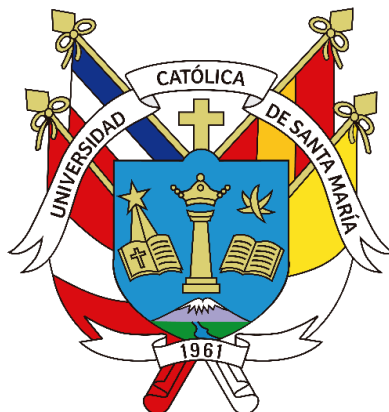


Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola



Evaluación comparativa de dos soluciones nutritivas bajo el sistema hidropónico de sustrato y raíz flotante en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) en la Empresa

Fagsol S.A.C. – Arequipa, 2023

Tesis presentada por el Bachiller:

Pinto Diaz, Juan Miguel

ORCID: 0009-0003-9546-7235

para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y Agrícola

Asesor:

Ing. Stretz Chávez, Humberto José

ORCID: 0000-0003-0102-8809

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AGRONOMICA Y AGRICOLA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Julio del 2024

Dictamen: 009485-C-EPIAyA-2024

Visto el borrador del expediente 009485, presentado por:

2014801181 - PINTO DIAZ JUAN MIGUEL

Titulado:

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS BAJO EL SISTEMA
HIDROPÓNICO DE SUSTRATO Y RAÍZ FLOTANTE EN EL CULTIVO DE RÁBANO (RAPHANUS
SATIVUS) EN LA EMPRESA FAGSOL S.A.C. - AREQUIPA, 2023**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AGRONOMO Y AGRÍCOLA

**29593741 - ZEGARRA FLORES JORGE ARTURO
DICTAMINADOR**



**29500662 - DIAZ VENTO INGRIND MIRNA
DICTAMINADOR**



**41785189 - RAMIREZ CHOQUEHUANCA SHIRLEY GABRIELA
DICTAMINADOR**



Evaluación comparativa de dos soluciones nutritivas bajo el sistema hidropónico de sustrato y raíz flotante en el cultivo de rábano (*Raphanus Sativus*) en la Empresa Fagsol S.A.C. – Arequipa, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

7 %

FUENTES DE INTERNET

4 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	1 %
2	portal.amelica.org Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.ulead.edu.ec Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
8	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1 %

Dedicatoria

Dedico este proyecto en primer lugar a Dios por ser mi compañía, mi fortaleza y amor incondicional y está conmigo en cada paso que doy.

Del mismo modo va dedicado a mis padres Miguel y Soraya que han sido el impulso tanto durante el desarrollo de este proyecto como durante todo mi camino como universitario, siendo un soporte fundamental para el término de esta etapa en mi vida que cierra con la realización de esta tesis.

A mis hermanas Milagros y Marbela que por todo su amor incondicional y compañía me impulsaron a salir adelante.

A mis abuelos Juan Miguel, Audelia, Alberto y Vilma que por sus consejos y oraciones hicieron de mí una persona fuerte y responsable.

A Michelle que con todo su cariño y apoyo me inspiró seguridad a cada paso que daba y siempre luchar por mis sueños.

Agradecimiento

Mi sincero agradecimiento a mis padres por siempre impulsarme a dar lo mejor de mí y no dejarme caer en ningún momento; a mis maestros quienes cuyas enseñanzas resultaron fundamentales para este proyecto y mi vida como profesional, gracias a cada uno de los ingenieros e ingenieras y especialmente a mi asesor, por su constante ayuda en la formulación de mi trabajo de tesis.



RESUMEN

El aumento en la demanda de productos agrícolas de alta calidad y con procesos de cultivo óptimos ha llevado a la aplicación de sistemas hidropónicos para el cultivo de hortalizas, como el rábano, que es una hortaliza de raíz con gran adaptabilidad y valor nutricional. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el cultivo hidropónico en sustrato frente al de raíz flotante en la producción de rábanos en la empresa Fagsol S.A.C., Arequipa. La investigación fue de tipo aplicada y experimental, utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2 y 4 repeticiones, sumando un total de 16 tratamientos. El factor A corresponde a los sistemas hidropónicos: sustrato (A1) y raíz flotante (A2), mientras que el factor B corresponde a la solución nutritiva: mineral (B1) y orgánica (B2). Los tratamientos se distribuyeron de la siguiente manera: T1 (A1 B1), T2 (A1 B2), T3 (A2 B1) y T4 (A2 B2). Se evaluaron las características comerciales y el rendimiento (peso de la raíz) de los rábanos en cada tratamiento.

En la comparación de las características de los rábanos, se determinaron raíces con mayor peso en el tratamiento T3 (hidroponía de raíz flotante + solución mineral), alcanzando un promedio de 57.0 g, y en el tratamiento T4 (hidroponía de raíz flotante + solución orgánica), con un peso promedio de 40.0 g. Las longitudes fueron de 4.8 cm y 5.6 cm para T3 y T4, respectivamente. En los tratamientos T1 (hidroponía de sustrato + solución mineral) y T2 (hidroponía de sustrato + solución orgánica), los pesos promedios fueron de 21.8 g y 19.5 g, respectivamente. El mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento T3, logrando una masa promedio de 367.0 g.

Palabras claves: rábanos, sistemas hidropónicos, solución nutritiva

ABSTRACT

The increasing demand for high-quality agricultural products with optimal cultivation processes has led to the application of hydroponic systems for growing vegetables, such as radishes, which are root vegetables with great adaptability and nutritional value. This study aims to evaluate hydroponic substrate cultivation versus floating root cultivation in the production of radishes at Fagsol S.A.C., Arequipa. The research was applied and experimental, utilizing a completely randomized design with a 2x2 factorial arrangement and 4 repetitions, totaling 16 treatments. Factor A corresponds to the hydroponic systems: substrate (A1) and floating root (A2), while factor B corresponds to the nutrient solution: mineral (B1) and organic (B2). The treatments were distributed as follows: T1 (A1 B1), T2 (A1 B2), T3 (A2 B1), and T4 (A2 B2). Commercial characteristics and yield (root weight) of the radishes were evaluated in each treatment.

In comparing the characteristics of the radishes, the heaviest roots were found in treatment T3 (floating root hydroponics + mineral solution), with an average weight of 57.0 g, and in treatment T4 (floating root hydroponics + organic solution), with an average weight of 40.0 g. The lengths were 4.8 cm and 5.6 cm for T3 and T4, respectively. In treatments T1 (substrate hydroponics + mineral solution) and T2 (substrate hydroponics + organic solution), the average weights were 21.8 g and 19.5 g, respectively. The highest yield was obtained with treatment T3, achieving an average mass of 367.0 g.

Keywords: radishes, hydroponic systems, nutrient solution

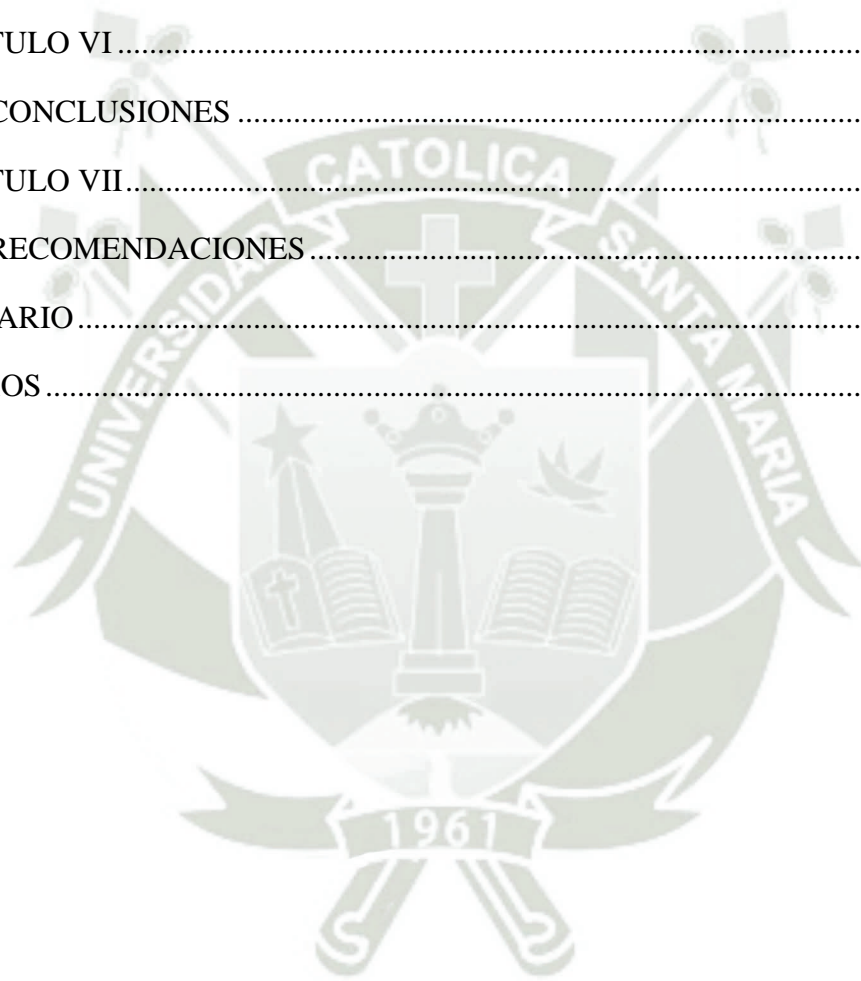
ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	3
1.1. Enunciado del problema.....	3
1.2. Descripción del problema.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. Aspecto general.....	4
1.3.2. Aspecto tecnológico.....	5
1.3.3. Aspecto social.....	5
1.3.4. Aspecto económico.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivos generales.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Tipo de investigación.....	6
1.7. Efecto en el desarrollo local y/o regional.....	7
CAPITULO II.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Conceptos básicos.....	8
2.1.1. Rábano.....	8
2.1.2. Contenido Nutricional.....	9
2.1.3. Descripción del cultivo del rábano.....	10

2.1.4.	Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del rábano.....	11
2.1.5.	Requerimientos Nutricionales	12
2.1.6.	Hidroponía.....	12
2.1.7.	Tipos de sistemas hidropónicos.....	13
2.1.8.	Solución nutritiva	21
2.2.	Revisión de antecedentes investigativos	21
CAPÍTULO III		29
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1.	Materiales.....	29
3.1.1.	Localización del trabajo	29
3.1.2.	Materiales biológicos	29
3.1.3.	Materiales de laboratorio.....	29
3.1.4.	Materiales de campo y escritorio	29
3.1.5.	Reactivos	30
3.1.6.	Equipos.....	30
3.2.	Métodos.....	30
3.2.1.	Población.....	30
3.2.2.	Muestra.....	31
3.2.3.	Procedimiento de muestreo	31
3.2.4.	Formación de unidades experimentales de estudio.....	31
3.3.	Métodos de evaluación.....	32
3.3.1.	Metodología de la experimentación	32
3.3.2.	Ajustes metodológicos.....	36
3.4.	Estrategias de recolección de datos.....	38
3.4.1.	En el campo	38
3.4.2.	En el laboratorio	39
3.4.3.	En la biblioteca	39

3.5. Variables	39
3.5.1. Variables independientes	39
3.5.2. Variables dependientes	40
3.6. Evaluación Estadística	43
3.6.1. Diseño Experimental	43
3.6.2. Unidades experimentales	43
3.6.3. Diseño de tratamientos	43
3.6.4. Distribución de tratamientos.....	43
3.7. Análisis estadísticos	45
3.7.1. Análisis de varianza.....	45
3.7.2. Análisis de significancia.....	46
3.7.3. Prueba de Tukey para comparaciones múltiples	46
CAPÍTULO IV	47
4. RESULTADOS	47
4.1. Comparación del desarrollo biométrico de los rábanos	47
4.1.1. Número de hojas por planta.....	48
4.1.2. Ancho de la hoja	51
4.1.3. Longitud de la hoja.....	54
4.1.4. Altura de la planta.....	57
4.1.5. Área foliar.....	61
4.1.6. Tasa relativa de crecimiento (TRC).....	65
4.1.7. Tasa absoluta de crecimiento (TAC)	67
4.1.8. Tasa de asimilación neta (TAN).....	68
4.2. Determinación de las características de los rábanos	70
4.2.1. Peso de la raíz reservante.....	71
4.2.2. Perímetro de la raíz reservante	73
4.2.3. Longitud de la raíz.....	75

4.2.4. Diámetro de la raíz reservante	76
4.2.5. Color de la raíz reservante	79
4.3. Evaluación de la masa de rábanos.....	84
4.3.1. Rendimiento de rábanos bajo dos sistemas hidropónicos	92
CAPITULO V	94
5. DISCUSIÓN	94
CAPITULO VI.....	97
6. CONCLUSIONES	97
CAPITULO VII.....	98
7. RECOMENDACIONES.....	98
GLOSARIO.....	106
ANEXOS.....	108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía del rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.)	8
Tabla 2 Composición nutricional del rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.).....	9
Tabla 3 Composición de la solución química (soluciones A y B).....	33
Tabla 4 Composición de la solución orgánica.....	34
Tabla 5 Valores de pH y conductividad eléctrica del agua para la preparación de las soluciones	37
Tabla 6 Composición de las soluciones nutritivas.....	39
Tabla 7 Matriz de operacionalización.....	41
Tabla 8 Diseño de los tratamientos.....	44
Tabla 9 Promedio del Número de hojas por tratamiento.....	48
Tabla 10 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el número de hojas a los 15 días	49
Tabla 11 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el número de hojas a los 30 días	50
Tabla 12 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el número de hojas a los 45 días	50
Tabla 13 Promedio de la Variación del ancho de las hojas	51
Tabla 14 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el ancho de hojas a 15 días	52
Tabla 15 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el ancho de hojas a 30 días	53
Tabla 16 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el ancho de hojas a 45 días	54
Tabla 17 Promedio de la variación de la longitud de las hojas	54
Tabla 18 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de hojas a 15 días	56
Tabla 19 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de hojas a 30 días	56

Tabla 20 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de hojas a 45 días	57
Tabla 21 Promedio de la Variación de la altura de la planta	58
Tabla 22 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la altura de planta a 15 días	60
Tabla 23 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la altura de planta a 30 días	60
Tabla 24 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la altura de planta a 45 días	61
Tabla 25 Promedio del Área foliar y peso seco de la planta	62
Tabla 26 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el área foliar a 15 días.....	62
Tabla 27 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el área foliar a 45 días.....	63
Tabla 28 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el peso seco de la planta a 15 días	64
Tabla 29 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el peso seco de la planta a 45 días	64
Tabla 30 Comparación de la tasa relativa de crecimiento de los rábanos a 45 dds.....	66
Tabla 31 Comparación de la tasa absoluta de crecimiento de los rábanos a 45 dds.....	67
Tabla 32 Variación de la tasa de asimilación neta a los 45 dds.....	69
Tabla 33 Características de la raíz reservante de los rábanos.....	70
Tabla 34 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el peso de la raíz	73
Tabla 35 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el perímetro de la raíz	74
Tabla 36 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de la raíz	76
Tabla 37 Comparación de las características fisiológicas de los rábanos	78

Tabla 38 Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el diámetro de la raíz reservante.....	79
Tabla 39 Análisis del color de los rábanos	82
Tabla 40 Masa de rábanos producida	84
Tabla 41 Análisis de varianza para masa de rábanos	86
Tabla 42 Medias por mínimos cuadrados para masa de rábanos.....	87
Tabla 43 Pruebas de múltiple de rangos para masa de rábanos por sistema hidropónico	88



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de raíz flotante	17
Figura 2 Distribución de las unidades experimentales	32
Figura 3 Flujo de la metodología experimental.....	38
Figura 4 Distribución de los experimentos sin aleatorización.....	45
Figura 5 Desarrollo de los cultivos bajo sistemas de sustrato	47
Figura 6 Desarrollo de los cultivos bajo sistemas de raíz flotante	49
Figura 7 Número de hojas	52
Figura 8 Comparativa del ancho de las hojas.....	55
Figura 9 Comportamiento de la longitud de las hojas.....	59
Figura 10 Comparación de la altura de la planta.....	61
Figura 11 Comparación de las tasas relativas de crecimiento de los rábanos a 45 dds	66
Figura 12 Comparación de las tasas absolutas de crecimiento.....	68
Figura 13 Comparación de las tasas de asimilación neta a los 45 dds	69
Figura 14 Determinación de los pesos de la raíz reservante	72
Figura 15 Peso de la raíz reservante por cada experimentación.....	72
Figura 16 Perímetro de la raíz reservante en cada tratamiento	74
Figura 17 Longitud de la raíz reservante en cada tratamiento.....	75
Figura 18 Determinación de la longitud de las raíces	75
Figura 19 Diámetro de la raíz reservante en cada tratamiento	77
Figura 20 Dimensiones del rábano	77
Figura 21 Comparación de las características de los rábanos	78
Figura 22 Análisis de color a través del software Image colorpicker	80
Figura 23 Variación de color en los rábanos	81
Figura 24 Dispersión de los resultados para cada sistema hidropónico	89
Figura 25 ANOVA para masa de rábanos	89
Figura 26 Gráfica de medias y 95% de Fisher LSD.....	90

Figura 27 Interacción de las variables respecto a la masa de rábanos obtenida.....	91
Figura 28 Gráfico de residuos para masa de rábanos	91
Figura 29 Rendimiento basado en la masa fresca de rábanos obtenida	92
Figura 30 Rendimiento de los cultivos en g/planta	93



INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Mapas o croquis de ubicación	108
ANEXO 2. Croquis experimental	109
ANEXO 3 Matriz de registro y observación.....	110
ANEXO 4. Fotografías del desarrollo experimental.....	111
ANEXO 5 Graficas de los datos tomados en las replicas para el Número de hojas	113
ANEXO 6 Graficas de los datos tomados en las réplicas para el Ancho de las hojas .	116
ANEXO 7 Graficas de los datos tomados en las réplicas para la Longitud de la hoja.	119
ANEXO 8 Graficas de los datos tomados en las réplicas para la Altura de la planta..	122
ANEXO 9 Graficas de los datos tomados en las réplicas para el Área foliar	125
ANEXO 10. Análisis de varianza de la comparación del desarrollo biométrico de los rábanos.....	129
ANEXO 11. Rentabilidad de proyecto.....	139

INTRODUCCIÓN

Durante las décadas pasadas, el aumento poblacional se aceleró de forma preocupante, generando una demanda de alimentos en mayor cantidad y bajo formas más eficaces, teniendo presente que en ese momento el 40% de los terrenos en el mundo estaban ocupados por la agricultura (Al-Khayri et al., 2021). El cultivo por hidroponía, caracterizado por ser un sistema de cultivo que no depende de los suelos, surgió como opción frente a la tradicional agricultura dependiente de suelos fértiles, los cuales cada vez eran menores ya sea por malas prácticas de cultivo, sobrepastoreo, contaminación u otros. La hidroponía se convirtió en ese momento en una técnica de cultivo muy aplicada por muchos agricultores alrededor del mundo para cultivar diferentes tipos de hortalizas (García, 2021), facilita el control de las condiciones requeridas para el crecimiento y desarrollo de la planta. junto a un oportuno uso de espacios y/o áreas disponibles, así como un menor consumo de agua, siendo estas las principales características sobre las cuales se venían desarrollando diferentes técnicas de hidroponía como la de sustratos o de raíz flotante (también denominada “floating”) que permitieran maximizar la producción y calidad de los cultivos.

De las distintas hortalizas que podían ser cultivadas por hidroponía, se tenía a los rábanos (*Raphanus sativus L.*) una hortaliza de raíz de rápida germinación y cosecha, y que gracias a su baja altura podía ser cultivada mediante el método de raíz flotante o de sustratos, con los nutrientes necesarios para su desarrollo sin tener que competir con otras. La planta, colocada en una plancha de unicel o tecnopor, flotaba en una solución nutritiva bajo el sistema de raíz flotante, las plantas se desarrollan, en cambio, en el sistema de sustrato se desarrollaban sobre una base formada por material orgánico, mineral o sintético que era regado con solución nutritiva, la misma que en ambas técnicas requería un control regular del pH, aireación, conductividad y temperatura. El control de esta mezcla de agua y

nutrientes era necesario para la calidad de la planta, puesto que era uno de los factores que podía limitar drásticamente la disponibilidad de nutrientes.

Considerando lo anterior, se vio por conveniente evaluar en sistemas hidropónicos, los rábanos crecen y se desarrollan. de sustrato y de raíz flotante utilizando para ello dos tipos de solución nutritiva, y a través de lo cual se esperaba expandir la producción de hortalizas de la empresa FAGSOL S.A.C., que en ese momento se había centrado en la producción de otras variedades de hortalizas como las lechugas.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Enunciado del problema

En Arequipa, la producción de rábano enfrenta varios desafíos que dificultan su cultivo óptimo. Este cultivo se produce a pequeña escala y enfrenta dificultades como la falta de acceso a semillas de alta calidad y la escasa disponibilidad de recursos hídricos, que se ven afectados por la variabilidad climática y la competencia por el agua con otros cultivos. Además, los agricultores se enfrentan a suelos empobrecidos por el uso continuo y la falta de rotación de cultivos, lo cual reduce la fertilidad del suelo y aumenta la susceptibilidad a plagas y enfermedades (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2023; Colegio Peruano Alemán Max Uhle, 2019). La región cuenta con un clima adecuado para el cultivo de hortalizas como el rábano, caracterizado por su rápido crecimiento y facilidad de cosecha. Sin embargo, la producción de rábanos no es significativa en comparación con otros cultivos más comunes en el país.

Por otro lado, el consumo de rábanos en Perú es moderado, encontrándose principalmente en mercados locales. Existen esfuerzos para promover su consumo, enfatizando sus beneficios nutricionales en dietas saludables. En Arequipa, diversas iniciativas de producción orgánica han facilitado que agricultores de pequeña escala incluyan rábanos en ferias y puntos de venta de productos frescos y orgánicos (Banco Central de Reserva del Perú, 2020; Descosur, 2015).

Es conocido que la técnica de cultivo por hidroponía es efectiva para obtener plantas de mejor calidad, ya que permite optimizar el uso de recursos y mejorar la calidad del producto final. Sin embargo, aún no existían investigaciones que compararan los distintos sistemas hidropónicos para el cultivo de rábanos, como el sistema flotante de raíz y el de sustrato, desconociéndose las condiciones y factores idóneos que permitirían obtener

estos cultivos de manera sustentable y rentable. La falta de capacitación adecuada y asistencia técnica agravan estas dificultades para los productores, limitando su capacidad para implementar prácticas agrícolas sostenibles y mejorar sus rendimientos.

1.2. Descripción del problema

Durante las últimas décadas, el incremento poblacional experimentó un crecimiento que generó la demanda de productos en mayor cantidad y de formas más eficaces, llevando al sector agrícola a prestar atención a diferentes tecnologías y/o alternativas para la producción de alimentos con mayor calidad. Una de estas modalidades son los sistemas hidropónicos, de los cuales se ha comprobado que tienen diversas ventajas, como el alto rendimiento productivo, además de la posibilidad de combinado con el ahorro de tiempo, sembrar en cualquier lugar, dinero y recursos naturales. Por tanto, se constituyen como una técnica superior a las del cultivo tradicional.

De acuerdo con distintas investigaciones, actualmente dos de los sistemas hidropónicos implementados ampliamente son la hidroponía de sustrato y de raíz flotante. Estos sistemas pueden desarrollarse en invernaderos, permitiendo un control de las condiciones climatológicas para los cultivos. A pesar de que las modalidades de raíz flotante y de sustrato han sido investigadas, existen pocos estudios centrados en la comparación de ambos sistemas para el cultivo de rábanos. Por ende, aún no es posible definir qué sistema y qué otros factores, como la solución nutritiva, son adecuados para lograr y garantizar la máxima producción de rábanos (*Raphanus sativus L.*).

1.3. Justificación

1.3.1. Aspecto general

La aplicación de la hidroponía bajo diferentes modalidades o sistemas permite fomentar la producción agrícola, siendo en general una técnica con múltiples ventajas bajo la cual se puede hacer un buen manejo de los cultivos controlando las características de los

productos, manejándose las plagas y posibles enfermedades. Además, al desarrollarse este proyecto, la empresa FAGSOL SAC pudo ampliar su lista de productos hidropónicos, garantizando la mejor calidad en lo que respecta al cultivo de rábanos.

1.3.2. Aspecto tecnológico

Mediante la metodología de hidroponía de sustrato y de raíz flotante se mejoraron las características y calidad de diferentes hortalizas, puesto que bajo estos sistemas de cultivo se permitió suministrar y asegurar que las plantas dispusieran eficientemente de los nutrientes necesarios para su desarrollo, reduciendo con ello los ciclos biológicos de la planta y obteniendo buenas cosechas en un tiempo menor a lo acostumbrado por medio de cultivos tradicionales.

1.3.3. Aspecto social

Mediante el presente estudio, se ha producido y transmitió información a los agricultores de pequeña y mediana escala respecto a los sistemas de hidroponía, permitiendo con ello que estas técnicas se establecieran de forma práctica en distintas zonas de la región Arequipa y no quedaran simplemente en conocimientos teóricos.

1.3.4. Aspecto económico

Aplicándose las técnicas de hidroponía, ya sea por raíz flotante o por sustrato, condujo a una mayor rentabilidad para el productor agrícola. Ambos sistemas de cultivo no implicaron altos costos o recursos económicos, permitiendo además el ahorro de agua y espacios (suelos). Bajo estas modalidades de cultivo resultó manejable el uso de los fertilizantes, contrarrestando los gastos relacionados y obteniendo cosechas con buena calidad en menos tiempo. Esto mejoró la productividad y, por ende, hizo ambos procesos más rentables.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. Objetivos generales

- Evaluar dos soluciones nutritivas bajo el cultivo hidropónico de sustrato frente al de raíz flotante aplicado a la producción de rábanos en la empresa Fagsol SAC - Arequipa.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de dos soluciones nutritivas sobre el desarrollo biométrico de los rábanos en los sistemas de hidroponía de sustrato y de raíz flotante.
- Comparar las características de los cultivos de rábanos obtenidos mediante hidroponía de sustrato y de raíz flotante.
- Determinar el sistema de hidroponía bajo el cual se obtiene el máximo rendimiento en el cultivo de rábanos.

1.5.Hipótesis

Es probable que el uso de dos tipos de soluciones nutritivas, una mineral y otra orgánica, tenga un efecto diferenciador en el crecimiento y desarrollo de los rábanos cultivados bajo sistemas hidropónicos de sustrato y de raíz flotante. Se espera que la combinación de estas soluciones con los sistemas mencionados permita optimizar significativamente el rendimiento y la calidad de los cultivos de rábanos, ofreciendo una alternativa más eficiente y rentable en comparación con los métodos tradicionales de cultivo.

1.6.Tipo de investigación

Según los objetivos y el método de trabajo establecidos, la investigación es experimental y aplicada; así mismo sigue un enfoque cuantitativo y explicativo considerando la naturaleza de los datos generados, y la búsqueda por comprender la influencia de las variables evaluadas en relación a cada uno de los sistemas de cultivo hidropónico.

1.7.Efecto en el desarrollo local y/o regional

La evaluación comparativa del cultivo de rábanos bajo los sistemas de hidroponía por sustrato y por raíz flotante permitió que las empresas locales, como FAGSOL SAC, orientadas al cultivo hidropónico, pudieran implementar adecuadamente alguna de las técnicas evaluadas. Esto mejoró su producción, calidad de sus productos y su competitividad dentro del mercado local e incluso regional.



CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos básicos

2.1.1. Rábano

El término "rábano" tiene su origen en la lengua sajona, donde denota cualidades como "grosero", "rudo" o "rojo" en referencia al color intenso de esta hortaliza. Aunque persiste el debate sobre el origen exacto de los rábanos, se postula que se originaron en China. Se tiene constancia de que hace más de 4.000 años, tanto egipcios como babilonios lo incluían en su dieta, y su presencia se remonta al año 400 a.C. comenzó a consumirse en Corea y China. Dado que los egipcios y los griegos lo apreciaban, se postula que su origen se encuentra en la región mediterránea, donde ha sido cultivado desde épocas antiguas (Alvarado, 2021).

Una hortaliza económicamente valiosa, el rábano (*Raphanus sativus* L.) se cultiva ampliamente en todo el mundo debido a su excelente adaptabilidad y alto valor nutricional (Gao et al., 2023).

A continuación, el árbol taxonómico del rábano (Al-Khayri et al., 2021).

Tabla 1

Taxonomía del rábano (Raphanus sativus L.)

Reino	<i>Plantae</i>
Filo	Espermatofita
Subfilo	Angiospermas
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Brassicales</i>
Familia	<i>Brassicaceae o Cruciferae</i>

Género *Raphanus*

Especie *Sativus*

Nota: Adaptado de (Al-Khayri et al., 2021).

2.1.2. Contenido Nutricional

El rábano es una de las hortalizas más antiguas, utilizada desde la época de los faraones y los griegos. Es una fuente abundante de minerales y vitaminas como el ácido fólico, antocianinas, potasio, calcio, cobre, hierro, fósforo y zinc. Estos nutrientes proporcionan numerosos beneficios para la salud, como la activación y desintoxicación del hígado, protección contra el cáncer hepático, mejora de la digestión y efectos diuréticos. Las antocianinas en el rábano rojo también se utilizan como colorantes naturales debido a su durabilidad y propiedades similares a los colorantes artificiales. (El-Beltagi et al., 2022)

La planta de rábano se caracteriza por su alto contenido de vitaminas, como el ácido ascórbico y el ácido fólico, así como por su rápido crecimiento en un período de 30 días. Además, posee propiedades farmacológicas y una variedad de minerales como potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, azufre, fósforo, cobre y selenio (Mosquera, 2018).

Tabla 2

Composición nutricional del rábano (Raphanus sativus L.)

Compuesto	Contenido
Agua	94.00 g
Carbohidratos	3.59 g
Proteínas	0.60
Grasa	0.54
Calorías	20.00 kcal
Fibra	1.60 g
Cenizas	0.54 g

Calcio, Ca	21.00 mg
Potasio, K	232.00 mg
Magnesio, Mg	9.00 mg
Fósforo, P	18.00 mg
Sodio, Na	24.00 mg
Hierro, Fe	0.29 mg
Tiamina	0.005 mg
Riboflavina	0.045 mg
Niacina	0.3.00 mg
Ácido ascórbico	20.00 mg

Nota: Adaptado de (Reinoso, 2021).

2.1.3. Descripción del cultivo del rábano

Se trata de un cultivo hortícola que abarca plantas anuales con atributos particulares en sus raíces, tallos, hojas, frutos y semillas (Carrera, 2015):

- **Sistema radical:** Un sistema radical poco desarrollado con raíz se presenta en el rábano principal y finas raicillas laterales. El engrosamiento que caracteriza el órgano de consumo del rábano, aunque generalmente se le llama raíz carnosa, proviene básicamente del hipocótilo, y por ello, esta es una transformación del tallo y no de la raíz. El color de la superficie de la corteza puede ser blanco, rosado, rojo o amarillo.
- **Hoja:** En la mayoría de las variedades, las hojas con disposición imparipinnada presentan márgenes serrados, pubescentes y de tonalidad verde intenso.
- **Tallo floral:** El objeto en cuestión es de forma cilíndrica y estéticamente agradable, presentando también ejemplares lisos, de color verde intenso y con

numerosas ramificaciones. Su altura supera el metro. Su formación no depende de condiciones específicas de verbalización.

