenes de agua típicamente utilizados en sistemas de acuaponía, como los estanques de 1.000 litros, la densidad poblacional varía según las diferentes fases de desarrollo de los peces (Lennard & Goddek, 2019).

**Tabla 4**

*Distribución poblacional de tilapia dentro de un cultivo semiintensivo*

<b>Fase</b>	<b>Número de Organismos por m<sup>3</sup></b>	<b>Peso (gramos)</b>
Pre-cría	15 alevines / m <sup>3</sup>	1 gr
Engorde 1	8 peces / m <sup>3</sup>	80 – 100 gr
Engorde 2	5 peces / m <sup>3</sup>	225 – 250 gr

Nota: En la tabla 5 se presenta la distribución poblacional de la tilapia. Fuente: (Lennard & Goddek, 2019).

### **Componente hidropónico: Lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

La lechuga, una planta herbácea, puede ser cultivada durante todo el año en diversos entornos, ya sea en lugares templados, subtropicales, al aire libre o bajo invernaderos, utilizando suelo o sistemas hidropónicos (Mesa, 2023)

Aunque el origen exacto de la lechuga no está completamente claro, como cultivo domesticado por el ser humano, se presume que se originó en la costa sur y sureste del Mar Mediterráneo, desde Egipto hasta Asia Menor

Davis et al. (2002) señala que, desde su domesticación a partir de especies silvestres, la lechuga se ha convertido a lo largo de la historia en una de las hortalizas más importantes del grupo de vegetales de hojas que se consumen crudos, siendo considerada incluso un cultivo cosmopolita. Hable del material genético que va a usar (variedad), tiempo para cosecha, producción/m<sup>2</sup>.

### **Descripción de la Lechuga Batavia**

La lechuga Batavia es una variedad de lechuga de hojas sueltas que se caracteriza por su forma redondeada y suave. Aunque su forma es similar a la lechuga iceberg, la Batavia tiene una textura más suelta y un sabor más dulce. Sus hojas son anchas y onduladas, con bordes ligeramente rizados. La lechuga Batavia es conocida por ser resistente al calor, lo que la hace

adecuada para el cultivo en climas más cálidos. Además, es una excelente fuente de vitaminas A y K, así como de otros nutrientes esenciales.

### **Descripción de la Lechuga Jade**

La lechuga Jade es una variedad de lechuga de hojas suaves y redondeadas que crecen en una cabeza compacta. Sus hojas son de color verde intenso y tienen una textura tierna y crujiente. La lechuga Jade es conocida por su sabor suave y ligeramente dulce, así como por su excelente capacidad para retener la humedad, lo que la hace ideal para ensaladas frescas. Esta variedad de lechuga es rica en fibra, vitaminas y minerales, lo que la convierte en una opción saludable para incluir en la dieta diaria.

Estas variedades de lechuga son populares en la cocina debido a su sabor, textura y valor nutricional. Su cultivo bajo un sistema acuapónico ofrece la oportunidad de estudiar cómo responden a diferentes condiciones de crecimiento y al uso de bioabonos de tilapia, lo que contribuirá a la comprensión de su desarrollo vegetativo y rendimiento en este tipo de entorno.

## Metodología

### Ubicación del área de investigación

- **Ubicación política**

País: Ecuador

Provincia: Santo domingo de los Tsáchilas

Cantón: La concordia

Parroquia: La concordia

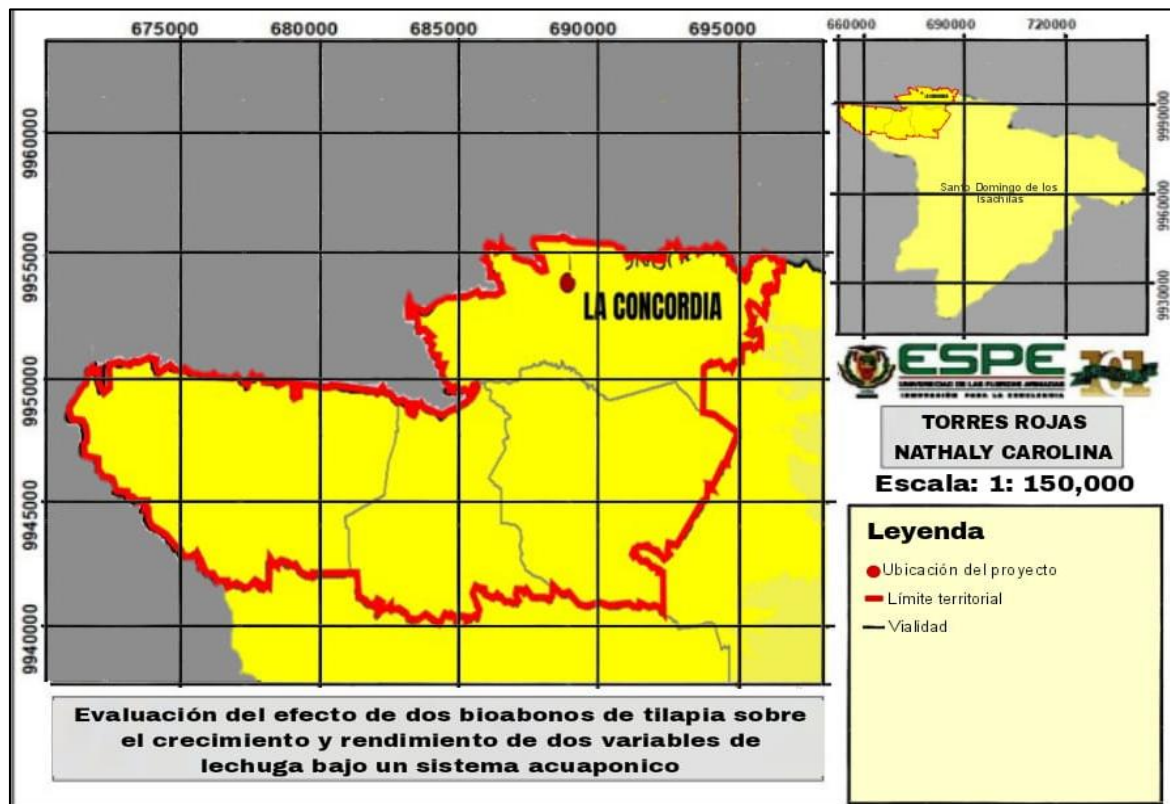
Sector: Barrio Miraflores, calle parís y Juan Montalvo, referencia tras del centro comercial “El Aquí”

- **Ubicación geográfica**

El proyecto se realizará dentro del cantón La Concordia cuya ubicación geográfica se presenta en la figura 1

### Figura 1.

*Ubicación satelital de la zona de estudio*



*Nota:* La figura 1 presenta ubicación satelital del estudio

- **Ubicación ecológica**

De acuerdo con el Instituto Nacional de Meteorología a e Hidrología (2020), el cantón la concordia presenta los siguientes parámetros meteorológicos:

- **Zona de Vida.** La investigación se desarrolla en la Zona de Bosque Húmedo Tropical, caracterizada por su biodiversidad y condiciones propicias para el desarrollo de ecosistemas acuáticos y terrestres.
- **Temperatura.** El clima presenta una temperatura media de 24 – 26°C, condiciones ideales para el cultivo de especies acuáticas y vegetales seleccionados.
- **Altitud.** La ubicación se encuentra a 224 metros sobre el nivel del mar (msnm), proporcionando un entorno específico que influye en los factores climáticos y la disponibilidad de oxígeno.
- **Precipitación.** La región experimenta una precipitación anual de 2860 mm, lo que contribuye a mantener niveles adecuados de agua para el sistema acuapónico.
- **Humedad Relativa.** Con un nivel de humedad relativa del 85%, se crea un entorno propicio para el crecimiento saludable de las plantas y la reproducción de especies acuáticas.
- **Heliofanía.** Con 680 horas de luz al año, se garantiza una adecuada exposición solar para el desarrollo óptimo de los cultivos acuapónicos.
- **Suelo.** El suelo predominante en la zona es de tipo franco arenoso, lo cual puede influir en la composición y calidad del agua utilizada en el sistema acuapónico.

Estas características ecológicas proporcionan el contexto necesario para comprender el entorno en el que se llevará a cabo el estudio, contribuyendo a la interpretación de los resultados obtenidos.

- **Duración**

La investigación se llevó a cabo desde noviembre del 2023 hasta marzo de 2024, con una duración de seis meses Durante este periodo, se implementó un sistema piloto en la Concordia, precediendo al desarrollo completo de la investigación en la misma ubicación y quedando comprendido dentro del periodo de tiempo mencionado anteriormente.

### ***Tipo de investigación***

El presente proyecto investigativo se basó en el diseño experimental de bloques completamente al azar con submuestras, seleccionado por su enfoque científico y la variedad de procesos y técnicas experimentales implementadas para su ejecución.

### **Técnicas**

#### ***Material experimental***

Los elementos utilizados en el experimento fueron los siguientes:

- Material vegetal: Lechuga (Jade y Batavia)
- Material acuícola: bioabonos de tilapia negra y roja

#### ***Factor en estudio***

El enfoque primordial de esta investigación se centró en analizar el impacto de dos bioabonos de tilapia en el desarrollo y producción de dos variedades de lechuga, dentro de la técnica de un sistema acuapónico.

#### ***Tratamientos***

En este estudio, se establecieron dos bioabonos (tratamientos) de tilapia negra y roja, los cuales fueron aplicados a dos variedades distintas de lechuga (Batavia y Jade). De esta manera, se formaron cuatro grupos experimentales, cada uno representando una combinación única de variedad de lechuga y tipo de bioabono de tilapia, los cuales se describen en la tabla 6.

**Tabla 5.**  
*Tratamientos*

<b>Bloques</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Tipo de Bioabono</b>	<b>Variedad de Lechuga</b>	<b>N° de plantas</b>
4	Tratamiento 1	Bioabono Tilapia Roja	Batavia	5
			Jade	5
	Tratamiento 2	Bioabono Tilapia Negra	Batavia	5
			Jade	5



### **Consideraciones**

Para el desarrollo del proyecto, se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con bloques y submuestras. A continuación, se detallan los componentes de este diseño:

- **Bloques.** Los bloques fueron unidades experimentales homogéneas que permitieron controlar factores que podrían influir en las variables de respuesta, como condiciones ambientales o ubicación en el sistema acuapónico.
- **Submuestras.** Cada bloque estuvo compuesto por submuestras representativas de cada tratamiento, lo que permitió comparar los efectos de los bioabonos de tilapia en cada variedad de lechuga de manera precisa.
- **VARIABLES CONTROLADAS.** Las variables de crecimiento y rendimiento de las plantas (altura de planta, longitud de raíces, materia seca, material verde y contenido de clorofila) estarán sujetas únicamente al aporte nutricional proporcionado por los bioabonos de tilapia (roja y negra), lo que permitirá evaluar específicamente el efecto de estos bioabonos en las plantas.

Este delineamiento experimental proporcionó un marco sólido para la evaluación del efecto de los bioabonos de tilapia en el crecimiento y rendimiento de las variedades de lechuga bajo el sistema acuapónico, permitiendo una interpretación clara y confiable de los resultados obtenidos.

### **Esquema de análisis de varianza**

En el marco de este estudio, se empleó el Análisis de Varianza (ANOVA) como herramienta estadística fundamental para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos y las repeticiones. El esquema del ANOVA se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 6**  
*Análisis de Varianza (ADEVA)*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total (t*r-1)	79
Tratamientos (t-1)	1
Repeticiones (r-1)	39
Error experimental (t-1) (r-1)	39

*Nota:* En la tabla 7 se presenta el esquema estadístico del análisis

Esta tabla presenta las fuentes de variación junto con sus respectivos grados de libertad en el Análisis de Varianza (ADEVA), proporcionando una visión clara de la estructura estadística utilizada para evaluar las diferencias significativas entre tratamientos y repeticiones.

### ***Pruebas de funcionamiento.***

En la comparación de medias, se empleó la prueba de significación de Tukey con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Esta prueba es comúnmente utilizada en experimentos que involucran múltiples comparaciones entre medias.

Cuando el análisis de varianza (ANOVA) muestra diferencias estadísticas entre los tratamientos, la comparación de medias con la prueba de Tukey permite corroborar si estas diferencias son significativas o no, proporcionando una herramienta eficaz para la interpretación de los resultados y la toma de decisiones.

### ***Unidad experimental***

Las unidades experimentales se definieron de la siguiente manera: se conformó 4 bloques, por cada bloque se evaluó dos tratamientos y por cada tratamiento se observó 5 unidades experimentales en cada una de las variedades de lechuga, esta configuración permitió evaluar de manera precisa el rendimiento de las plantas en respuesta a los tratamientos aplicados, garantizando la representatividad de los datos recolectados.

### **Variables a medir**

En el experimento se medirán las siguientes variables en cada una de las variedades de lechuga y con cada bioabono implementado:

- Altura de la Planta (cm). Se registró la altura de las plantas de lechuga desde la base hasta el ápice.
- La longitud de la Raíz. Se registró el diámetro de las raíces de las plantas de lechuga
- Concentración de Clorofila. Se determinó la concentración de clorofila en las hojas de las plantas como indicador de su estado de salud y capacidad fotosintética.
- Material verde. Se pesó las hojas y las raíces frescas de cada una de las plantas
- Materia seca. Se registró el peso seco de las hojas y la raíz de las plantas

### **Cálculo del Porcentaje de materia seca**

Para calcular el porcentaje de materia seca, se consideró el peso fresco y el peso seco de las muestras. Se tomó en cuenta el peso promedio en gramos (P. prome (g)), del cual se calculó el porcentaje de materia seca utilizando la fórmula:

$$\text{Porcentaje de materia seca} = 1 - \left( \frac{\text{Peso seco promedio en g}}{\text{Peso fresco promedio en g}} \right) \times 100$$

Para obtener el porcentaje de materia seca de las hojas de la variedad de lechuga Batavia con el bioabono de tilapia roja, el peso fresco promedio del primer bloque es 16,7 g y el peso seco promedio es 2,20 g. Entonces, el cálculo sería:

$$\text{Porcentaje de materia seca hojas} = 1 - \left( \frac{2,20g}{16,7g} \right) \times 100 = 13,58\%$$

### ***Cultivo de lechuga***

El cultivo de lechuga se llevó a cabo en un ambiente controlado dentro del sistema acuapónico NFT (Nutrient Film Technique). Se seleccionaron semillas de las variedades de lechuga Batavia y Jade, las cuales fueron germinadas en un medio adecuado hasta alcanzar el tamaño óptimo para trasplantarlas al sistema acuapónico.

Se prepararon 4 bloques de cultivo, cada uno subdividido en dos subbloques. A un subbloque se le aplicó el tratamiento con el bioabono de tilapia negra, mientras que al otro se aplicó el bioabono de tilapia roja. En cada tratamiento, se plantaron 10 plantas, lo que equivale a 5 submuestras de cada variedad de lechuga.