- **Inflorescencias y flores:** La inflorescencia de las flores puede ser racimosa, y dependiendo de la variedad, estas presentan hermafroditismo con pétalos blancos, rosados o violáceos. Las abejas son las que realizan la polinización cruzada.
- **Fruta y semilla:** Las semillas se encuentran dentro del fruto, el cual es una silicua indehiscente con tejido parenquimatoso en su interior. Estas semillas presentan una forma indefinida, una superficie lisa y un color que varía de pardo claro a rojizo.

Además de lo descrito, debe reconocerse que la fenología de los cultivos implica la toma de datos como fecha de siembra, germinación, la aparición de la primera, segunda y tercera hoja verdadera que indican el comienzo de la floración e inicio del fruto; para el caso del rábano implicaría el inicio de la raíz, que en general suele ser la parte comestible. Esta información varía de acuerdo a la especie (Wisdom et al., 2017).

2.1.4. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del rábano

El rábano requiere de ciertas condiciones para poder desarrollarse adecuadamente, entre las que se encuentran:

- **Temperatura:** El crecimiento y desarrollo del rabanito son influenciados por la interacción entre la temperatura y la intensidad luminosa en diferentes etapas. La semilla de rábano germina en 3 a 4 días a una temperatura de 18 a 30 °C con buena humedad en un rango de pH entre 5,8 y 6,8. La temperatura mínima para la germinación es de 5 °C y la temperatura óptima para la germinación es de 30 °C. A 35 °C y temperaturas por debajo de 13 °C, la tasa de germinación disminuye drásticamente. Las raíces de rábano de mejor calidad se obtienen cuando la temperatura oscila entre 10 y 18 °C (Wisdom et al., 2017).

- **Luminosidad:** Son plantas de días largos y muy exigentes a la luz. En esta etapa, las raíces carnosas pierden consistencia porque los días de duración reducida no son favorables para el desarrollo de las plantas (Carrera, 2015).
- **Humedad:** Si la humedad no es suficiente, las raíces carnosas se deterioran y pierden consistencia; el rábano es una planta que requiere niveles específicos de humedad para su óptimo crecimiento (Carrera, 2015). Para que el rábano crezca correctamente, el nivel de humedad relativa debe mantenerse en un rango entre el 60% y el 65% (Alvarado, 2021).
- **Suelo:** El cultivo crece sano en lugares bien drenados, suelos ligeros, que tienen un pH de 6,0 a 6,5 y es profundo y ligeramente ácido. Los suelos pesados pueden provocar raíces deformes y pequeña (Al-Khayri et al., 2021).
- **Clima:** En cualquier momento del año, el rábano puede establecerse en climas fríos, templados y subtropicales. Es fundamental que las temperaturas no alcancen niveles elevados, dado que podrían inducir un desarrollo prematuro del tallo floral (Alvarado, 2021).

2.1.5. Requerimientos Nutricionales

Para garantizar un adecuado crecimiento de las plantas durante el corto ciclo de cultivo, es necesario proporcionar elementos nutritivos fácilmente asimilables desde la siembra. La fertilización del cultivo debe basarse en un análisis del suelo. Los requerimientos nutricionales para este cultivo, expresados en kilogramos por hectárea, son los siguientes: 80 kg de nitrógeno, 120 kg de fósforo y 80 kg de potasio (Gouveia et al., 2020).

2.1.6. Hidroponía

La hidroponía es una técnica de cultivo de plantas que prescinde del suelo, lo que posibilita el desarrollo de sistemas de producción tanto simples como sofisticados para el cultivo de plantas, principalmente del tipo herbáceo. Utiliza menos espacio que el cultivo

tradicional, consume menos agua y tiene una producción y calidad superior (Bazán et al., 2021). La hidroponía es la mejor solución para ayudar a que las plantas crezcan bien en regiones con climas severos, como desiertos áridos y áreas urbanas. Los parámetros de crecimiento de los nutrientes, el clima y la solución juegan un papel clave en la hidroponía (Cuong et al., 2022). La utilización de soluciones ricas en nutrientes es esencial para impulsar el desarrollo de los cultivos hidropónicos y garantizar su salud y calidad. La evaluación e inspección de parámetros como la humedad, la temperatura y el porcentaje de agua que contiene el cultivo durante su crecimiento son parte de este método, los cuales son esenciales para su éxito (Bazan et al., 2021).

El agua se usa mucho menos en un cultivo hidropónico en un cultivo en tierra, el 80 % del riego se infiltra en las capas inferiores del suelo y una parte se evapora. Por el contrario, en un cultivo hidropónico, se previene la infiltración del agua y gran parte de la evapotranspiración al realizarse en ambientes cerrados con niveles de humedad relativamente altos. Se obtienen cultivos con mayor calidad y sanidad mediante el cultivo por hidroponía (García et al., 2021).

2.1.7. Tipos de sistemas hidropónicos

La hidroponía, a diferencia de la agricultura tradicional, prescinde del suelo para el cultivo de alimentos. En esta técnica, las plantas se desarrollan en sustratos artificiales o naturales, permitiendo a sus raíces absorber los nutrientes de una solución nutritiva preparada previamente. La elección de la hidroponía como método de cultivo alimentario depende de diversos factores como el tipo de planta, las condiciones climáticas locales y el presupuesto disponible. En la mayoría de los sistemas hidropónicos, la solución nutritiva se almacena en un tanque de almacenamiento y se mantiene aireada. A continuación, tipos de sistemas hidropónicos (Velázquez et al., 2022):

- Sistema hidropónico de mecha.

- Sistema hidropónico NFT.
- Sistema hidropónico de raíz flotante.
- Sistema hidropónico en sustrato.
- Aeroponía.
- Sistema de flujo y reflujo.
- Sistema hidropónico por goteo.

2.1.7.1. Hidroponía de Sustrato

Los materiales minerales, orgánicos o sintéticos se utilizan como medio de cultivo en lugar del agua como sustratos hidropónicos. Existen diversas formas de adaptar los sistemas que emplean sustratos, como las camas de cultivo, los contenedores, las canaletas, los tubos de PVC, las bolsas y las macetas. El sistema de riego puede ser de tipo goteo o subirriación. La siguiente es una clasificación de los sustratos más comunes (Pérez, 2018):

- **Sustratos orgánicos;** sustratos vegetales son sustratos. En otras regiones del mundo, se emplean diversos sustratos como la cascarilla de arroz, el carbón, la turba, el musgo, el compost, el humus, el aserrín, la fibra de coco y la cascarilla de café.
- **Sustratos inorgánicos;** es de origen mineral. La perlita, la piedra pómez, la arena, la grava y la roca volcánica se pueden encontrar en canteras o depósitos de ríos. Los siguientes son sustratos inorgánicos fabricados por la industria: lana de roca, vermiculita y ladrillo molido. La exposición de rocas silicios a altas temperaturas da como resultado estos dos últimos.
- **Sustratos sintéticos;** la espuma de poliuretano y la espuma de poliestireno son sustratos que provienen de la industria química. La piedra pómez + cascarilla de

arroz + arena (1:1:1), musgo + arena (1:1), arena + musgo (2:1) son ejemplos de mezclas que se pueden usar con cada uno de los sustratos.

a. Variables del sistema de sustrato

Das las características de este sistema hidropónico por lo general son cuatro las principales las variables que influyen sobre el sistema:

- **Solución nutritiva:** Se trata de la absorción de sales minerales que son específicamente de nutrición y que los vegetales absorberán para que se desarrollen. Los macronutrientes, los micronutrientes y los oligoelementos forman parte de la solución nutricional. Los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), que son los más solicitados para su desarrollo, y los micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn y Mo), que son los más necesarios, son los elementos esenciales que permitirán la supervivencia de la planta (Barrionuevo, 2020).
- **pH:** Para que el vegetal no sufra estrés y cumpla su ciclo de vida hidropónico, es esencial comprender esta variable, ya que, al trabajar con organismos vivos, en este caso con vegetales, existe un rango adecuado para su mejor desarrollo. La insolubilización de los elementos o su paso a una forma no asimilable por las raíces son ejemplos de cómo el pH desempeña un papel crucial en la disponibilidad de los elementos para la planta. Los dos procesos se combinan en situaciones específicas. Los pH extremos dañan las raíces, por lo que se considera un pH ideal para una solución nutritiva de cultivo sin suelo entre 5.5 y 6. Sin embargo, cuando se fertirriga el suelo, este valor podría aumentar hasta 6.5 a 7 (Barrionuevo, 2020).
- **Temperatura:** La temperatura de la solución nutritiva es crucial para el desarrollo de las raíces de las plantas, ya que influye en su capacidad de absorber agua y nutrientes. Existe un rango óptimo de temperatura que evita dificultades en el

crecimiento de las plantas. Temperaturas extremadamente altas o bajas pueden disminuir el crecimiento de las raíces, con valores por debajo de 12°C limitando la absorción de iones y por encima de 29°C también afectando la absorción. Además, la temperatura es determinante en la solubilidad del oxígeno, siendo un factor crucial a considerar en el cultivo de vegetales (Barrionuevo, 2020).

- **Sustrato:** La combinación de elementos capaces de ayudar al crecimiento de las plantas que se plantarán en este ambiente sólido constituye el sustrato. El sustrato no debe compactarse o apelmazarse con el tiempo porque debe tener la capacidad de retener humedad y mantener una aireación de las raíces (Barrionuevo, 2020).

2.1.7.2. Hidroponía de raíz flotante

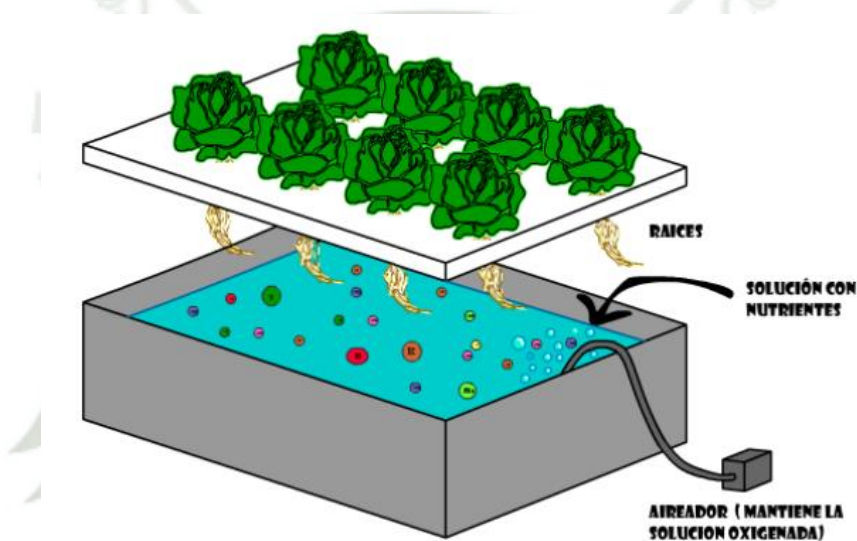
La técnica hidropónica del sistema de raíz flotante (SRF) facilita el manejo y el espacio disponible, la técnica de cultivo hidropónico consiste en cultivar hortalizas en cajones de madera o plástico colocados sobre una placa de plastoform o materiales similares que flotan en agua con nutrientes. En este método, las raíces de las plantas se sumergen en una solución nutritiva cuyo pH, aireación y concentración de sal se monitorean de forma constante. Esta técnica, conocida como "flotar", se refiere a que las raíces de las plantas flotan en una mezcla de agua y nutrientes, mientras la planta se sostiene sobre una plancha de unicel que flota en la superficie del líquido. Se recomienda este sistema para el cultivo de plantas de pequeño tamaño, como rábanos y plantas aromáticas, ya que favorece la eficiencia en la disponibilidad de nutrientes, reduce la competencia entre plantas y, al contar con condiciones ambientales óptimas, acelera el ciclo de crecimiento de la planta, permitiendo obtener cosechas con buenos rendimientos en un tiempo menor al esperado (García et al., 2021).

El paso de luz no debe ser permitido en este sistema, por lo que debe estar protegido por una tapa con orificios. Es importante considerar que la aireación es fundamental para que

las raíces estén en contacto con la solución nutritiva, ya que proporciona el oxígeno necesario para las raíces. La aireación puede realizarse de manera manual, moviendo el agua con un objeto limpio, o de forma automatizada mediante el uso de una bomba de aire para peceras y un temporizador para programar los períodos de aireación (Albuja et al., 2021).

Figura 1

Sistema de raíz flotante



Nota: Adaptado de (Arroyo, 2021).

Muy aparte, aunque Se debe destacar que el sistema de cultivo carece de capacidad de amortiguamiento (Buffer); sin embargo, se pueden emplear con éxito una variedad de soluciones nutritivas. Por consiguiente, se requiere una supervisión detallada de la solución nutritiva, especialmente en relación con los niveles de hierro, fosfatos y pH. Para optimizar el desarrollo de las plantas cultivadas en solución, es fundamental regular apropiadamente aspectos físicos como la circulación, la oxigenación y la exposición a la oscuridad (Arroyo, 2021).

a. Variables del sistema de raíz flotante

Al elegir producir hidropónicamente en un Sistema de Raíz Flotante (SRF), se deben tener en cuenta varias variables que influyen en el éxito de los cultivos a establecer (Pizarro et al., 2020):

- **Oscuridad:** Con el fin de evitar la proliferación de algas verdes y otras plantas acuáticas de menor tamaño que compiten por el oxígeno y los nutrientes, es importante considerar que las raíces pueden sufrir daños debido a la descomposición posterior de las algas, lo que puede afectar sus funciones y desarrollo (Arroyo, 2021).
- **Oxigenación:** El suministro adecuado de oxígeno a las raíces de las plantas mediante la solución nutritiva es esencial para el éxito del sistema de cultivo hidropónico. Existen diversas formas de forzar el suministro de oxígeno o permitir que ocurra de manera natural. Una técnica común para oxigenar la solución es dejar un espacio de aire entre la superficie de la solución y la parte inferior del lecho que sostiene las raíces. De esta manera, las raíces superiores quedan expuestas al aire húmedo mientras que las inferiores permanecen sumergidas en la solución. Para mejorar la oxigenación a medida que las raíces crecen, se recomienda reducir el nivel de la solución, dejando un espacio de al menos 5 cm; un espacio mayor podría ocasionar daños por sequedad en las raíces superiores. Una práctica habitual consiste en incorporar oxígeno a la solución a través de una bomba de aire conectada a un tubo con perforaciones de 1 mm de diámetro y separadas 30 cm entre sí, que recorre el fondo del tanque. Las bombas de aire para acuarios son apropiadas para la oxigenación de la solución en tinas o recipientes domésticos. El volumen de solución, la temperatura y el tipo de planta son factores determinantes en la cantidad de

aire requerida. La caída de la solución al aire libre desde una altura adecuada para que pueda oxigenarse adecuadamente (efecto de cascada) es otra forma de airear la solución; sin embargo, para que las raíces absorban los nutrientes, la circulación de la solución debe ser lenta (Arroyo, 2021).

- **Circulación de la solución:** Como mejora la aireación y la distribución de los iones nutritivos, es una práctica comúnmente recomendada. Es fundamental que el desplazamiento de la solución a través de las raíces favorezca la estabilidad del entorno. Es imprescindible que dicho desplazamiento se realice a una velocidad adecuada para no ocasionar daños a las raíces (Arroyo, 2021).
- **Calidad de agua:** Se debió examinar químicamente el pH, el cual representaba el valor de acidez o alcalinidad; la conductividad eléctrica (CE), la medida que indicaba la presencia de sales; además, se aconsejó un análisis más específico de cationes y salinidad. Se debió encontrar biológicamente la presencia de coliformes fecales (Pizarro et al., 2020).
- **Solución nutritiva:** El término hace alusión a la provisión balanceada de nutrientes esenciales (sales minerales solubles) necesarios para el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Entre los nutrientes más indispensables se encuentran el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Pizarro et al., 2020).
- **Manejo y prácticas culturales bajo invernadero:** Es necesario prestar especial atención a las condiciones ambientales, sanitarias y productivas, mediante un programa de ventilación adecuado que ayude al control interno de la temperatura y la humedad, disminuyendo la presencia de enfermedades y plagas; además, es esencial complementar con un plan de desinfección, organización, planificación y registros productivos (Pizarro et al., 2020).

b. Ventajas del sistema de raíz flotante

- En comparación con los cultivos cultivados directamente en el suelo, los cultivos desarrollados en SRF Se observa un significativo ahorro en el consumo de agua, que oscila entre el 60% y el 70%, así como en la extensión de terreno utilizado para la plantación, con reducciones que alcanzan entre el 70% y el 80% además, presentan las mejores condiciones fitosanitarias e inocuidad posibles.
- La acumulación de sales insolubles en el sustrato es mínima, ya que la solución fluye de manera constante de la parte superior a la inferior. Además, no requiere energía extra.
- Permite la agricultura en áreas donde las condiciones ambientales son limitantes, como la falta de agua o la falta de suelo adecuado para cultivos.
- Al no haber tierra donde puedan crecer hierbas intrusas, se evita el uso de herbicidas, lo cual ahorra tiempo, esfuerzo y dinero (Albuja et al., 2021).

c. Desventajas del sistema de raíz flotante

- La planta absorbe los nutrientes más lentamente.
- El rendimiento del sistema disminuye.
- La solución nutritiva de la escorrentía nunca se recupera en su totalidad.
- No está disponible para todas las plantas, como los árboles frutales o los vegetales que producen frutos bajo tierra, como las zanahorias, las papas y otras plantas.
- Es una tecnología agrícola que, en la agricultura en tierra, se reducen muchos detalles y atención específica. El fracaso o el éxito de los cultivos también dependerán de esto (Albuja et al., 2021).
- Se requiere un cambio de solución cada semana.

- La formulación frecuente de la solución nutritiva es necesaria.
- Es necesario reiniciar el sistema. Rondón & Larry, 2020

2.1.8. Solución nutritiva

En forma de sales minerales, la solución nutritiva incluye todos los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, molibdeno y zinc. Proporciona una nutrición equilibrada y completa para que las plantas crezcan saludables y den una buena cosecha. (Huanca, 2023)

2.2.Revisión de antecedentes investigativos

Como **antecedentes internacionales**, García et al. (2021) en su artículo de investigación *“Evaluation of the effects of nutrient solutions as an input alternative in the production of radish (*Raphanus sativus*) with a hydroponic system under a protected environment”* presentan con el propósito de evaluar de manera agronómica el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) mediante el empleo del método hidropónico de producción de raíz flotante, se llevaron a cabo ensayos con dos tratamientos (T1) y (T2) en el campo. Se seleccionaron 56 unidades de rábano para cada tratamiento, utilizando dos tipos de soluciones nutritivas: una solución concentrada (a) con sales para 10 litros de agua en el tratamiento (T1) y una solución concentrada (b) con sales para 5 litros de agua en el tratamiento (T2). En ambos tratamientos se utilizó una bomba sumergible Evans con una potencia de 37.3 W y un flujo máximo de 23,7 l/min. Se observó una notable similitud entre ambos tratamientos, donde las variaciones en las concentraciones de las soluciones nutritivas no tuvieron un impacto significativo en los resultados esperados. El cultivo hidropónico de rábanos utilizando raíces flotantes resultó exitoso debido a la correcta

gestión de la acidez del agua, el cálculo preciso de las soluciones, el mantenimiento adecuado y una apropiada oxigenación.

El estudio titulado “*Evaluación de la producción hidropónica de tres variedades de acelga (Beta vulgaris var. cicla L.) en tres densidades de siembra con la técnica de raíz flotante, en el centro experimental Cota Cota*” realizado por Moya (2022) Ella investigó utilizando la técnica de raíz flotante, se ha evaluado el rendimiento de tres variedades de acelga: Fordhook giant, Large white ribbed y Magenta sunset; se han producido hidropóticamente. Para determinar el impacto de estas variables en cada variedad, se registraron varias variables agronómicas, entre las que se incluyen el número de hojas, la longitud y el diámetro del peciolo, así como el peso fresco de la parte comestible. La variedad Magenta sunset destacó con 12 hojas, mientras que la variedad Large white ribbed tuvo el diámetro de peciolo más grande (3.35 cm) y la longitud de la hoja más larga (28.38 cm). El mayor peso fresco de la parte comestible fue demostrado por Fordhook giant (227 gr/m²). y la mayor rentabilidad con un índice de beneficio costo de 1.72 Bs en densidades de siembra de 15 cm. En cuanto al rendimiento agrícola total, Fordhook giant demostró ser la variedad más productiva con 8.19 kg/m² en densidades de siembra de 15 cm, seguida por Large white ribbed y Magenta sunset con 7.74 kg/m² y 6.43 kg/m² respectivamente en las mismas condiciones. La adaptación al sistema hidropónico varió entre las variedades, siendo Fordhook giant y Large white ribbed las más adaptables, mientras que Magenta sunset mostró un desarrollo más lento debido a sus características genéticas y morfológicas. Este estudio subraya la importancia de seleccionar variedades adecuadas y ajustar las densidades de siembra para optimizar la producción de acelga en sistemas hidropónicos, considerando tanto los parámetros agronómicos como la rentabilidad económica.

Ossai et al. (2020) en su artículo de investigación “*Production of Radish (Raphanus sativus L.) in Nigeria Using the Hydroponics System*” presentan como objetivo el sistema hidropónico contiene tres variedades distintas de rábano. durante las estaciones lluviosa y seca en Nigeria. Las semillas de tres variedades se cultivaron en un sistema hidropónico con turba de coco y una mezcla de turba de coco y tierra arenosa (relación 50:50) y se fertirrigaron con 100 ml de estiércol licuado de aves (concentración de 1 mg/ml) cada 7 días y se regaron. cada 3 días hasta la cosecha. Fue un experimento factorial, un diseño completamente al azar con tres repeticiones se presentó. Durante la cosecha, se recopilaron datos sobre el número de hojas, la altura de la planta, el área foliar y el peso fresco del tubérculo y de la hoja cada quincena. Se utilizaron las diferencias mínimas significativas (LSD), con un nivel de significación del 5 %, para distinguir las diferencias en las medias de los tratamientos. Los resultados obtenidos mostraron que el rendimiento agronómico y el peso fresco de la hoja de las variedades fueron iguales, pero el peso fresco del tubérculo de White Icicle Radish (WIR) ($23,32 \pm 0,24$) fue significativamente mayor que el de Cherry Berry Radish (CBR) ($15,32 \pm 0,24$) y Cherry Red Radish (CRR) ($14,17 \pm 0,24$) variedades. También el peso del tubérculo de las variedades en época de lluvia ($23,03 \pm 1,83$) fue significativamente mayor que en época seca ($12,18 \pm 1,83$).

Wisdom et al. (2017) en su artículo de investigación “*Effect of different vermiculite and pine bark media substrates mixtures on physical properties and spiral rooting of radish (Raphanus sativus L.) in float tray system*” presentaron como objetivo analizar el efecto de diferentes mezclas de sustratos de vermiculita y corteza de pino sobre las propiedades físicas y el enraizamiento en espiral del rábano en un sistema de bandeja flotante. La metodología se llevó a cabo en condiciones de invernadero para evaluar las implicaciones de las propiedades físicas del sustrato. Se mezclaron vermiculita y corteza de pino al 100%, 75%, 50%, 25%, y 0% en volumen. La práctica estándar de los agricultores (50%

corteza de pino + 50% arena) se incluyó como control. En el experimento, los tratamientos se dispusieron utilizando un diseño completo al azar y se repitieron tres veces para hacer dieciocho tratamientos en total, para luego ser analizados mediante Genstat en $P < 0.05$. Los resultados reportaron que la capacidad de retención de agua aumentó al disminuir la proporción porcentual de vermiculita (superfina). Sin embargo, hubo una correlación positiva entre la proporción porcentual de vermiculita y la porosidad total, la capacidad de aire contra la proporción porcentual de vermiculita existe una correlación negativa. Así mismo la densidad aparente se correlacionó negativamente con la proporción % de vermiculita. La germinación disminuyó con el aumento de vermiculita a los 3 o 4 días después de la siembra. En conclusión, la mezcla de 0 a 50% fue ideal para la germinación.

Como **antecedentes nacionales** Pereda (2015) en su tesis de investigación “Evaluación del rendimiento de tres cultivares de *Lactuca sativa* L. en sistema hidropónico a raíz flotante en Santiago de Chuco, La Libertad” se planteó como objetivo evaluar el desempeño de tres variedades de lechuga (Great lakes-659, Waldman, Green y White Boston) en un experimento con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en un sistema hidropónico de raíz flotante, se colocaron unidades experimentales en un contenedor de dimensiones 1.22m x 0.82m x 0.15m. Cada unidad experimental tenía la capacidad de albergar 32 plantas de lechuga distribuidas en tres filas, con una separación de 17 cm x 20 cm entre ellas. Un análisis de varianza se utilizó para analizar los resultados. Las plantas crecieron a temperaturas que iban de 21 °C a 06 °C. Los resultados indicaron que el rendimiento no mostró diferencias entre cultivares, alcanzando un rendimiento promedio de 228.93 gramos por planta y 7 325.58 gramos por metro cuadrado. El cultivar Waldman Green presentó la mayor altura de planta y White

Boston el mayor número de hojas por planta. Los tres cultivares no mostraron diferencias en diámetro de planta y área foliar.

Maicelo et al. (2017) en su artículo de investigación “Evaluación de tres tipos de injertos de granadilla sobre maracuyá con púas producidas en medio hidropónico y en sustrato sólido, Chachapoyas” presentaron como objetivo evaluar el impacto de los injertos de granadilla (*Passiflora ligularis*) sobre los plantones de maracuyá (*Passiflora echáís*), se utilizan púas creadas en sustrato sólido y en medio hidropónico. La propagación de semillas de granadilla y maracuyá se llevó a cabo. La siembra de maracuyá y una parte de la granadilla se llevó a cabo directamente en bolsas con sustrato previamente preparado; la granadilla restante, destinada a ser picada en hidroponía a raíz flotante, fue almacenada. A raíz flotante, estas se repicaron en hidroponía. 106 días después de la siembra, los plantones estaban preparados. El diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial 2Ax 3B anidado, con los factores A (Método de injertación) y B (Sistema de producción de púas), cuyas combinaciones produjeron cinco tratamientos, de los cuales se produjeron tres repeticiones y siete unidades de observación. Los tratamientos T1, T2 y T4 lograron el 100 % de prendimiento 39 días después del injerto, ya que los hallazgos demostraron que no hubo diferencias significativas. No hubo diferencias notables en cuanto al número de hojas; sin embargo, el T2 tuvo el valor promedio más bajo (3,52). Lo mismo ocurrió con el costo por plantón injertado: el T2 tuvo el valor más bajo.

Villanueva (2021) en su tesis de investigación “Relación porcentual entre cuyinaza de recría como sustrato nutritivo y semilla de Cebada para germinado hidropónico en Cutervo, Cajamarca” presentó como objetivo la proporción porcentual entre la cuyinaza como sustrato nutritivo y la semilla de cebada para el germinado hidropónico (GH), así como el rendimiento de cada tratamiento en kg/m² de MS, PC, EE, FC y CEN; la productividad más alta de GH en base fresca y materia seca (kg/kg de semilla procesada)

y se analizaron los costos de producción de un kilogramo de grano húmedo (GH) de cebada, tanto en base fresca como en materia seca. Se llevaron a cabo seis tratamientos, los cuales variaban en la proporción porcentual entre el peso de estiércol de cuy y la semilla a procesar. Los tratamientos fueron los siguientes: T0: GH de cebada sin estiércol de cuy; T1: 2,0%; T2: 4,0%; T3: 6,0%; T4: 8,0% y T5: GH de cebada con soluciones nutritivas diluidas en 2 litros de agua de riego, 0,75 ml de A y 0,25 ml de B. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con el mismo número de repeticiones (5 bandejas). El análisis de varianza reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). El estudio de Duncan evidenció que al utilizar un 4.0% de cuyinaza en relación al peso de la semilla a procesar, se lograron resultados superiores en el rendimiento (kg/m²) de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y carbohidratos no estructurales, además de una mayor productividad de grasa y materia seca (kg/kg de semilla).

Muñoz (2021) en tesis de investigación "*Rendimiento del cultivo de Sacha Culantro (*Eryngium foetidum* L.) en un sistema hidropónico con tres sustratos en Tingo María*" presentó como objetivo evaluar el estudio se centró en la producción del cultivo de sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.) en la región de Tingo María, utilizando un sistema hidropónico con tres tipos de sustratos diferentes. Se llevaron a cabo tres repeticiones y se aplicaron siete tratamientos, utilizando el Diseño Experimental Completamente Randomizado (DCR). Se utilizaron 6 unidades experimentales para la evaluación, cada repetición está compuesta por nueve unidades. Se emplearon los siguientes tratamientos: T1: 100% arena de río lavada, T2: 100% cascarilla de arroz, T3: 100% fibra de coco, T4: 50% arena + 50% cascarilla de arroz, T6: 50% cascarilla de arroz + 50% fibra de coco y T7: 33.3% arena + 33.3% fibra de coco. El tratamiento T4 (arena 50% + cascarilla de arroz 50%) produjo la mayor cantidad de sachaculantro, con un valor de 1514.82 kg/ha.

El tratamiento T3 (fibra de coco 100%) con un rendimiento de 924.46 kg/ha fue el mejor sustrato para producir sachaculantro. En cuanto a la altura de la planta, los tratamientos T3 (fibra de coco 100%), T7 (fibra de coco 33.3% + cascarilla de arroz 33.3% + fibra de coco 33.3%), T4 (fibra de coco 50% + cascarilla de arroz 50%) y T5 (fibra de coco 50% + cascarilla de arroz 50%) alcanzaron valores de 19,47, 19,46, 19,20 y 19,20 cm, respectivamente; estos valores no se distinguieron estadísticamente. El tratamiento T4 (arena 50% + cascarilla de arroz 50%) produjo la mayor cantidad de sachaculantro, con un valor de 1514.82 kg/ha. El tratamiento T3 (fibra de coco 100%) con un rendimiento de 924.46 kg/ha fue el mejor sustrato para producir sachaculantro.

Gavilan (2018) en su tesis de investigación “Influencia de seis sustratos inorgánicos diferentes en el crecimiento de la albahaca (*Ocimum basilicum*) utilizando la técnica hidropónica, SJL. 2018” el propósito era evaluar el impacto de los seis sustratos inorgánicos distintos en el desarrollo de la albahaca (*Ocimum basilicum*). Utilizando el método hidropónico. En seis tratamientos, cada uno con tres repeticiones, se emplearon seis sustratos inertes: T1: ladrillo 100%; T2: arena gruesa 100%; T3: mayólica 100%; T4: arcilla expandida 100%; T5: plástico 20% + arena gruesa 80%; y T6: vidrio 20 + arena fina 80%. El tratamiento T1 demostró un rendimiento notable: ladrillo 100%, tanto en altura de planta como en diámetro de tallo: 2,6 cm y 3 cm; masa fresca 108 gramos y masa seca 9.3 gramos; y la arena gruesa T2. Debido a sus características químicas y físicas, los sustratos T4 y T6 no fueron recomendables porque su desempeño no cumplió con las expectativas. Las propiedades físicas y químicas del ladrillo tienen un impacto positivo en el desarrollo de la albahaca, mientras que las propiedades físicas de la arena fina tienen un impacto negativo. Debido a su alta conductividad (salinidad), las propiedades químicas de la arcilla expandida y la mayólica también tienen un impacto negativo.

Como **antecedentes locales** Flores (2020) en su tesis de investigación “*Producción de acelga (*Beta vulgaris L. var. Fordhook giant*) con uso de dos fuentes de agua salina en hidroponía - sistema raíz flotante bajo condiciones de invernadero en Arequipa*” el propósito fue analizar el comportamiento agronómico del cultivo de acelga mediante el uso de dos fuentes de agua salina (afluente salado y laguna salada del sector de la Irrigación San Camilo) en tres concentraciones: 5%, 10% y 15%. En el sistema de producción hidropónica, se utiliza un testigo al 100% del agua de riego. Se utilizaron características agronómicas como la longitud y el ancho de la hoja, el peso fresco, la mortalidad, el consumo de agua, el rendimiento, el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura de la solución nutritiva. El método fue de tipo experimental. Para determinar la inocuidad, se enviaron muestras al laboratorio para detectar la presencia de E. Coli en plantas, agua y solución nutritiva. Por último, se determinó la rentabilidad económica y se llevó a cabo un análisis de varianza y una prueba de Tukey al 0.05 % utilizando el software STATA. Los hallazgos demostraron que los tratamientos con menos de 6 ds.m⁻¹ (T0, T1, T2 y T4) no presentaron dificultades en su desarrollo; por encima de este rango, hubo mortalidad de plantas (T3, T5 y T6) y no se alcanzó valor comercial a partir de 8 ds.m⁻¹. Al principio, los niveles de E. coli en los tratamientos superaron el límite máximo permitido en más del 60 % en la solución nutritiva; sin embargo, al final de la vida útil, los niveles fueron menores a 1,8 NMP.100ml⁻¹ cumpliendo lo normado. Siendo un producto inofensivo y adecuado para el consumo humano, los niveles de E. coli en las hojas recolectadas fueron muy bajos: 10 NMP.g⁻¹. El único tratamiento con rentabilidad positiva, el T1, con 15.9 t. ha⁻¹, mostró el mejor rendimiento. El uso de fuentes salinas en soluciones nutritivas para el cultivo de acelga en un sistema hidropónico raíz flotante es posible, siempre y cuando no superen los 6 ds.m⁻¹.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del trabajo

a) Espacial

Se realizó el trabajo de campo en un invernadero que es parte de las instalaciones de la empresa FAGSOL SAC, ubicada en el distrito de Socabaya, provincia Arequipa, en donde la temperatura es lo suficientemente cálida en casi todo el año, oscilando de 9°C a 22°C, y llegando a su nivel más bajo durante el mes de julio, considerándose una buena zona de cultivo.

b) Temporal

El trabajo de campo orientado básicamente al cultivo de los rábanos se realizó durante finales de mayo, hasta principios de julio del 2023, considerando en este periodo los 45 días luego de la siembra en los que se hizo el seguimiento.

3.1.2. Materiales biológicos

- Semillas de rábano (*Raphanus sativus L.*)

3.1.3. Materiales de laboratorio

- Balanza
- Bandeja de plástico
- Peachímetro
- Conductímetro

3.1.4. Materiales de campo y escritorio

- Vernier o cinta métrica
- Demarcadores
- Carteles

- Cámara fotográfica
- Libreta de campo
- Lapiceros
- Cinta blanca y rotuladores

3.1.5. Reactivos

- Agua
- Nitrato de amonio
- Nitrato de potasio
- Nitrato de calcio
- Sulfato de magnesio
- Fetrilon
- Ácido bórico
- Hierro
- Leche
- Melaza
- Estiércol de ganado vacuno
- Hojas de nacedero

3.1.6. Equipos

- Bomba eléctrica

3.2. Métodos

3.2.1. Población

El trabajo de campo orientado básicamente al cultivo de los rábanos se realizó durante finales de mayo, hasta principios de julio del 2023, considerando en este periodo los 45 días luego de la siembra en los que se hizo el seguimiento.

3.2.2. Muestra

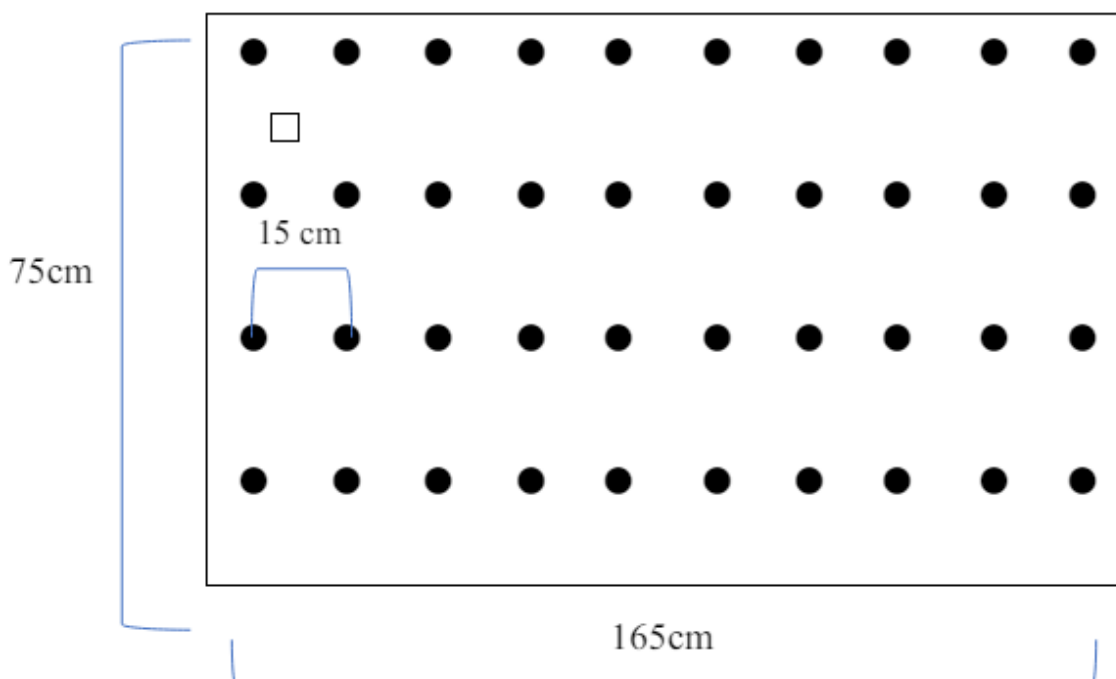
Reconociéndose la importancia de la toma de muestras dentro de la interpretación de los resultados, de las 40 plantas de rábano puestas en cada tratamiento, las mediciones se llevaron a cabo en 8 unidades con características más o menos similares, debido a que representan una muestra representativa, estas constituían las unidades experimentales.

3.2.3. Procedimiento de muestreo

Una vez definido el número de unidades de muestra, se procedió a tomar los elementos (plantas), teniendo como principales ventajas el hecho de ser un muestreo menos laborioso. Los datos de la planta en los muestreos a lo largo de su crecimiento y desarrollo fueron registrados en una matriz mostrada en el Anexo 3.

3.2.4. Formación de unidades experimentales de estudio

Para el caso del sistema hidropónico de sustrato sólido, La unidad experimental constaba de una caja de madera de 75 cm x 165 cm de ancho y largo, resultando en un área de 1.24 m² sobre la cual se cultivaron 40 rábanos en una distancia de 15 cm entre cada planta, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2*Distribución de las unidades experimentales*

Nota. Elaboración Propia, 2023.

3.3. Métodos de evaluación

3.3.1. Metodología de la experimentación

Como parte de la metodología para llevar a cabo los objetivos planteados, en primer orden se adecuaron las áreas para el sistema de hidroponía de sustrato (SH1) y para el sistema de raíz flotante (SH2) al interior del invernadero de la empresa Fagsol S.A.C.

En los primeros días se realizó el adecuamiento de ambos sistemas de hidroponía, luego de lo cual se procedió con la siembra durante horas de la tarde, donde se rotularon cada muestra para facilitar el seguimiento posterior.

Los sistemas del cultivo hidropónico de sustrato se llevaron a cabo en cajas de maderas adaptadas, mientras que, para el cultivo, el sistema “floating” se llevó a cabo en tubos de PVC medida 4 pulgadas, color blanco, manejándose un sistema de siembra se maneja con una distancia de 15 cm por planta.

a) Preparación de las soluciones nutritivas

Solución Química: una combinación de soluciones concentradas A y B; la solución A contiene 641 gramos de fertilizantes en 5 litros de agua, 618 gramos de sulfato de magnesio, 30 gramos de fertilom y 3 gramos de ácido bórico; la solución B contiene 2200 gramos de fertilizantes en 10 litros de agua, 1100 gramos de nitrato de potasio y 700 gramos de nitrato de calcio. Para hacer una solución nutritiva de 1L, se agregan 5 ml de solución A, 2 ml de solución B y 1 mL de una solución de sulfato ferroso al 2.5% como micronutriente después de que las soluciones hayan sido concentradas.

Tabla 3

Composición de la solución química (soluciones A y B)

Componente	Porcentaje en Solución A (%)	Porcentaje en Solución B (%)
Nitrato de amonio	18.18	-
Nitrato de potasio	50	-
Nitrato de calcio	31.82	-
Sulfato de magnesio	-	96.41
Fertilom	-	4.68
Ácido bórico	-	0.47

Nota. Elaboración Propia, 2023.

Solución Orgánica: consiste en una solución de biofertilizantes compuesta por 4.5 kg de estiércol fresco de vaca más 0.2L de leche, 0.2L de melaza y 0.45 kg de hojas de leguminosas picadas junto a 18 L de agua, la mezcla es colocada en un recipiente hermético conectado a su vez con una botella plástica por medio de una manquera, garantizando la evacuación de gases producidos por la digestión anaerobia, este proceso tomará 30 días. (Song et al., 2023)

Propiedades que aportan estos elementos en la solución orgánica

- **Estiércol fresco de vaca:** Proporciona una rica fuente de nitrógeno, fósforo y potasio, esenciales para el crecimiento de las plantas. Además, contiene microorganismos que facilitan la descomposición y enriquecen el suelo
- **Leche:** Contribuye con nutrientes como calcio y azúcares simples, que promueven el desarrollo de microorganismos beneficiosos en el suelo.
- **Melaza:** Actúa como una fuente de carbono, alimentando a los microorganismos y mejorando la actividad microbiana en el proceso de digestión anaerobia.
- **Hojas de leguminosa:** Añaden nitrógeno adicional y otros nutrientes, mejorando la fertilidad del suelo y la capacidad de las plantas para absorber nutrientes

Tabla 4

Composición de la solución orgánica

Componente	Porcentaje (%)
Estiércol fresco de vaca	19.27
Leche	0.86
Melaza	0.86
Hojas de leguminosas	1.93
Agua	77.09

Nota. Elaboración Propia, 2023.

b) Siembra de los rábanos

La siembra de los rábanos tanto por la modalidad de sustrato sólido como de raíz flotante se realizó bajo dos fases: semillero y trasplante obviando en la etapa de post-almácigo.

En la **fase semillero** la metodología aplicada para ambos sistemas fue la misma. El sustrato del almacigo se elaboró con cascarilla de arroz y arena fina en proporción 1:1.

Para garantizar que las semillas estuvieran a una profundidad de alrededor de 5 mm, se

niveló este sustrato y se riego con una solución nutritiva con una concentración de sales del 50%.

En la **fase de trasplante** bajo el **sistema de sustrato sólido** se utilizaron recipientes plásticos o cajas de madera impermeabilizadas con plástico negro. La capa de sustrato permaneció entre 12 y 15 cm. Se marcaron los puntos donde serían trasplantadas las plántulas, se abrieron agujeros y se trasladaron cuidadosamente las plántulas, rellenando el espacio sobrante con sustrato.

En la **fase de trasplante** bajo el sistema de raíz flotante, las plántulas se trasladaron a tubos de PVC de color blanco de 4, previamente adaptados con agujeros separados a una distancia de 15 cm o más. La distancia se ajustó para asegurar el desarrollo de las plantas hasta su cosecha.

c) **Aplicación de las soluciones nutritivas**

Sistema hidropónico de sustrato sólido: en este sistema la solución se aplicó diariamente por 6 días, en el día 7 se riego únicamente con agua en un volumen doble al que se aplica la solución nutritiva. El riego se realizó de forma manual una vez al día en horas tempranas, preferentemente antes de las 7 am.

Sistema hidropónico de raíz flotante: La solución nutritiva se alimentó directamente a los tubos de PVC. Para verificar el estado de cada solución, se midió la conductividad. Bajo este sistema, la solución debía ser oxigenada, ya sea manualmente durante unos segundos, al menos dos veces al día, o mediante una bomba sumergible o compresora, realizando la inyección de aire de forma mecánica.

d) **Seguimiento del cultivo de rábanos**

Después de la siembra, se llevó a cabo un seguimiento desde los 7 días posteriores hasta el día 45 (exactamente a los 15, 30 y 45 días después de la siembra). Estas mediciones se realizaron en 8 plantas, a partir de las 4 pm, para evitar exponer los cultivos a temperaturas

elevadas. El registro de este seguimiento se hizo en unas planillas, tomando nota del número de hojas, largo y ancho de las hojas, así como el largo, diámetro de la raíz y peso de la planta. Estas mediciones se llevaron a cabo con una cinta métrica o vernier y una balanza.

Durante la cosecha, que ocurrió una vez que la planta alcanzó su punto máximo de desarrollo foliar, también se medían las características mencionadas. Esto sirvió para determinar el término de los rábanos. Además, se tomaron medidas del peso fresco de la raíz y otras características biométricas necesarias para determinar su potencial comercial.

3.3.2. Ajustes metodológicos

Para preparar las soluciones nutritivas se utilizó agua local de Arequipa, seleccionada por sus características compatibles con los cultivos hidropónicos de la región. El agua presenta una dureza moderada, lo cual es beneficioso ya que contribuye con minerales secundarios esenciales, como calcio y magnesio, necesarios para el desarrollo de las plantas. Dado que la calidad del agua puede variar, se implementaron controles de pH, conductividad eléctrica y temperatura para mantener los valores en rangos óptimos.

Control de temperatura: La temperatura del agua se mantuvo en un rango de 20 a 25 °C, ideal para facilitar la absorción de nutrientes y fomentar un crecimiento saludable en sistemas hidropónicos.

Ajuste del pH: Para el desarrollo adecuado de los cultivos, el pH de las soluciones nutritivas se monitoreó constantemente y se mantuvo entre 5.8 y 6.5. Este rango evita problemas relacionados con la disponibilidad de macro y micronutrientes. En caso de requerir ajustes, se añadió ácido o base a una concentración de 1N, para disminuir o aumentar el pH según las necesidades.

Ajuste de la conductividad: La conductividad eléctrica de la solución, que indica el contenido de sales, se verificó para permanecer entre 1.5 y 2.5 mS/cm. En situaciones en que la conductividad no estaba en este rango, se añadió agua o se renovó la solución completa, dependiendo del caso.

Tabla 5

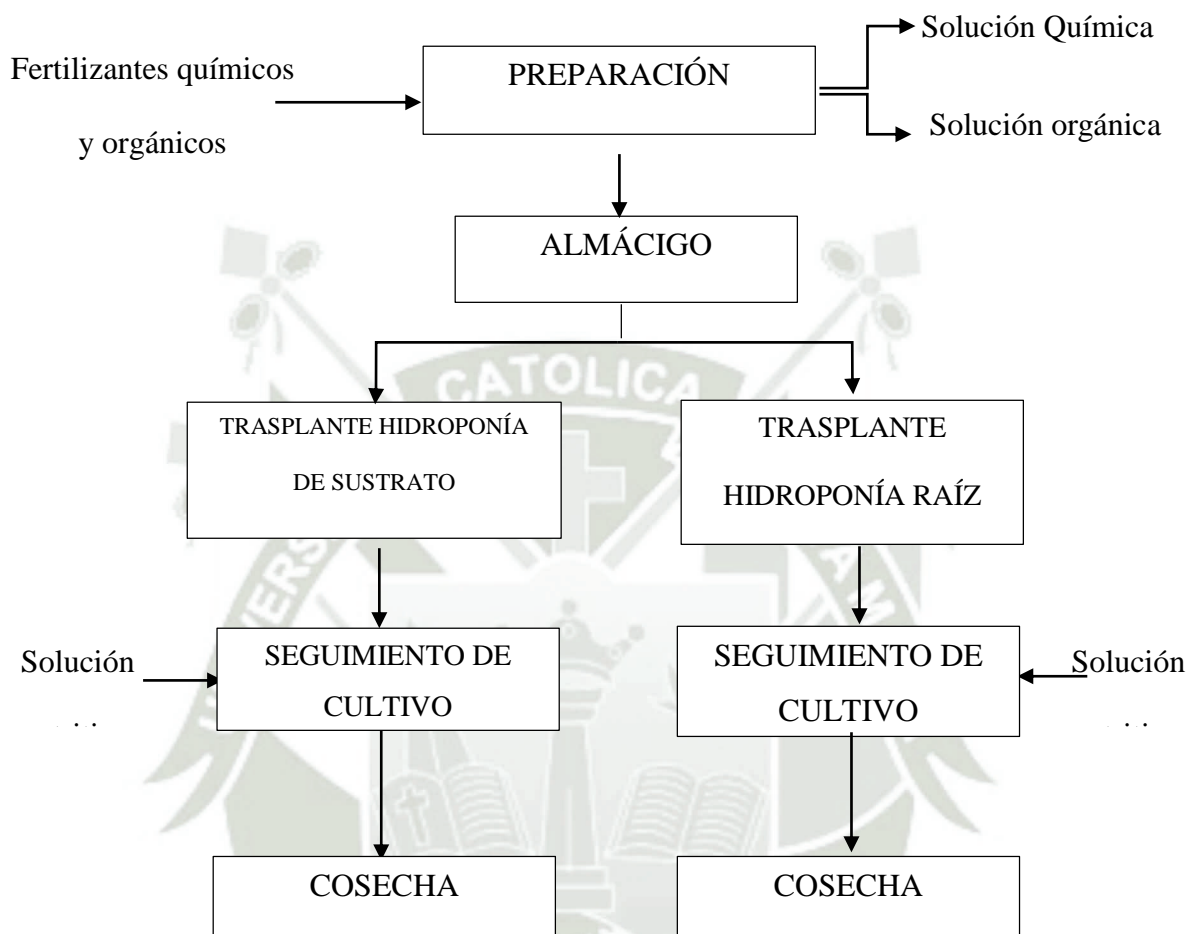
Valores de pH y conductividad eléctrica del agua para la preparación de las soluciones

Monitoreo de Agua	pH	Conductividad Eléctrica (mS/cm)
Toma 1	6.2	1.8
Toma 2	6.0	1.6
Toma 3	5.9	1.5
Toma 4	6.3	2.0
Toma 5	6.1	1.7

Nota. Elaboración Propia, 2023.

Figura 3

Flujo de la metodología experimental



Nota. Elaboración Propia, 2023.

3.4. Estrategias de recolección de datos

3.4.1. En el campo

La recopilación de los datos de campo se llevó a cabo mediante la técnica de observación, utilizando como instrumento una libreta de campo o bitácora y fichas de observación para el registro de los cambios efectuados durante el desarrollo de los cultivos de rábanos.

3.4.2. En el laboratorio

En cuanto a la recopilación de los datos en el laboratorio, se realizó mediante la observación registrándose los efectos de las variables en matrices diseñadas de acuerdo con el diseño experimental.

3.4.3. En la biblioteca

La recolección en biblioteca se llevó a cabo mediante una revisión de los registros de investigaciones anteriores, realizando un análisis de la información encontrada y determinándose la información relevante para el tema en estudio.

3.5. Variables

3.5.1. Variables independientes

- **Sistemas hidropónicos:** Los sistemas hidropónicos que formaron parte de la evaluación en la presente investigación, siendo uno de estos el sistema de sustrato y otro de raíz flotante, los cuales estuvieron caracterizados por permitir el cultivo de los rábanos sin la dependencia del suelo.
- **Solución nutritiva:** Las soluciones nutritivas empleadas en los tratamientos estuvieron compuestas por fertilizantes de naturaleza química y orgánica respectivamente. La primera solución mineral (SM) se compuso por nitratos de amonio, de potasio y de calcio; y una solución orgánica (SO) hecha a partir de estiércol de ganado, leche, melaza y hojas de leguminosas.

Tabla 6

Composición de las soluciones nutritivas

Solución Mineral (SM)	Solución Orgánica (SO)
Nitrato de amonio	Estiércol de ganado
Nitrato de potasio	vacuno

Nitrato de calcio	Melaza
Sulfato de magnesio	Leche
Fetrilom	Hojas de leguminosa
Ácido bórico	
Sulfato ferroso	

Nota. Elaboración Propia, 2023.

3.5.2. Variables dependientes

- **Rendimiento:** Se basó en el rendimiento biológico expresado por la masa de los rábanos al momento de la cosecha tras haberse empleado 2 tipos de soluciones nutritivas (SM y SO).
- **Características biométricas del cultivo de rábano:** Para la determinación de esta variable se midió el ancho y longitud de la hoja, el número de hojas pasado los 7 días de la siembra hasta los 45 días, luego de lo cual se realizó la cosecha. Adicionalmente, en la cosecha se determinaron las características de la raíz, como longitud y diámetro.
- **Características comerciales del rábano:** Como parte de las características comerciales posterior a la cosecha se evaluó el peso fresco de las raíces y el diámetro final de la raíz que generalmente constituye la parte comercial.
- **Índices de crecimiento:** Basada en la medición de una serie parámetros con los cuales se pudo realizar una descripción cuantitativa del crecimiento, implicando tasa absoluta de crecimiento (TAC), área foliar (AF), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN).

Tabla 7

Matriz de operacionalización

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades	
Dependiente	Evaluación ritmo de crecimiento	Con una frecuencia de 15 días se evaluarán las características de la planta a lo largo de su crecimiento hasta el día 45.	Características biométricas	<ul style="list-style-type: none"> • Número de hojas • Longitud de la hoja • Ancho de la hoja • Altura de la planta 	- cm cm cm
	Características comerciales	Atributos finales del rábano relacionado a su raíz, parte de mayor interés en la comercialización.	Características de la raíz del rábano	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de raíz reservante • Peso fresco de la raíz reservante (PR) 	cm g
	Índice de crecimiento	Basada en la medición de una serie de parámetros con los cuales se puede realizar una descripción cuantitativa del crecimiento	Parámetros de crecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa absoluta de crecimiento • Área foliar • Tasa relativa de crecimiento • Tasa de asimilación neta 	g/ día cm ² g/g día g/cm ² .día
	Rendimiento	Se toman 8 plantas de rábanos de cada una de las réplicas cultivadas bajo los sistemas hidropónicos, a partir de lo cual se determina el rendimiento por	Rendimiento peso/planta	<ul style="list-style-type: none"> • Masa de rábanos • Peso/planta 	g g/planta

		cada planta calculando el peso en gramos por unidad de planta.		
Independiente	Soluciones nutritivas	Las soluciones nutritivas necesarias para garantizar el crecimiento de los cultivos de rábanos serán de dos tipos variando en su composición.	<p>Solución nutritiva mineral</p> <p>Solución nutritiva orgánica</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de minerales • Concentración de compuestos orgánicos <p>mg/L; g/L</p>
	Sistema hidropónico	Para la evaluación se empleará dos técnicas de cultivo hidropónico, es decir un medio libre de suelo que permita la producción de los rábanos.	Tipo de sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroponía de raíz flotante • Hidroponía de sustrato <p>-</p>

Nota. Elaboración Propia, 2023.

3.6. Evaluación Estadística

3.6.1. Diseño Experimental

3.6.2. Unidades experimentales

Para cada tratamiento experimental se emplearon 40 unidades de rábano (*Raphanus sativus L.*), sobre las cuales se evaluaron sus características biométricas, índices de crecimiento, características comerciales y rendimiento.

3.6.3. Diseño de tratamientos

Se utilizó un DCA (Diseño Completamente al Azar) con un arreglo factorial de 2A x 2B para la ejecución, teniendo como primer factor: dos modalidades de hidroponía, la de sustrato sólido (A1) y de raíz flotante (A2); y como segundo factor: el tipo de solución nutritiva, una consignada como solución mineral (B1) compuesta por nitratos; y una solución orgánica (B2) de estiércol vacuno, leche, melaza y hojas de leguminosas.

3.6.4. Distribución de tratamientos

Factor A: Sistemas hidropónicos

A₁: Hidroponía de sustrato

A₂: Hidroponía de raíz flotante

Factor B: Soluciones nutritivas

B₁: Solución Mineral

B₂: Solución Orgánica

Número de réplicas: 3

Número de tratamientos: 2 sistemas * 2 soluciones* 4 réplicas = 16

En la tabla 8 se detalla la distribución de los 4 tratamientos básicos, mostrándose la interacción de los factores A*B.

Tabla 8

Diseño de los tratamientos

Tratamiento	Código	Sistema hidropónico	Solución
T1	A ₁ B ₁	Hidroponía de sustrato	Solución Mineral
T2	A ₁ B ₂	Hidroponía de sustrato	Solución Orgánica
T3	A ₂ B ₁	Hidroponía de raíz flotante	Solución Mineral
T4	A ₂ B ₂	Hidroponía de raíz flotante	Solución Orgánica

Nota. Elaboración Propia, 2023.

La tabla 8 muestra la distribución de los 4 tratamientos básicos. Cada tratamiento está identificado por un código, que consiste en las letras A y B, seguidas de los números 1 o 2, que indican los niveles de los factores A y B, respectivamente. La interacción de los factores A y B se refiere al efecto que tiene el nivel de un factor sobre el efecto del otro factor. En este experimento, la interacción de los factores A y B se puede estudiar comparando los tratamientos T1 y T2, T3 y T4. Para comprender mejor los efectos de los factores A y B, es necesario realizar un análisis estadístico de los datos experimentales. Este análisis permitirá determinar si los factores A y B tienen un efecto significativo sobre el crecimiento de las plantas, y si existe interacción entre los factores. A continuación, se proporciona una explicación más detallada de cada uno de los tratamientos:

- Tratamiento T1: Hidroponía de sustrato con solución mineral

En este tratamiento, las plantas se cultivan en un sustrato sólido, y se les suministra una solución mineral como fuente de nutrientes.

- Tratamiento T2: Hidroponía de sustrato con solución orgánica

En este tratamiento, las plantas se cultivan en un sustrato sólido y se les suministra una solución orgánica como fuente de nutrientes.

- Tratamiento T3: Hidroponía de raíz flotante con solución mineral

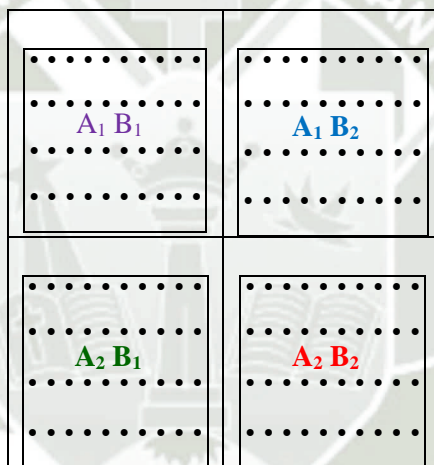
En este tratamiento, las plantas se cultivan en una solución mineral sin sustrato. Las raíces de las plantas están suspendidas en la solución y absorben los nutrientes a través de ellas.

- Tratamiento T4: Hidroponía de raíz flotante con solución orgánica

En este tratamiento, las plantas se cultivan en una solución orgánica sin sustrato. Las raíces de las plantas están suspendidas en la solución y absorben los nutrientes a través de ellas.

Figura 4

Distribución de los experimentos sin aleatorización



Nota. Elaboración Propia, 2023.

En la figura 4 se muestra la distribución de los experimentos acorde con la Tabla 8, a partir de la cual se realiza el DCA con arreglo factorial que es especificado en la tabla siguiente, la distribución de cada unidad esta detallada en la **Figura 4** y cuya representación completa se muestra en anexos.

3.7. Análisis estadísticos

3.7.1. Análisis de varianza

De manera previa al análisis de varianza, la información y/o datos se organizaron en Microsoft Excel, codificándose los datos en tablas y gráficos que permitieran la comparación de las muestras de los dos sistemas de hidroponía; se procedió luego con El

programa Statgraphics ofrece el análisis de varianza ANOVA identificando bajo ello las diferencias más relevantes entre las variables evaluadas para ambos sistemas como el largo, ancho de la hoja, etc., a través de la comparación de los promedios con la prueba de rango múltiple de Tukey al 0.05 de significancia.

3.7.2. Análisis de significancia

Se analizó bajo el sistema ANOVA la significancia estadística entre las características del cultivo y las variables independientes (solución nutritiva y sistemas hidropónicos) considerando una significancia del 5%, lo cual implicaba que los resultados generados eran solo significativos, influían o tenían un efecto considerable sobre la variable dependiente peso y/o características de la planta, únicamente si el p-valor era inferior a 0.05.

3.7.3. Prueba de Tukey para comparaciones múltiples

Una vez identificadas las diferencias significativas mediante ANOVA, se aplicó la prueba de Tukey HSD (Honestly Significant Difference) para realizar comparaciones múltiples entre las medias de los tratamientos. La prueba de Tukey es útil para evaluar cuáles tratamientos específicos difieren significativamente entre sí, manteniendo el nivel de error general al 5%.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Comparación del desarrollo biométrico de los rábanos

Después de llevar a cabo el cultivo de rábanos (figura 5 y figura 6) bajo sistemas hidropónicos de sustrato y raíz flotante con dos tipos de solución, se midieron las características biométricas de los rábanos durante su crecimiento (altura de la planta, número de hojas, longitud y ancho de las hojas); además de los índices de crecimiento como el TAC, TRC y TAN.

Figura 5

Desarrollo de los cultivos bajo sistemas de sustrato



Figura 6

Desarrollo de los cultivos bajo sistemas de raíz flotante



4.1.1. Número de hojas por planta

Un criterio crucial para el desarrollo de las plantas es el número de hojas, debido a su relación con el área foliar neta y la actividad fotosintética que interfiere con el desarrollo de la planta. La tabla 6 muestra la cantidad de hojas de las plantas de rábano analizadas el día 45 (día en que se realiza la cosecha de los rábanos) oscila en promedio de 9 a 10 hojas en total, presentándose en los sistemas de raíz flotante T3 (con solución mineral) y T4 (con solución orgánica) un promedio de 10.3 y 10.0 de hojas, respectivamente. Esto se asemeja a los resultados de García et al. (2021), quienes en su evaluación del crecimiento de rábanos en hidroponía de raíz flotante reportaron un promedio de 9 hojas como máximo. Sin embargo, contrastado con cultivos convencionales se aprecia una diferencia mayor, Sánchez (2018) señala un promedio de 6 a 7 hojas.

Tabla 9

Promedio del número de hojas por tratamiento

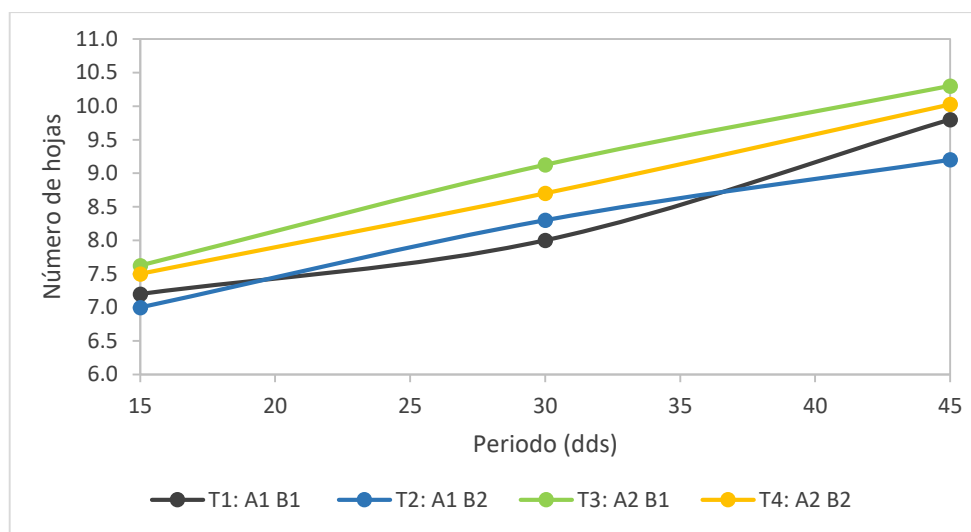
Tratamiento	Número de hojas		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.20	8.00	9.80
T2: A ₁ B ₂	7.00	8.30	9.20
T3: A ₂ B ₁	7.60	9.10	10.30
T4: A ₂ B ₂	7.50	8.70	10.00

Nota. Elaboración Propia, 2023.