Durante el cultivo, se monitoreó y controló el ambiente para asegurar condiciones óptimas de crecimiento, incluyendo la temperatura del agua, la iluminación, el pH y la concentración de nutrientes. Además, se llevó a cabo un riego regular mediante el sistema acuapónico para suministrar agua y nutrientes a las plantas de manera continua.

Se registraron datos relacionados con el desarrollo de las plantas, como la altura de la planta, el diámetro del tallo y la concentración de clorofila, con el objetivo de evaluar el efecto de los bioabonos de tilapia en el crecimiento y rendimiento de las variedades de lechuga.

El cultivo de lechuga se mantuvo durante un período de tiempo suficiente para permitir la observación de los efectos de los tratamientos en las plantas. Una vez completado el período de cultivo, se procedió a la recolección de datos y al análisis de los resultados obtenidos.

## **Diseño y planificación de la estructura general del sistema acuapónico**

El diseño y la planificación de la estructura general del sistema acuapónico constituye el punto de partida fundamental en cualquier proyecto de esta índole, este aspecto abarca elementos esenciales como el diseño integral, la ubicación óptima, la configuración de la estructura, los componentes necesarios, el funcionamiento general y la consideración de los distintos cultivos que se integrarán en el sistema.

La planificación detallada de este proyecto investigativo se llevó a cabo en la fecha del 25 de noviembre de 2023, proporcionando una guía sólida para la implementación y ejecución posterior del sistema acuapónico, este enfoque proactivo en la etapa inicial contribuyó significativamente a la eficiencia y coherencia en todas las fases subsiguientes del ensayo.

### ***Construcción del invernadero***

La construcción del invernadero para este proyecto se llevó a cabo en un terreno de 100 m<sup>2</sup> ubicado en la localidad de (La Concordia, calle París, Juan Montalvo y Barrio Miraflores), este proceso, que comenzó el 15 de noviembre del 2023, inició con la limpieza y desmalezado completo del área designada. Las actividades subsiguientes incluyeron el encuadre y nivelación del terreno, aspectos cruciales para el montaje efectivo del sistema.

La construcción del invernadero se realizó utilizando materiales como caña guadúa, tornillos, piola gruesa, ligas y plástico para invernadero, Estos materiales se consideraron cuidadosamente para garantizar durabilidad y eficacia en el funcionamiento del invernadero, la planificación y ejecución de la construcción se llevó a cabo de manera ordenada y coordinada, contribuyendo al éxito global del proyecto.

### ***Montaje del sistema acuapónico***

Este proyecto acuapónico se concibió como un sistema ecológico que maximiza la funcionalidad utilizando estructuras, materiales y recursos de manera eficiente., antes de iniciar el montaje, fue esencial comprender a fondo el proceso operativo del sistema; la operacionalización implicó la ubicación del cultivo acuícola en tanques de 1m<sup>3</sup> con un flujo de recirculación continua.

El agua pasa por un filtro de malla y un biofiltro, utilizando una bomba de agua y motores de aire para mantener condiciones óptimas, mientras que el cultivo hidropónico utiliza el agua tratada, actuando como un filtro natural antes de regresar a los tanques de peces; el montaje de la estructura se realizó en dos secciones individuales dentro del invernadero desde el 15 de noviembre del 2023.

Los materiales incluyeron tanques plásticos, pallets, soportes, biofiltro, bomba de agua, motores de aire, filtro, mallas, tubos de PVC, piedras difusoras, mangueras y otros elementos esenciales, además, se empleó material eléctrico, como cables, interruptores y tomas de corriente, para el funcionamiento del sistema acuapónico, este enfoque integral garantizó la eficiencia y sostenibilidad del sistema.

### ***Proceso de construcción del sistema acuapónico***

Para la construcción del sistema acuapónico se siguió los siguientes pasos

#### **Paso 1: Diseño y Planificación**

Selección del lugar adecuado para la instalación del sistema acuapónico, teniendo en cuenta factores como la disponibilidad de espacio, acceso a la luz solar y suministro de agua.

Diseño del sistema acuapónico considerando el tipo de cultivo, la cantidad de agua y el presupuesto disponible.

Planificación de la distribución de los diferentes componentes del sistema, como los tanques de cultivo, los canales de cultivo, el sistema de bombeo y el sistema de filtración.

#### **Paso 2: Preparación del Espacio**

Limpieza y preparación del área donde se instaló el sistema acuapónico, se niveló el terreno y eliminó cualquier obstrucción que pudiera interferir con la instalación.

#### **Paso 3: Construcción de los Tanques de Cultivo**

Construcción de los tanques de cultivo utilizando materiales resistentes y adecuados para contener el agua, como el plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) o el polietileno de alta densidad (HDPE).

Instalación de los tanques de cultivo en la ubicación planificada, se aseguró que estén nivelados y firmemente colocados en su lugar.

#### **Paso 4: Instalación del Sistema de Filtración**

Instalación del sistema de filtración para mantener la calidad del agua en el sistema acuapónico. Se incluyeron filtros mecánicos, biológicos y químicos, así como sistemas de desinfección.

Conexión del sistema de filtración a los tanques de cultivo asegurando que el flujo de agua sea constante y adecuado para mantener un ambiente saludable para los peces y las plantas.

#### **Paso 5: Construcción de los Canales de Cultivo**

Construcción de los canales de cultivo utilizando materiales resistentes y duraderos, como PVC o fibra de vidrio.

Instalación de los canales de cultivo en una pendiente suave para permitir un flujo constante de agua a través de ellos.

#### **Paso 6: Instalación del Sistema de Bombeo**

Instalación de una bomba de agua para recircular el agua desde los tanques de cultivo hasta los canales de cultivo.

Conexión de la bomba de agua a un temporizador o un sistema de control automático para regular el flujo de agua según sea **necesario**.

#### **Paso 7: Añadir Medios de Cultivo y Plantas**

Llenado de los canales de cultivo con un medio de cultivo adecuado, como gravilla, perlita o fibra de coco.

Plantación de las semillas o plántulas de tus cultivos en el medio de cultivo. Se Verificó que se proporciona suficiente agua y nutrientes para su crecimiento.

#### **Paso 8: Introducir Peces**

Introducción de los peces al sistema acuapónico, para ello se seleccionó especies compatibles con el entorno y las condiciones de cultivo.

Monitoreo regularmente la calidad del agua y proporciona alimentación adecuada a los peces para mantener su salud y bienestar.

#### **Paso 9: Mantenimiento y Monitoreo**

Se realizó un mantenimiento regular del sistema acuapónico, incluyendo la limpieza de los tanques y los canales de cultivo, la poda de las plantas y el monitoreo de la calidad del agua.

Se llevó un control de los niveles de pH, temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes en el agua para asegurar de que estén dentro de los rangos óptimos para el crecimiento de las plantas y la salud de los peces.

### ***Pruebas al sistema acuapónico***

Las pruebas del sistema, realizadas el 21/11/2023, abarcaron diversos aspectos cruciales para garantizar su funcionamiento óptimo, se comenzó evaluando la estructura del invernadero, asegurando una adecuada entrada de luz, seguidamente, se inspeccionaron minuciosamente todas las conexiones eléctricas, verificando la ausencia de fallas, posterior a ello, se procedió con la evaluación de las bombas de aire y agua, elementos vitales en el sistema acuapónico.

Posteriormente, se realizaron inspecciones detalladas en la estructura del sistema acuapónico, empezando por el tanque destinado a los peces, en el cual se verificaron las llaves y se aseguró la ausencia de obstrucciones o fugas en el circuito de agua, así mismo, se evaluaron los filtros mecánicos y biológicos para garantizar un equilibrio adecuado en el sistema.

En el área del cultivo hidropónico, se revisaron las bases de soporte, asegurando una inclinación del 1-2% para crear una velocidad óptima en el flujo de agua. Se constató el número y espaciado correcto de los orificios para las plantas; la película de agua interna se mantuvo dentro de los niveles establecidos (20-30%), y se verificaron las uniones selladas para prevenir fugas, estas pruebas integrales aseguraron el correcto funcionamiento y equilibrio de todos los componentes del sistema acuapónico.

### ***Inoculación de bacterias del biofiltro***

En relación con la inoculación de bacterias nitrificantes en el biofiltro, se llevó a cabo un proceso integral para facilitar esta tarea, el proceso consistió en dejar el circuito completo del sistema en constante recirculación, sin la presencia de peces y plantas, durante un periodo aproximado de 8 días, este procedimiento, realizado el 29/11/2023, coincidió con la aplicación inicial de 25 ml de Stability Seachem en los tanques de 200 litros de agua del biofiltro, posteriormente, en el sexto día, se aplicaron 12.5 ml adicionales por los mismos 200 litros de agua, estas medidas se implementaron con el objetivo de acelerar significativamente la proliferación y crecimiento bacteriano en el sistema.

### ***Semillero***

En el semillero, se sembró dos tipos de lechuga de rápido crecimiento vegetativo, específicamente la variedad de lechuga Jade y la Batavia, esta actividad se llevó a cabo el

30/11/2023, utilizando tres bandejas germinativas, cada una con capacidad para 72 plantas. El proceso de llenado de estas bandejas se realizó con humus de lombriz enriquecido, gracias a los cuidados y controles adecuados, se logró obtener plántulas listas para su trasplante en tan solo 15 días, con un desarrollo promedio de entre 7 y 8 cm de longitud y 4 hojas verdaderas.

### ***Introducción de las tilapias al sistema***

El proyecto inició su fase operativa el 15/12/2023 con la introducción de 40 tilapias grises y rojas en estadio adulto, con un peso promedio de 90 a 100 gramos y una longitud promedio de 16 a 17 cm, indicativos de una fase de engorde, para asegurar la sexación de las tilapias, se utilizó azul de metileno, y se aclimataron durante aproximadamente 15 días en tanques de 1m<sup>3</sup> con una temperatura promedio de 27 °C y un pH de 7.10.

Durante este período de aclimatación, se alimentaron tres veces al día con un alimento balanceado completo, ajustado al 1,5% de la biomasa total, el alimento utilizado contenía un 32% de proteína, un 6% de grasa, un 12% de humedad, un 8% de fibra y un 12% de ceniza, cumpliendo con los requerimientos nutricionales para la fase de engorde de los peces.

Tras los 15 días de aclimatación y cuidado, las 90 tilapias se mantuvieron en condiciones óptimas, lo que permitió su introducción en las diversas unidades experimentales del sistema el 30/12 /2023, durante este proceso, se monitorearon los siguientes parámetros para garantizar su correcto funcionamiento:

- Temperatura promedio: 27 °C
- pH promedio: 7.10
- Oxígeno disuelto en el agua promedio: 6.5 mg/l

### ***Trasplante de plántulas al sistema***

La fase de trasplante del cultivo al sistema acuapónico se llevó a cabo el 01/01/2024 sin contratiempos significativos, la distribución de las plantas de lechuga en el sistema hidropónico estuvo directamente vinculada a la población de peces en cada unidad experimental, la proporción establecida era de 4 plantas de lechuga por cada 2 peces, asegurando así un aporte nutricional adecuado para su desarrollo.

Durante el trasplante, se realizó la limpieza de sustrato adherido a las raíces de las plántulas de lechuga., posteriormente, las plántulas fueron colocadas en soportes de esponja y ubicadas en sus bases correspondientes dentro del sistema acuapónico, este proceso garantizó una disposición adecuada de las plantas en el sistema para su crecimiento óptimo.



### ***Medición de los organismos vivos***

La medición de organismos vivos en el sistema, tanto plantas como peces, se llevó a cabo mediante la utilización de instrumentos esenciales como cinta métrica y balanza digital.

- **Medición de Plantas**

Las mediciones para el cultivo de lechuga se realizaron en tres períodos distintos

- Período 1 (7 días): Esta medición se efectuó a partir del 22-01-2024, coincidiendo con el momento del trasplante. Los pasos seguidos fueron:
  - Retiro de las plantas del sistema.
  - Reposo de las lechugas en el área de medición.
  - Registro de la altura de la planta mediante una cinta métrica.
  - Observación y conteo manual del número de hojas por planta.
  - Pesado de las plantas utilizando una balanza digital.
- Período 2 (7 días). Realizada el 29-01-2024.
- Período 3 (7 días). Realizada el 05-02-2024.
- Período 4 (7 días). Realizada el 12-02-2024.
- Período 5 (7 días). Realizada el 19-02-2024.
- Período 6 (7 días). Realizada el 26-02-2024.

Estos procesos permitieron obtener datos precisos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas a lo largo del tiempo.

- **Cosecha de Cultivos**

La cosecha del sistema tuvo lugar el 04/03/2024, cumpliendo con el periodo de 45 días estipulado para el desarrollo óptimo de la lechuga y la tilapia, en cuanto al cultivo hidropónico, la cosecha inició con el retiro cuidadoso de cada lechuga de las bases, seguido de un proceso de lavado y disposición en recipientes plásticos para su transporte.

Para el cultivo acuapónico, se procedió al vaciado de las unidades experimentales para facilitar la extracción de las tilapias, estos peces fueron ubicados en recipientes plásticos con el fin de trasladarlos sin inconvenientes, este procedimiento garantizó una cosecha eficiente y respetuosa con el bienestar de los organismos acuáticos y las plantas.

### ***Limpieza y Desmontaje del Sistema Acuapónico***

Al culminar con todos los procesos necesarios para finalizar el proyecto, se llevaron a cabo actividades de orden, limpieza y desmontaje del sistema, esta fase permitió la recolección completa de todos los materiales utilizados, es importante destacar que todos los componentes del sistema son completamente desmontables, lo que facilita su reutilización en futuras instalaciones; esta característica resalta como una de las principales ventajas del diseño del proyecto, proporcionando flexibilidad y la posibilidad de implementar la estructura en diferentes ubicaciones.

## Análisis de resultados

En el siguiente apartado se evaluó el efecto de dos tipos de bioabonos de tilapia en el crecimiento y rendimiento de dos variedades de lechuga bajo un sistema acuapónico. Durante un período de seis semanas, se recopilaron datos de altura promedio y diámetro de raíz de las plantas de lechuga, obtenidos semanalmente a partir de cuatro bloques experimentales.