De acuerdo con la figura 7, se aprecia un aumento en el número de hojas del día 15 al día 45 después de la siembra, observándose una diferencia más pronunciada entre los tratamientos a los 30 dds, diferencia que se acorta para la medición del día 45 en el que el número de hojas para T1 resulta igual a 9.8, T3 10.3 y T4 10.0 unid.

Figura 7

Número de hojas



Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 15 días, el ANOVA mostró diferencias significativas en el número de hojas. El Tratamiento 3 presentó el mayor promedio, mientras que los tratamientos 1 y 2 no difirieron entre sí (Anexo 10, Tabla 10).

Tabla 10

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el número de hojas a los 15 días

Tratamiento	Código	Número de Hojas	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	7.60	a
T4	A2 B2	7.50	a
T1	A1 B1	7.20	a
T2	A1 B2	7.00	a

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 30 días, el Tratamiento 3 mantuvo el mayor número de hojas, con el Tratamiento 4 mostrando un aumento moderado. Los tratamientos 1 y 2 continuaron sin diferencias significativas entre sí (Anexo 10, Tabla 11).

Tabla 11

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el número de hojas a los 30 días

Tratamiento	Código	Número de Hojas	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	9.10	a
T4	A2 B2	8.65	a
T2	A1 B2	8.28	b
T1	A1 B1	8.00	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 45 días, el Tratamiento 3 consolidó su efectividad, mientras que el Tratamiento 4 se ubicó en un nivel intermedio. Los tratamientos 1 y 2 mantuvieron el menor número de hojas (Anexo 10, Tabla 12).

Tabla 12

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el número de hojas a los 45 días

Tratamiento	Código	Número de Hojas	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	10.28	a
T4	A2 B2	10.00	a
T1	A1 B1	9.78	b

T2 A1 B2 9.20 b

4.1.2. Ancho de la hoja

Al igual que el número de hojas, el ancho es un criterio relacionado al área foliar de la planta. En la tabla 11 se presenta el promedio del ancho a los 15, 30 y 45 días después de la siembra, según las mediciones la solución mineral en sistemas de hidroponía de raíz flotante y de sustrato son los que presentan hojas con mayor ancho con valores de 5.80 cm (T1), 6.20 cm (T3) y 5.90 cm (T4). Esto es similar al estudio de García et al. (2021) quienes señalan un promedio de 5.6 cm para el ancho de hojas.

Tabla 13

Promedio de la variación del ancho de las hojas

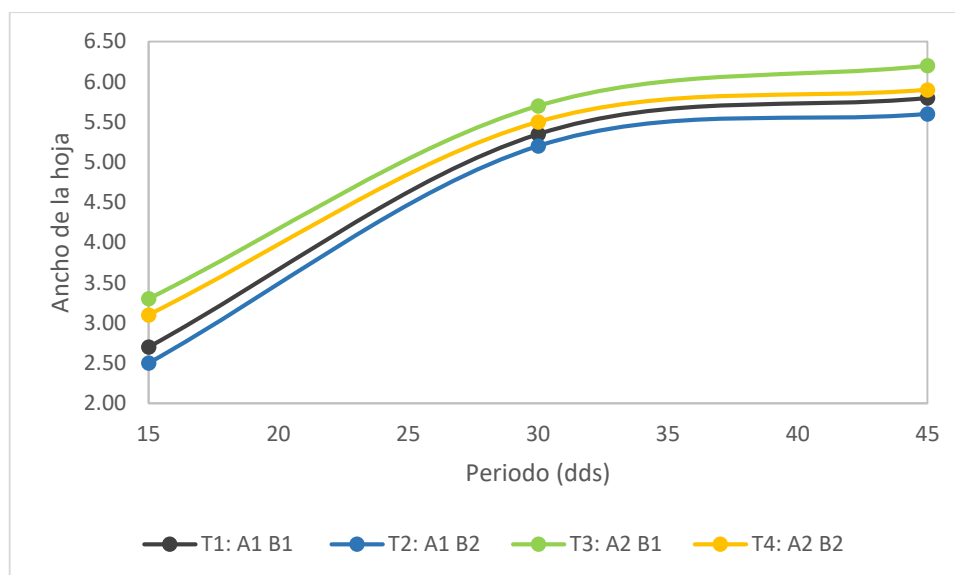
Tratamiento	Ancho de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	2.70	5.35	5.80
T2: A ₁ B ₂	2.50	5.20	5.60
T3: A ₂ B ₁	3.30	5.70	6.20
T4: A ₂ B ₂	3.10	5.50	5.90

Nota. Elaboración Propia, 2023.

En la figura 8 se muestra la evolución del ancho de las hojas de rábanos, observándose que no existe una diferencia notable entre las medidas del ancho para los cuatro tratamientos en estudio. Asimismo, se observa que del día 30 al 45 el ancho de las hojas incrementa ligeramente a diferencia del primer periodo comprendido entre el 15 dds a 30 dds en donde el aumento es más pronunciado, indicando un rápido desarrollo foliar de la planta a nivel de anchura.

Figura 8

Comparativa del ancho de las hojas



Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 15 días, el ANOVA muestra diferencias significativas en el ancho de hojas entre tratamientos, influenciadas principalmente por el sistema hidropónico y la solución nutritiva, ambos con p-values de 0.0000. No se observó una interacción significativa entre estos factores ($p=0.5635$). La comparación de medias revela que los tratamientos T3 y T4, en el grupo "a", tuvieron un ancho promedio de hojas mayor que los tratamientos T1 y T2, agrupados en "b". Esto indica que los tratamientos con A2 favorecen un mayor desarrollo temprano del ancho de hoja (Anexo 10, Tabla 14).

Tabla 14

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el ancho de hojas a 15 días

Tratamiento	Código	Ancho de Hojas (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	3.30	a
T4	A2 B2	3.10	a

T1	A1 B1	2.70	b
T2	A1 B2	2.50	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 30 días, el ANOVA confirma la existencia de diferencias significativas, tanto en el sistema hidropónico como en la solución nutritiva, con p-values de 0.0000. Además, la interacción entre ambos factores es significativa ($p=0.0273$), sugiriendo que la combinación de A y B afecta el ancho de hojas en esta etapa. La comparación de medias posiciona a los tratamientos T3 y T4 en el grupo "a" con un ancho de hojas superior, mientras que los tratamientos T1 y T2 permanecen en el grupo "b", manteniendo una menor expansión foliar (Anexo 10, Tabla 15).

Tabla 15

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el ancho de hojas a 30 días

Tratamiento	Código	Ancho de Hojas (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	5.70	a
T4	A2 B2	5.50	a
T1	A1 B1	5.35	b
T2	A1 B2	5.20	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 45 días, el ANOVA muestra diferencias significativas, con el sistema hidropónico y la solución nutritiva influyendo de manera significativa ($p=0.0000$) en el ancho de las hojas, al igual que su interacción ($p=0.0000$). La comparación de medias indica que el tratamiento T3 alcanzó el mayor promedio de ancho de hojas, seguido de T4, ambos en el grupo "a". Los tratamientos T1 y T2, con promedios inferiores, se agruparon en "b". Estos resultados sugieren que las condiciones del tratamiento T3 mantienen una superioridad sostenida en la ampliación del ancho foliar (Anexo 10, Tabla 16).

Tabla 16

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el ancho de hojas a 45 días

Tratamiento	Código	Ancho de Hojas (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	6.20	a
T4	A2 B2	5.90	a
T1	A1 B1	5.80	b
T2	A1 B2	5.60	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.1.3. Longitud de la hoja

La longitud promedio de las hojas de rábanos, de acuerdo con lo mostrado en la tabla 13, varía entre 6.83 a 7.50 cm, siendo mayor para los sistemas hidropónicos de raíz flotante, tratamientos en los que aumenta de 4.25 cm a 6.95 cm; y de 4.7 cm a 7.5 cm para T3. Estos valores resultan cercanos a los señalados por García et al. (2021), quienes indican una longitud de la hoja en el día 45 después de la siembra igual a 7.5 cm de largo.

Tabla 17

Promedio de la variación de la longitud de las hojas

Tratamiento	Longitud de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds

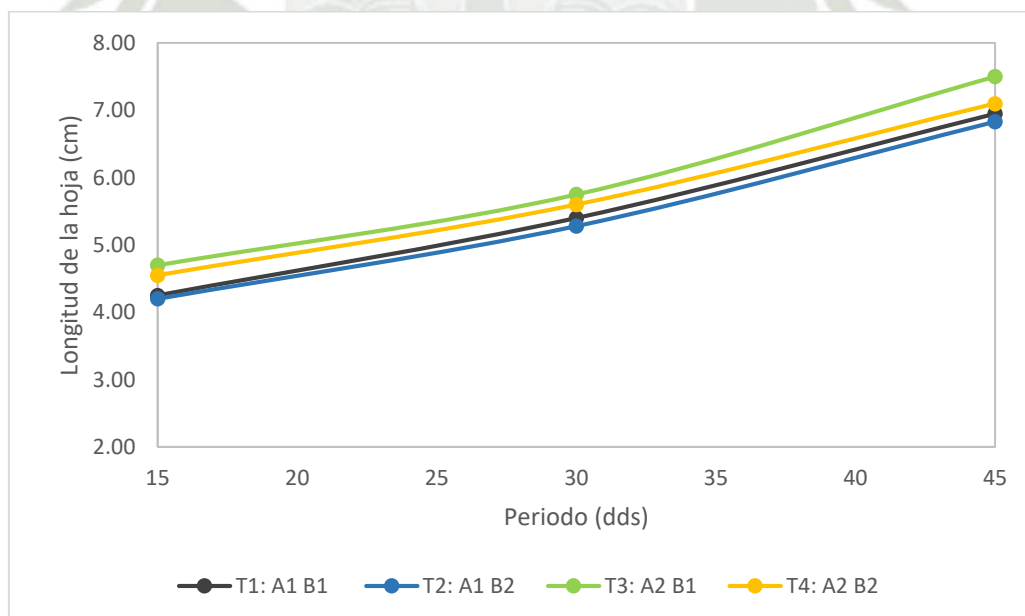
T1: A ₁ B ₁	4.25	5.40	6.95
T2: A ₁ B ₂	4.20	5.28	6.83
T3: A ₂ B ₁	4.70	5.75	7.50
T4: A ₂ B ₂	4.55	5.60	7.10

Nota. Elaboración Propia, 2023.

De acuerdo con la figura 9, el aumento de la longitud de las hojas de rábanos es consistente, observándose un crecimiento por encima de 6 cm para todos los tratamientos en el día 45 después de la siembra. Según la curva de T3, la longitud bajo el sistema hidropónico de raíz flotante con solución mineral es ligeramente mayor que el resto, lo que demuestra el efecto positivo de este tratamiento sobre el desarrollo de los rábanos cultivados.

Figura 9

Comportamiento de la longitud de las hojas



Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 15 días, el ANOVA indica diferencias significativas en la longitud de las hojas, con el sistema hidropónico y la solución nutritiva contribuyendo de forma independiente ($p=0.0000$), además de una interacción significativa entre ambos factores ($p=0.0000$). La

comparación de medias muestra que los tratamientos T3 y T4, agrupados en "a", presentan mayor longitud de hojas que T1 y T2, que se ubican en el grupo "b". Esto sugiere que las combinaciones A2 y B1-B2 benefician el crecimiento temprano en longitud de las hojas (Anexo 10, Tabla 18).

Tabla 18

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de hojas a 15 días

Tratamiento	Código	Longitud de Hojas (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	4.70	a
T4	A2 B2	4.55	a
T1	A1 B1	4.25	b
T2	A1 B2	4.20	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 30 días, el ANOVA continúa mostrando diferencias importantes en la longitud de las hojas, destacando la influencia de los factores sistema hidropónico y solución nutritiva ($p=0.0000$) y una interacción significativa ($p=0.0003$). La comparación de medias mantiene a T3 y T4 en el grupo superior "a", mientras que T1 y T2 se agrupan en el nivel inferior "b". Esto evidencia que las combinaciones de tratamientos A2 favorecen un crecimiento constante en la longitud foliar (Anexo 10, Tabla 19).

Tabla 19

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de hojas a 30 días

Tratamiento	Código	Longitud de Hojas (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	5.75	a

T4	A2 B2	5.60	a
T1	A1 B1	5.40	b
T2	A1 B2	5.30	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 45 días, el análisis ANOVA confirma la significancia en el incremento de longitud de hojas, con el sistema hidropónico y la solución nutritiva influyendo de manera individual ($p=0.0000$) y conjuntamente a través de su interacción ($p=0.0000$). La comparación de medias posiciona a T3 en el nivel más alto del grupo "a", seguido de T4, mientras que T1 y T2 se mantienen en el grupo "b" con menor desarrollo. Esto sugiere que, a lo largo del tiempo, el tratamiento T3 promueve un crecimiento óptimo en la longitud de las hojas (Anexo 10, Tabla 20).

Tabla 20

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de hojas a 45 días

Tratamiento	Código	Longitud de Hojas (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	7.50	a
T4	A2 B2	7.10	a
T1	A1 B1	6.95	b
T2	A1 B2	6.83	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.1.4. Altura de la planta

En la evaluación de la altura de la planta se tomó en cuenta la distancia desde la base de la raíz hasta el punto más destacado de la hoja terminal. Al igual que otras características previamente analizadas, la altura de la planta es un parámetro que refleja el crecimiento y desarrollo de la misma, dependiendo de la absorción de nutrientes en el tallo que posteriormente son transportados hacia la raíz. Según los datos consignados en la tabla

15, la altura máxima alcanzada por la planta es de 18.45 cm (T3), medida que resulta mayor a los valores señalados en la investigación de García et al. (2021), donde la altura es igual a 16 cm; mientras que en sistemas de cultivos tradicionales en los que se hace uso de biofertilizantes o abonos orgánicos, la altura varía entre valores de 20.61 cm (León, 2015) y 28 cm (Torrez, 2011), los cuales superan la longitud de los tratamientos hidropónicos evaluados. Se puede inferir que el sistema de raíz flotante tiene una mayor influencia, sin importar el tipo de solución.

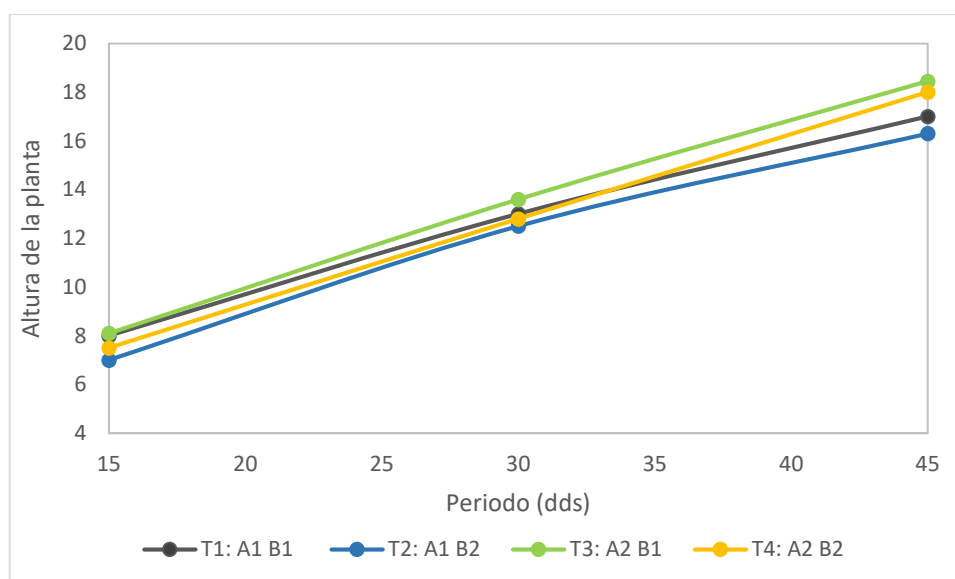
Tabla 21

Promedio de la variación de la altura de la planta

Tratamiento	Altura de la planta (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	8.00	13.00	17.00
T2: A ₁ B ₂	7.00	12.50	16.30
T3: A ₂ B ₁	8.10	13.60	18.45
T4: A ₂ B ₂	7.50	12.80	18.00

Nota. Elaboración Propia, 2023.

En la figura 10, se puede apreciar el incremento en la altura de la planta en los cuatro tratamientos es similar, con una tendencia lineal para los tratamientos T3 y T4; mientras que T1 y T2 muestran un comportamiento similar e inferior a T3 y T4. También es observable que en los tratamientos en los cuales se emplea solución nutritiva de tipo mineral, la altura llega a ser mayor, independientemente del tipo de sistema hidropónico en el que se cultivaron los rábanos, demostrando el efecto favorecedor de las soluciones minerales sobre el desarrollo de los rábanos.

Figura 10*Comparación de la altura de la planta*

Nota. Elaboración Propia, 2023.

Los indicadores fisiológicos de crecimiento se obtuvieron de Hunt (1990); realizado los cálculos, estos se registraron en tablas. Entre los indicadores indirectos que se calcularon se tiene el TAN, TRC y TAC, mientras que como indicador directo se consideró el AF (área foliar), medida que se calculó con el programa Adobe Photoshop siguiendo el procedimiento detallado por Santa (2017, p.61), ya que por la relación entre número de hojas, longitud y ancho de hoja resulta más conveniente cuando únicamente se trata de una hoja individual, pues solo ofrece una estimación del área real.

A los 15 días, el ANOVA muestra diferencias significativas en la altura de la planta, con el sistema hidropónico y la solución nutritiva como factores determinantes ($p=0.0000$), y una interacción significativa entre ellos ($p=0.0000$). La comparación de medias agrupa los tratamientos T3, T4 y T1 en el grupo superior "a", indicando un efecto positivo en la altura, mientras que T2 se encuentra en el grupo inferior "b" con una altura menor. Esto sugiere que el uso de A2 favorece un mayor crecimiento inicial (Anexo 10, Tabla 22).

Tabla 22

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la altura de planta a 15 días

Tratamiento	Código	Altura de la planta (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	8.10	a
T4	A2 B2	7.50	a
T1	A1 B1	8.00	a
T2	A1 B2	7.00	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 30 días, el ANOVA confirma diferencias importantes en altura, con significancia en los factores sistema hidropónico y solución nutritiva ($p=0.0000$) y en su interacción ($p=0.0000$). Los tratamientos T3 y T1 se encuentran en el grupo superior "a", con mayor altura, mientras que T4 y T2 se agrupan en el grupo "b" con valores menores. Esto refleja una influencia sostenida del sistema A2 en la altura de la planta (Anexo 10, Tabla 23)

Tabla 23

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la altura de planta a 30 días

Tratamiento	Código	Altura de la planta (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	13.60	a
T4	A2 B2	12.80	b
T1	A1 B1	13.00	a
T2	A1 B2	12.50	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

A los 45 días, el ANOVA evidencia una diferencia significativa en la altura de la planta, destacando la influencia de los factores sistema hidropónico y solución nutritiva

($p=0.0000$), además de una interacción significativa ($p=0.0006$). La comparación de medias ubica a los tratamientos T3 y T4 en el grupo superior "a", mientras que T1 y T2, con menor altura, están en el grupo "b". Estos resultados sugieren que el sistema A2 con B1 o B2 maximiza el crecimiento en altura de las plantas (Anexo 10, Tabla 24).

Tabla 24

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la altura de planta a 45 días

Tratamiento	Código	Altura de la planta (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	18.45	a
T4	A2 B2	18.00	a
T1	A1 B1	17.00	b
T2	A1 B2	16.30	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.1.5. Área foliar

En la Tabla 17 se presenta la comparación del área foliar inicial entre los tratamientos T2 y T3 era mayor al resto; sin embargo, en el caso del tratamiento T2, en el que se emplea un sistema hidropónico de sustrato con solución orgánica, el área final resultó menor comparado con el resto de tratamientos. De otro lado, estos valores en general permiten inferir que la densidad poblacional y las condiciones de cultivo resultan adecuadas, influyendo positivamente en el desarrollo. Sobre este indicador, Imthiyas y Seran (2015), señalan que a mayor área foliar la distribución de nutrientes es mejor en los cultivos, esto es debido a que generan un incremento en la fotosíntesis.

En relación con el impacto de los tratamientos en la biomasa seca de la planta, se puede apreciar que a los 15 días después de la siembra (dds) el mejor comportamiento fue en donde se aplicó sistema hidropónico de raíz flotante con solución mineral, difiriendo con

el resto de experimentos. A los 45 dds, este comportamiento resultó igual, volviendo a determinarse una producción de masa seca más alta para el tratamiento T3.

Tabla 25

Promedio del área foliar y peso seco de la planta

Tratamiento	Área foliar (cm ²)		Peso seco de la planta (g)	
	AF ₁ (15 dds)	AF ₂ (45 dds)	W ₁ (15 dds)	W ₂ (45 dds)
T1: A ₁ B ₁	6.44	86.47	0.17	3.00
T2: A ₁ B ₂	7.18	78.64	0.15	2.78
T3: A ₂ B ₁	7.46	98.77	0.20	3.57
T4: A ₂ B ₂	6.70	91.86	0.18	3.53

Nota. Elaboración Propia, 2023.

El análisis de varianza (ANOVA) en el Anexo 10 muestra una diferencia altamente significativa en el área foliar entre los tratamientos a los 15 días, con un valor de F de 6033.597 y un p-valor de 0.0000, destacando la influencia del sistema hidropónico y la interacción con la solución nutritiva. La prueba de Tukey en la Tabla 26 confirma estas diferencias: el grupo tratado con el sistema A2 (T3 y T2) exhibe un área foliar significativamente mayor en comparación con el grupo tratado con A1, siendo T3 el de mayor superficie foliar promedio.

Tabla 26

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el área foliar a 15 días

Tratamiento	Código	Área foliar (cm ²)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	7.46 a	
T4	A2 B2	6.70	b
T1	A1 B1	6.44	b
T2	A1 B2	7.18 a	

Nota. Elaboración Propia, 2023.

En el Anexo 10, el ANOVA refleja diferencias significativas en el área foliar a los 45 días, con un valor de F de 3391880.399 y un p-valor de 0.0000, indicando que tanto el sistema hidropónico como la solución nutritiva tienen un impacto considerable. La prueba de Tukey HSD en la Tabla 27 confirma la superioridad de los tratamientos T3 y T4, asociados al sistema A2, que presentan áreas significativamente más amplias en comparación con los tratamientos T1 y T2 del sistema A1. Estos resultados señalan al grupo de 45 días como el que alcanza el mayor desarrollo foliar promedio.

Tabla 27

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el área foliar a 45 días

Tratamiento	Código	Área foliar (cm ²)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	98.77	a
T4	A2 B2	91.86	a
T1	A1 B1	86.46	b
T2	A1 B2	78.64	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el peso seco de la planta a los 15 días muestra una significativa variación entre los tratamientos ($F_{cal} = 9.073$, $p = 0.0012$), indicando que al menos uno de los tratamientos presenta un efecto diferente en comparación con los demás. La comparación de medias utilizando el método de Tukey revela que los tratamientos T3 (A2 B1) y T4 (A2 B2) tienen un peso seco significativamente mayor (0.20 g y 0.18 g, respectivamente), categorizándose en el mismo grupo (a). En contraste, los tratamientos T1 (A1 B1) y T2 (A1 B2) presentan pesos secos inferiores (0.17 g y 0.15 g, respectivamente), que se agrupan como (b). Estos resultados sugieren que los tratamientos A2 B1 y A2 B2 son más efectivos para el

crecimiento inicial de las plantas en comparación con A1 B1 y A1 B2, como se detalla en la Tabla 28 y el Anexo 10.

Tabla 28

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el peso seco de la planta a 15 días

Tratamiento	Código	Peso seco de la planta (g)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	0.20	a
T4	A2 B2	0.18	a
T1	A1 B1	0.17	b
T2	A1 B2	0.15	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

Para el peso seco de la planta a los 45 días, el análisis de varianza (ANOVA) muestra una alta significancia entre los tratamientos ($F_{cal} = 498.417$, $p < 0.0001$), lo que indica que los tratamientos influyen significativamente en el crecimiento de las plantas a largo plazo. La comparación de medias mediante el método de Tukey revela que T3 (A2 B1) y T4 (A2 B2) nuevamente presentan los pesos secos más altos (3.57 g y 3.53 g, respectivamente), siendo agrupados en el mismo grupo (a). Por otro lado, T1 (A1 B1) y T2 (A1 B2) muestran pesos secos considerablemente menores (3.00 g y 2.78 g, respectivamente), agrupándose en un grupo diferente (b) (Anexo 10, Tabla 29).

Tabla 29

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el peso seco de la planta a 45 días

Tratamiento	Código	Peso seco de la planta (g)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	3.57	a

T4	A2 B2	3.53	a
T1	A1 B1	3.00	b
T2	A1 B2	2.78	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.1.6. Tasa relativa de crecimiento (TRC)

La tasa relativa de crecimiento se determinó de acuerdo a la ecuación propuesta por Hunt (1990), a través de la cual se pudo evaluar el crecimiento de los rábanos en términos de producción de materia seca de la planta dentro de una unidad de tiempo.

$$TRC = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

TRC: tasa de crecimiento relativo (g/g día)

W_1 y W_2 : peso seco inicial y final de la planta (g)

t_1 y t_2 : tiempo inicial y final respectivamente (días)

Según los datos expuestos en la tabla 20, El tratamiento T4 (A2 B2), que emplea hidroponía de raíz flotante con una solución nutritiva orgánica, registró la mayor tasa relativa de crecimiento (TRC), alcanzando 0.0995 g/g día. Este resultado sugiere que la combinación de un sistema de raíz flotante con una solución orgánica optimiza significativamente la producción de materia seca al final del ciclo de cultivo, maximizando la absorción de nutrientes en comparación con los otros tratamientos. En segundo lugar, el tratamiento T2 (A1 B2), que utiliza hidroponía de sustrato con una solución orgánica, mostró una TRC de 0.0980 g/g día. Aunque ligeramente inferior al T4, sigue destacándose como un tratamiento eficaz, lo que indica que la solución orgánica también beneficia los sistemas de sustrato.

Por otro lado, los tratamientos T1 (A1 B1) y T3 (A2 B1), ambos con soluciones minerales, presentaron TRC similares, de 0.0961 g/g día y 0.0962 g/g día respectivamente, y menores en comparación con T2 y T4. Esto sugiere que las soluciones minerales, tanto

en hidroponía de sustrato como en raíz flotante, no favorecieron el crecimiento tanto como las soluciones orgánicas, independientemente del sistema hidropónico utilizado.

Tabla 30

Comparación de la tasa relativa de crecimiento de los rábanos a 45 dds

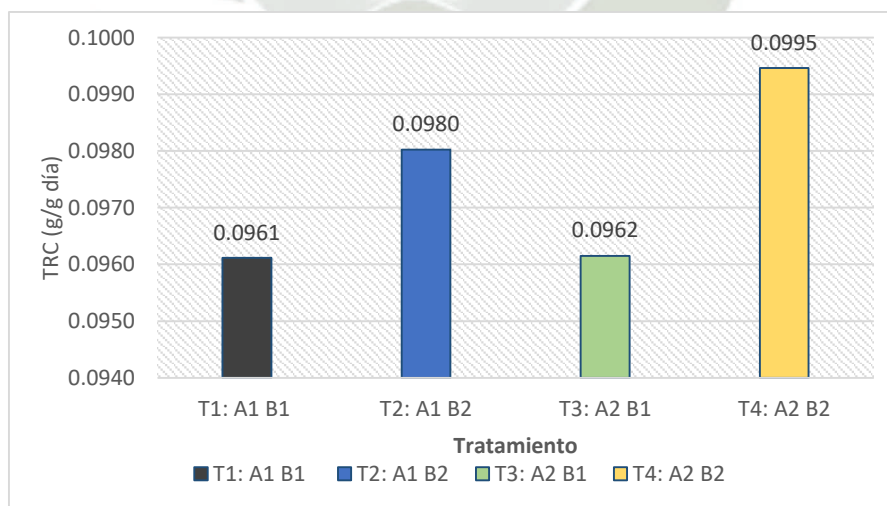
Tratamiento	TRC (g/g día)
T1: A ₁ B ₁	0.0961
T2: A ₁ B ₂	0.0980
T3: A ₂ B ₁	0.0962
T4: A ₂ B ₂	0.0995

Nota. Elaboración Propia, 2023.

En la figura 11 se muestra la variación en los índices relativos de crecimiento, valores que presentan una variación notable entre sí y que reflejan las diferencias en cuanto al manejo agronómico de los rábanos.

Figura 11

Comparación de las tasas relativas de crecimiento de los rábanos a 45 dds



Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.1.7. Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

Este índice cuantitativo se determinó de acuerdo con la ecuación siguiente, y el cálculo del TAC permitió interpretar la rapidez de crecimiento de los rábanos con relación al aumento de peso seco de la planta o de sus órganos.

$$TAC = \left(\frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Según los datos presentados en la tabla 21, se evidencia una mejora significativa en la tasa absoluta de crecimiento en los tratamientos T1 y T3, en los cuales se aplica una solución mineral sobre dos tipos de sistemas hidropónicos. Esto demuestra el efecto positivo por el empleo de estas soluciones nutritivas, que en general han permitido la obtención de rábanos con buenas características.

Tabla 31

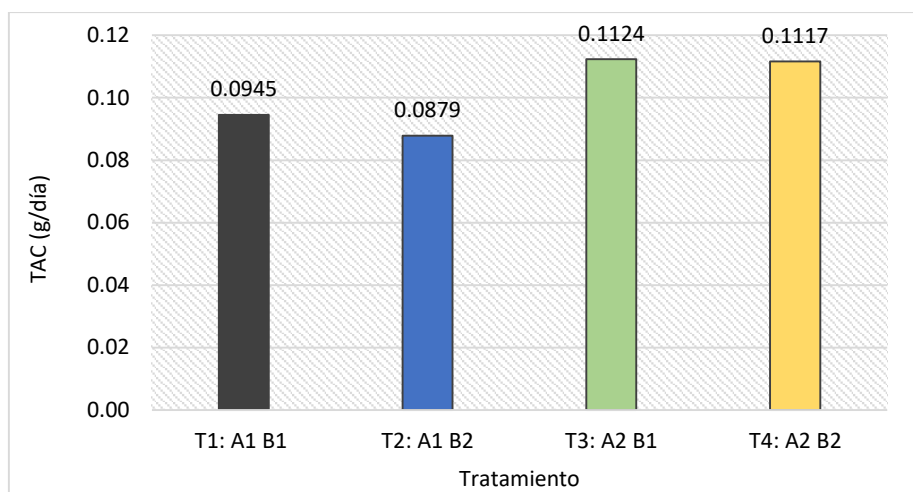
Comparación de la tasa absoluta de crecimiento de los rábanos a 45 dds

Tratamiento	TAC (g/día)
T1: A ₁ B ₁	0.09
T2: A ₁ B ₂	0.09
T3: A ₂ B ₁	0.11
T4: A ₂ B ₂	0.11

Nota. Elaboración Propia, 2023.

Figura 12

Comparación de las tasas absolutas de crecimiento



Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.1.8. Tasa de asimilación neta (TAN)

Respecto al índice de asimilación neta, este se determinó con relación a la ecuación de Hunt (1990). A través del índice de TAN, se pudo evaluar el crecimiento de los rábanos en términos de su capacidad para aumentar la materia seca, lo que representa la demanda de foto asimilados por el área foliar.

$$TAN = \left(\frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \right) \left(\frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{AF_2 - AF_1} \right)$$

TAN: tasa de asimilación neta (g/cm² día)

AF₁ y AF₂: área foliar inicial y final (cm²)

Los resultados presentados en la tabla 32 muestran que hay una mínima variación entre los índices calculados en los cuatro tratamientos de estudio. Esta variación puede deberse a las diferencias en los periodos de competencia inicial durante el crecimiento de la planta. Estos índices resultan ser valores pequeños dado que fueron calculados en el momento de la cosecha, a los 45 días después de la siembra (dds), cuando los rábanos han alcanzado su madurez. Asimismo, los valores de la razón de área foliar (RAF), relacionados con el nivel de clorofila, permiten inferir que los tratamientos en los que se emplea solución

mineral han influido positivamente en el crecimiento de los rábanos, ya que los valores más bajos se relacionan con una mayor eficiencia.

Tabla 32

Variación de la tasa de asimilación neta a los 45 dds

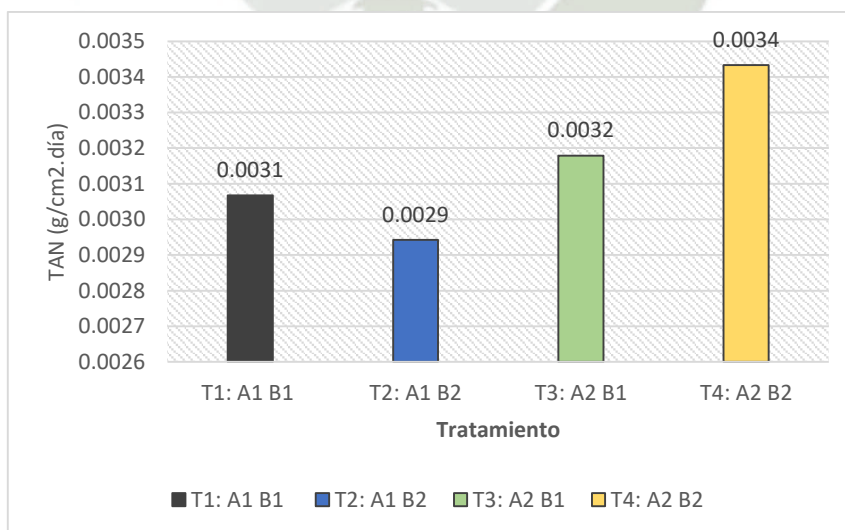
Tratamiento	TAN (g/cm ² .día)	RAF (cm ² /g)
T1: A ₁ B ₁	0.0031	33.5534
T2: A ₁ B ₂	0.0029	38.5594
T3: A ₂ B ₁	0.0032	32.5174
T4: A ₂ B ₂	0.0034	31.7835

Nota. Elaboración Propia, 2023.

De las tasas de asimilación neta en la figura 13 se puede asumir que los cultivos desarrollados en los tratamientos T3 y T4 presentaron, en promedio, una eficiencia fotosintética adecuada que se tradujo en un mejor desarrollo de la planta.

Figura 13

Comparación de las tasas de asimilación neta a los 45 dds



Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.2. Determinación de las características de los rábanos

Evaluados los indicadores de crecimiento de los rábanos, se procedió con la determinación de algunas de las principales características comerciales de la raíz reservante de los rábanos, al ser esta la parte más comestible. Las características (peso de la raíz, perímetro de la raíz, longitud y diámetro ecuatorial) de los rábanos evaluadas tras el período de cultivo son detalladas en la tabla 33.

Tabla 33

Características de la raíz reservante de los rábanos

Características de la raíz reservante					
Tratamiento	Réplica	Peso de la raíz (g)	Perímetro de la raíz (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
T1: A ₁ B ₁	I	23.00	10.5	5.10	3.30
	II	18.00	10.0	3.90	3.20
	III	22.00	10.3	5.30	3.30
	IV	24.00	12.0	4.50	3.80
Desv. estándar		2.63	0.891	0.63	0.28
T2: A ₁ B ₂	I	19.00	11.2	3.20	3.60
	II	16.00	10.5	3.00	3.30
	III	20.00	10.4	4.00	3.30
	IV	23.00	11.7	3.90	3.70
Desv. estándar		2.89	0.61	0.50	0.20
T3: A ₂ B ₁	I	57.00	13.60	6.00	4.30
	II	60.00	14.60	5.30	4.60
	III	46.00	14.10	4.00	4.50
	IV	35.00	13.90	3.90	4.40

Desv. estándar	2.16	0.42	1.02	0.13	
I	41.00	13.00	5.50	4.10	
II	40.00	13.20	5.00	4.20	
T4: A ₂ B ₂	III	48.00	12.70	6.30	4.00
IV	31.00	11.20	5.70	3.60	
Desv. estándar	6.98	0.91	0.54	0.29	

Nota. Elaboración Propia, 2023.

De acuerdo con los datos presentados para las réplicas del tratamiento T1 (hidroponía de sustrato y solución mineral), se observa que el peso promedio de la raíz reservante que comprende la parte carnosa de la planta oscila entre los 18 g a 24 g, presentándose una desviación estándar de 2.630 que indica una dispersión elevada de los datos con respecto a la media. Respecto al peso en el tratamiento T2 (hidroponía de sustrato y solución orgánica), los pesos de las raíces son similares, registrándose pesos entre 19 a 23 g. Para el tratamiento T3 (hidroponía de raíz flotante y solución mineral), los pesos comprenden de 35 a 60 g, y para el tratamiento T4 (hidroponía de raíz flotante y solución orgánica) de 31 a 38 g. En cuanto al perímetro, longitud y diámetro ecuatorial medidos, la desviación presentada fue menor a 1, denotándose una menor dispersión de los datos.

4.2.1. Peso de la raíz reservante

El peso de la raíz reservante es significativo, especialmente dado que las hortalizas de este tipo se distinguen por tener una raíz que se puede consumir. Este aspecto se puede observar en la figura 14, la cual se utiliza para calcular el peso de la raíz se procedió a cortar las raíces secundarias y las hojas.

Figura 14

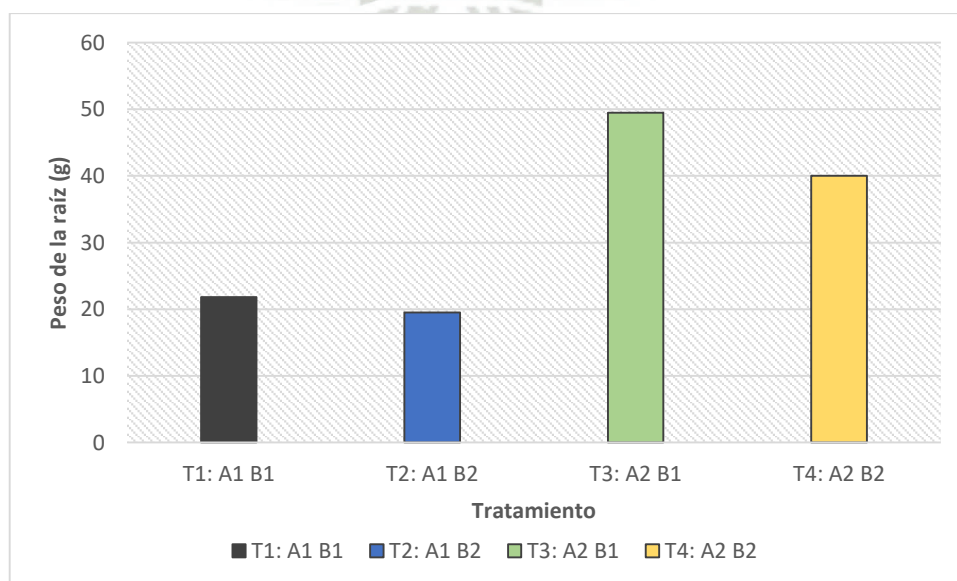
Determinación de los pesos de la raíz reservante



De acuerdo con la figura 15, en la experimentación T3 (hidroponía de raíz flotante con solución mineral), la raíz principal o carnosa tuvo un peso significativamente mayor, especialmente frente a las experimentaciones en donde se estableció un sistema de sustrato, alcanzándose en promedio pesos de 49.5 g para las raíces del sistema raíz flotante + solución mineral, y alrededor de 40.0 g para las raíces del sistema raíz flotante + solución orgánica.

Figura 15

Peso de la raíz reservante por cada experimentación



4.2.1.1. Prueba Tukey para peso de la raíz

La Tabla 34 ilustra la comparación de medias para el peso de la raíz utilizando la prueba de Tukey. Los tratamientos T3 (A2 B1) y T4 (A2 B2) muestran los mayores pesos de raíz, con valores de 49.50 g y 40.00 g, respectivamente, y se ubican en el grupo **a**, lo que indica que no hay una diferencia estadística significativa entre ellos. En cambio, los tratamientos T1 (A1 B1) y T2 (A1 B2), con pesos de 21.75 g y 19.50 g, se clasifican en el grupo **b**, reflejando que sus resultados son similares entre sí, pero diferentes a los tratamientos del grupo **a**. Esto sugiere que los tratamientos del tipo A2 promueven un mayor desarrollo en el peso de la raíz en comparación con los del tipo A1, que presentan un efecto menor en esta medida.

Tabla 34

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el peso de la raíz

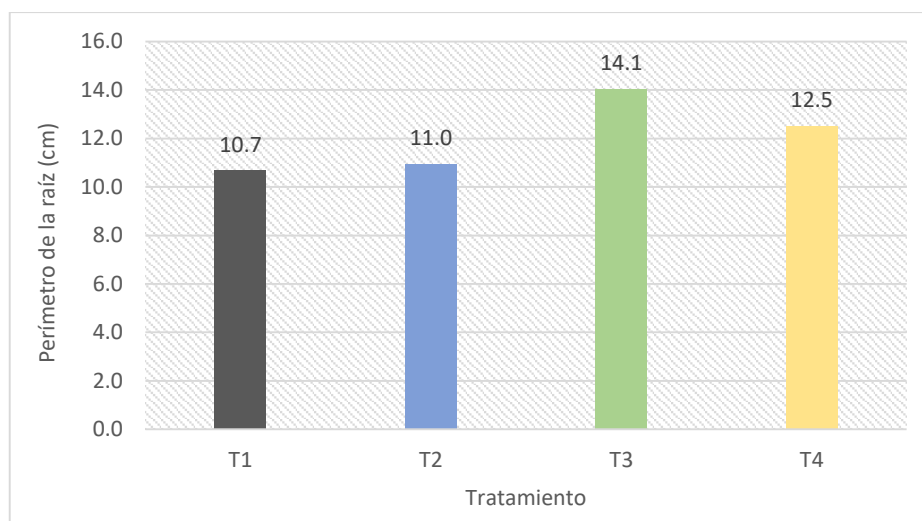
Tratamiento	Código	Peso de la raíz (g)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	49.50	a
T4	A2 B2	40.00	a
T1	A1 B1	21.75	b
T2	A1 B2	19.50	b

4.2.2. Perímetro de la raíz reservante

El perímetro de la raíz, medido como parte de la caracterización de los rábanos, resultó ser mayor para los rábanos obtenidos bajo el tratamiento T3 (hidroponía de raíz flotante con solución mineral). Para los rábanos del tratamiento T4 (sustrato con solución orgánica), el perímetro en promedio resultó cercano al del tratamiento T3, mientras que para los tratamientos T1 y T2 resultó igual.

Figura 16

Perímetro de la raíz reservante en cada tratamiento



4.2.2.1. Prueba Tukey para perímetro de la raíz

La Tabla 35 compara las medias del perímetro de la raíz aplicando la prueba de Tukey. Los tratamientos T3 (A2 B1) y T4 (A2 B2) presentan los valores más amplios en el perímetro, midiendo 14.05 cm y 12.53 cm respectivamente, lo que los agrupa en la misma categoría a al no existir diferencias significativas entre ellos. En contraste, T1 (A1 B1) y T2 (A1 B2), con perímetros de 10.95 cm y 10.70 cm, se agrupan en el nivel b por sus valores cercanos y comparables. Esta diferenciación entre grupos subraya que los tratamientos de tipo A2 impulsan un mayor desarrollo en el perímetro de la raíz, al contrario de los tratamientos A1, que muestran menor impacto en este aspecto de crecimiento.

Tabla 35

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el perímetro de la raíz

Tratamiento	Código	Perímetro de la raíz (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	14.05	a
T4	A2 B2	12.53	a

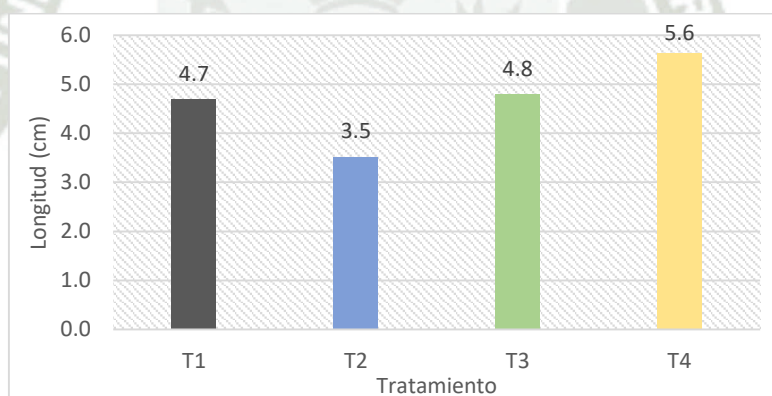
T1	A1 B1	10.95	b
T2	A1 B2	10.70	b

4.2.3. Longitud de la raíz

La extensión de la raíz reservante para el tratamiento T4 (hidroponía de sustrato con solución orgánica) resultó mayor que la del resto de tratamientos, alcanzando una longitud promedio de 5.6 cm. En cambio, para el T3, en donde se utiliza el mismo tipo de sistema hidropónico, pero con solución de origen mineral, la longitud promedio fue de 4.8 cm. En síntesis, se evidencia que el sistema de raíz flotante posibilita un adecuado crecimiento longitudinal de la raíz, sin importar el tipo de solución utilizada.

Figura 17

Longitud de la raíz reservante en cada tratamiento



Nota. Elaboración Propia, 2023.

Figura 18

Determinación de la longitud de las raíces



Nota. La medición de la longitud se realizó a la raíz principal como se muestra en la figura 18.

4.2.3.1. Prueba de Tukey para (longitud de la raíz)

En la Tabla 36, se presenta la comparación de medias para la longitud de la raíz utilizando la prueba de Tukey. Los tratamientos T3 (A2 B1) y T4 (A2 B2) muestran las mayores longitudes de raíz, con 5.63 cm y 4.80 cm, respectivamente, y se agrupan en el grupo a, indicando que no hay diferencias significativas entre ellos. En contraste, los tratamientos T1 (A1 B1) y T2 (A1 B2), con longitudes de 4.70 cm y 3.53 cm, respectivamente, se agrupan en el grupo b, lo cual sugiere que no existen diferencias significativas entre estos dos tratamientos. Sin embargo, los tratamientos del grupo a tienen una longitud de raíz significativamente mayor que los del grupo b, destacando la efectividad de los tratamientos A2 en el aumento de la longitud de la raíz en comparación con los tratamientos A1.

Tabla 36

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para la longitud de la raíz

Tratamiento	Código	Longitud de la raíz (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	5.63	a
T4	A2 B2	4.80	a
T1	A1 B1	4.70	b
T2	A1 B2	3.53	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.2.4. Diámetro de la raíz reservante

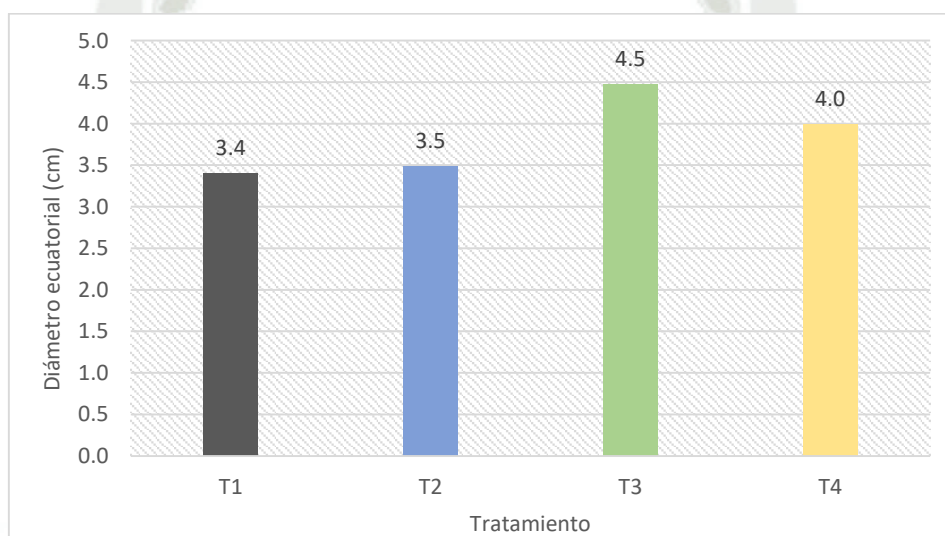
El diámetro ecuatorial de la raíz comprende un criterio para calificar el rendimiento de los cultivos, siendo en muchos casos un aspecto muy valorado para su comercialización.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 19, la combinación del sistema raíz

flotante con solución nutritiva mineral contribuyó a conseguir rábanos con un mayor diámetro. Además, en el caso del tratamiento T4, para el cual se usó el mismo tipo de sistema hidropónico pero diferente solución, el diámetro resultante en promedio fue mayor que el de los tratamientos en sustrato y solución orgánica.

Figura 19

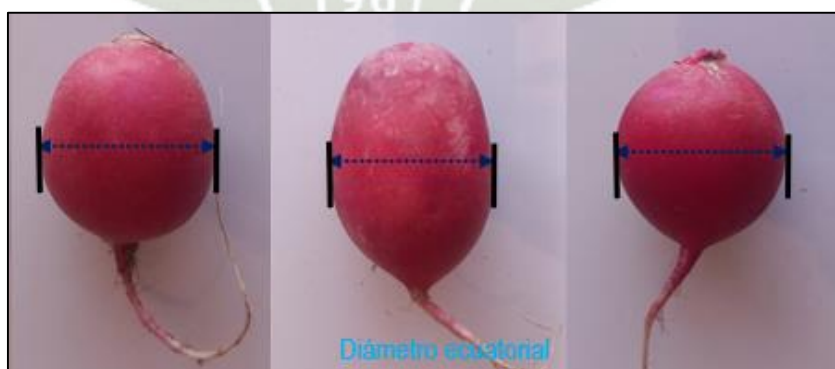
Diámetro de la raíz reservante en cada tratamiento



Nota. Elaboración Propia, 2023.

Figura 20

Dimensiones del rábano



En resumen, se ha identificado que los rábanos logran mejores atributos cuando son cultivados bajo sistemas hidropónicos de raíz flotante, y más aún si se emplea solución nutritiva de tipo mineral. La combinación de este sistema con la solución, como se

presenta en la tabla 37, permite además de obtener un peso de la raíz reservante superior (57.0 g) a los cultivos bajo sistemas de sustrato (19.0 g), lograr un perímetro, longitud y diámetro mayor de la raíz, siendo su diámetro y longitud similares entre sí, denotando un crecimiento más homogéneo.

Tabla 37

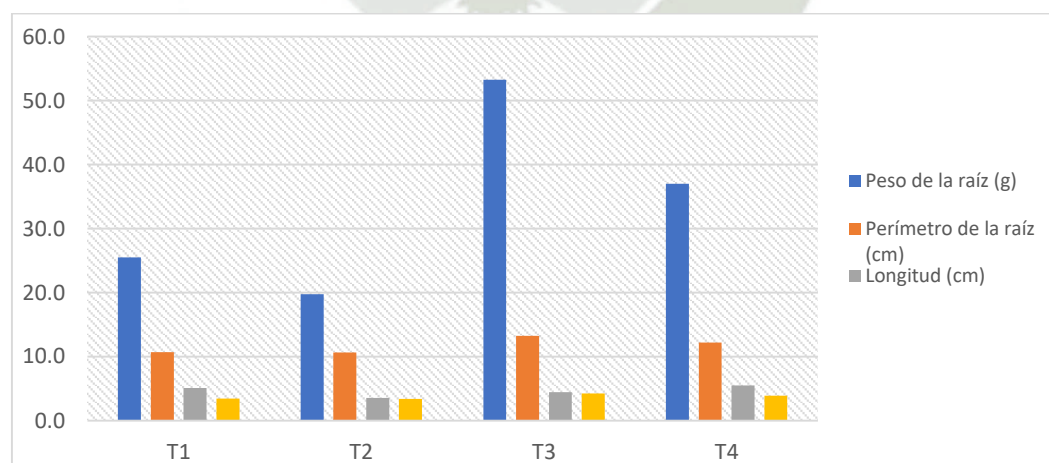
Comparación de las características fisiológicas de los rábanos

Tratamiento	Peso de la raíz reservante (g)	Perímetro de la raíz (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
T1: A ₁ B ₁	21.80	10.70	4.70	3.40
T2: A ₁ B ₂	19.50	11.00	3.50	3.50
T3: A ₂ B ₁	49.50	14.10	4.80	4.50
T4: A ₂ B ₂	40.00	12.50	5.60	4.00

Nota. Elaboración Propia, 2023.

Figura 21

Comparación de las características de los rábanos



Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.2.4.1. Prueba de Tukey del diámetro de la raíz reservante

La Tabla 38 presenta la comparación de medias para el diámetro ecuatorial de la raíz reservante utilizando la prueba de Tukey. Los tratamientos T3 (A₂ B₁) y T4 (A₂ B₂)

muestran los diámetros más altos, de 4.45 cm y 3.98 cm respectivamente, y se agrupan en el grupo a, lo que indica que no hay diferencias significativas entre ellos. Por otro lado, los tratamientos T1 (A1 B1) y T2 (A1 B2), con diámetros de 3.48 cm y 3.40 cm, respectivamente, se agrupan en el grupo b, mostrando también que no existen diferencias significativas entre estos dos tratamientos. Sin embargo, los tratamientos del grupo a son significativamente diferentes y superiores en diámetro en comparación con los del grupo b, lo cual sugiere que los tratamientos A2 tienen un efecto positivo en el diámetro de la raíz reservante en comparación con los tratamientos A1.

Tabla 38

Comparación de medias utilizando la Prueba de Tukey para el diámetro de la raíz reservante

Tratamiento	Código	Diámetro ecuatorial (cm)	Significancia Estadística*
T3	A2 B1	4.45	a
T4	A2 B2	3.98	a
T1	A1 B1	3.48	b
T2	A1 B2	3.40	b

Nota. Elaboración Propia, 2023.

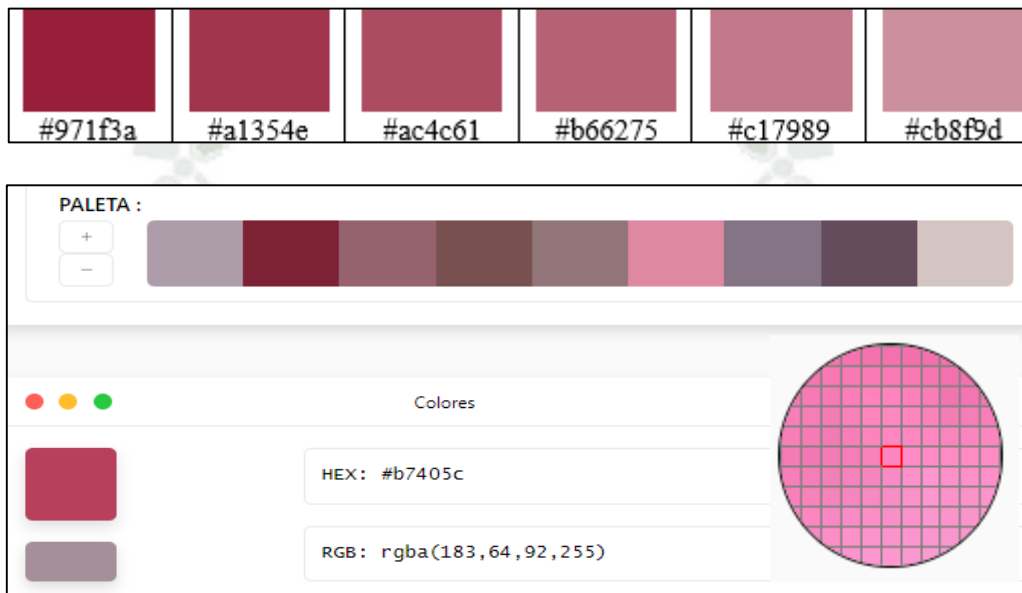
4.2.5. Color de la raíz reservante

Adicionalmente, en este informe se exponen los resultados del análisis colorimétrico llevado a cabo en las raíces de los rábanos después de completar el ciclo de cultivo. En el día de la cosecha, se tomaron fotos de algunas de las muestras obtenidas por cada uno de los tratamientos. Estas fotos se subieron al software de composición de color, donde se determinaron los colores base que componen cada imagen y se expresó la variación de tonalidad, como se muestra en la Figura 22. Esta variación fue producida por la

descomposición de los colores primarios RGB: Rojo (Red), Verde (Green) y Azul (Blue), cuyos valores comprenden de 0 a 255 de acuerdo con el nivel de saturación.

Figura 22

Análisis de color a través del software Image colorpicker

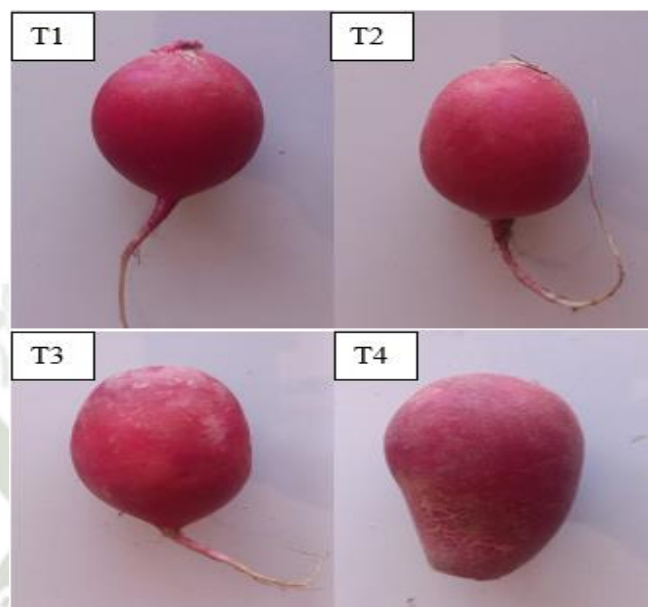


Nota. Adaptado de la interfaz Imagen colorpicker

De acuerdo con las fotografías mostradas en la figura 23 correspondientes a muestras obtenidas bajo cuatro tipos de tratamientos, es evidente que no todas las muestras presentaron la misma tonalidad de color. Las muestras cultivadas en hidroponía de sustrato con solución mineral y orgánica (T1 y T2, respectivamente) mostraron una tonalidad más rojiza que aquellas provenientes de los sistemas hidropónicos de raíz flotante (T3 y T4). El crecimiento de la raíz sumergida dentro de una solución nutritiva no permitiría que la planta concentre efectivamente sus pigmentos fotosintéticos encargados de darle color. Asimismo, esto podría ser una respuesta a un desbalance en la concentración de dos o más nutrientes.

Figura 23

Variación de color en los rábanos


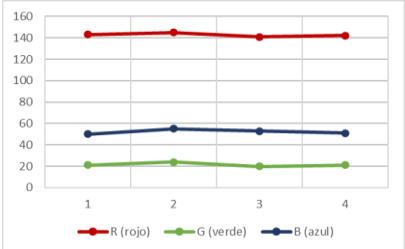




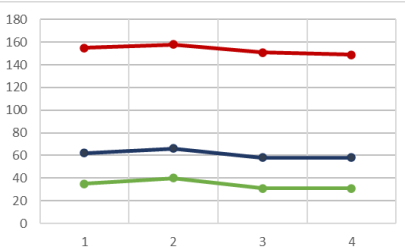





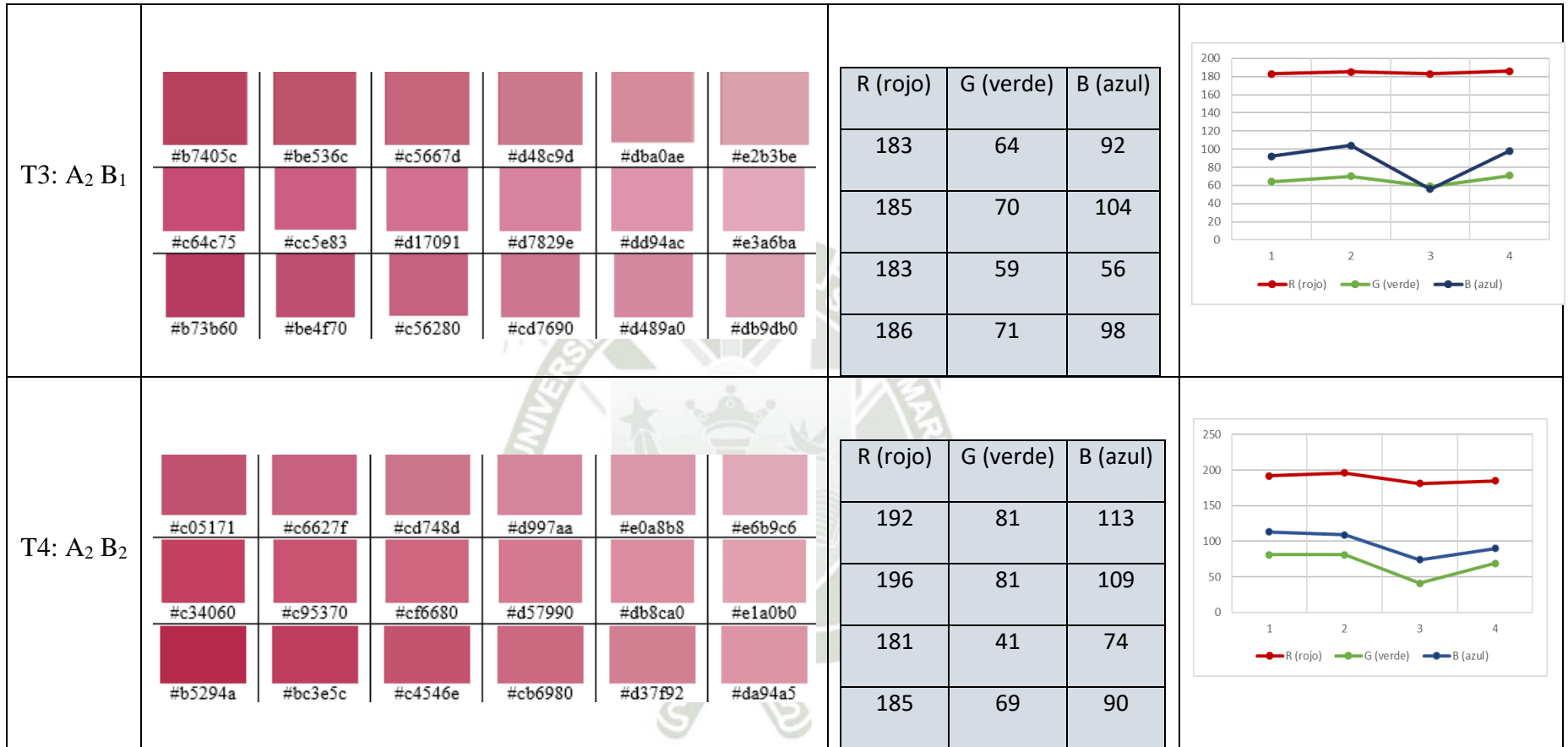
En la tabla 39, referente al análisis de color de los rábanos, se puede observar la composición y variación de tonalidades de color en las raíces de los rábanos. De acuerdo con la escala de tonos presentada en la segunda columna, las muestras evaluadas no presentan el mismo color. En casos como T3 y T4, el color está sujeto a la variación de tonalidad azul, existiendo una tendencia de las muestras hacia una coloración rojiza más clara que las muestras de los tratamientos T1 y T2.