Cada bloque incluyó dos tratamientos de bioabonos (Bioabono Tilapia Roja y Bioabono Tilapia Negra) aplicados a dos variedades de lechuga (Batavia y Jade). El objetivo principal fue determinar si existen diferencias significativas en el crecimiento de las plantas de lechuga entre los diferentes tratamientos de bioabonos y variedades de lechuga, para lo cual se examinó la interacción entre estos factores a lo largo del período de cultivo. Este análisis permitió obtener una comprensión más profunda de cómo los bioabonos de tilapia pueden influir en la producción de lechugas en sistemas acuapónicos, cuyos resultados se presentan a continuación

## Análisis de la variable altura

**Tabla 7.**

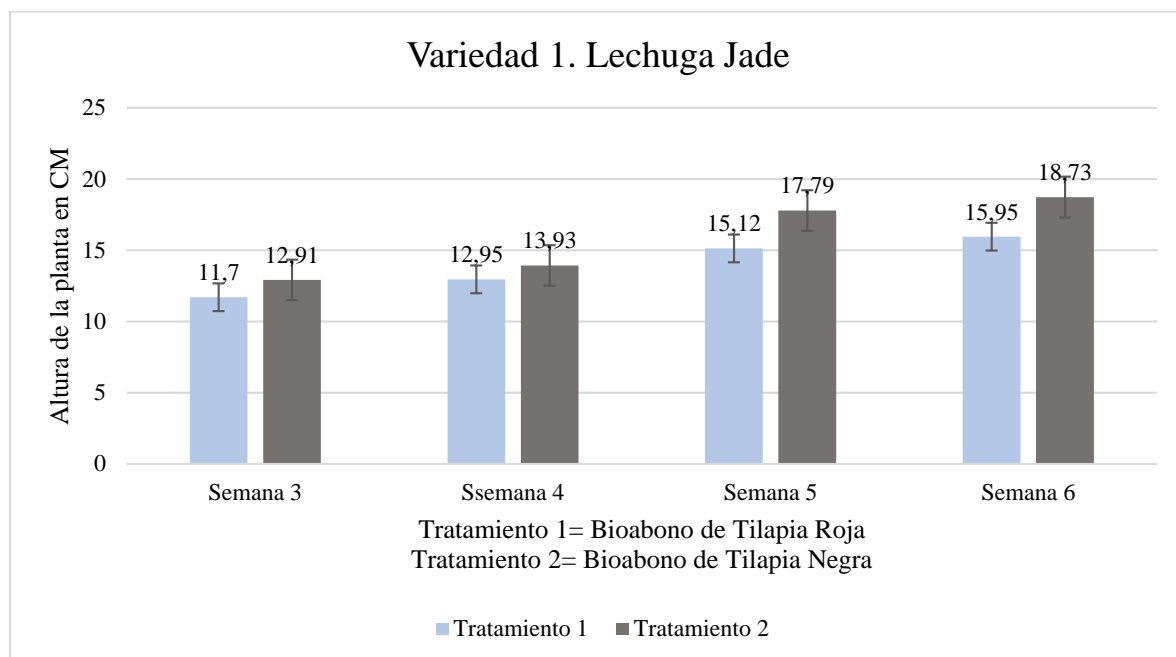
*Resumen del análisis de varianza de la variable altura de la primera a la sexta semana de cultivo.*

FV	gl	Variedad lechuga Batavia												Variedad Lechuga Jade											
		Alt semana 1		Alt semana 2		Alt semana 3		Alt semana4		Alt semana 5		Alt semana 6		Alt semana 1		Alt semana 2		Alt semana 3		Alt semana4		Alt semana 5		Alt semana 6	
		CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor
Bloque	3	0,1	0,863	1,72	0,108	2,79	0,034	1,61	0,031	0,06	0,554	0,11	0,478	0,62	0,151	6,01	0,001	0,26	0,679	0,1	0,91	0,43	0,034	0,77	0,008
Tratamiento	1	0,34	0,3673	0,78	0,325	0,08	0,759	0,01	0,997	16,13	<0,0001	15,75	<0,0001	0,53	0,214	0,73	0,374	14,52	<0,0001	9,7	3E-04	71,02	<0,0001	77,28	<0,001
Submuestras	4	0,09	0,9299	2,36	0,033	3,52	0,008	1,15	0,07	0,12	0,2727	0,14	0,3764	0,01	0,999	0,45	0,736	0,42	0,525	0,53	0,46	0,03	0,901	0,03	0,942
Error	31	0,41		0,78		0,85		0,48		0,09		0,13		0,33		0,89		0,52		0,57		0,13		0,16	
Total	39	13,67												12,61											

El análisis de la altura en las variedades de lechuga Batavia y Jade revela diferencias significativas en la respuesta al tratamiento en varias semanas de medición. En la variedad de lechuga Batavia, se observan diferencias significativas en la altura debido al tratamiento en las semanas 3, 4 y 5. Por otro lado, en la variedad de lechuga Jade, se encuentran diferencias significativas en las semanas 1, 2, 4, 5 y 6. Estas diferencias indican que el tratamiento relacionado con el bioabono de tilapia negra responde mejor en las dos variedades, sin embargo en la lechuga Jade presenta un impacto significativo en la altura, esto debido a su mayor capacidad de absorción de los nutrientes presentes en el agua

Dicho análisis se corrobora con la prueba de significancia de Tukey, la cual evidencia las diferencias significativas tanto de los factores como de las interacciones. Tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 2.**  
*Prueba de significancia de la variable altura*



El análisis de la tabla muestra diferencias significativas entre los tratamientos de la lechuga Jade en las semanas 3, 4, 5 y 6. En particular, se observa que para el tratamiento con bioabono de tilapia roja, las alturas medias fueron de 11,7 cm, 12,95 cm, 15,12 cm y 15,95 cm para las semanas 3, 4, 5 y 6 respectivamente. Mientras tanto, para el tratamiento con bioabono de tilapia negra, las alturas medias fueron de 12,91 cm, 13,93 cm, 17,79 cm y 18,73 cm para las mismas semanas. Estas diferencias sugieren que el tratamiento con bioabono de tilapia

negra tuvo un efecto significativamente mayor en el crecimiento de la lechuga Jade en comparación con el tratamiento 1 en todas las semanas analizadas.

### **Análisis de la variable longitud de la raíz**

Después de analizar la Tabla 9, se observan diferencias significativas tanto entre los factores como en la interacción entre las variedades de lechuga y los tratamientos en relación con la variable longitud de la raíz en las primeras tres semanas.

**Tabla 8**

*Resumen de la varianza de la variable longitud de la raíz de la primera a la tercera semana*

FV	Variedad lechuga Batavia						Variedad Lechuga Jade						
	Raíz semana 1		Raíz semana 2		Raíz semana 3		Raíz semana 1		Raíz semana 2		Raíz semana 3		
	gl	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor
Bloque	3	0,39	0,766	4,01	0,081	3,98	0,073	0,59	0,629	10,53	0,014	10,28	0,011
Tratamiento	1	0,93	0,35	11,66	0,012	11,03	0,012	0,27	0,607	1,52	0,446	2,12	0,351
Submuestra	4	1,59	0,216	5,02	0,03	4,88	0,028	1,37	0,27	0,98	0,818	1,33	0,69
Error	31	1,03		1,63		1,56		1,01		2,55		2,36	
Total	39	40,47						38,71					

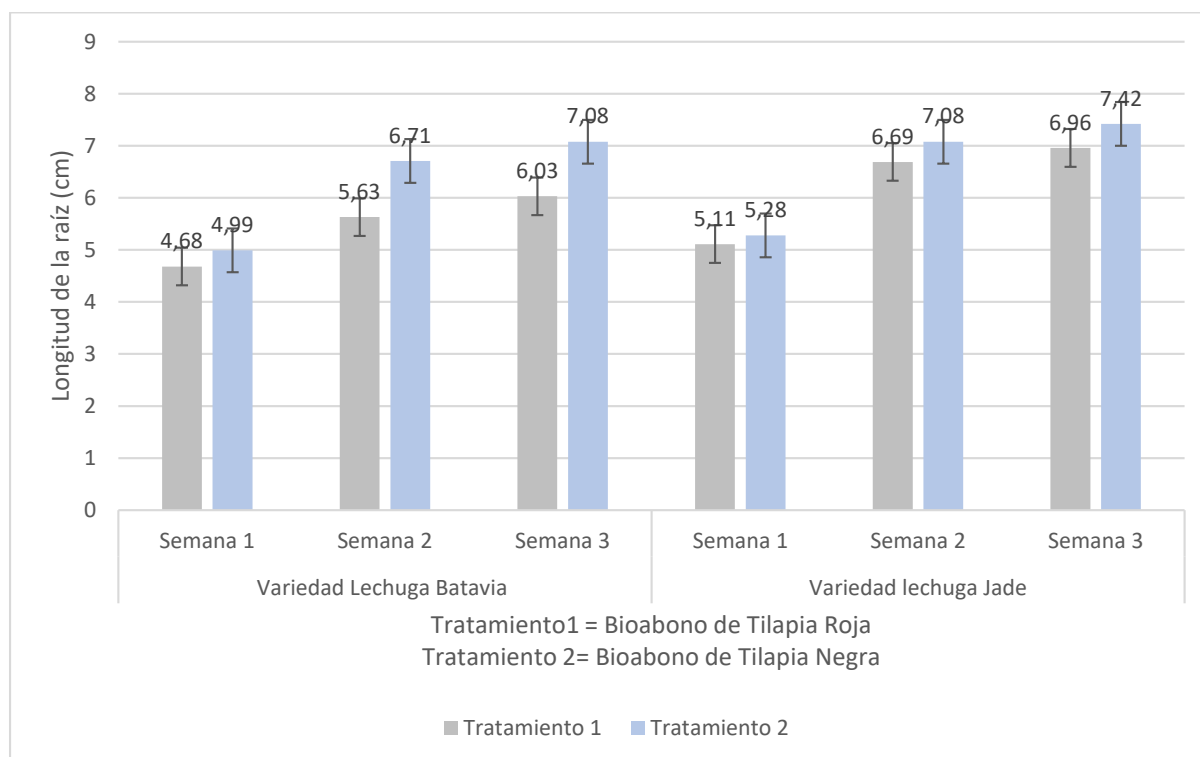
En la variedad de lechuga Batavia, se observa que el tratamiento tiene un efecto significativo en la longitud de la raíz durante la segunda y tercera semana de cultivos con valores del p-valores de 0,012 en ambos casos. Esto sugiere que los tratamientos aplicados tienen un impacto significativo en la longitud de la raíz en la lechuga Batavia durante estas semanas.

Además, la interacción entre las variedades de lechuga y los tratamientos también muestra diferencias significativas en la longitud de la raíz en algunas semanas. Por ejemplo, en la primera semana, la interacción tiene un valor de CM de 10,28 y un p-valor de 0,011 para la lechuga Batavia, lo que sugiere una interacción significativa entre la variedad y el tratamiento en esta semana.

Para corroborar estas diferencias significativas, se realizó la prueba de significancia de Tukey para comparar las medias de los tratamientos y determinar la existencia de diferencias significativas entre ellos.

**Figura 3.**

*Prueba de significancia de la variable longitud de la raíz*



Después de realizar el análisis de la prueba de Tukey para comparar las medias de los tratamientos en cada semana para las variedades de lechuga Batavia y Jade, específicamente en relación con la longitud de la raíz, se encontraron las siguientes diferencias significativas

- Variedad de Lechuga Batavia

En la semana 3, se observa una diferencia significativa entre el tratamiento a base de bioabono de tilapia roja y el tratamiento base de bioabono de tilapia negra 2, con medias de 6.03 cm y 7.08 cm respectivamente ( $p < 0.05$ ).

- Variedad de Lechuga Jade

En la semana 2, se encontró una diferencia significativa entre el tratamiento con bioabono de tilapia roja y el tratamiento con bioabono de tilapia negra, con medias de 6.69 cm y 7.08 cm respectivamente ( $p < 0.05$ ).

En la semana 3, también se encontró una diferencia significativa entre el tratamiento con bioabono de tilapia roja y el tratamiento con bioabono de tilapia negra, con medias de 6.96cm y 7.42cm respectivamente ( $p < 0.05$ ).

Estos resultados sugieren que, en estas semanas específicas, los tratamientos tienen un impacto significativo en la longitud de la raíz en ambas variedades de lechuga. La diferencia observada entre los tratamientos podría estar relacionada con diferentes niveles de nutrientes, aplicadas a cada tratamiento, lo que influye en el crecimiento de las raíces.

### **Análisis de la variable concentración de la clorofila**

El análisis de varianza de la concentración de clorofila revela diferencias significativas entre los tratamientos y las variedades de lechuga a partir de la cuarta semana, los datos se presentan en la siguiente tabla

**Tabla 9**

*Resumen del análisis de varianza de la variable concentración de la clorofila*

Variable clorofila	Variedad lechuga Batavia						Variedad Lechuga Jade						
	Semana 4		Semana 5		Semana 6		Semana 4		Semana 5		Semana 6		
FV	gl	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor
Bloque	3	21,78	0,2310	14,64	0,332	14,26	0,345	39,88	0,032	50,58	0,012	58,32	0,011
Tratamiento	1	204,94	0,0007	169,7	8E-04	176,8	7E-04	223,9	0,214	356,4	<0,0001	295,4	<0,0001
Submuestras	4	7,03	0,7447	5,22	0,792	5,13	0,798	13,39	0,999	26,54	0,085	30,14	0,083
Error	31	14,41		12,38		12,4		11,93		11,72		13,23	
Total	39	745						766,9					

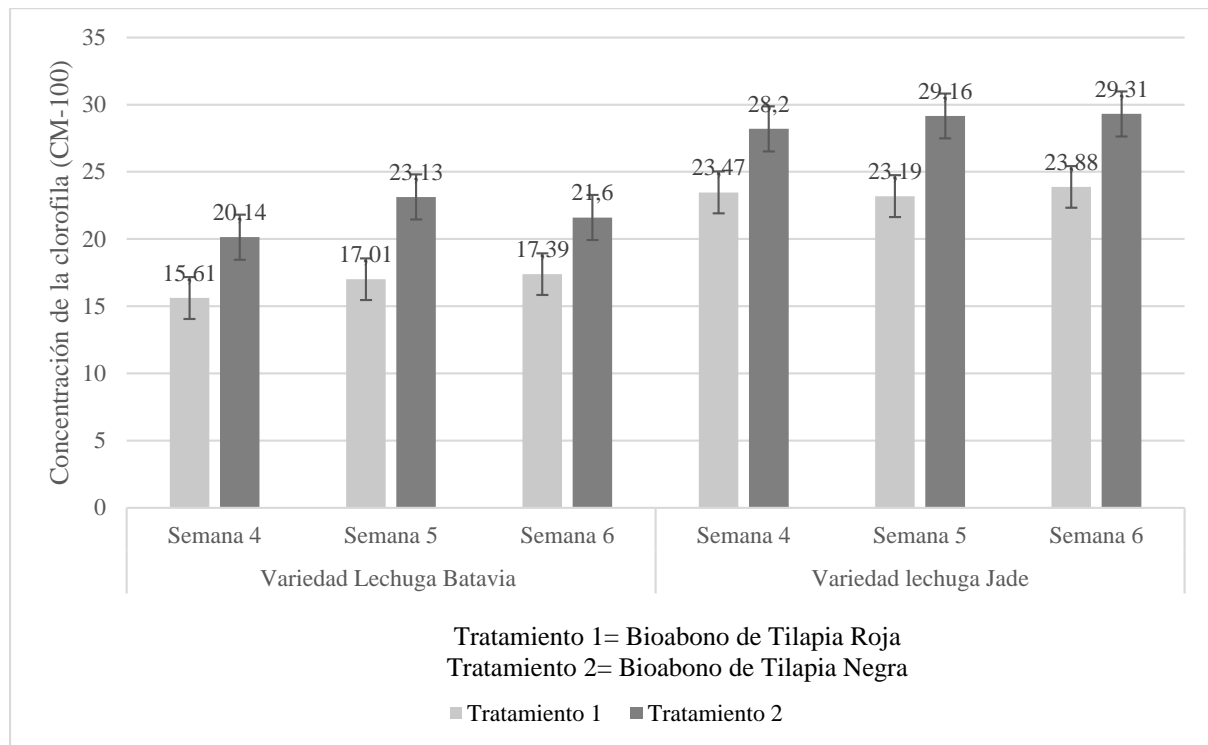
En la variedad de lechuga Batavia, se observa una diferencia significativa en la semana 6 entre los tratamientos, donde el tratamiento con bioabono de tilapia roja mostró un valor de clorofila de 58,32 CM y el tratamiento a base de bioabono de tilapia roja registró un valor de 295,4CM ( $p < 0,05$ ), indicando un impacto significativamente mayor en el tratamiento con bioabono de tilapia negra. Similarmente, en la variedad de lechuga Jade, se encontraron diferencias significativas en las semanas 4, 5 y 6 entre los tratamientos, donde el tratamiento con bioabono de tilapia negra mostró concentraciones de clorofila significativamente más altos en comparación con el tratamiento a base de bioabono de tilapia roja 1 ( $p < 0,05$ ).