En la primera gráfica, se observa que las tonalidades RGB son prácticamente constantes. Mientras que, en la segunda gráfica, la variación de tonalidades es similar. Sin embargo, para la tercera y cuarta gráfica, es posible observar una mayor variación de las tonalidades azul y verde.

Tabla 39

Análisis del color de los rábanos

Tratamiento	Variación de color	Datos	Gráficas															
T1: A ₁ B ₁	 #8d1534	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R (rojo)</th> <th>G (verde)</th> <th>B (azul)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>143</td> <td>21</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>145</td> <td>24</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>141</td> <td>20</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>142</td> <td>21</td> <td>51</td> </tr> </tbody> </table>	R (rojo)	G (verde)	B (azul)	143	21	50	145	24	55	141	20	53	142	21	51	
	R (rojo)		G (verde)	B (azul)														
	143		21	50														
	145		24	55														
141	20	53																
142	21	51																
 #982c48																		
 #a4445d																		
 #af5b71																		
T2: A ₁ B ₂	 #9b233e	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R (rojo)</th> <th>G (verde)</th> <th>B (azul)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>155</td> <td>35</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>158</td> <td>40</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>151</td> <td>31</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>149</td> <td>31</td> <td>59</td> </tr> </tbody> </table>	R (rojo)	G (verde)	B (azul)	155	35	62	158	40	66	151	31	58	149	31	59	
	R (rojo)		G (verde)	B (azul)														
	155		35	62														
	158		40	66														
151	31	58																
149	31	59																
 #a53951																		
 #af4f65																		
 #b96578																		



Nota. Elaboración Propia, 2023.

4.3. Evaluación de la masa de rábanos

En la Tabla 40, se muestra que el tercer tratamiento, que consiste en la combinación de un sistema hidropónico de raíz flotante con una solución mineral (A2B1), obtuvo una masa superior al de los demás tratamientos de este primer grupo de réplicas, con una masa de 365 g de rábanos, equivalente a la masa fresca de la raíz reservada. Este resultado es similar para las demás repeticiones, ya que en el tratamiento A2B1 del segundo grupo de experimentos, se registró una masa de 374 g de rábanos, mientras que en el tratamiento A2B1 de la tercera réplica, se obtuvieron 363 g de rábanos, y para la cuarta réplica, se cosecharon 366 g de rábanos. Partir de los resultados expuestos, se realiza el ANOVA con relación a la masa de rábanos obtenida

Tabla 40

Masa de rábanos producida

Repeticiones	Código	Sistema hidropónico	Solución	Masa de rábanos (g)
	A ₁ B ₁	Hidroponía de sustrato	Solución Mineral	235
	A ₁ B ₂	Hidroponía de sustrato	Solución Orgánica	232
Repeticón I	A ₂ B ₁	Hidroponía de raíz flotante	Solución Mineral	365
	A ₂ B ₂	Hidroponía de raíz flotante	Solución Orgánica	345
Repeticón II	A ₁ B ₁	Hidroponía de sustrato	Solución Mineral	227

	A ₁ B ₂	Hidroponía de sustrato	Solución Orgánica	239
	A ₂ B ₁	Hidroponía de raíz flotante	Solución Mineral	374
	A ₂ B ₂	Hidroponía de raíz flotante	Solución Orgánica	342
Repetición III	A ₁ B ₁	Hidroponía de sustrato	Solución Mineral	246
	A ₁ B ₂	Hidroponía de sustrato	Solución Orgánica	238
	A ₂ B ₁	Hidroponía de raíz flotante	Solución Mineral	363
	A ₂ B ₂	Hidroponía de raíz flotante	Solución Orgánica	339
	A ₁ B ₁	Hidroponía de sustrato	Solución Mineral	241
	A ₁ B ₂	Hidroponía de sustrato	Solución Orgánica	240
Repetición IV	A ₂ B ₁	Hidroponía de raíz flotante	Solución Mineral	366
	A ₂ B ₂	Hidroponía de raíz flotante	Solución Orgánica	341

A continuación, se expone el análisis de varianza de los factores evaluados en relación con la masa de rábanos obtenida. Se presenta el procesamiento estadístico, las pruebas y gráficas que permitieron determinar los factores que tienen una mayor significancia

estadística sobre la cantidad de rábanos. Dentro de las pruebas, en la Tabla 41 se muestra la prueba-F que permitió identificar los factores significativos, y como segunda prueba se tiene la Prueba de Rangos Múltiples que informa cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 41

Análisis de varianza para masa de rábanos

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	56148.188	18716.063	684.212	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	54873.063	54873.063	2006.022	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	637.563	637.563	23.308	4.750	0.0004	*
Interacción A x B	1	637.563	637.563	23.308	4.750	0.0004	*
Error	12	328.250	27.354				
Total	15	56476.438	4992.774				

La Tabla 41 muestra el análisis de varianza (ANOVA) para la masa de los rábanos, indicando que tanto el sistema hidropónico como la solución nutritiva tienen efectos estadísticamente significativos, con valores de $p < 0.05$ para ambos factores. El sistema hidropónico tiene una Suma de Cuadrados de 54,873.10, lo cual representa un impacto considerable en la variabilidad de la masa, respaldado por una Razón-F de 2006.02. La solución nutritiva, aunque con un menor efecto, también es significativa, con una Suma de Cuadrados de 637.56 y una Razón-F de 23.31. Además, la interacción entre ambos factores es significativa, sugiriendo que el efecto del sistema hidropónico en la masa de los rábanos depende del tipo de solución nutritiva. El coeficiente de determinación (R^2)

de 0.9882, calculado como la proporción entre la suma de cuadrados de los efectos principales y la interacción respecto a la suma de cuadrados total, indica que el 98.82% de la variabilidad en la masa de los rábanos es explicada por el modelo, lo que demuestra un excelente ajuste. Además, el coeficiente de variación (CV), calculado a partir del cuadrado medio de los residuos en relación con la media, resulta ser de 10.46%, lo que sugiere una dispersión moderada en relación a la media y confirma la consistencia de los datos

Tabla 42

Medias por mínimos cuadrados para masa de rábanos

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	16	295.81			
Sistema hidropónico					
Raíz flotante	8	354.38	1.85	350.35	358.40
Sustrato	8	237.25	1.85	233.22	241.28
Solución					
Mineral	8	302.13	1.85	298.10	306.15
Orgánica	8	289.50	1.85	285.47	293.53
Sistema hidropónico por					
Solución					
Raíz flotante, Mineral	4	367.00	2.62	361.30	372.70
Raíz flotante, Orgánica	4	341.75	2.62	336.05	347.45
Sustrato, Mineral	4	237.25	2.62	231.55	242.95
Sustrato, Orgánica	4	237.25	2.62	231.55	242.95

La Tabla 42 exhibe la media de la masa de rábanos para cada nivel de los factores, junto con los errores estándar correspondientes, los cuales indican la variabilidad en el muestreo. Además, las dos columnas finales presentan los intervalos de confianza del 95.0% para cada media. Se destaca que la masa promedio global para los 16 tratamientos es de 295.813 gramos de rábanos. De las distintas combinaciones de sistema hidropónico y solución nutritiva, el sistema de raíz flotante permite lograr una mayor producción, masa que aumenta cuando el sistema combina un sistema de raíz flotante con solución mineral.

Tabla 43

Pruebas de múltiple de rangos para masa de rábanos por sistema hidropónico

Sistema hidropónico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Sustrato	8	237.25	1.85	X
Raíz flotante	8	354.38	1.85	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Raíz flotante - Sustrato	*	117.13	5.70	

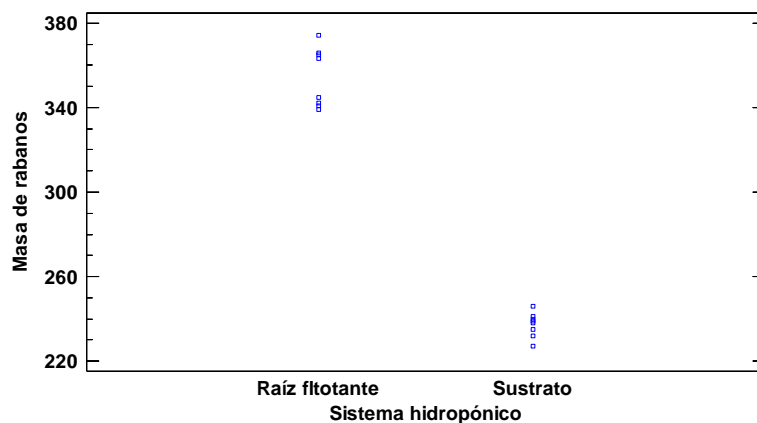
Nota. *indica una diferencia significativa.

En la Tabla 43 se exponen los resultados del análisis de comparación múltiple para determinar la significancia de las diferencias entre las medias. La parte inferior de la tabla detalla las disparidades estimadas entre cada par de medias. Se ha marcado con un asterisco un par en particular, lo que indica diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0%. La disposición de las X en las columnas permite identificar dos grupos homogéneos. No se observan diferencias estadísticamente significativas entre los niveles que comparten una misma columna de X. En la actualidad, el procedimiento de Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Fisher se utiliza para

distinguir entre las medias. Con este método, existe un nivel de significancia del 5.0% al establecer que cada par de medias es estadísticamente diferente, incluso cuando la diferencia real entre ellas es de 0.

Figura 24

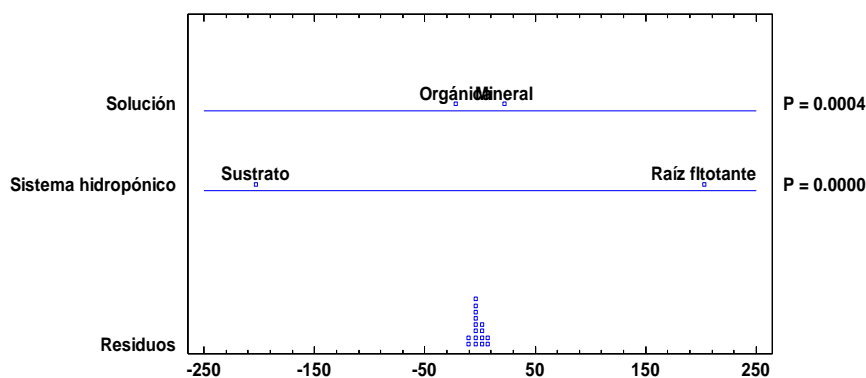
Dispersión de los resultados para cada sistema hidropónico



De acuerdo con la Figura 24, existió una mayor masa de rábanos producida en comparación con el sistema de sustrato, el sistema de raíz flotante muestra diferencias significativas. Además, se observa que las masas se encuentran más dispersas entre sí, lo cual es más apreciable si se activa un espaciado entre los datos.

Figura 25

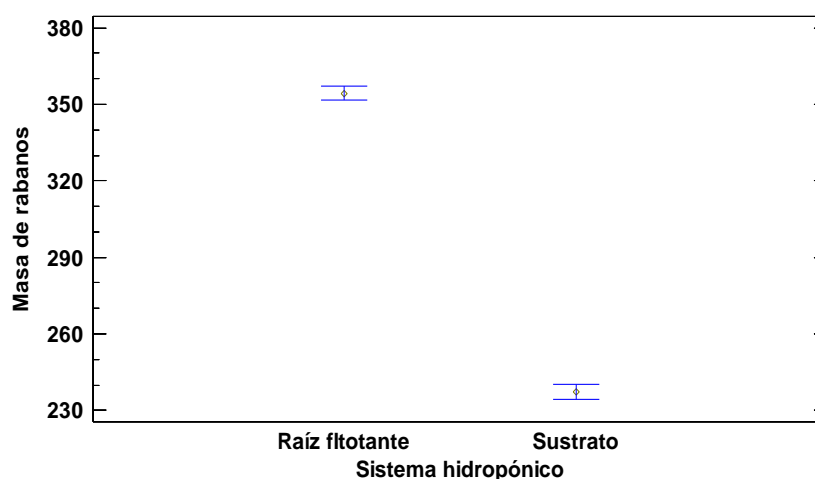
ANOVA para masa de rábanos



En la Figura 25, se observa que el sistema de raíz flotante ha presentado mayor significancia que el sistema de sustrato. La influencia de esta variable en el desarrollo de la planta ha sido significativa en términos generales. Por otro lado, al analizar los dos tipos de solución nutritiva, se nota que la solución de origen mineral tiene un efecto positivo ligeramente mayor sobre el desarrollo de los cultivos, permitiendo que las plantas logren un mejor desarrollo de su sistema radicular y foliar.

Figura 26

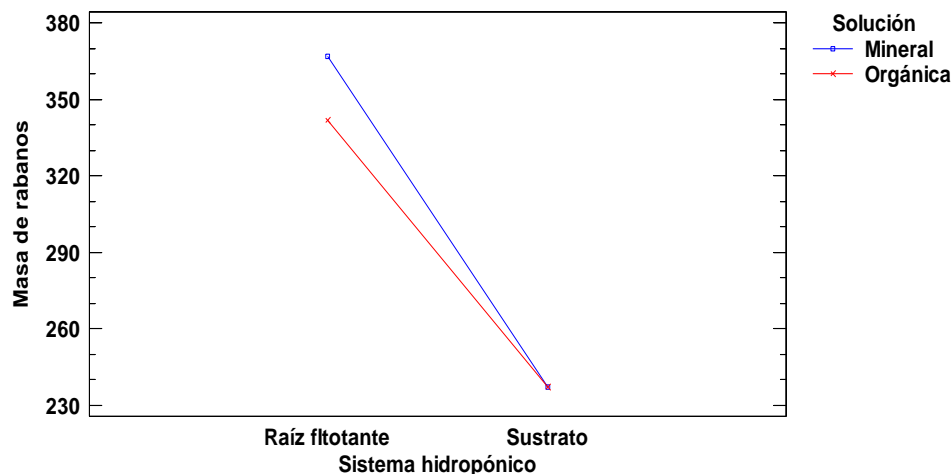
Gráfica de medias y 95% de Fisher LSD



En la Figura 26, se muestra el intervalo de masa de los rábanos, el cual ha sido determinado mediante un límite superior e inferior, en el contexto de los sistemas de sustrato y raíz flotante. Se nota que este segundo sistema de cultivo hidropónico presenta un mayor rendimiento, superando de manera considerable la cantidad de masa producida bajo la hidroponía de sustrato.

Figura 27

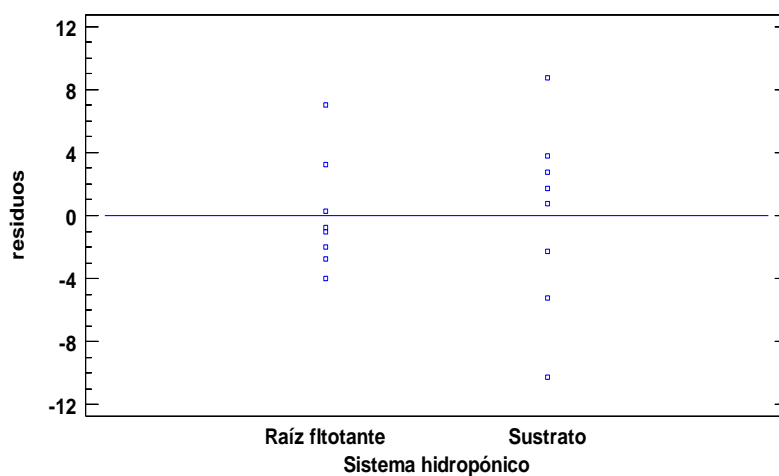
Interacción de las variables respecto a la masa de rábanos obtenida



La Figura 27, en la cual se presenta la interacción de las variables, se puede notar que las líneas no son completamente paralelas entre sí, ya que a un cierto nivel terminan por interceptarse. Asimismo, es posible notar que la solución mineral (línea azul), en conjunto con el sistema hidropónico, presenta un mayor efecto que las variables de hidroponía de sustrato y solución orgánica.

Figura 28

Gráfico de residuos para masa de rábanos



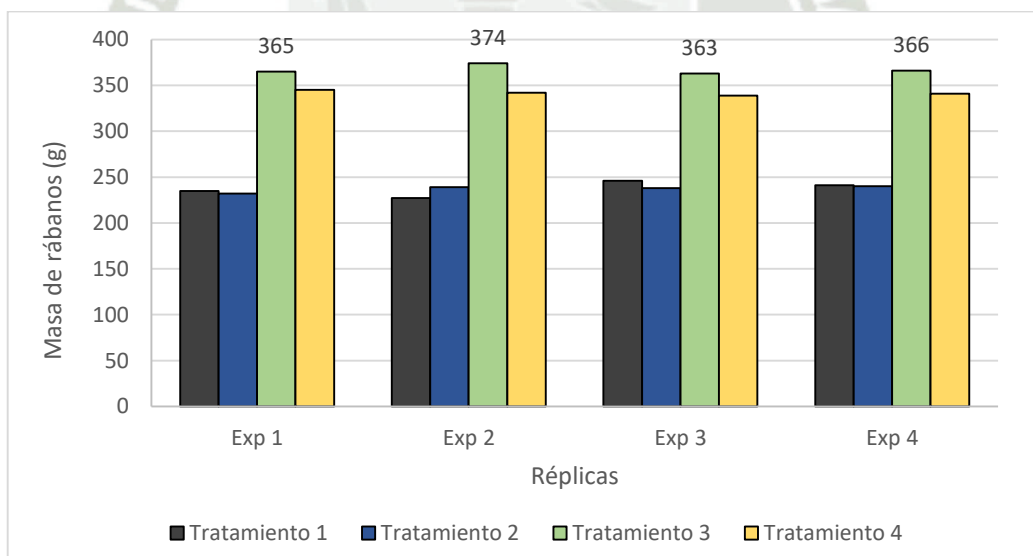
La Figura 28 exhibe la representación gráfica de los residuos, la cual permite evaluar si los datos han infringido los supuestos fundamentales del análisis de varianza. Se puede apreciar que los datos correspondientes al sistema de raíz flotante y de sustrato presentan cierto grado de ajuste lineal dado que los datos están ordenados y no se encuentran dispersos, denotándose una uniformidad relativa entre los resultados.

4.3.1. Rendimiento de rábanos bajo dos sistemas hidropónicos

Como se observa en la Figura 29 de cada réplica realizada dentro de los cuatro tratamientos, es posible notar que el tratamiento 3, el cual implica una combinación del sistema de raíz flotante y la solución mineral, presentó un mayor rendimiento de acuerdo con el peso fresco del rábano registrado en las cuatro experimentaciones.

Figura 29

Rendimiento basado en la masa fresca de rábanos obtenida

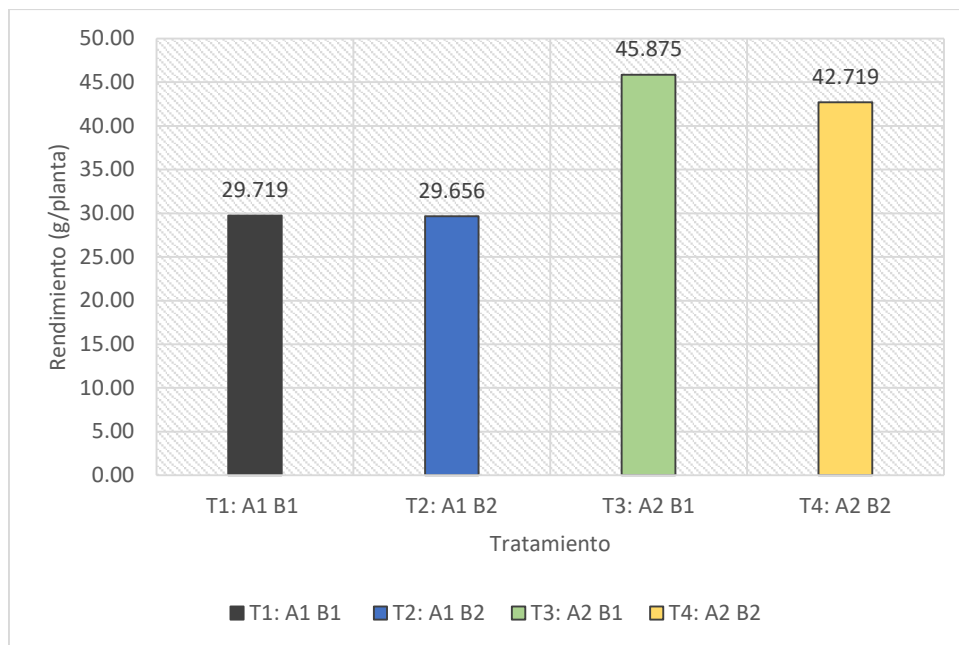


Nota. Elaboración Propia, 2023.

Según los datos expuestos en la tabla 21, se analizó el rendimiento en unidades de gramos por planta, evidenciando que el tratamiento T3, seguido por el T4, exhiben los rendimientos más altos. Esto sugiere que el sistema de raíz flotante hidropónico representa una opción favorable para el cultivo de rábanos en la compañía Fagsol S.A.C.

Figura 30

Rendimiento de los cultivos en g/planta



Nota. Elaboración Propia, 2023.

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

5.1. Evaluaciones biométricas

Los resultados expuestos evidencian que el tiempo de tratamiento produjo un efecto significativo en múltiples atributos de las plantas analizadas, tales como la cantidad, el ancho, la longitud y el peso de las hojas, la altura de la planta, el área foliar y la biomasa seca de la planta. En general, se observó un aumento progresivo en estas características a medida que aumentaba el período de tratamiento, siendo el grupo de 45 días el que mostró los valores más altos en todas las mediciones.

El análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas de Tukey HSD/Kramer han validado las diferencias significativas entre los grupos sometidos a distintos lapsos de tiempo de tratamiento. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas que han evidenciado el impacto del tiempo de tratamiento en el crecimiento y desempeño de las plantas. Dado que los datos cumplieron con los supuestos necesarios para el análisis paramétrico, no fue necesario recurrir a pruebas no paramétricas en este estudio.

En un estudio reciente, García y colaboradores (2021) llevaron a cabo una evaluación del cultivo de rábano en un entorno hidropónico. Sus hallazgos indicaron que el tipo de sistema hidropónico utilizado tuvo un impacto significativo en la producción de rábanos. Además, estudios como el de Ossai et al. (2020) en Nigeria y Wisdom et al. (2017) sobre diferentes sustratos de vermiculita y corteza de pino en sistemas de bandeja flotante, también respaldan la importancia del tratamiento y los sustratos en el rendimiento y la calidad de las plantas.

5.2. Características del cultivo bajo los dos sistemas

Maicelo et al. (2017) evaluaron el efecto de diferentes tipos de injertos de granadilla en plantones de maracuyá y encontraron que el sistema de producción de púas y el método de injertación no afectaron significativamente el prendimiento ni el número de hojas.

Respecto al efecto de las soluciones nutritivas bajo sistema hidropónico de raíz flotante y de sustrato en el cultivo de rábanos, se determinó, en cuanto a características biométricas como el número de hojas, el promedio es tomado de la tabla N°8 y variaba de 9 (T2) a 10 (T1, T3 y T4) hojas/planta, la longitud entre 6.95 cm (T1) a 7.5 cm (T3), y ancho de 5.8 cm (T1) a 6.20 cm (T2); valores que sirvieron para inferir que en los cultivos hidropónicos en los cuales se aplicaba solución mineral, tales características resultaban positivas, incluso si se trataba de un medio hidropónico de sustrato. Con relación a estas características, García et al. (2021) en su estudio del crecimiento de rábanos en hidroponía de raíz flotante reportaron valores similares, especialmente en cuanto al número de hojas y longitud de la hoja, señalando un promedio de 9 hojas y 7.5 cm de largo, respectivamente. Aunque al contrastar con estudios basados en cultivos convencionales se aprecia una notable diferencia; uno de estos es el caso de Sánchez (2018), quien señala un promedio de 6 a 7 hojas por planta.

5.3. Rendimiento del cultivo

De acuerdo con los resultados experimentales, se ha podido observar que la producción en sistemas hidropónicos de raíz flotante resulta en un rendimiento superior en comparación con el sistema de sustrato, permitiendo obtener una mayor cantidad de rábanos por tratamiento, acortando el tiempo de cultivo y logrando un buen desarrollo de los rábanos.

En cuanto a los índices fisiológicos de crecimiento, se observó que la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y la tasa de asimilación neta (TAN) fueron superiores en el tratamiento T3, en el que se utilizó solución nutritiva mineral, siendo iguales a 0.1124

g/día y $0.0032 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{día}$, respectivamente; demostrando el efecto positivo de este tipo de solución en el cultivo hidropónico de rábanos.

La evaluación comparativa mostró que la producción de rábanos en medio hidropónico de raíz flotante es mejor que el sistema de sustrato, permitiendo obtener rábanos con buenos atributos para su comercialización, como diámetro, longitud y peso fresco de la raíz reservante, justificando que esta modalidad de hidroponía es una buena alternativa para producir rábanos. Esto coincide en parte con lo descrito por García et al. (2021), quien, tras comparar dos tipos de soluciones nutritivas en un sistema hidropónico y un sistema convencional, se ha observado que los sistemas de hidroponía son más eficientes en términos de producción de masa con características óptimas y un peso adecuado para su comercialización. Según García, no se encontraron diferencias significativas en los resultados debido a las concentraciones de las soluciones nutritivas, mostrando una gran similitud entre ambos tratamientos, siendo más importante el manejo adecuado de factores como la acidez del agua, oxigenación, conductividad, salinidad, entre otros. Respecto al factor de salinidad en sistemas de raíz flotante, el estudio de Flores (2020) enfocado en dicha variable hace un énfasis pues según su experimentación un nivel de salinidad entre 6 a $8 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$ evita la proliferación de patógenos en la solución nutritiva, pero por encima de este valor causa problemas de desarrollo e incluso la mortalidad de las plantas.

De otro lado, si bien se demostró que el sistema de hidroponía por raíz flotante es mejor en comparación con el de sustrato, esto no descarta que este sistema, comparado ante un el sistema tradicional de cultivo en suelo, sea mucho mejor. Además, el sustrato empleado, pese a no producir rábanos uniformes, de gran peso y longitud, sí permitió obtener cultivos sanos y sin riesgo por la presencia de contaminantes biológicos.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES

1. Con respecto a determinar el impacto de dos soluciones nutritivas sobre el crecimiento fisiológico de los rábanos en sistemas hidropónicos de sustrato y de raíz flotante, pudo notarse que el tipo de solución nutritiva aplicada comprende un factor que influye en cierto grado sobre el desarrollo de los rábanos (*Raphanus sativus L.*), habiendo determinado además que de los dos tipos de soluciones nutritivas, la de tipo mineral tiene un efecto más positivo puesto que contribuye al crecimiento de los rábanos permitiendo un mejor desarrollo foliar así como de las raíces y que se traduce en adecuados índices fisiológicos.
2. Respecto a la comparación de las características de los cultivos de rábanos obtenidos mediante hidroponía de sustrato y de raíz flotante, se pudo observar que los sistemas de raíz flotante son más efectivos que los sistemas de sustrato, dado que permitió obtener rábanos con raíces de mayor peso, 57.0 g en promedio para el T3 (hidroponía de raíz flotante + sol. Mineral) y 40.0 g para el T4 (hidroponía de raíz flotante + sol. Orgánica), longitudes iguales a 4.8 cm para T3 y 5.6 para T4, y un diámetro ecuatorial de 4.5cm y 4.0 cm para T3 y T4 respectivamente.
3. Respecto a la determinación del sistema de hidroponía bajo el cual se obtiene el máximo rendimiento en el cultivo de rábanos, el análisis estadístico demostró que bajo el sistema hidropónico de raíz flotante (T3) junto a una solución nutritiva de tipo mineral permiten obtener un rendimiento superior al resto de tratamientos, lográndose en promedio una masa de rábanos de 367.0 g por réplica.

CAPITULO VII

7. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere realizar un estudio adicional para investigar los mecanismos subyacentes que hacen que la solución nutritiva de tipo mineral tenga un efecto más positivo en el crecimiento de los rábanos en comparación con otras soluciones. Esto podría incluir análisis detallados de los nutrientes específicos presentes en la solución mineral y cómo interactúan con los procesos fisiológicos de las plantas de rábano. Además, sería beneficioso explorar si existen variaciones en los efectos dependiendo de las condiciones ambientales o las etapas de crecimiento de los rábanos.
2. Con relación a la evaluación comparativa de los rábanos obtenidos mediante hidroponía de sustrato y de raíz flotante, se sugiere considerar más características y/o criterios pues se ha observado que no existen estudios que comparen el efecto del sistema hidropónico sobre el color de las raíces de los rábanos, siendo esta una propiedad ligada a la concentración de pigmentos fotosintéticos como las antocianinas que comprende un poderoso antioxidante y por lo mismo resultaría relevante una mayor profundización.
3. Asimismo, habiendo determinado que el sistema de raíz flotante resulta una mejor alternativa para el cultivo de rábanos. Se sugiere priorizar el empleo de sistemas de hidroponía de raíz flotante en combinación con soluciones nutritivas minerales para maximizar el rendimiento en la producción de rábanos. Estos resultados respaldan la viabilidad de esta técnica para obtener cosechas de mayor peso, lo que podría ser clave para optimizar la productividad y la rentabilidad en la agricultura hidropónica a nivel comercial.