Además, se observa una interacción significativa entre los tratamientos y las semanas en ambas variedades de lechuga. En particular, para la lechuga Batavia, el tratamiento con bioabono de tilapia negra mostró un aumento significativo en los niveles de clorofila a lo largo del tiempo, mientras que para la lechuga Jade, ambos tratamientos mostraron un aumento, pero el tratamiento con bioabono de tilapia negra exhibió un incremento mucho más pronunciado. Esto sugiere que el tratamiento a base de bioabono de tilapia negra tuvo un impacto más

positivo en la producción de clorofila en ambas variedades de lechuga en comparación con el tratamiento a base de bioabono de tilapia roja.

El análisis de diferencia significativa de la prueba de Tukey corrobora las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados a las variedades de lechuga Batavia y lechuga Jade en cuanto a la concentración de clorofila, según se presenta en la siguiente figura

**Figura 4.**  
*Prueba de significancia de la variable concentración de la clorofila*



En la variedad de lechuga Batavia, los tratamientos 1 y 2 mostraron diferencias significativas en las semanas 4, 5 y 6. Las medias para el tratamiento con bioabono de tilapia roja fueron 15,61CM, 17,01CM y 17,39CM para las semanas 4, 5 y 6 respectivamente, mientras que para el tratamiento con bioabono de tilapia negra fueron 20,14CM, 23,13CM y 21,6CM para las mismas semanas.

En la variedad de lechuga Jade, también se observaron diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2 en las tres semanas analizadas. Las medias para el tratamiento con bioabono de tilapia roja fueron 23,47CM, 23,19CM y 23,88CM para las semanas 4, 5 y 6 respectivamente, mientras que para el tratamiento a base de bioabono de tilapia negra fueron 28,2CM, 29,16CM y 29,31CM para las mismas semanas. Estas diferencias significativas entre



los tratamientos de tilapia negra y roja indican que hay efectos significativos de los tratamientos aplicados en la concentración de clorofila en ambas variedades de lechuga a lo largo de las semanas 4, 5 y 6. Sin embargo, el bioabono de tilapia negra genero una mayor concentración de clorofila en las dos variedades de plantas, esto debido a los nutrientes presentes en el agua

### **Análisis de la varianza de la variable diámetro del tallo**

El análisis de la varianza para la variable diámetro del tallo a partir de la cuarta semana de cultivo revela diferencias significativas tanto entre los tratamientos como entre las variedades de lechuga.

**Tabla 10.**

*Resumen de la varianza de la variable diámetro del tallo a partir de la cuarta semana de cultivo*

	Variedad lechuga Batavia								Variedad Lechuga Jade					
			Tallo semana 4		Tallo semana 5		Tallo semana 6		Tallo semana 4		Tallo semana 5		Tallo semana 6	
	FV	gl	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor	CM	p-Valor
Bloque	3		3,33	0,083	2,98	0,093	2,88	0,097	10,73	0,011	11,56	0,005	11,63	0,004
Tratamiento	1		11,03	0,008	11,99	0,004	11,99	0,004	1,33	0,467	0,26	0,735	0,12	0,815
Submuestra	4		4,94	0,016	4,42	0,019	4,29	0,02	1,68	0,607	1,49	0,611	1,42	0,631
Error	31		1,36		1,27		1,26		2,45		2,19		2,18	
Total	39		82,97						116,3					

- Variedad de Lechuga Batavia

Se observan diferencias significativas en el diámetro del tallo entre los tratamientos de bioabono de tilapia negra y roja en las semanas 4, 5 y 6, con valores de  $p < 0.05$  en todas estas semanas. Esto sugiere que los dos tratamientos aplicados tienen un efecto significativo en el diámetro del tallo de la lechuga Batavia durante este período de tiempo.

- Variedad de Lechuga Jade

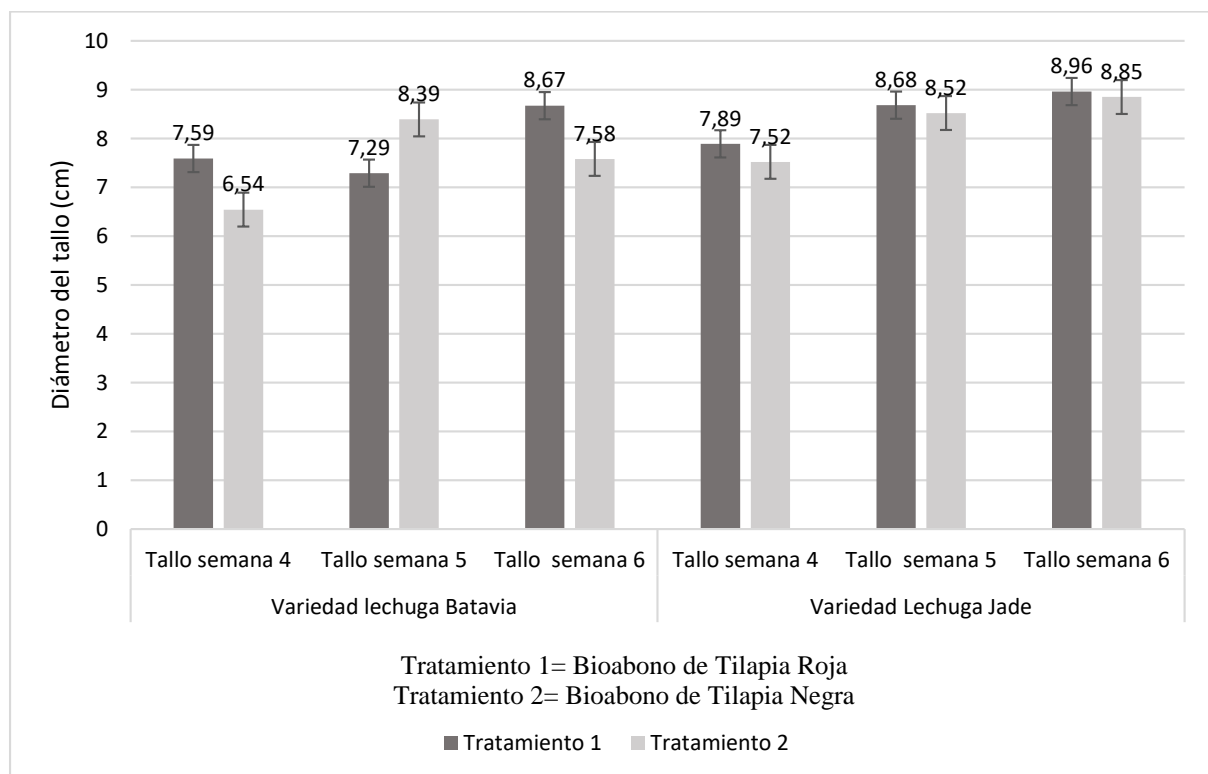
También se encuentran diferencias significativas en el diámetro del tallo entre los tratamientos de bioabono de tilapia negra y roja, pero solo en la semana 4, con un valor de  $p < 0.05$ . Sin embargo, en las semanas 5 y 6, no se observan diferencias significativas entre los dos tratamientos ( $p > 0.05$ ).

La comparación entre los tratamientos y las variedades de lechuga evidencia que existe una influencia significativa en el diámetro del tallo. Sin embargo, para la lechuga Batavia se observan diferencias significativas en todas las semanas, mientras que para la lechuga Jade

estas diferencias son menos evidentes, lo que sugiere que los tratamientos tanto de tilapia negra como de tilapia roja pueden afectar de manera diferente a cada variedad. Además, las diferencias significativas entre los tratamientos y las submuestras también indican que la variabilidad en el diámetro del tallo puede deberse a factores específicos relacionados con el manejo de los nutrientes. En este sentido, los resultados sugieren que tanto los tratamientos de tilapia negra y roja influyen en el diámetro del tallo de las dos variedades de lechuga, pero estas influencias varían según la semana de cultivo y la variedad específica de lechuga.

Después de realizar el análisis de la prueba de significancia de Tukey para comparar las medias de los tratamientos en cada semana para las variedades de lechuga Batavia y Jade, específicamente en relación con el diámetro del tallo a partir de la cuarta semana, se encontraron las siguientes diferencias significativas.

**Figura 5**  
*Prueba de significancia de la variable diámetro del tallo*



- Variedad de Lechuga Batavia

En la semana 6, se observó una diferencia significativa entre el tratamiento a base de bioabono de tilapia roja y el Tratamiento con bioabono de tilapia negra, con medias de 8.67cm y 7.58cm respectivamente ( $p < 0.05$ ).

- Variedad de Lechuga Jade

En la semana 4, se encontró una diferencia significativa entre el tratamiento con bioabono de tilapia roja 1 y el tratamiento a base de bioabono con tilapia negra, con medias de 7.89cm y 7.52cm respectivamente ( $p < 0.05$ ).

En la semana 5, también se encontró una diferencia significativa entre el tratamiento a base de bioabono de tilapia roja y el Tratamiento con bioabono de tilapia negra, con medias de 8.68cm y 8.52cm respectivamente ( $p < 0.05$ ).

Estos resultados sugieren que los tratamientos tienen un impacto significativo en el diámetro del tallo de ambas variedades de lechuga, aunque las diferencias significativas se observan en diferentes semanas para cada variedad. Esto resalta la importancia de considerar tanto los tratamientos aplicados como las variedades específicas de lechuga al analizar el crecimiento del tallo en el cultivo.

## **Rendimiento**

Para analizar el rendimiento, se consideró el peso de la materia cosechada en cada tratamiento para las variables de lechuga Jade y Batavia. A continuación, se presenta un resumen de los resultados:

### *Análisis de la varianza de la materia seca hojas*

Después de realizar el análisis de varianza (ANOVA) para la materia seca de las muestras de lechuga Batavia y Lechuga Jade, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en relación con el peso fresco y peso seco de las hojas.

#### **Tabla 11.**

*Resumen de la varianza de la variable materia seca hojas*

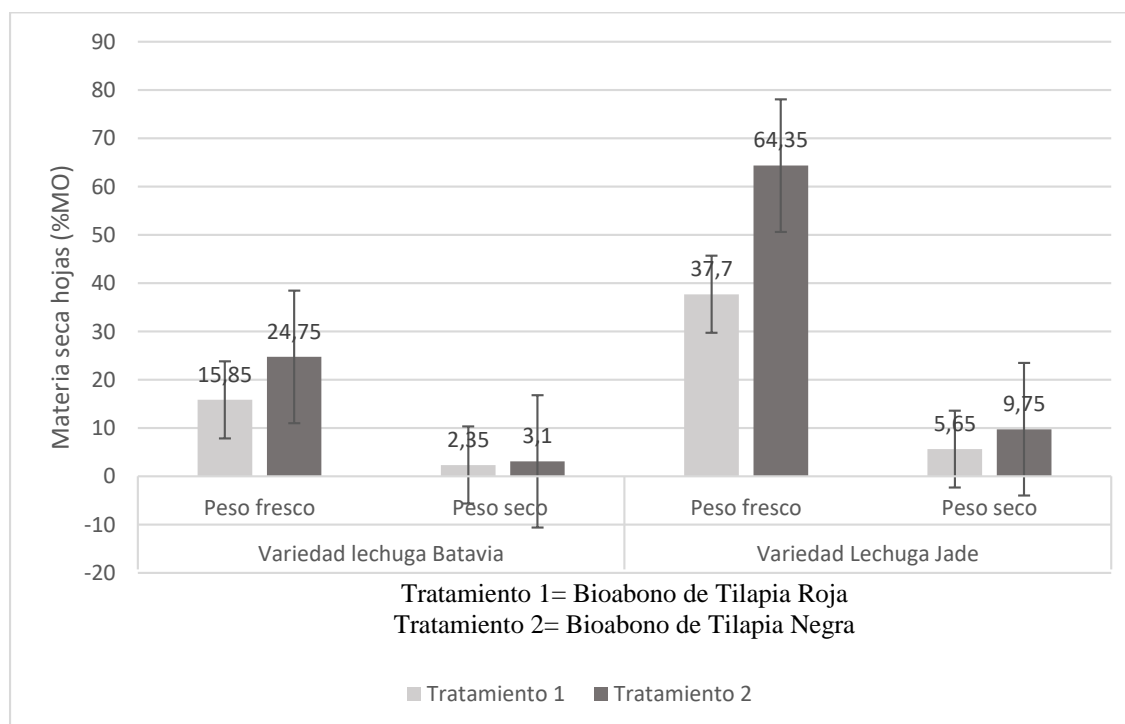
FV	gl	Variedad lechuga Batavia		Variedad Lechuga Jade	
		CM	p-Valor	CM	p-Valor
Bloque	3	3	0,8368	2,43	0,0206
Tratamiento	1	792,1	<0,0001	5,63	0,0059
Submuestra	4	14,85	0,2558	0,28	0,7881
Error	31	10,58		0,64	
Total	39				

- **Bloque.** No se encontraron diferencias significativas en la materia seca de las hojas de lechuga entre los bloques utilizados en el estudio ( $p > 0.05$ ) tanto para la variedad Batavia como para la variedad Jade.
- **Tratamiento.** Se encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ) en la materia seca de las hojas entre los dos tratamientos aplicados a las variedades de lechuga Batavia y Jade. El tratamiento 1, que emplea el bioabono de tilapia roja, mostró un efecto considerablemente mayor en la materia seca (%MO) en comparación con el tratamiento 2, que utiliza el bioabono de tilapia negra. Esta diferencia sugiere que el tipo de bioabono utilizado tiene un impacto significativo en la materia seca de las hojas de lechuga.
- **Submuestra.** No se encontraron diferencias significativas entre las submuestras en relación con la materia seca de las hojas de lechuga ( $p > 0.05$ ) para ambas variedades.

Los resultados muestran que el tratamiento 1, que utiliza el bioabono de tilapia roja, produjo una cantidad mayor de materia seca en comparación con el tratamiento 2, que emplea el bioabono de tilapia negra. Esto sugiere que hay una diferencia en el efecto fertilizante entre estas dos variedades de bioabono. Es posible que esta disparidad se deba a diferencias en la composición química de los bioabonos, como el contenido de nutrientes, los niveles de micronutrientes o la presencia de compuestos bioactivos que podrían influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas

Después de realizar la prueba de significancia de Tukey no se encontró diferencias significativas en las medias de los tratamientos en cada variedad de lechuga (Batavia y Jade) en términos de peso fresco y peso seco de las hojas, por lo que continuación se evaluará la eficacia de cada tratamiento en el porcentaje de materia seca de las hojas de la lechuga.

**Figura 6.**  
*Prueba de significancia de la variable materia seca hojas*



- Variedad de Lechuga Batavia

En cuanto al peso fresco, se observó una diferencia significativa entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con porcentajes (%MO) de 15.85 y 24.75 respectivamente ( $p < 0.05$ ).

Respecto al peso seco, también se encontró una diferencia significativa entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con porcentajes (%MO) de 2.35 y 3.1 respectivamente ( $p < 0.05$ ).

- Variedad de Lechuga Jade

En relación con el peso fresco, se encontró una diferencia significativa entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con porcentajes (%MO) de 37.7 y 64.35 respectivamente ( $p < 0.05$ ).

En cuanto al peso seco, también se observó una diferencia entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con porcentajes (%MO) de 5.65 y 9.75 respectivamente ( $p < 0.05$ ).

Estos resultados indican que los dos tratamientos, tanto de tilapia roja como de tilapia negra tienen un impacto significativo en el peso fresco y peso seco de las hojas de ambas variedades de lechuga. Sin embargo, el tratamiento a base de tilapia negra muestra un efecto

mayor sobre la producción de materia seca en las hojas de lechuga, tanto para la variedad Batavia como para la Jade.

### *Análisis de la viaraza materia seca raíz*

Después de analizar la varianza de la variable materia seca en las raíces de las variedades de lechuga Batavia y Jade, se observaron diferencias significativas entre los factores y la interacción. A continuación, se presenta la tabla resumen.

**Tabla 12.**

*Resumen de la varianza de la variable materia seca raíz*

Raíz	Variedad lechuga Batavia			Variedad Lechuga Jade		
	FV	gl	CM	p-Valor	CM	p-Valor
Bloque	3		1,77	0,4413	0,47	0,2776
Tratamiento	1		57,6	<0,0001	3,6	0,003
Submuestra	4		3,71	0,1288	0,16	0,7583
Error	31		1,19		0,35	
Total	39					

- Variedad de Lechuga Batavia.

Se encontró una diferencia significativa en el peso fresco de las raíces entre los tratamientos, con un valor de  $p < 0.0001$ . Esto sugiere que los tratamientos tienen un impacto significativo en el peso fresco de las raíces de la lechuga Batavia.

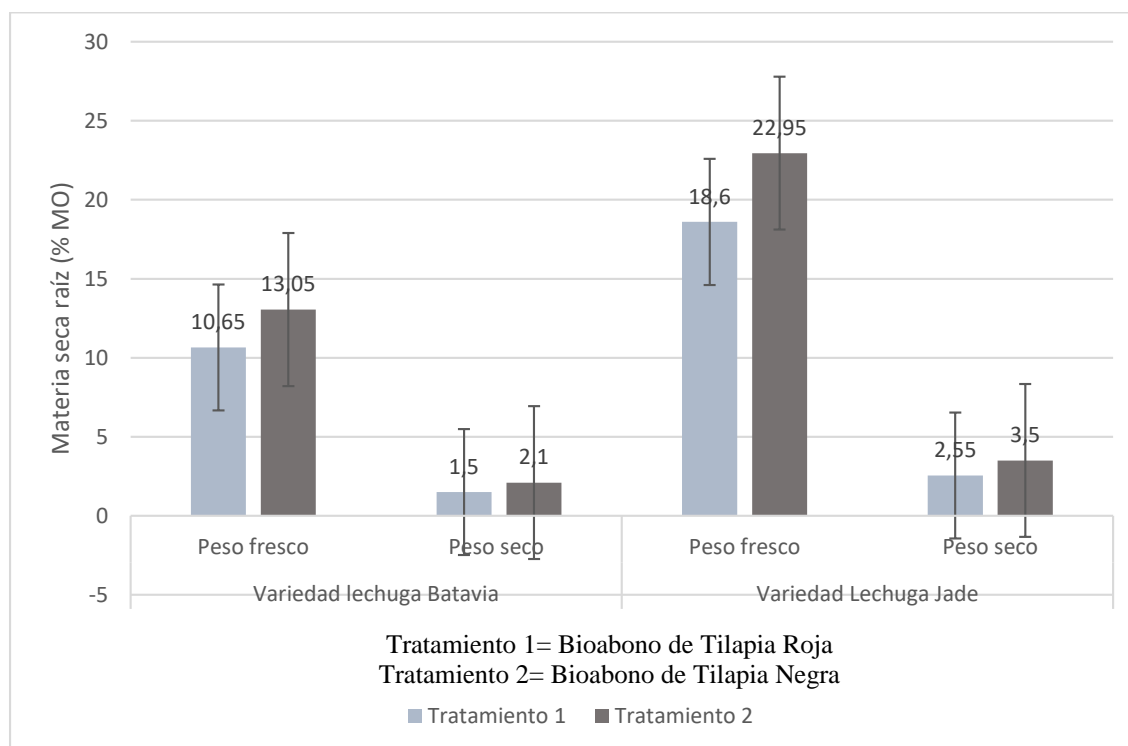
En cuanto al peso seco de las raíces, también se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos, con un valor de  $p = 0.003$ . Esto indica que los tratamientos influyen en el peso seco de las raíces de la lechuga Batavia.

- Variedad de Lechuga Jade

No se observaron diferencias significativas en el peso fresco de las raíces entre los tratamientos, con un valor de  $p = 0.4413$ . Sin embargo, se encontró una diferencia significativa en el peso seco de las raíces entre los tratamientos, con un valor de  $p = 0.003$ . Esto sugiere que los tratamientos tienen un efecto significativo en el peso seco de las raíces de la lechuga Jade.

Estos resultados resaltan la importancia de los tratamientos en la determinación del peso fresco y peso seco de las raíces de ambas variedades de lechuga. Para confirmar estas diferencias significativas, se realizó la prueba de significancia de Tukey, la cual se detalla a continuación.

**Figura 7.**  
*Prueba de significancia de la variable materia seca raíz*



Según se detalla en la figura 7 la prueba de significancia de Tukey compara las medias de los tratamientos en cuanto al peso fresco y peso seco de las raíces de las variedades de lechuga Batavia y Jade, con lo cual se corroboran las siguientes diferencias significativas:

- Variedad de Lechuga Batavia

En cuanto al peso fresco de las raíces, se observó una diferencia significativa entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con medias de 10.65% MO y 13.05% MO respectivamente.

Respecto al peso seco de las raíces, también se encontró una diferencia significativa entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con medias de 1.5 % MO y 2.1% MO respectivamente.

- Variedad de Lechuga Jade

En el caso del peso fresco de las raíces, se encontró una diferencia significativa entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con medias de 18.6% MO y 22.95% MO respectivamente.

Igualmente, para el peso seco de las raíces, se observó una diferencia significativa entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 2, con medias de 2.55% MO y 3.5% MO respectivamente.

Estos resultados resaltan las diferencias significativas encontradas entre los tratamientos tanto para el peso fresco como para el peso seco de las raíces en ambas variedades de lechuga.



## Análisis del porcentaje de materia seca

**Tabla 13**

*Porcentaje de materia seca*

Bloque	Tratamiento	Variedad de lechuga	Peso Promedio Materia Seca Hojas		% PROM. de la MS	Peso Promedio Materia Seca raíz		% PROM de la MS
			Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Hojas	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Raíz
1	Bioabono Tilapia Roja	Lechuga Batavia	16,2	2,2	13,58	10,2	1,60	15,69
		Lechuga Jade	37	6,2	16,76	17,6	3,00	17,05
		Lechuga Batavia	24,6	3,6	14,63	13,4	2,00	14,93
2	Bioabono Tilapia Negra	Lechuga Jade	24,6	9,6	39,02	23,2	3,60	15,52
		Bioabono Tilapia Roja	16,6	2,4	14,46	11,20	1,40	12,50
		Lechuga Jade	35,2	5,6	15,91	18,20	2,40	13,19
3	Bioabono Tilapia Roja	Lechuga Batavia	24,8	3,8	15,32	13,40	2,00	14,93
		Bioabono Tilapia Negra	63,2	10	15,82	22,40	3,20	14,29
		Lechuga Jade	16,4	2,6	15,85	11,00	1,60	14,55
4	Bioabono tilapia Roja	Lechuga Jade	33,8	5,2	15,38	18,80	2,60	13,83
		Bioabono tilapia negra	24,8	3,2	12,90	13,00	1,60	12,31
		Lechuga Jade	63,6	9,8	15,41	24,40	3,60	14,75
4	Bioabono tilapia Roja	Lechuga Batavia	14,2	2,2	15,49	10,20	1,40	13,73
		Bioabono tilapia negra	36,8	5,6	15,22	19,80	2,20	11,11
		Lechuga Jade	24,8	1,8	7,26	12,40	2,80	22,58
	Bioabono tilapia negra	Lechuga Jade	66,4	9,6	14,46	21,80	3,60	16,51

El análisis comparativo del porcentaje promedio de materia seca en las hojas y raíces de las diversas variedades de lechuga bajo distintos tratamientos de bioabono ofrece una visión detallada de cómo estos factores afectan el desarrollo y la nutrición de las plantas. Según el estudio realizado por Caldas et al (2019), se observa que la variedad "lechuga Jade" tiende a exhibir consistentemente los porcentajes más altos de materia seca tanto en las hojas como en las raíces en la mayoría de los bloques y tratamientos evaluados. Este patrón indica una potencial mayor capacidad de la variedad "Jade" para retener agua y nutrientes, lo que podría conferirle una mejor resistencia al estrés hídrico y una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes del suelo, tal como sugiere el estudio de (Carrion & Cordova, 2020)

Por otro lado, el tratamiento de bioabono "Tilapia Negra" muestra cierta variabilidad en su efecto sobre el porcentaje de materia seca en las hojas y raíces en comparación con "Tilapia Roja". En algunos casos, "Tilapia Negra" parece favorecer un mayor porcentaje de materia seca, especialmente en las raíces, mientras que en otros casos las diferencias son menos evidentes, tal como se discute en el estudio de Arredondo Guzmán( 2022). Esto sugiere que el tipo de bioabono utilizado puede influir en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y, por ende, en su capacidad para acumular materia seca.

Es crucial destacar que el porcentaje de materia seca en las hojas y raíces es un indicador crucial de la calidad nutricional y la salud general de las plantas, como también lo corroboran los hallazgos de Churuchumbi( 2019). Un mayor porcentaje de materia seca indica una mayor concentración de nutrientes esenciales, lo que puede tener un impacto positivo en el rendimiento y la calidad de los cultivos, según investigaciones realizadas por López et al. (2020).

En resumen, el análisis de la materia seca en las hojas y raíces de las variedades de lechuga bajo diferentes tratamientos de bioabono subraya la importancia de seleccionar variedades con alta capacidad de acumulación de materia seca y la influencia del tipo de bioabono en esta acumulación. Estos hallazgos son cruciales para mejorar las prácticas de manejo agrícola y maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos de lechuga dentro de un sistema acuapónico.

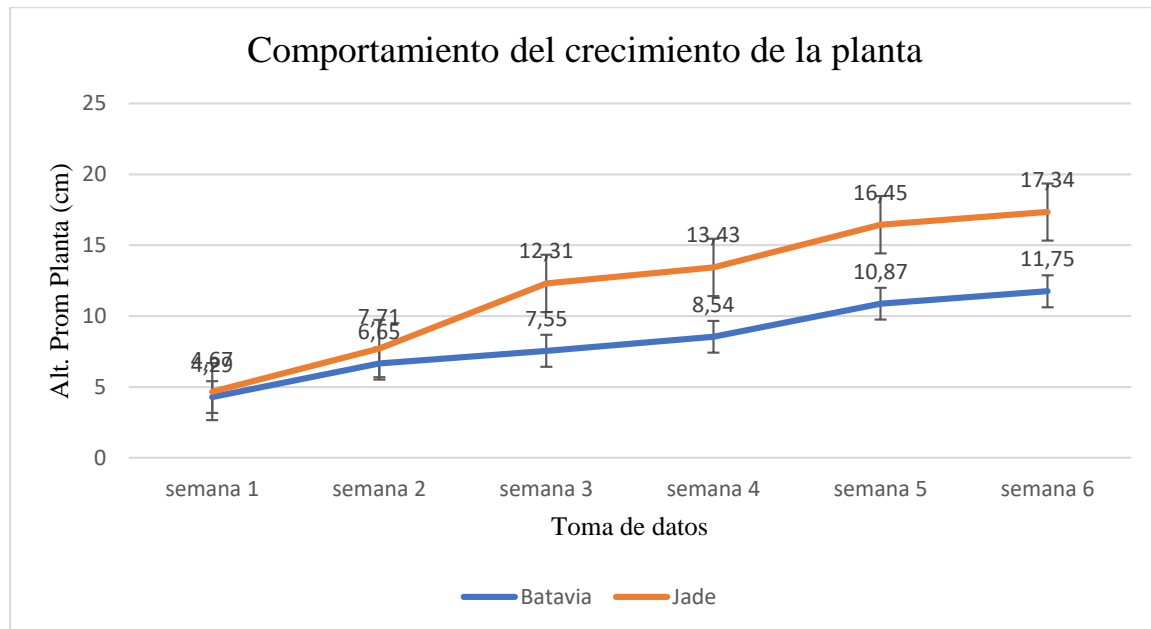
### **Análisis del comportamiento del crecimiento de la planta**

Para analizar el comportamiento del crecimiento de las plantas a lo largo del periodo de cultivo, se consideró la altura promedio de las dos variedades de lechuga en los dos

tratamientos, en la cual se puede observar la evolución de la altura a lo largo de las seis semanas. Los resultados se presentan en la siguiente figura.

### Figura 8

*Comportamiento del crecimiento de la lechuga en el periodo de seis semanas*



Según se puede observar en la figura 8, el comportamiento del crecimiento de la variedad de lechuga Batavia, la altura promedio comienza en aproximadamente 4.67 cm en la primera semana y aumenta progresivamente a lo largo de las semanas. En este sentido se puede evidenciar que esta variedad experimentó un crecimiento constante durante las primeras cinco semanas en los dos tratamientos utilizados, alcanzando un promedio de altura de aproximadamente 10.87 cm en la quinta semana. Para la sexta semana, la altura promedio de la lechuga Batavia alcanzó alrededor de 11.75 cm.