REFERENCIAS

- Al-Khayri, Mohan, J., & Johnson, D. (2021). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops* (Vol. 8). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2>
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C., & Rodríguez, M. (2021). Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. *Revista Minerva de Investigación Científica*.
- Alvarado, J. G. (2021). *Respuesta del cultivo de rábano (Raphanus sativus L.) a la aplicación de fitohormonas y fertilización química - orgánica, Canton Sanborodon, Provincia del Guayas* [Universidad de Guayaquil]. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/56087/1/Jonathan Geovanny Alvarado Chávez.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/56087/1/Jonathan_Geovanny_Alvarado_Chávez.pdf)
- Arroyo, P. (2021). *Comportamiento agronómico de dos variedades de apio (Apium graveolens L.) en sistema hidropónico de raíces flotantes bajo diferentes dosis de solución nutritiva*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Barrionuevo, H. (2020). *Implementación de un sistema de monitoreo remoto y de control para la mayor eficiencia en un cultivo de tomates cherry por hidroponía en sustrato preparado, en el Cono Sur de Arequipa* [Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12292/IEbaaphd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bazan, A., Carranza, G., Dellepiane, J., & Pupuche, J. (2021). *Diseño de sistemas hidropónicos modulares para los hogares de la ciudad de Piura*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5415/PYT_Informe_Final_Proyecto_SistemasHidroponicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carrera, J. V. (2015). *Respuesta agronómica del cultivo de rábano (Raphanus sativus) a*

- la aplicación de abonos orgánicos* [Universidad Técnica de Cotopaxi].
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3546/1/T-UTC-00823.pdf>
- Cuong, H., A Bich, N., Vo, T., Quang, T. B., Ngo, H., Bich, N., & Ngo, T. Q. H. (2022). Automatic Monitoring System for Hydroponic Farming: IoT-Based Design and Development. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 12(3), 210–219. <https://doi.org/10.55493/5005.V12I3.4630>
- Flores, G. L. (2020). *Producción de acelga (Beta vulgaris L. var. Fordhook Giant) con uso de dos fuentes de agua salina en hidroponía - sistema raíz flotante bajo condiciones de invernadero en Arequipa* [Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11241>
- Gao, J., Zheng, Z., Chen, S., Wang, C., Chen, F., Peng, H., Song, X., & Li, W. (2023). Genome-wide characterization and expression analysis of GRAS genes in carmine radish (*Raphanus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 308, 111532. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111532>
- García, A., Macias, E., Loor, J., & Vega, M. (2021). Evaluación de efectos de soluciones nutritivas como alternativa de insumo en la producción de rábano (*Raphanus sativus*) con sistema hidropónico bajo ambiente protegido. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 320–340. <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.163>
- Gavilán, D. (2018). *Influencia de seis sustratos inorgánicos diferentes en el crecimiento de la albahaca (ocimum basilicum l.) utilizando la técnica hidropónica*, SJJL. 2018 [Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28027>
- Gouveia, N. A., Andrade, M. G. de O., Ávila, J. de, Oliveira, T. R. de, Simón, C. A., & Lima, S. F. de. (2020). Evaluation of organic cotton residue and application of biostimulant in the production of radish (*Raphanus sativus*). *Research, Society and*

Development, 9(7), e386974092–e386974092. <https://doi.org/10.33448/RSD-V9I7.4092>

Huanca, J. M. (2023). *Evaluación de dos soluciones nutritivas, en rúcula (Eruca sativa), bajo tres densidades con la técnica hidropónica de raíz flotante en la estación Experimental de Patacamaya.*
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/35422>

Imthiyas, M. S. M., & Seran, T. H. (2015). Influence of compost with reduced level of chemical fertilizers on the accumulation of dry matter in. . . *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/312153529_Influence_of_compost_with_reduced_level_of_chemical_fertilizers_on_the_accumulation_of_dry_matter_in_leaves_of_radish_Raphanus_sativus_L

León, E. 2018. Evaluación de la eficacia de bioles en un cultivo hortícola. [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15178>

Maicelo, J., Guevara, E., Barboza, E., & Oliva, S. (2017). Evaluación de tres tipos de injertos de granadilla sobre maracuyá con púas producidas en medio hidropónico y en sustrato sólido, Chachapoyas. *Revista UNTRM - Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva INDES CES*, 1(1).
<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/354>

El-Beltagi, H. S., Maraiei, R. W., Shalaby, T. A., & Aly, A. A. (2022). Metabolites, Nutritional Quality and Antioxidant Activity of Red Radish Roots Affected by Gamma Rays. *Agronomy*, 12(8), 1916.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12081916>

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (s.f.). *ABC de la hidroponía*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina. Obtenido de https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_amba_-_abc_de_la_hidroponia.pdf
- Molina, O. (2015). *Evaluación de tres sistemas hidropónicos utilizando sustrato orgánico en cultivo de Lactuca sativa, adaptado para pequeños productores*. Proyecto. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/fa2bd466-9e90-4ad0-835f-7beaf1e60e87/content>
- Moya, S. (2022). *Evaluación de la producción hidropónica de tres variedades de acelga (Beta vulgaris var. cicla l.) en tres densidades de siembra con la técnica de raíz flotante en el Centro Experimental Cota Cota* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/31507>
- Mosquera, J. (2018). *Valoración de la aplicación de inóculos de microorganismos benéficos (MOBs) en el cultivo de rábano (Raphanus sativus) en la granja experimental - Paute* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16423/1/UPS-CT007989.pdf>
- Muñoz, E. F. (2021). *Rendimiento del cultivo de Sacha Culantro Eryngium foetidum l.) en un sistema hidropónico con tres sustratos en Tingo María* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2021>
- Ossai, C., Ogbole, S., Balogun, M. O., & Akpeji, S. C. (2020). Production of Radish (*Raphanus sativus*) in Nigeria Using the Hydroponics System. *Journal of Environmental and Agricultural Studies*, 1(2), 06–09. <https://al-kindipublisher.com/index.php/jeas/article/view/874>
- Núñez, C. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(3). doi:<https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.3/1>

- Palma et al. 2011. Use of space, activity patterns, and foraging behavior of red howler monkeys (*Alouatta seniculus*) in an Andean Forest fragment in Colombia. *American Journal of Primatology* 73(10):1062-71.
- Pereda, Y. R. (2015). *Evaluación del rendimiento de tres cultivares de Lactuca sativa L. en sistema hidropónico a raíz flotante en Santiago de Chuco, La Libertad* [Universidad Nacional de Trujillo].
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7784>
- Pérez, A. Y. (2018). *Efecto del uso de mallas raschel de colores en plantas de Lactuca sativa L. Var. Waldmann's green bajo sistema hidropónico de raíz flotante* [Universidad Nacional de San Agustín].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5893/BIpemeay.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pizarro, V., Jana, C., Ibacache, G., Contreras, C., Leris, L., & Anfaró, V. (2020). Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF): producción de lechugas y berros bajo invernadero. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Remehue*, 1(85).
https://www.researchgate.net/publication/343426523_Modulos_Hidroponicos_Sistema_Raiz_Flotante_SRF_produccion_de_lechugas_y_berros_bajo_invernadero
- Rondon, F., & Larry, G. (2020). Producción de acelga (*Beta vulgaris L. var. Fordhook Giant*) con uso de dos fuentes de agua salina en hidroponía - sistema raíz flotante bajo condiciones de invernadero en Arequipa. En *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11241>
- Reinoso, R. (2021). *Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas del rábano (*Raphanus sativus*) en cultivos hidropónicos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas aeruginosa** [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15316/1/236T0561.pdf>

Salerno, A., Pierandrei, F., Rea, E., Colla, G., Roupael, Y., & Saccardo, F. (2005).

Floating system cultivation of radish (*Raphanus sativus* L.): Production and quality.

Acta Horticulturae, 697, 87–92.

<https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2005.697.9>

Sanchez, F. 2018. Evaluación de la eficiencia de un biofertilizante de residuos orgánicos

en relación a otras fuentes de fertilización en el desarrollo del cultivo de Rábano

(*Raphanus sativus* L.). [Universidad Peruana Unión]

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1683>

Song, Y., Qiao, W., Westerholm, M., Huang, G., Taherzadeh, M. J., & Dong, R. (2023).

Microbiological and Technological Insights on Anaerobic Digestion of Animal

Manure: A Review. *Fermentation*, 9(5), 436.

<https://doi.org/10.3390/fermentation9050436>

Torrez, M. 2011. Evaluación del cultivo de rábano variedad Crimson Giant utilizando

substratos mejorados y determinación de los coeficientes “Kc” y “Ky”, bajo Riego.

Finca Las Mercedes, Managua-2009. [Universidad Nacional Agraria de Nicaragua,

Tesis de Grado].

Velazquez, R., García, A., Ventura, E., Barceinas, J., & Sosa, J. (2022). A Review on

Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale

Operations. *Agriculture* 2022, Vol. 12, Page 646, 12(5), 646.

<https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12050646>

Villanueva, L. (2021). *Relación porcentual entre cuyinaza de recria como sustrato*

nutritivo y semilla de Cebada para germinado hidropónico en Cutervo, Cajamarca

[Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10021>

Wisdom, B., Nyembezi, M., & Agathar, K. (2017). Effect of different vermiculite and pine bark media substrates mixtures on physical properties and spiral rooting of radish (*Raphanus sativus L.*) in float tray system. *Rhizosphere*, 3, 67–74. <https://doi.org/10.1016/J.RHISPH.2017.01.002>



GLOSARIO

Sistema hidropónico: el cultivo sin suelo es una técnica que permite el crecimiento de plantas en ambientes controlados, ya sea en estructuras simples o complejas. Esta práctica se enfoca en la producción de plantas herbáceas y puede llevarse a cabo en diversas ubicaciones como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no (Oasis, 2020)

Raíz flotante: bajo esta técnica hidropónica las raíces de las plantas se sumergen en una solución nutritiva, donde el pH, la aireación y la salinidad se ajustan constantemente. Esta técnica también se conoce como "flotante o floating en inglés" porque las raíces de las plantas flotan en una mezcla de agua y nutrientes, y la planta se sostiene sobre una lámina de poliestireno que flota en la superficie del líquido (Oasis, 2020).

Sustrato: se define como "sustrato" cualquier material, de origen natural o sintético, que reemplaza al suelo y cumplen una función de sostén de la planta, en este sistema el aporte de la solución nutritiva se realiza con el riego, comúnmente por goteo, también puede aplicarse con regadera si se trata de un sistema casero (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca)

Solución nutritiva: en un sistema hidropónico, a excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas se suministran a través de una solución nutritiva que se encuentra disuelta en agua. Esta solución provee el conjunto de nutrientes necesarios para las plantas, los cuales son absorbidos por las raíces en una forma que pueden asimilar.

Estado fenológico: involucra la observación, registro e interpretación de eventos tales como la producción de hojas, flores y frutos; y el estudio de los factores bióticos y abióticos que los ocasionan o los afectan (Palma et al., 2011).

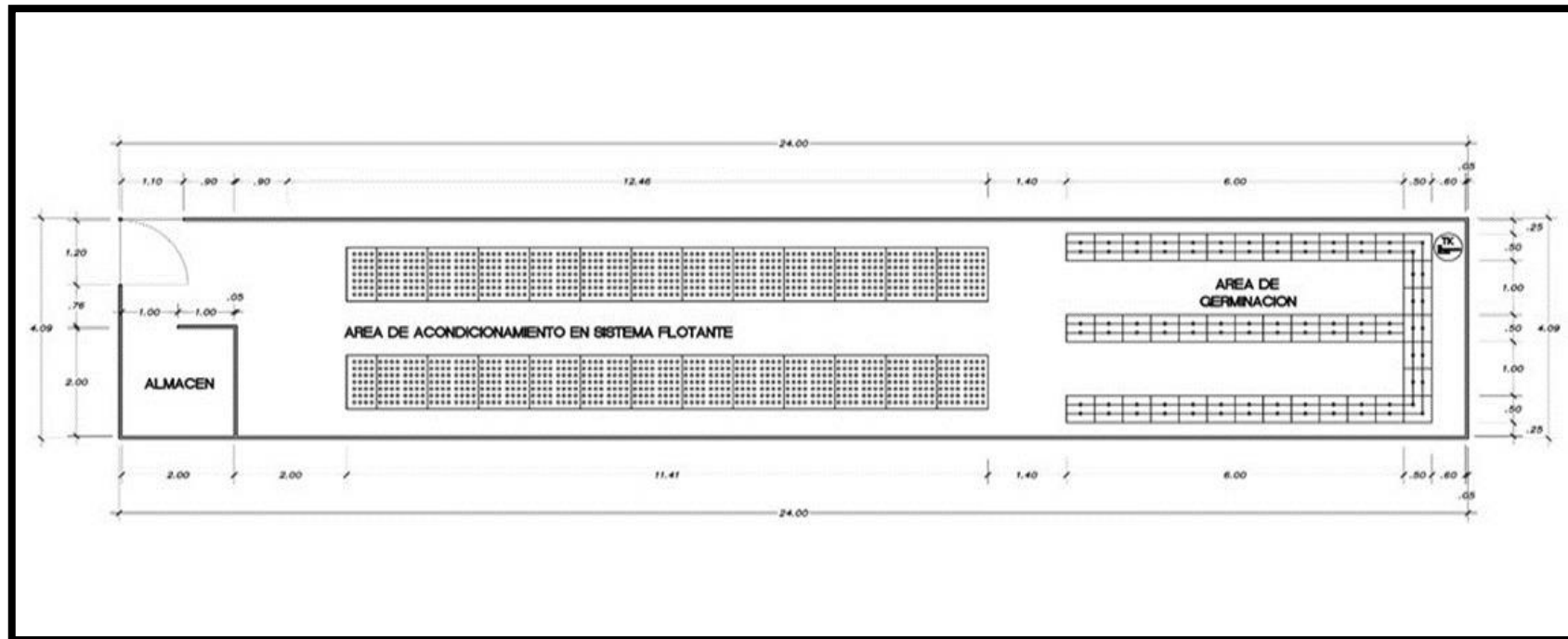
Almácigo: también denominado como semillero pequeño espacio al que se le proporcionan las condiciones óptimas para garantizar la germinación o nacimiento de las semillas y el crecimiento inicial de las plántulas

Trasplante: es la fase posterior al almácigo o semillero en el caso de los sistemas de sustrato en el caso del sistema de raíz flotante esta etapa por lo general se realiza después de una etapa previa de post-almácigo el trasplante se realiza cuando las plantas tienen de 3 a 4 hojas verdaderas (Molina, 2015).

Desarrollo foliar: el fertilizante foliar es una técnica que proporciona nutrientes a las plantas a través de la aplicación directa en las hojas, ya sea disuelto en agua o pulverizado sobre ellas. Su uso complementa y equilibra la nutrición de las plantas, asegurando su protección y rendimiento durante etapas críticas como la cosecha (Pérez, 2018).

ANEXOS

ANEXO 1. Mapas o croquis de ubicación



ANEXO 2. Croquis experimental

43 T4	11 T1	34 T3	42 T4
14 T1	33 T3	12 T1	21 T2
44 T4	32 T3	22 T2	23 T2
41 T4	13 T1	31 T3	24 T2

Leyenda

- T₁: Hidroponía de sustrato/Sol. mineral
- T₂: Hidroponía de sustrato/Sol. orgánica
- T₃: Hidroponía raíz flotante/Sol. mineral
- T₄: Hidroponía raíz flotante/Sol. orgánica

ANEXO 3 Matriz de registro y observación.

Semana:		Fecha/Hora:				
Nro.	Tratamiento:	Sistema hidropónico:				
		Solución nutritiva:				
Muestra	Número de hojas	Longitud de la hoja (cm)	Ancho de la hoja (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Diámetro de la raíz (cm)	Peso de la planta (cm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
Prom.						
Observaciones						

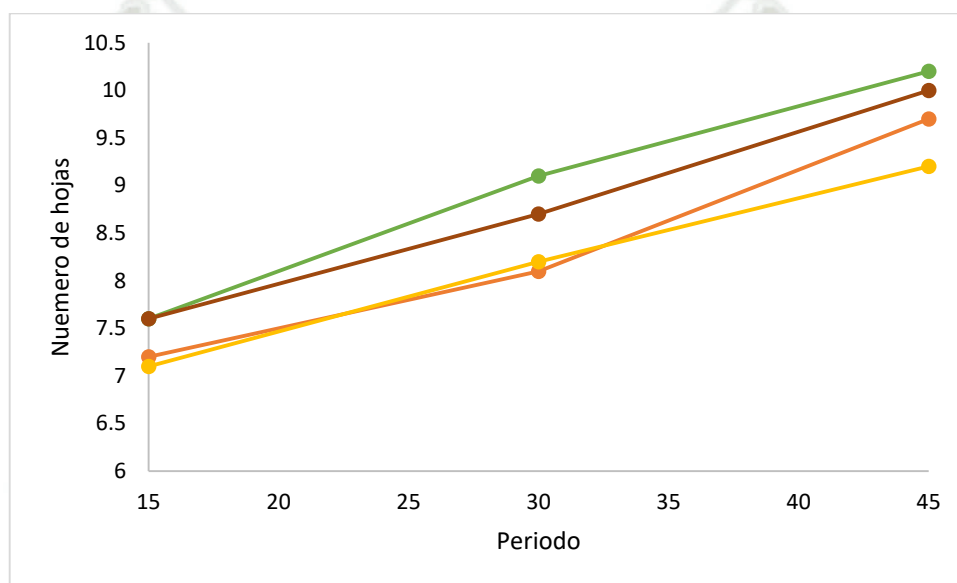
ANEXO 4. Fotografías del desarrollo experimental



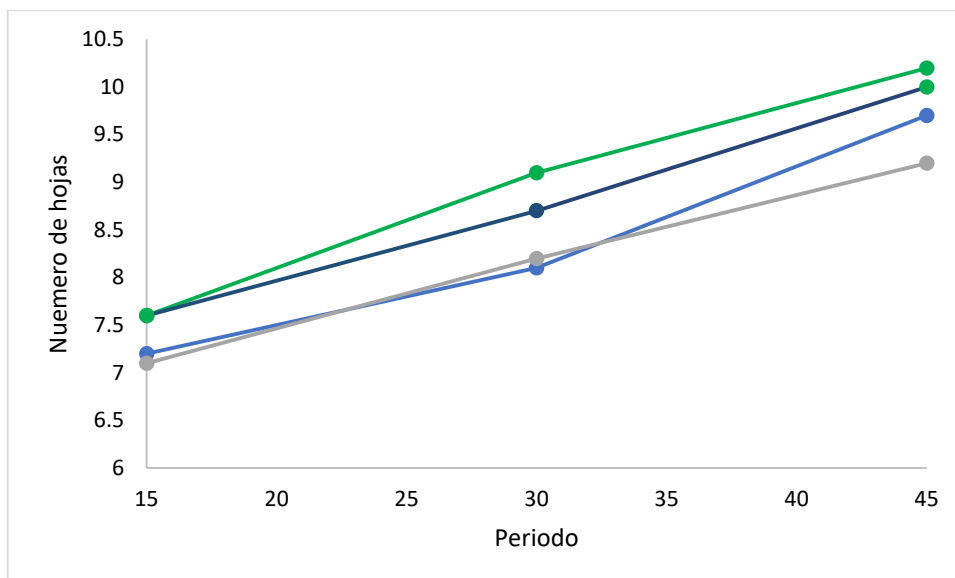


ANEXO 5 Graficas de los datos tomados en las replicas para el Número de hojas

REPETICIÓN 1			
Tratamiento	Número de hojas		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.10	8.00	9.80
T2: A ₁ B ₂	7.00	8.20	9.20
T3: A ₂ B ₁	7.50	9.00	10.20
T4: A ₂ B ₂	7.50	8.60	9.90

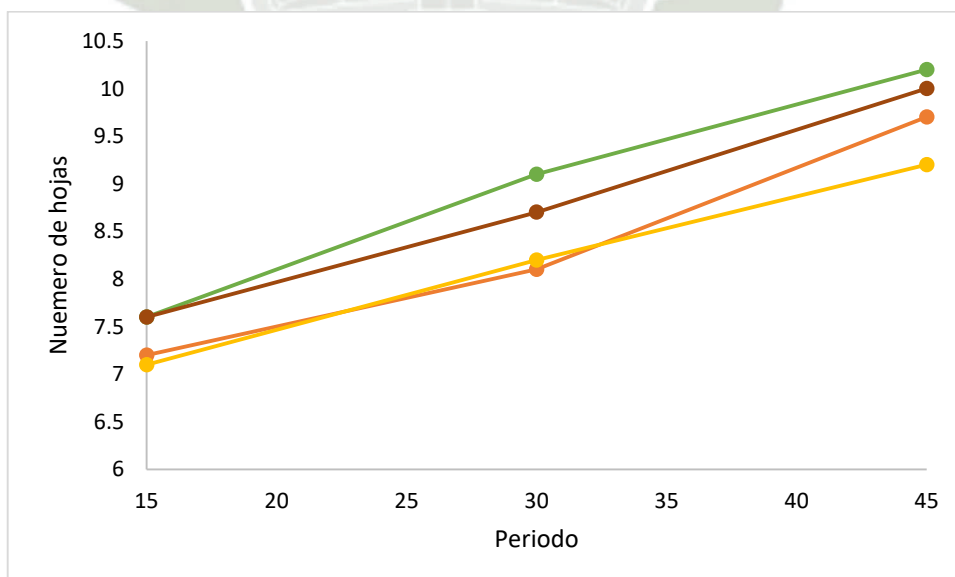


REPETICIÓN 2			
Tratamiento	Número de hojas		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.30	8.00	9.70
T2: A ₁ B ₂	7.00	8.40	9.30
T3: A ₂ B ₁	7.70	9.20	10.30
T4: A ₂ B ₂	7.50	8.60	10.10



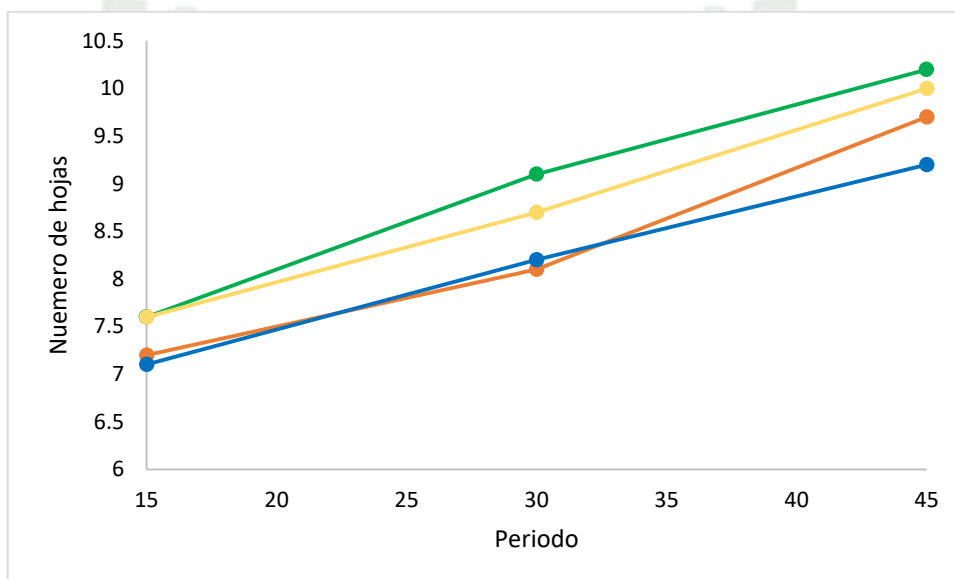
REPETICIÓN 3

Tratamiento	Número de hojas		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.20	7.90	9.90
T2: A ₁ B ₂	6.90	8.30	9.10
T3: A ₂ B ₁	7.60	9.10	10.40
T4: A ₂ B ₂	7.40	8.70	10.00



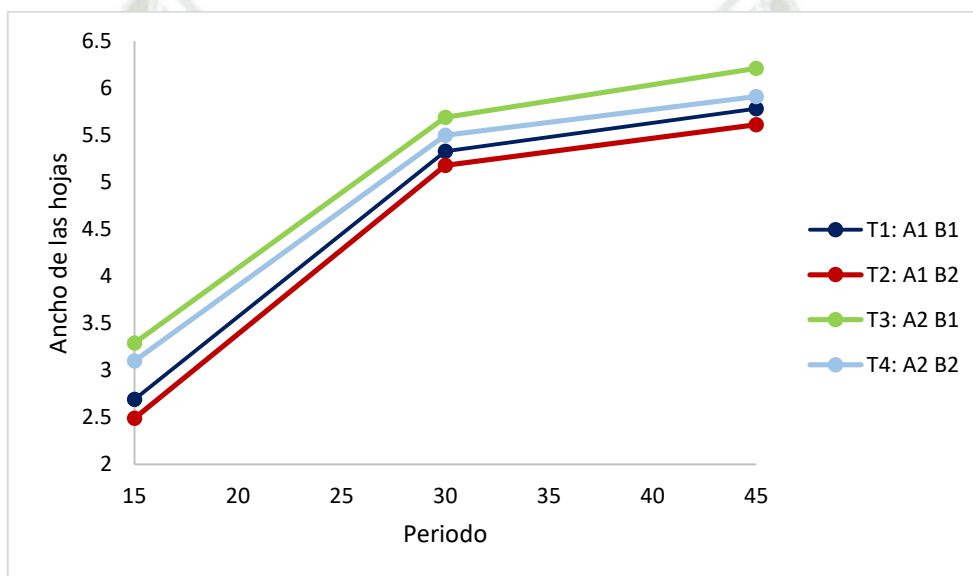
REPETICIÓN 4

Tratamiento	Número de hojas		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.20	8.10	9.70
T2: A ₁ B ₂	7.10	8.20	9.20
T3: A ₂ B ₁	7.60	9.10	10.20
T4: A ₂ B ₂	7.60	8.70	10.00

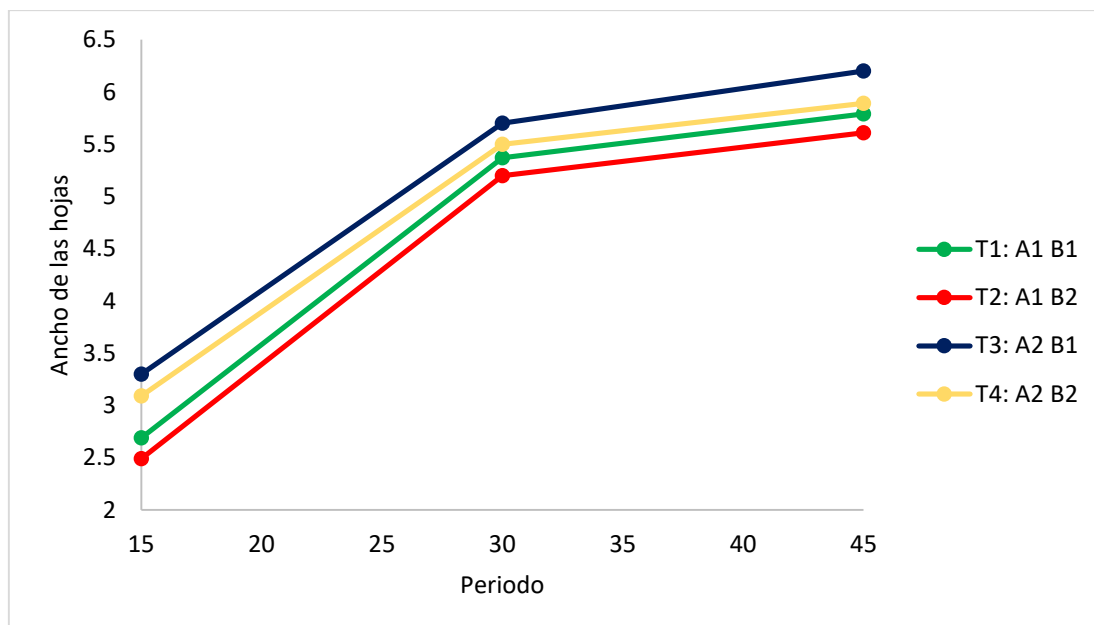


ANEXO 6 Graficas de los datos tomados en las réplicas para el Ancho de las hojas

REPETICIÓN 1			
Tratamiento	Ancho de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	2.69	5.33	5.78
T2: A ₁ B ₂	2.49	5.18	5.61
T3: A ₂ B ₁	3.29	5.69	6.21
T4: A ₂ B ₂	3.10	5.50	5.91

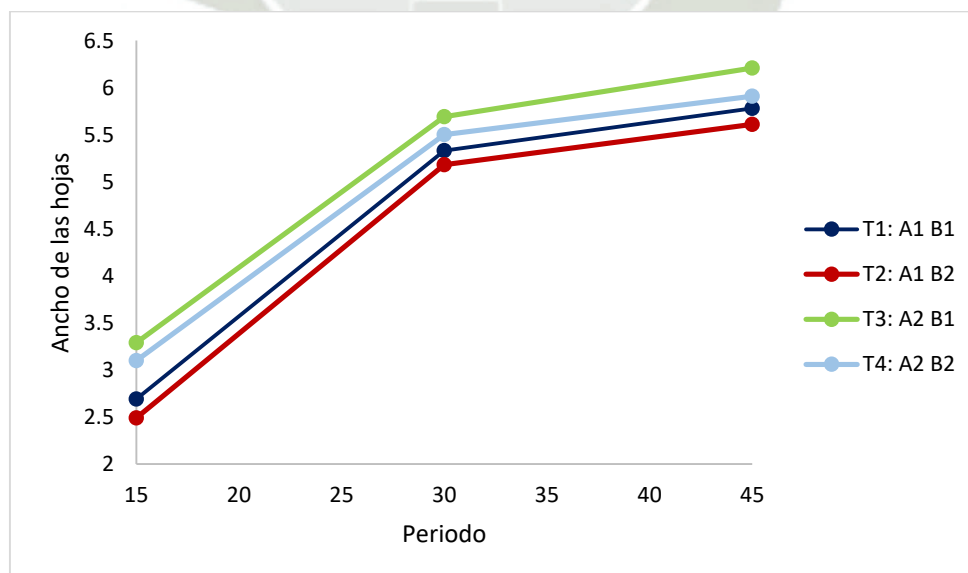


REPETICIÓN 2			
Tratamiento	Ancho de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	2.70	5.36	5.81
T2: A ₁ B ₂	2.50	5.21	5.58
T3: A ₂ B ₁	3.30	5.68	6.21
T4: A ₂ B ₂	3.11	5.48	5.91



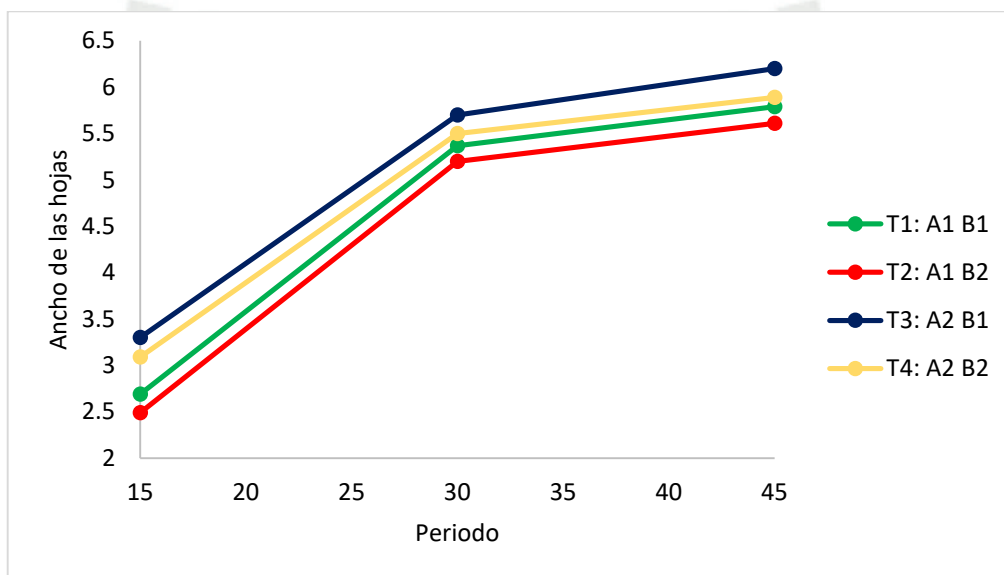
REPETICIÓN 3

Tratamiento	Ancho de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	2.71	5.35	5.82
T2: A ₁ B ₂	2.51	5.19	5.59
T3: A ₂ B ₁	3.29	5.71	6.18
T4: A ₂ B ₂	3.10	5.52	5.89



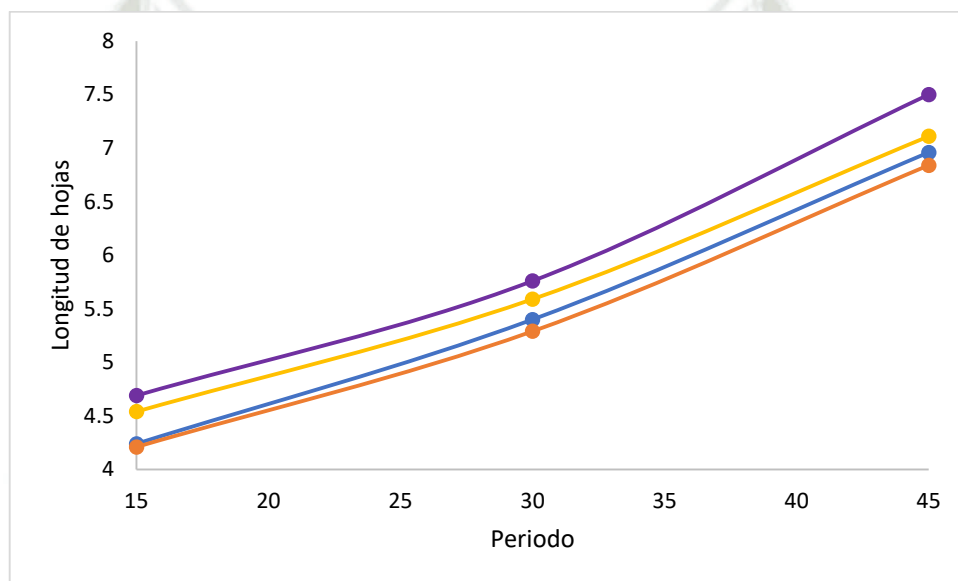
REPETICIÓN 4

Tratamiento	Ancho de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	2.69	5.37	5.79
T2: A ₁ B ₂	2.49	5.20	5.61
T3: A ₂ B ₁	3.30	5.70	6.2
T4: A ₂ B ₂	3.09	5.50	5.89

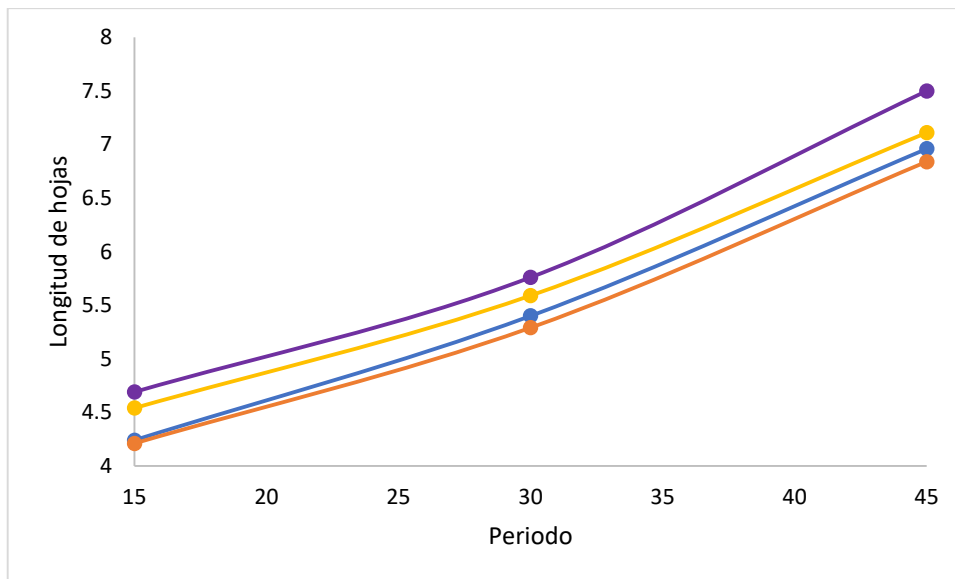


ANEXO 7 Graficas de los datos tomados en las réplicas para la Longitud de la hoja.