Mientras que en cuanto a la variedad de la lechuga Jade, en los dos tratamientos, muestra una altura inicial promedio ligeramente menor que la variedad Batavia, comenzando en aproximadamente 4.29 cm en la primera semana.

Esta variedad experimenta un crecimiento más rápido en comparación con la variedad Batavia, alcanzando un promedio de altura de aproximadamente 7.7 cm en la segunda semana y aumentando de manera significativa en las semanas siguientes. Para la sexta semana, la altura promedio de la variedad Jade alcanzó alrededor de 17.34 cm, lo que es significativamente mayor que la altura promedio de la variedad Batavia en la misma semana.

Al contrastar el análisis del crecimiento con la capacidad de absorción de las raíces, se puede observar una correlación entre el porcentaje de materia seca en las raíces y el crecimiento de las plantas de lechuga. La variedad "Jade" exhibe consistentemente un mayor porcentaje de materia seca en las raíces en comparación con la variedad "Batavia" en la mayoría de los bloques y tratamientos estudiados. Esto sugiere que la capacidad de absorción de nutrientes de las raíces de la variedad "Jade" es potencialmente mayor, lo que podría promover un crecimiento más rápido y vigoroso.

El análisis del crecimiento indica que la variedad "Jade" tiende a tener una tasa de crecimiento más rápida en comparación con la variedad "Batavia" en ambos tratamientos. Esta observación respalda la idea de que una mayor capacidad de absorción de nutrientes, reflejada en un mayor porcentaje de materia seca en las raíces, puede conducir a un crecimiento más rápido y saludable de las plantas.

En resumen, se puede evidenciar que la variedad Jade tiende a tener una tasa de crecimiento más rápida en comparación con la variedad Batavia en ambos tratamientos, sin embargo, el tratamiento a base de tilapia negra presenta una incidencia significativa en el crecimiento de ambas variedades, ya que la altura promedio es diferente entre los mismos para cada variedad.

## **Análisis del agua del sistema acuapónico**

### ***Análisis químico del agua del bioabono tilapia negra***

Para evaluar si los contenidos de nutrientes presentes en cada tratamiento son adecuados para el cultivo de lechuga, se realizará un análisis comparar los requerimientos generales de la absorción de la lechuga con los contenidos de nutrientes en el agua.

**Tabla 14.**

*Análisis químico del agua de bioabono de tilapia negra (kg/ha)*

Componentes	Requerimientos generales Rend. Kg/ha	Absorción tonelada	según	Contenido de nutrientes en el agua (kg/ha)
Potasio (K)	3	3,33		25,48
Calcio (Ca)	6			55,56
Magnesio (mg)	0,2			14,02
Sodio (Na)				35,28

Al comparar los requerimientos generales de nutrientes para el cultivo de lechuga con los contenidos de nutrientes presentes en el agua del bioabono de tilapia negra, podemos observar lo siguiente:

- **Potasio (K)**

Requerimientos Generales= 3 kg/ha

Contenido en el Agua del Bioabono= 25,48 kg/ha

Como el contenido de potasio en el agua del bioabono (2.74 kg/ha) es inferior a los requerimientos generales (3 kg/ha), podemos concluir que el bioabono de tilapia negra proporciona una cantidad insuficiente de potasio para satisfacer completamente las necesidades de potasio de los cultivos. Para resolver la posible deficiencia de potasio identificada en el análisis químico del agua, se pueden considerar la adición de una fuente de potasio al sistema de cultivo para aumentar la disponibilidad de este nutriente para las plantas de lechuga. Esto podría incluir el uso de fertilizantes potásicos como el sulfato de potasio, el cloruro de potasio o el nitrato de potasio, aplicados de manera adecuada según las necesidades del cultivo y siguiendo las recomendaciones de aplicación.

Así también se podría enriquecer el bioabono con una fuente de potasio adecuada. Esto se puede lograr alimentando a las tilapias con una dieta que contenga ingredientes ricos en potasio o mediante la adición directa de una fuente de potasio al agua del estanque de tilapia. De igual manera se deberá realizar un monitoreo regular de los niveles de potasio en el sistema de cultivo para ajustar las aplicaciones de fertilizantes o el enriquecimiento del bioabono según sea necesario. Esto garantizará que las plantas de lechuga reciban los niveles adecuados de potasio para un crecimiento óptimo.

Otra solución sería el uso de Tecnologías de Recirculación, la cual pueden implementar sistemas de filtración y recirculación que ayuden a mantener los niveles óptimos de potasio en el agua, asegurando así un suministro constante de este nutriente a las plantas de lechuga.

- **Calcio (Ca)**

Requerimientos Generales. 6 kg/ha a partir de las 16 hectáreas

Contenido en el Agua del Bioabono: **55,56** kg/ha

Dado que el contenido de calcio en el agua del bioabono (2.778 kg/ha) es inferior a los requerimientos generales (6 kg/ha), podemos concluir que el bioabono de tilapia negra proporciona una cantidad insuficiente de calcio para satisfacer completamente las necesidades de calcio de los cultivos en las 16 hectáreas. Es posible que se necesite una fuente adicional de calcio para alcanzar los niveles óptimos de nutrición para los cultivos, como agregar fuentes de calcio al agua del sistema acuapónico, como carbonato de calcio, sulfato de calcio (yeso) o nitrato de calcio. Estos productos pueden ayudar a elevar los niveles de calcio en el agua y proporcionar una fuente adicional para las plantas.

De igual forma se deberá modificar la alimentación de las tilapias para aumentar la concentración de calcio en el bioabono. Se pueden seleccionar alimentos que contengan niveles más altos de calcio para que las tilapias lo absorban y lo excreten en el bioabono en mayores cantidades. También se podría combinar el bioabono de tilapia negra con otros bioabonos ricos en calcio o fuentes de nutrientes que puedan proporcionar la cantidad necesaria de calcio para las plantas. Por ejemplo, compost de origen animal o vegetal que contenga una buena cantidad de calcio.

Por lo tanto es necesario realizar un seguimiento regular de los niveles de calcio en el agua y ajustar las prácticas de manejo según sea necesario. Esto puede implicar ajustar las cantidades de suplementos de calcio agregadas al sistema o modificar la dieta de las tilapias para mantener los niveles óptimos de calcio en el bioabono.

Al implementar estas medidas, se puede mejorar la disponibilidad de calcio en el sistema acuapónico y garantizar un suministro adecuado de este nutriente esencial para el crecimiento saludable de las plantas.

- **Magnesio**
- **Requerimientos Generales: 0.2 kg/ha**
- **Contenido en el Agua del Bioabono: 14,02 kg/ha**

El análisis del contenido de magnesio en el agua del bioabono de tilapia negra revela una concentración significativamente baja en comparación con los requerimientos generales para el cultivo. Esto puede plantear desafíos para el crecimiento saludable de las plantas, ya que el magnesio es un nutriente esencial para numerosos procesos metabólicos y el desarrollo de las plantas, para abordar la posible deficiencia de magnesio en el agua del bioabono y promover un crecimiento óptimo de la lechuga, se pueden agregar fuentes de magnesio al agua

del bioabono para aumentar su contenido y satisfacer los requerimientos de las plantas. Esto podría incluir la aplicación de sales de magnesio solubles en agua, como el sulfato de magnesio (sales de Epsom), que proporciona una forma fácilmente disponible de magnesio para las plantas. La suplementación regular con estas fuentes puede ayudar a corregir la deficiencia y promover un crecimiento saludable de las plantas de lechuga.

Si la deficiencia de magnesio persiste a pesar de la suplementación, se puede considerar ajustar la formulación del bioabono para aumentar su contenido de magnesio. Esto puede implicar modificar los ingredientes utilizados en la producción del bioabono para incluir fuentes de magnesio más ricas. Además, se puede optimizar el proceso de producción del bioabono para mejorar la retención y disponibilidad de magnesio en el producto final.

- **Sodio (Na):**

No se proporcionan requerimientos generales.

Contenido del agua del bioabono = 35,28

Dado que no se proporcionan requerimientos generales específicos para el sodio en el contexto del cultivo de lechuga, es importante considerar que el sodio es un elemento que, en exceso, puede tener efectos negativos en las plantas. Sin embargo, en cantidades adecuadas, puede desempeñar un papel importante en varios procesos fisiológicos de las plantas, como el equilibrio osmótico y el transporte de nutrientes.

Dado el contenido de sodio en el agua del bioabono, que es bastante bajo en comparación con otros nutrientes, y la ausencia de requerimientos generales específicos, es poco probable que la deficiencia de sodio sea un problema significativo en este contexto. Sin embargo, es importante monitorear regularmente los niveles de sodio en el sistema acuapónico para evitar acumulaciones excesivas que puedan ser perjudiciales para las plantas.

En resumen, mientras el contenido de sodio en el bioabono de tilapia negra esté dentro de niveles aceptables y no haya signos de acumulación excesiva, no se requieren acciones específicas para abordar este elemento en el contexto del cultivo de lechuga. Es fundamental mantener un equilibrio adecuado de nutrientes en el sistema acuapónico y realizar un monitoreo continuo para garantizar condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas.

Por su parte la **conductividad eléctrica** del agua de bioabono de tilapia negra es relativamente baja (0.31 dS/m), lo que sugiere una concentración moderada de sales disueltas

en el agua. Esta baja conductividad puede ser beneficiosa para las plantas al reducir el estrés osmótico y facilitar la absorción de nutrientes. El contenido de sólidos disueltos en el agua es de 196 mg/l o  $1.96 \times 10^{-4}$  kg/ha. Este valor indica una cantidad moderada de minerales y compuestos disueltos en el agua, lo cual es beneficioso para el crecimiento de las plantas al proporcionar nutrientes esenciales.

**El pH** del agua de bioabono de tilapia negra es neutro, con un valor de 6.7. Un pH equilibrado es favorable tanto para las plantas como para los peces, ya que facilita la absorción de nutrientes por parte de las plantas y contribuye a un ambiente acuático saludable para los peces. Mientras que la relación de adsorción de sodio es baja, con un valor de 0.77 o  $7.7 \times 10^{-7}$  meq/l. Esto sugiere una concentración baja de sodio en el agua, lo cual es beneficioso para la salud de los peces y puede contribuir al crecimiento saludable de las plantas.

La dureza del agua de tilapia negra es moderada, con un valor de 98 mg/l. Una dureza moderada puede ser beneficiosa para las plantas y los peces al proporcionar minerales importantes como calcio y magnesio, que son necesarios para su crecimiento y desarrollo.

En este sentido se considera que, los parámetros del agua del sistema de cría de tilapia negra son adecuados tanto para el cultivo de plantas como para la salud de los peces. La concentración moderada de sales disueltas, el pH neutro y la baja relación de adsorción de sodio contribuyen a un ambiente acuático favorable para el crecimiento y el bienestar de las especies involucradas.

#### ***Análisis de la calidad del agua del bioabono de tilapia roja***

En el análisis comparativo del análisis químico del agua de bioabono de tilapia roja, se identificará posibles deficiencias o excesos de nutrientes en comparación con los requerimientos generales para el crecimiento óptimo de la lechuga.

**Tabla 15.**

*Análisis químico del agua de bioabono de tilapia roja (kg/ha)*

Componentes	Requerimientos generales Rend. Kg/ha	Contenido de nutrientes en el agua (kg/ha)
Potasio (K)	3	26,16
Calcio (Ca)	6	40,40
Magnesio (mg)	0,2	10,98
Sodio (Na)		29.28



## **Potasio (K) 26,16 kl/ha**

### **Requerimientos generales 3 kg/ha**

Tras analizar los datos, se observa que el contenido de potasio (K) en el agua utilizada como bioabono es significativamente mayor que los requerimientos generales establecidos para este nutriente en el cultivo de plantas. Esto sugiere un exceso de potasio en el bioabono, lo que podría potencialmente afectar el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas.

Una posible solución para abordar este exceso de potasio es diluir el bioabono con agua de calidad adecuada para reducir la concentración de potasio. Además, se podría considerar la aplicación de técnicas de riego que permitan lavar el exceso de potasio del suelo, como el riego con agua en abundancia para lixiviar los nutrientes acumulados en la zona radicular. Otra opción sería reducir la frecuencia de aplicación del bioabono o ajustar la cantidad aplicada para evitar un exceso de potasio en el suelo.

Además, es importante monitorear regularmente los niveles de potasio en el suelo y en las plantas para ajustar las prácticas de fertilización según sea necesario. Esto ayudará a mantener un equilibrio adecuado de nutrientes en el suelo y a prevenir posibles problemas de toxicidad por exceso de potasio, lo que favorecerá un crecimiento saludable de las plantas y una producción agrícola óptima.

## **Calcio (Ca) 40,40**

### **Requerimientos generales 6 a partir de las 16 hectáreas**

Al analizar los datos, se observa que el contenido de calcio (Ca) en el agua utilizada como bioabono es considerablemente mayor que los requerimientos generales establecidos para este nutriente en el cultivo de plantas. Esto indica un exceso de calcio en el bioabono, lo que podría tener implicaciones negativas para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas.

Una posible solución para abordar este exceso de calcio es diluir el bioabono con agua de calidad adecuada para reducir la concentración de calcio. También se podría considerar la aplicación de técnicas de riego que ayuden a lavar el exceso de calcio del suelo, como el riego con agua en abundancia para lixiviar los nutrientes acumulados en la zona radicular. Además, es fundamental ajustar las prácticas de aplicación del bioabono para evitar un exceso de calcio en el suelo.

Además, es importante monitorear regularmente los niveles de calcio en el suelo y en las plantas para ajustar las prácticas de fertilización según sea necesario. Esto garantizará un equilibrio adecuado de nutrientes en el suelo y evitará problemas de toxicidad por exceso de calcio, lo que promoverá un crecimiento saludable de las plantas y una producción agrícola óptima.

### **Magnesio (mg) 10,89**

#### **Requerimientos generales de cultivo 0,2 k/ha**

Al comparar el contenido de magnesio (Mg) en el agua del bioabono con los requerimientos generales para el cultivo, se observa que hay una cantidad significativa de magnesio presente en el bioabono. Esta discrepancia indica un exceso de magnesio en relación con las necesidades del cultivo.

Para abordar esta situación, una posible solución es diluir el bioabono con agua de calidad adecuada para reducir la concentración de magnesio. Además, se pueden emplear técnicas de riego que favorezcan el lavado del exceso de magnesio del suelo, como el riego con agua en abundancia para promover la lixiviación de los nutrientes acumulados en la zona radicular.

Otra alternativa es ajustar las prácticas de aplicación del bioabono para evitar un exceso de magnesio en el suelo. Esto implica una planificación más precisa de la cantidad y frecuencia de aplicación del bioabono, así como una atención especial a la absorción y utilización de nutrientes por parte de las plantas.

Es esencial monitorear regularmente los niveles de magnesio en el suelo y en las plantas para ajustar las prácticas de fertilización según sea necesario. Esto ayudará a mantener un equilibrio adecuado de nutrientes en el suelo y a prevenir problemas de toxicidad por exceso de magnesio, lo que favorecerá un crecimiento saludable de las plantas y una producción agrícola óptima.

### **Sodio (Na) 29,28**

#### **No hay requerimientos generales de este elemento en el cultivo de lechuga**

Al evaluar el contenido de sodio (Na) en el agua del bioabono, se observa que la concentración es significativa. Aunque no hay requerimientos generales establecidos para el

sodio en el cultivo de lechuga, un exceso de este elemento puede ser perjudicial para el crecimiento de las plantas. Una posible solución para abordar este exceso de sodio es diluir el bioabono con agua de calidad adecuada que tenga bajos niveles de sodio. Esto ayudaría a reducir la concentración de sodio en el agua de riego y, por ende, en el suelo, mitigando así el riesgo de toxicidad por sodio para las plantas.

Además, se pueden implementar prácticas de manejo del riego para reducir la acumulación de sodio en el suelo. Por ejemplo, el riego por inundación o el drenaje controlado pueden ayudar a lavar el sodio del perfil del suelo y evitar su acumulación en la zona radicular de las plantas.

Otra medida preventiva es seleccionar fuentes de agua de riego con bajos niveles de sodio o implementar técnicas de desalinización si el agua disponible presenta concentraciones elevadas de este elemento.

Es importante monitorear regularmente los niveles de sodio en el suelo y en las plantas para detectar posibles problemas y ajustar las prácticas de manejo del riego y fertilización según sea necesario. Esto contribuirá a mantener un ambiente de crecimiento óptimo para las plantas de lechuga y a maximizar la productividad del cultivo.

En cuanto a la **Conductividad Eléctrica** (CE) del bioabono de tilapia roja (0,24 dS/m) indica una baja concentración de sales disueltas en el agua, lo cual puede ser beneficioso tanto para las plantas como para los peces al proporcionar un entorno menos estresante, mientras que, la concentración de sólidos disueltos en el agua ( $9.1 \times 10^{-5}$  mg/l) está en un rango aceptable para el cultivo de tilapia roja. Esto ha contribuido a un ambiente acuático saludable para las plantas y los peces.

**El pH** del agua del bioabono de tilapia roja (6) está dentro del rango óptimo para el cultivo de la tilapia roja y también es adecuado para el crecimiento de las plantas. Un pH equilibrado es fundamental para la absorción de nutrientes por parte de las plantas y el bienestar de los peces. La baja relación de adsorción de sodio (0,74meq/l) indica una baja concentración de sodio en el agua, lo cual es favorable para la salud de los peces y puede contribuir al crecimiento saludable de las plantas.

Finalmente, la baja dureza del agua con bioabono de tilapia roja (73 mg/l) es beneficiosa para las plantas al facilitar la absorción de nutrientes. Sin embargo, se debe tener en cuenta que

ciertas especies de peces, como la tilapia, pueden preferir aguas con cierto grado de dureza para mantener su salud y desarrollo óptimos.

Es este contexto, los parámetros del agua del sistema de cría de tilapia roja es adecuados tanto para el cultivo de plantas como para la salud de los peces. La baja concentración de sales disueltas, el pH equilibrado y la baja relación de adsorción de sodio contribuyen a un ambiente acuático saludable y propicio para el crecimiento.

### **Analisis costo beneficio**

Para comprender la viabilidad y el potencial de un sistema acuapónico, es fundamental realizar un análisis de los costos y beneficios asociados. Este análisis implica evaluar la inversión inicial en la infraestructura del sistema acuapónico, los gastos continuos de alimentación de los peces, así como los costos adicionales relacionados con la puesta en marcha y mantenimiento del sistema.

A través de esta evaluación, se busca determinar la rentabilidad económica del proyecto, así como su capacidad para generar beneficios tangibles, como la producción de lechuga y la eventual generación de ingresos adicionales a través de la venta de peces y productos vegetales. En este contexto, se examinarán detalladamente los costos y beneficios del sistema acuapónico, considerando los aspectos económicos, esto permitirá tomar decisiones informadas decisiones implementación y gestión.

**Tabla 16**  
*Inversión en el sistema acuapónico*

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>V.total</b>
2	u	Adaptadores para tanque ½	\$2,52	\$5,04
12	m	Alambre	\$0,50	\$6,00
100	u	Amarres negros	\$0,06	\$6,00
1	u	Balanza 2 Kg	\$9,00	\$9,00
1	u	Benjamín de 2 tomas	\$2,50	\$2,50
13	m	Cable gemelo	\$0,65	\$8,45
1	u	Canalón 2 m	\$15,00	\$15,00
90	u	Canastilla #8	\$0,20	\$18,00
1	u	Check	\$5,79	\$5,79
2	u	Cinta aislante negra	\$0,59	\$1,18
4	u	Codos ½	\$0,39	\$1,56
12	u	Codos 2"	\$0,39	\$4,68
1	u	Compresor de aire para acuario 009	\$75,30	\$75,30
1	Conjunto	Conjunto 3 Pares de conectores 2" (macho y	\$76,75	\$76,75

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>V.total</b>
		hembra) llave de agua de 2" 6 adaptadores para tanque 2"		
1	Conjunto	Conjunto Desagüe + Rejilla piso para el Desagüe 2"	\$2,00	\$2,00
6	u	Difusores esfera 5 cm micro burbujas	\$1,50	\$9,00
1	u	Enchufe	\$1,08	\$1,08
1	u	Esponja m <sup>2</sup>	\$5,00	\$5,00
1	u	Estructura madera para sostener tubos	\$50,00	\$50,00
1	Docena	Grapa plástica	\$1,00	\$1,00
1,38	m	Malla m <sup>2</sup>	\$1,38	\$1,90
20	m	Malla sarán/m <sup>2</sup>	\$1,50	\$30,00
1	Servicio	Mano de obra/grafitero	\$35,00	\$35,00
1	Servicio	Mano obra/carpintero	\$30,00	\$30,00
1 1/2	L	Pegamento de tubos	\$4,91	\$4,91
2	u	Pegamento en pasta	\$2,35	\$4,70
5	u	Perno ojo con tuerca	\$0,07	\$0,35
2	m	Plástico negro	\$1,00	\$2,00
2	u	Reductores 3 ¼ a ½	\$5,45	\$10,90
9	u	Reductores de 4" a 2"	\$0,88	\$7,92
1	u	Tanque 1000 L	\$65,00	\$65,00
3	u	Tanque 200 L / sin tapa	\$23,00	\$69,00
1	u	Tapa tanque 200 L	\$2,00	\$2,00
3200	u	Tapas plásticas	\$0,0125	\$40,00
43	u	Tapón hembras ½	\$0,41	\$4,51
11	u	Tapón macho 4"	\$2,21	\$19,89
8	u	Tee ½	\$0,36	\$2,88
1	u	Tee 2"	\$1,50	\$1,50
5	u	Teflón	\$0,35	\$1,75
1	u	Timer Analógico	\$9,16	\$9,16
1	u	Toma corriente	\$0,94	\$0,94
2	u	Tubo de agua ½"	\$1,21	\$2,42
3	m	Tubo de agua 2" de 3 m	\$1,53	\$4,59
30	m	Tubo Desagüe 4" de 3 m	\$1,53	\$45,90
13	m	Tubo plástico para acuario	\$1,03	\$13,39
2	u	Unión para tubos de agua 2"	\$1,29	\$2,58
2	u	Adaptadores para tanque ½	\$2,52	\$5,04
12	m	Alambre	\$0,50	\$6,00
100	u	Amarres negros	\$0,06	\$6,00
1	u	Balanza 2 Kg	\$9,00	\$9,00
1	u	Benjamín de 2 tomas	\$2,50	\$2,50
<b>TOTAL</b>				<b>\$716,52</b>

**Tabla 17**  
*Gasto de la puesta en marcha del sistema acuapónico*

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
60	u	Plántulas de las dos variables	\$0,05	\$3,00
30	u	Peces de 250 g	\$1,50	\$45,00
8,5	g	Balanceado	\$1,60	\$13,60
1	u	Entrega de los peces/viaje	\$20,00	\$20,00
2	litro	Humus líquido	\$3,50	\$7,00
30	u	Peces/tilapia gris 250 g	\$1,50	\$45,00
1	frasco	Stability 325 ml (Bacterias)	\$15,50	\$15,50
1	u	Test NH4 y NH3	\$14,00	\$14,00
1	u	Test químico el agua	\$37,00	\$37,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$150,10</b>

### **Rendimiento de la materia fresca de toneladas por hectárea**

El análisis del rendimiento de las lechugas por hectárea ofrece una visión integral de la productividad de cada variedad y tratamiento de bioabono en el sistema acuapónico. Al examinar los datos recopilados, se destaca claramente que la variedad Jade, especialmente cuando se combina con el tratamiento de bioabono de Tilapia Negra, presenta el rendimiento más alto en términos de toneladas por hectárea. Este hallazgo es de suma importancia, ya que resalta la eficacia de esta combinación particular en la producción de lechugas en un entorno acuapónico.

**Tabla 18.**  
*Rendimiento de peso fresco de tonelada por hectárea*

<b>Variedad</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Toneladas por hectárea (Tn/ha)</b>
Batavia	Tilapia Roja	15,85
Batavia	Tilapia Negra	24,75
Jade	Tilapia Roja	35,20
Jade	Tilapia Negra	64,35

**Tabla 19**  
*Ingresos estimados*

	Batavia P. prome (Tn/ha)	Jade P. prome (Tn/ha)	V. Mercado Tn	Batavia Ingresos (Tn/ha )	Jade Ingresos (Tn/ha )
Tilapia Roja	15,85	24,75	2692,31	42.673,11	66.634,67
Tilapia Negra	35,20	64,35	2692,31	94.769,31	173.250,15
<b>Total</b>	<b>51,05</b>	<b>89,10</b>	<b>5.384,62</b>	<b>137.442,43</b>	<b>239.884,82</b>

### Estimación de costos y gastos

Para la estimación de costos y gastos se considera la densidad de siembra, calculando número de plantas por hectáreas según Pertierra y Quispe (2020). En 1 metro cuadrado se puede cultivar entre 32 plantas de lechuga, esto determina que se pueden cultivar entre 32000 plantas de lechuga por hectárea, considerando una pérdida del producto del 20%, por lo tanto, los costos y gasto estimados en función al número de plantas por hectáreas se detalla a continuación.

- Costos por hectárea =  $(\$150,10 + \$716,52) / 25.600$
- Costos por hectárea =  $(\$866,62)/25.600 = 0,03$
- Es costo aproximado por unidad seria 0,03por hectárea.

**Tabla 20.**  
*Costo beneficio*

Variedad	Ingresos		Costo y gastos	Rentabilidad	
	Batavia	Jade		Batavia	Jade
Tilapia Roja	11.767,04	26.132,48	9600,00	2.167,04	16.532,48
Tilapia Negra	18.374,40	47.773,44	9600,00	8.774,40	38.173,44
<b>Total</b>	<b>30.141,44</b>	<b>73.905,92</b>		<b>10.941,44</b>	<b>54.705,92</b>

Al analizar los resultados del costo-beneficio para cada variedad de lechuga en combinación con los dos tipos de tilapia, observamos que la rentabilidad varía significativamente entre las diferentes combinaciones. Para la variedad Batavia, la rentabilidad es de \$2.167,04 al combinarla con Tilapia Roja y de \$8.774,40 al combinarla con Tilapia Negra. Por otro lado, la variedad Jade muestra una rentabilidad de \$16.532,48 con Tilapia Roja y de \$38.173,44 con Tilapia Negra.

Estos resultados sugieren que la combinación más rentable es la variedad Jade con Tilapia Negra, que tiene la rentabilidad más alta en comparación con las otras combinaciones. La rentabilidad significativamente mayor de esta combinación puede atribuirse a una posiblemente una mayor eficiencia de conversión de los nutrientes proporcionados por la Tilapia Negra en comparación con la Tilapia Roja.

En términos prácticos, este análisis indica que la combinación de la variedad Jade con Tilapia Negra podría ofrecer la mejor relación costo-beneficio para el productor, lo que sugiere una estrategia potencialmente más rentable para la producción acuapónica de lechugas.

De acuerdo con Carrión y Córdoba (2020), para abordar esta disparidad en la rentabilidad, se pueden considerar varias soluciones, como realizar ajustes en la composición del bioabono de tilapia roja para mejorar su compatibilidad con las necesidades de las plantas, optimizando así los resultados. Además, se puede llevar a cabo un monitoreo más riguroso de las condiciones ambientales y la calidad del agua para garantizar un entorno óptimo para el crecimiento de las plantas en todos los sistemas acuapónicos.

### **Análisis general**

Tras analizar los resultados de las muestras recolectadas en cada semana de cultivo, se observa una tendencia que sugiere que el bioabono elaborado con las tilapias negras tiene un mayor impacto en los diferentes parámetros evaluados, como la altura de la planta, el diámetro del tallo, la concentración de clorofila y la materia seca en las hojas y raíces de la lechuga. Esta tendencia se refleja en el análisis de varianza, donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y las variedades de lechuga. Específicamente, se destaca que el bioabono derivado de las tilapias negras parece promover un contenido más alto en los diversos componentes analizados.

En resumen, este análisis resalta la importancia de elegir cuidadosamente los tratamientos y las variedades de lechuga para maximizar la producción de materia seca en las raíces durante el cultivo, lo que puede influir en la calidad y el rendimiento general de la cosecha.

### **Discusión de resultados**

De acuerdo con los resultados del ANOVA, se observa una diferencia significativa en la altura promedio entre las variedades de lechuga y las semanas de evaluación ( $p < 0.05$ ). De igual forma la prueba de Tukey revela que entre Variedades: Existe una diferencia significativa



en la altura promedio entre las variedades de lechuga (Batavia y Jade) en todas las semanas evaluadas ( $p < 0.05$ ).

También se observa una diferencia significativa en la altura promedio entre las diferentes semanas de evaluación para ambas variedades de lechuga ( $p < 0.05$ ). Esto sugiere que el tiempo de crecimiento tuvo un impacto en la altura alcanzada por las plantas, con un crecimiento progresivo a lo largo de las semanas.

Estos hallazgos concuerdan con la literatura actual sobre el crecimiento de las plantas de lechuga en diferentes condiciones. Según estudios recientes de Salinas et al. (2023), se ha demostrado que la variedad de lechuga, junto con el tiempo de cultivo, afecta significativamente la altura y el desarrollo de las plantas. Además, investigaciones de García et al. (2022) respaldan la idea de que la selección adecuada de la variedad de lechuga puede influir en su rendimiento y altura final. Además, los resultados de la prueba de Tukey son consistentes con los hallazgos de otros estudios, como el realizado por López et al. (2021), que encontraron diferencias significativas en la altura de las plantas de lechuga entre diferentes variedades y períodos de crecimiento.

De igual forma los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) revelaron diferencias significativas tanto entre los factores como en la interacción entre las variedades de lechuga y los tratamientos en relación con la longitud de la raíz durante las primeras tres semanas. Estas observaciones son consistentes con la literatura científica reciente que respalda la importancia de considerar tanto la variedad de la planta como los tratamientos aplicados en la producción agrícola para optimizar el crecimiento y la calidad de los cultivos.

Según investigaciones recientes, la selección adecuada de variedades de plantas es fundamental para maximizar el rendimiento y la resistencia a factores estresantes ambientales (Sharma et al., 2020). En el caso de la lechuga, diferentes variedades pueden exhibir respuestas divergentes a los tratamientos aplicados, lo que destaca la importancia de comprender las interacciones genotipo-ambiente para lograr resultados óptimos en la producción.

El impacto significativo de los tratamientos en la longitud de la raíz de la lechuga Batavia y Jade resalta la influencia crucial de las prácticas agronómicas en el desarrollo de las plantas. La literatura ha destacado la importancia de aplicar técnicas agrícolas adecuadas, como el manejo del riego, la fertilización y el control de plagas, para promover un crecimiento saludable de las raíces y optimizar la absorción de nutrientes por parte de las plantas (Kumar et al., 2021).

Además, la interacción significativa entre las variedades de lechuga y los tratamientos subraya la complejidad de los sistemas agrícolas y la necesidad de un enfoque holístico para la optimización de los cultivos. Estos hallazgos respaldan la idea de que las respuestas de las plantas a los tratamientos agrícolas pueden variar dependiendo de la genética de la planta, lo que subraya la importancia de personalizar las prácticas agrícolas según las características específicas de las variedades cultivadas (Mousavi et al., 2019).

Los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para la materia seca revelaron diferencias significativas tanto entre los factores como en la interacción entre las variedades de lechuga y los tratamientos a lo largo de las seis semanas evaluadas. Estas observaciones son consistentes con la literatura científica reciente que destaca la influencia de diversos factores en la acumulación de materia seca en las plantas, incluyendo la genética de la variedad, las condiciones de crecimiento y los tratamientos aplicados.

Investigaciones recientes han demostrado que las características genéticas de las plantas, como la tolerancia al estrés y la eficiencia en la captura de nutrientes, pueden influir significativamente en la acumulación de materia seca (Nouri et al., 2020). La variabilidad genética entre las diferentes variedades de lechuga puede explicar las diferencias observadas en la materia seca entre las variedades Batavia y Jade en este estudio.

Además, la literatura ha resaltado la importancia de los tratamientos agronómicos en la acumulación de materia seca en las plantas. La fertilización, el riego y otras prácticas culturales pueden afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que a su vez influye en la producción de biomasa y materia seca (Raza et al., 2021). Los resultados de este estudio sugieren que los tratamientos aplicados tuvieron un impacto significativo en la acumulación de materia seca en ambas variedades de lechuga.

La interacción significativa entre las variedades de lechuga y los tratamientos resalta la importancia de considerar la respuesta diferencial de las plantas a los tratamientos agronómicos según su genética. Estos hallazgos están en línea con investigaciones previas que han demostrado que la respuesta de las plantas a los tratamientos agronómicos puede variar dependiendo de la variedad y el genotipo de la planta (Wang et al., 2019).

En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información valiosa sobre los factores que influyen en la acumulación de materia seca en las plantas de lechuga. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la optimización de las prácticas

agronómicas y el mejoramiento de los rendimientos de los cultivos, lo que contribuye a la sostenibilidad y la eficiencia de la producción agrícola.

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- Al analizar los valores promedio de altura, se observa que el tratamiento con bioabono de tilapia Negra resultó en alturas medias más altas en comparación con el tratamiento con tilapia Roja en todas las semanas analizadas para ambas variedades de lechuga. Por ejemplo, para la variedad Jade, las alturas medias fueron de 11,7 cm, 12,95 cm, 15,12 cm y 15,95 cm en las semanas 3, 4, 5 y 6 respectivamente con tilapia Roja, mientras que con tilapia Negra fueron de 12,91 cm, 13,93 cm, 17,79 cm y 18,73 cm en las mismas semanas.
- El análisis de los datos revela diferencias significativas en la longitud de la raíz de las plantas de lechuga entre los tratamientos con bioabonos de tilapia Roja y Negra en las variedades Batavia y Jade. En la variedad Batavia, se observan diferencias significativas en la longitud de la raíz debido al tratamiento durante la segunda y tercera semana de cultivo, con valores de p-valor de 0,012 en ambos casos. Esto sugiere que los tratamientos aplicados tienen un impacto significativo en la longitud de la raíz de la lechuga Batavia durante estas semanas.
- Con relación a la variable diámetro del tallo el análisis de los datos revela que existe una diferencia significativa entre los dos tratamientos, para todas las semanas, dado que las diferencias estadísticas de revelan mayores  $P < 0,05$ , destacando una mayor eficiencia del abono de tilapia negra en el desarrollo y crecimiento de la planta.
- De igual manera el porcentaje de la materia seca presenta un promedio más alto en el tratamiento de tilapia negra combinado con la variedad de lechuga Jade esto debido a las características propias de la planta, mismas que presentan mayor capacidad de absorción de los nutrientes, como también por los componentes nutricionales que generan las tilapias de color negro

## Recomendaciones

- Continuar monitoreando y manteniendo el sistema acuapónico NFT. Se recomienda mantener un monitoreo constante del sistema acuapónico NFT para asegurar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo. Esto incluye realizar análisis regulares del agua para garantizar niveles adecuados de nutrientes y oxígeno, así como mantener un adecuado flujo de agua y la limpieza de los componentes del sistema. Además, es importante documentar y compartir las lecciones aprendidas durante la implementación del sistema para futuros proyectos similares, lo que contribuirá al desarrollo y la mejora continua de la agricultura acuapónica en entornos urbanos.
- Evaluación continua del rendimiento de las variedades de lechuga. Es esencial continuar evaluando y comparando el rendimiento de diferentes variedades de lechuga bajo el sistema acuapónico NFT para identificar las variedades más adecuadas para este tipo de producción. Esto implicaría realizar ensayos adicionales para determinar cómo diferentes variedades responden a las condiciones del sistema y qué variedades pueden ofrecer el mejor rendimiento en términos de crecimiento vegetativo, resistencia a enfermedades y calidad del producto final. Además, se sugiere investigar más sobre las características genéticas y los requisitos de manejo de cada variedad para optimizar su cultivo en el sistema acuapónico.
- Investigación y experimentación con bioabonos de tilapia y otras fuentes de nutrientes. Se recomienda continuar investigando y experimentando con diferentes tipos de bioabonos de tilapia y otras fuentes de nutrientes para optimizar la producción de lechuga en sistemas acuapónicos. Esto podría implicar probar diferentes formulaciones de bioabonos, ajustar las cantidades aplicadas y evaluar su impacto en el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas. Además, se sugiere realizar análisis económicos para evaluar la viabilidad económica de la producción de lechuga en este sistema y compararla con otros métodos de cultivo tradicionales. Estos análisis ayudarán a determinar la rentabilidad del sistema acuapónico NFT y su capacidad para competir en el mercado agrícola.

## Referencias bibliográficas

- Arredondo, J. L., & Guzmán, M. (2022). Actual situación taxonomica de las especies de la tribu tilapiini (pisces: cichlidae) introducidas en Mexico. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología*, 38-75. Obtenido de <https://anales.ib.unam.mx/index.php?journal=SerZool&page=article&op=view&path%5B%5D=1973>
- Caicedo Aldaz, J. C., Puyol Cortez, J. L., López, M. C., & Ibáñez Jacome, S. S. (2020). Adaptabilidad en el sistema de producción agrícola: Una mirada desde los productos alternativos sostenibles. *Revista de Ciencias Sociales*, XXVI(4), 3-15. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/280/28065077024/28065077024.pdf>
- Caldas, A., Castillo, I., Prado, S., Rosales, L., & Vargas, L. (2019). Diseño y construcción de sistemas acuapónicos a pequeña escala para familias de la región Piura. *Universidad de Piura*. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/items/7a22dab0-90c6-4cd2-ae75-5791cf6dd37b>
- Callejas, D., & Pulgarín, P. (2021). *Diseño Y Evaluación De Un Sistema Acuapónico Como Estrategia*. Colombia: Universidad Tecnológica De Pereira.
- Carrion, O., & Cordova, C. (2020). Sistema acuapónico a partir de efluentes de *Oreochromis niloticus* (Tilapia) para cultivo de *Lactuca Sativa* (Lechuga) en la región Lambayeque. *Ingeniera Ambiental*. Chiclayo, Perú: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50242/Carrion\\_CO%20%20Cordova\\_LC%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50242/Carrion_CO%20%20Cordova_LC%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Churuchumbi, V. H. (2019). *Evaluación de la dieta con harina de larva de cutzo (phyllophaga spp.) en la alimentación de cría y juvenil de tilapia roja (oreochromis sp.) en la parroquia La Carolina, Ibarra*. Ecuador: Universidad Técnica Del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10789/2/03%20AGP%20278%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Evaluation of the nitrogen cycle in an agricultural soil disturbed with nickel-salphen and zinc-salphen compounds: Evaluación del ciclo del nitrógeno en un suelo agrícola perturbado con compuestos Salfen de níquel y zinc. (s.f.).

- Leal, O. G. (2017). Rango de pH óptimo para el desarrollo de tomate (*Solanum lycopersicum* L) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en acuaponía. *Licenciado en ciencias*. México: Leal Ayala, Oliver Gabriel. Obtenido de [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3983/Leal\\_Ayala\\_O\\_G\\_MC\\_Edafologia\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3983/Leal_Ayala_O_G_MC_Edafologia_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics. *The Basics*. Obtenido de [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-15943-6\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-15943-6_5)
- Lopez, A., Mondragón, L., Hayano, C., Varela, A., Vílchez, V., & Calderón, K. (2020). Evaluación del ciclo del nitrógeno en un suelo agrícola perturbado con compuestos Salfen de níquel y zinc. *Biotecnia*, 22(3), 5-14. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562020000300029&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562020000300029&script=sci_arttext)
- López, J. (2019). Cultivo acuapónico guía especializada. *Aula del Mar*, 289.
- Madrigal, M. F. (2022). Dilemas de la gobernanza del agua: aportes desde los derechos humanos para la democratización de la gestión del agua en Colombia. *Doctor en Estudios Avanzados en Derechos Humanos*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/36315/tesis\\_mauricio-felipe\\_madrigal\\_perez\\_2022.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/36315/tesis_mauricio-felipe_madrigal_perez_2022.pdf?sequence=1)
- Mantilla, B. D. (2021). *Uso de harina de soya (Glycine max) ” en la Alimentación de tilapia*. Babahoyo, Ecuador: Universidad Técnica De Babahoyo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9312/E-UTB-FACIAG-MVZ-000027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, J. E. (2022). *SISTEMA ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (Lactuca sativa) Y TILAPIA (Oreochromis niloticus), SANTA ANA - 2020*. Manabí, Ecuador: ULEAM. Obtenido de <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3349/3/ULEAM-AGRO-0103.pdf>
- Mesa Villegas, L. (2021). Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS. *zootecnista*. Colombia: Unilasallista Corporación Universitaria.

- Mesa, L. I. (2023). *Sistema de adquisición de datos en cultivos de huertos urbanos*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica Del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14365/2/04%20MEC%20478%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (15 de 02 de 2021). *minagricultura.gov*. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Montesinos, P. (2021). Cómo alimentar al mundo sin agotar el agua dulce del planeta. *Ethic*. Obtenido de <https://ethic.es/2021/09/como-alimentar-al-mundo-sin-agotar-el-agua-dulce-del-planeta/>
- Morales, G., Serna-Lagunes, R., & Cebada-Merino, M. (2023). La acuaponía y su implementación como un escenario de aprendizaje. *Bioagrociencias*, 16(1), 1-9. Obtenido de <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/viewFile/4814/2050>
- Ormaza, D. L., & Ormaza, M. Á. (2023). Evaluación de un sistema acuaponico en tilapia y lechuga. *Trabajo de Grado para Optar al Título de Zootecnista*. Colombia: Universidad Industrial de Santande. Obtenido de <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/abecce61-8b01-4115-a5ca-7b9d92486779/content>
- PRONACA. (25 de 7 de 2019). *Manejo Y Nutrición De La Tilapia*. Obtenido de Manejo Y Nutrición De La Tilapia: <https://www.procampo.com.ec/index.php/blog/10-nutricion/45-manejo-y-nutricion-de-la-tilapia>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2020). Small-scale aquaponic food production. *Journal of Experimental Biology*, 589. Obtenido de <https://journals.biologists.com/jeb/article/222/14/jeb208595/20819/Light-avoidance-by-a-non-ocular-photosensing>
- Somerville, C., Mothi, C., Pantanella, E., & Stankus, A. (2022). *Producción de alimentos en acuaponia a pequeña escala*. Roma: FAO. Obtenido de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yMBqEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA125&dq=acuaponia&ots=y0GTnOdfNs&sig=PN\\_S6T9hAV-RvbQAQqQQZg9AErw#v=onepage&q=acuaponia&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yMBqEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA125&dq=acuaponia&ots=y0GTnOdfNs&sig=PN_S6T9hAV-RvbQAQqQQZg9AErw#v=onepage&q=acuaponia&f=false)



- Téllez, V., Ocampo, I., Tornero, M., López, P., & Alberto, V. (2023). Percepción de los agricultores sobre el riesgo por el uso de agua residual para riego en la zona de Atlixco, Puebla. *Acta Universitaria*, 33. Obtenido de <http://doi.org/10.15174.au.2023.3676>
- Tutillo, M. (Septiembre de 2021). *Análisis de factibilidad para la implementación de un sistema de producción Acuapónico De Lechuga Y Tilapia En La Ciudad De Santo Domingo-Ecuador*. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/34b67e6b-b803-4c25-b1b4-554027f7d9a3/content>
- Valdez, Y., & Aguilar, F. (2019). Ingeniero (a) en Industrias Alimentarias. *Utilización del aguacate regional para la modificación de la calidad del filete de tilapia (Oreochromis niloticus)*. Sinaloa, Mexico: Tecnológico Nacional De Mexico.
- Vallecilla, A. I. (2023). Licenciado en Gestion Ambiental. *Ensayo de acuaponía en escala reducida como alternativa sostenible de producción agropecuaria*. Esmeraldas, Ecuador: PUCE. Obtenido de [https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/3446/3/Teis%20E.A.D.S\\_%20A.%20Vallecilla%20G%20%281%29.pdf](https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/3446/3/Teis%20E.A.D.S_%20A.%20Vallecilla%20G%20%281%29.pdf)