REPETICIÓN 1			
Tratamiento	Longitud de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	4.26	5.39	6.94
T2: A ₁ B ₂	4.19	5.28	6.82
T3: A ₂ B ₁	4.68	5.76	7.51
T4: A ₂ B ₂	4.56	5.59	7.11

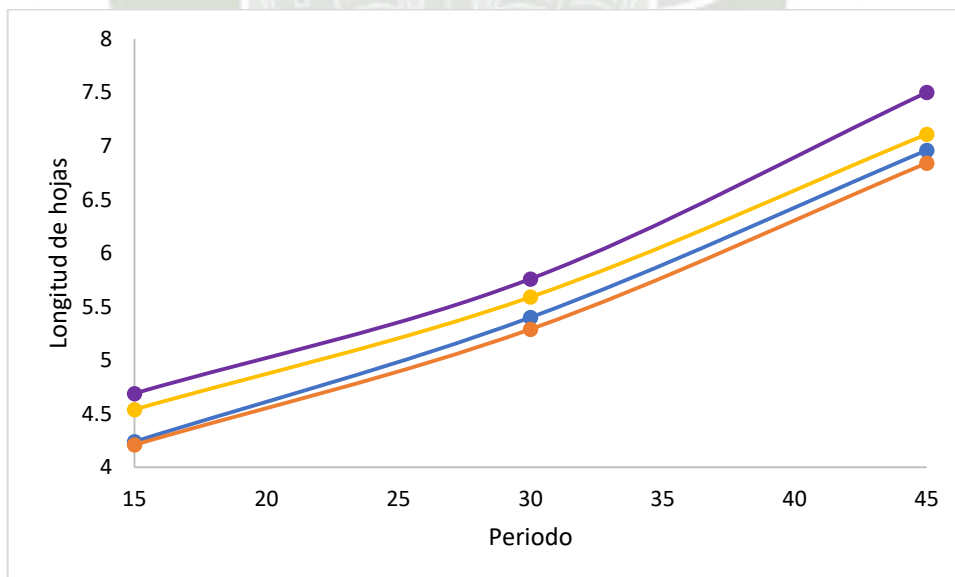


REPETICIÓN 2			
Tratamiento	Longitud de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	4.25	5.39	6.95
T2: A ₁ B ₂	4.18	5.31	6.83
T3: A ₂ B ₁	4.71	5.74	7.49
T4: A ₂ B ₂	4.55	5.60	7.10



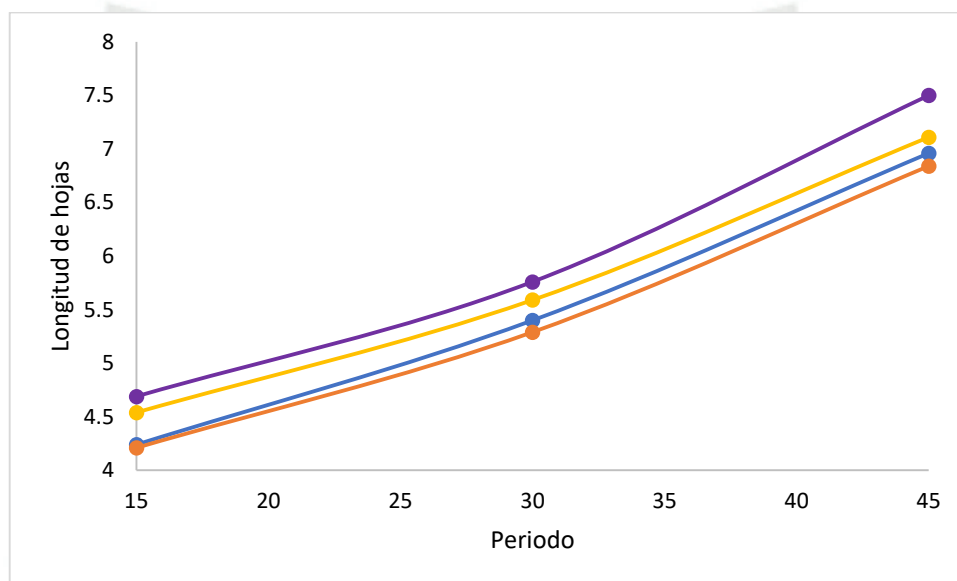
REPETICIÓN 3

Tratamiento	Longitud de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	4.24	5.41	6.96
T2: A ₁ B ₂	4.21	5.30	6.83
T3: A ₂ B ₁	4.70	5.75	7.48
T4: A ₂ B ₂	4.53	5.61	7.09



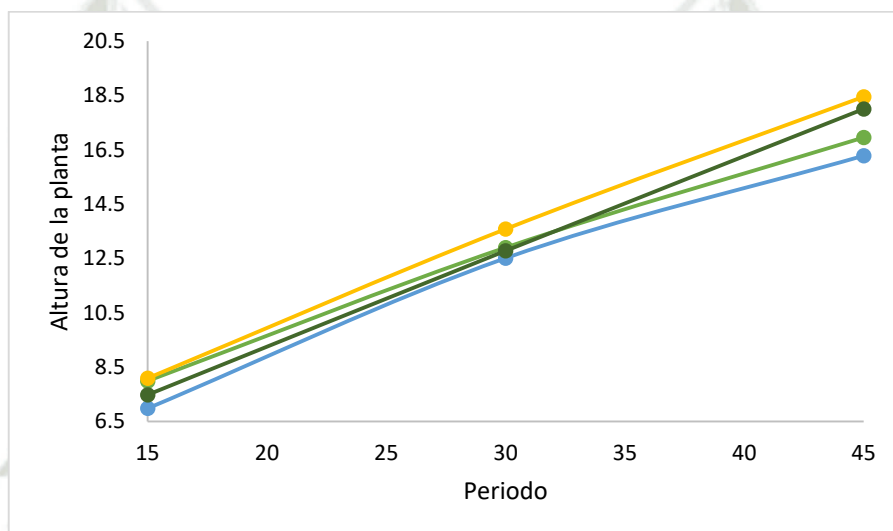
REPETICIÓN 4

Tratamiento	Longitud de las hojas (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	4.24	5.40	6.96
T2: A ₁ B ₂	4.21	5.29	6.84
T3: A ₂ B ₁	4.69	5.76	7.50
T4: A ₂ B ₂	4.54	5.59	7.11

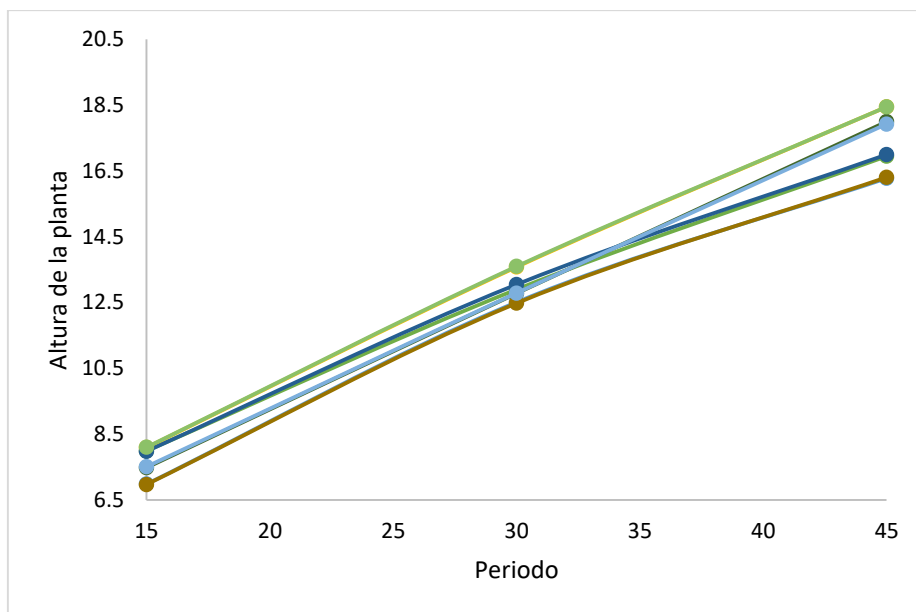


ANEXO 8 Graficas de los datos tomados en las réplicas para la Altura de la planta

REPETICIÓN 1			
Tratamiento	Altura de la planta (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.99	13.1	17.1
T2: A ₁ B ₂	7.05	12.49	16.29
T3: A ₂ B ₁	8.08	13.59	18.45
T4: A ₂ B ₂	7.51	12.81	18.1

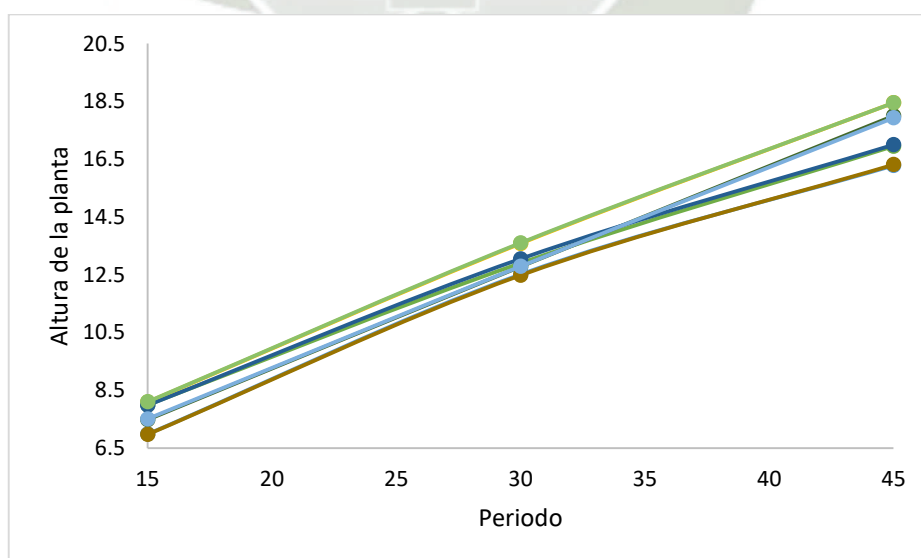


REPETICIÓN 2			
Tratamiento	Altura de la planta (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.98	13.05	17
T2: A ₁ B ₂	6.97	12.48	16.31
T3: A ₂ B ₁	8.1	13.6	18.45
T4: A ₂ B ₂	7.51	12.79	17.93



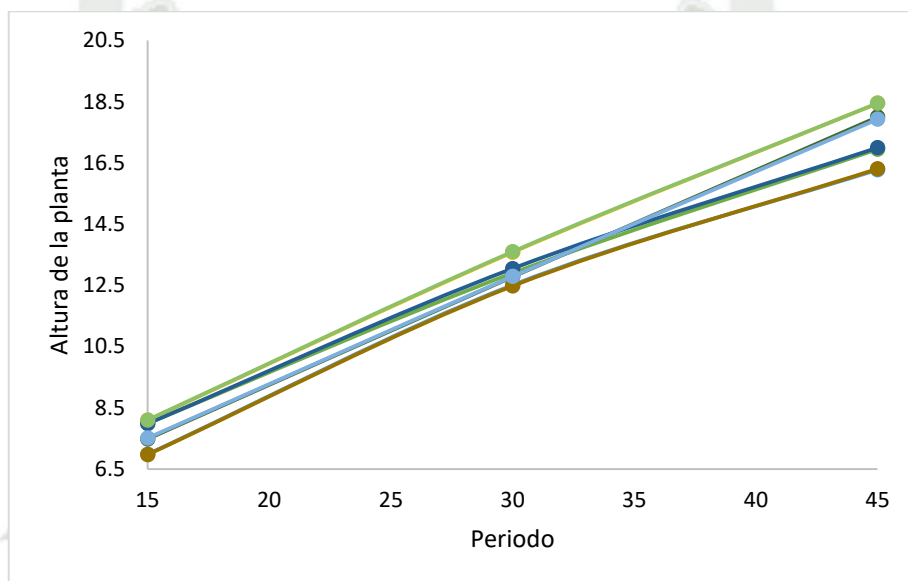
REPETICIÓN 3

Tratamiento	Altura de la planta (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	8.05	12.95	16.94
T2: A ₁ B ₂	6.99	12.51	16.3
T3: A ₂ B ₁	8.11	13.61	18.45
T4: A ₂ B ₂	7.49	12.8	17.95



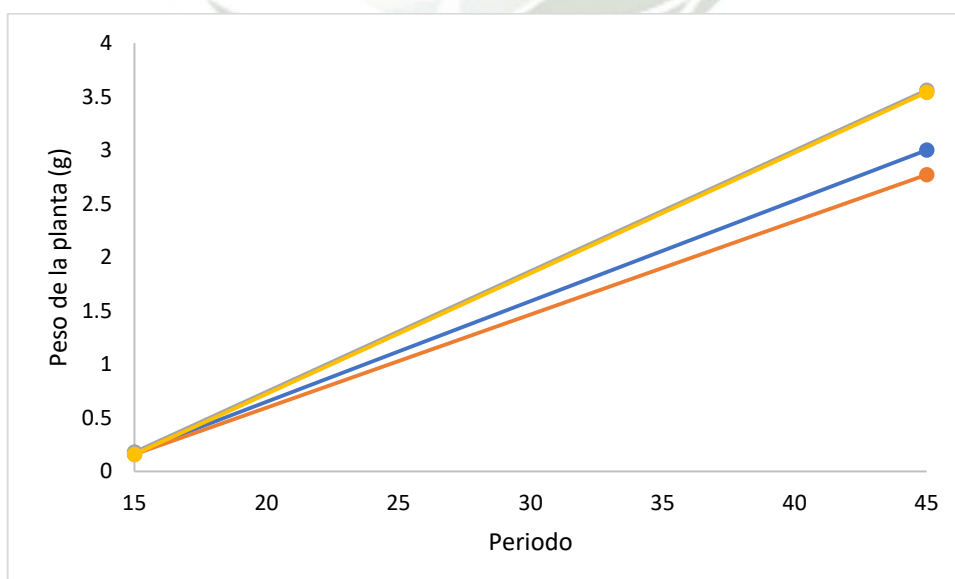
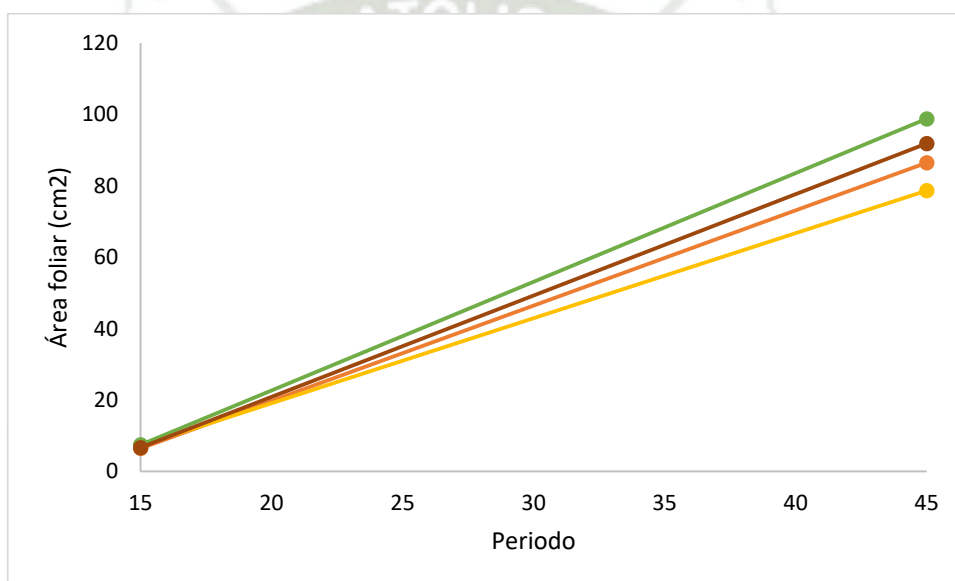
REPETICIÓN 4

Tratamiento	Altura de la planta (cm)		
	15 dds	30 dds	45 dds
T1: A ₁ B ₁	7.99	12.9	16.95
T2: A ₁ B ₂	6.98	12.51	16.28
T3: A ₂ B ₁	8.09	13.58	18.45
T4: A ₂ B ₂	7.48	12.78	18.00



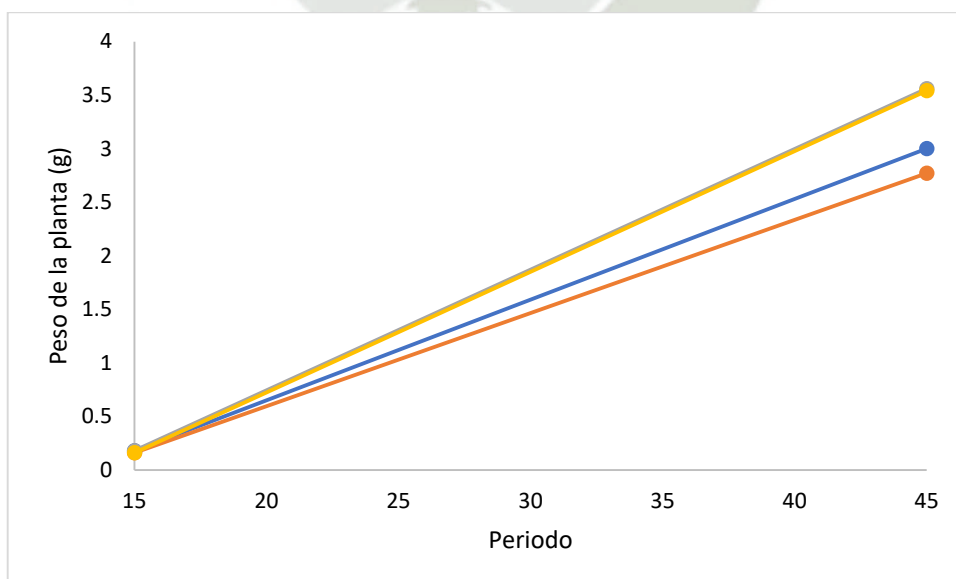
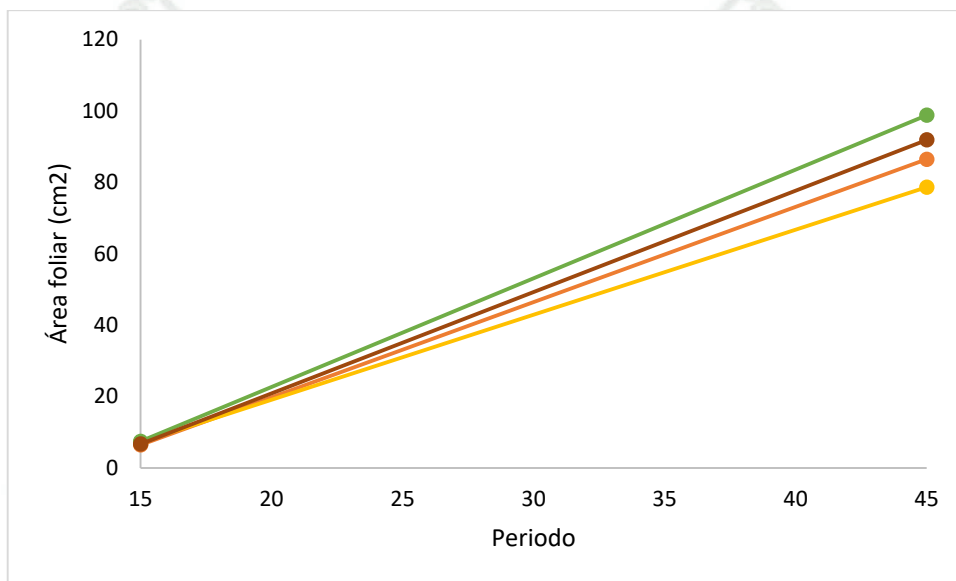
ANEXO 9 Graficas de los datos tomados en las réplicas para el Área foliar

REPETICIÓN 1				
Tratamiento	Área foliar (cm²)		Peso seco de la planta (g)	
	AF₁ (15 dds)	AF₂ (45 dds)	W₁ (15 dds)	W₂ (45 dds)
T1: A ₁ B ₁	6.44	86.48	0.15	3.05
T2: A ₁ B ₂	7.16	78.65	0.14	2.8
T3: A ₂ B ₁	7.44	98.76	0.21	3.55
T4: A ₂ B ₂	6.71	91.85	0.17	3.52



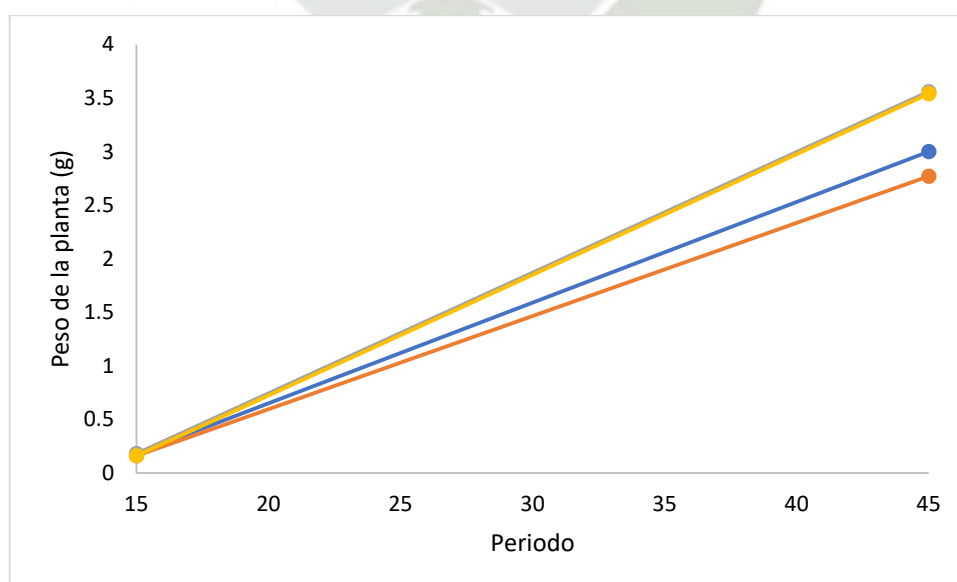
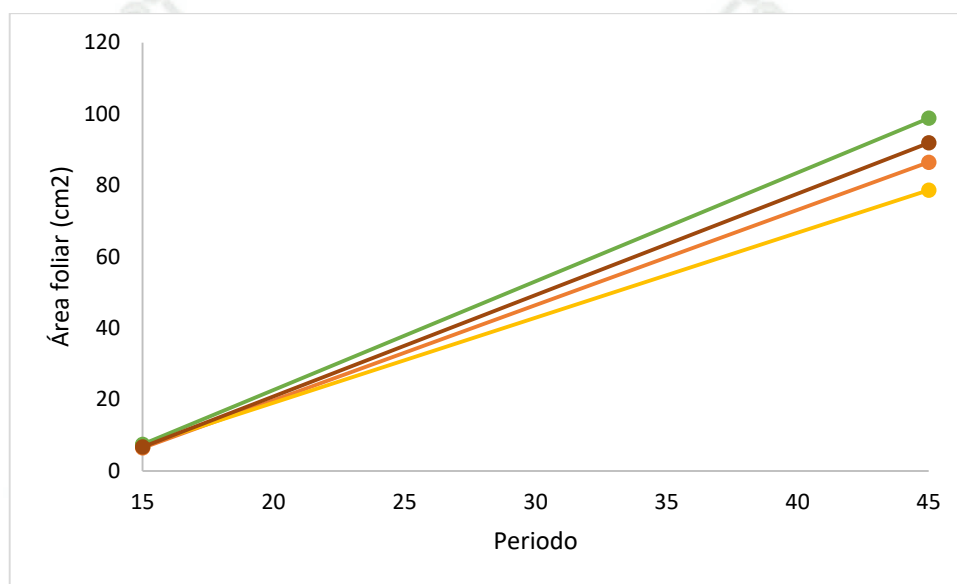
REPETICIÓN 2

Tratamiento	Área foliar (cm ²)		Peso seco de la planta (g)	
	AF ₁ (15 dds)	AF ₂ (45 dds)	W ₁ (15 dds)	W ₂ (45 dds)
T1: A ₁ B ₁	6.45	86.47	0.18	3.03
T2: A ₁ B ₂	7.19	78.63	0.15	2.79
T3: A ₂ B ₁	7.47	98.77	0.21	3.58
T4: A ₂ B ₂	6.7	91.86	0.19	3.53



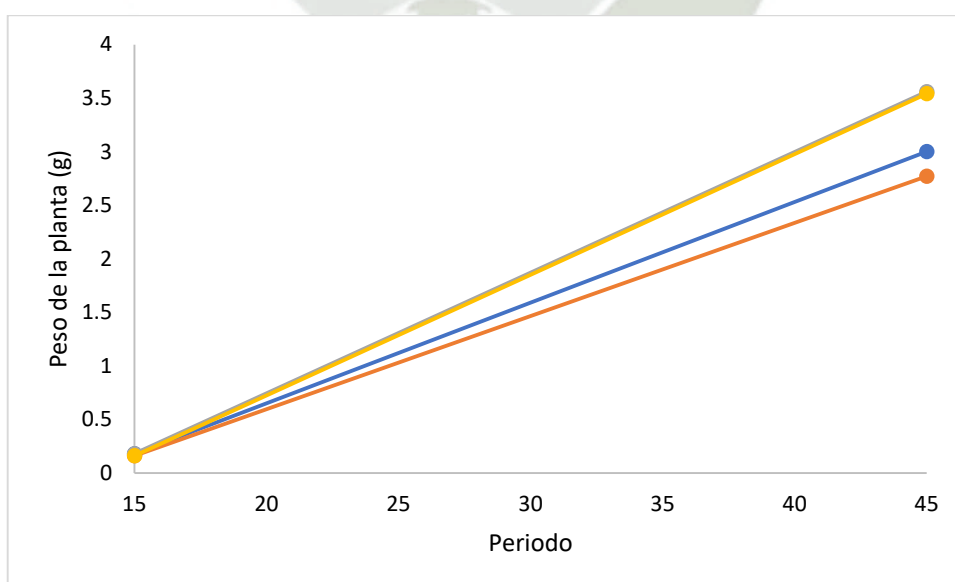
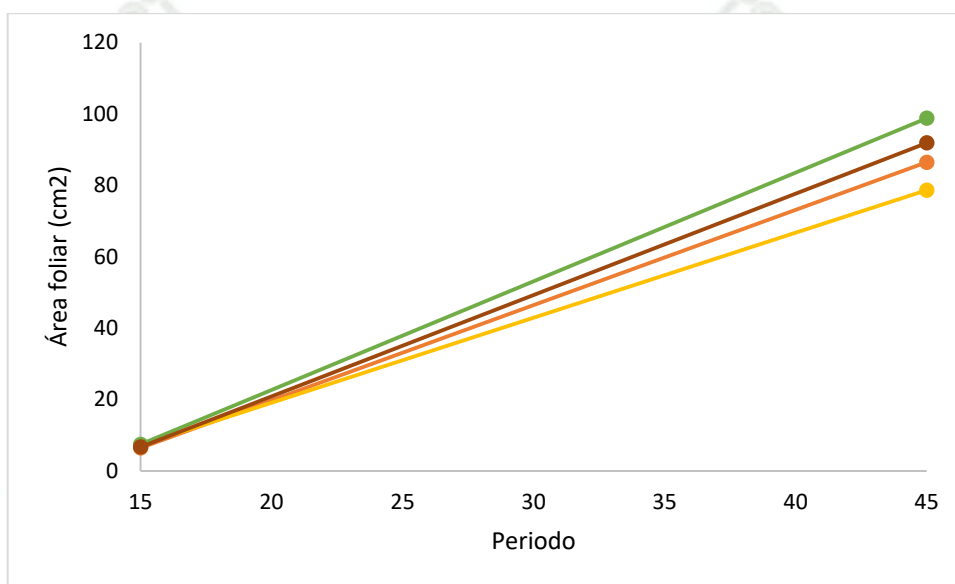
REPETICIÓN 3

Tratamiento	Área foliar (cm ²)		Peso seco de la planta (g)	
	AF ₁ (15 dds)	AF ₂ (45 dds)	W ₁ (15 dds)	W ₂ (45 dds)
T1: A ₁ B ₁	6.44	86.46	0.16	2.9
T2: A ₁ B ₂	7.18	78.65	0.15	2.77
T3: A ₂ B ₁	7.46	98.78	0.19	3.57
T4: A ₂ B ₂	6.69	91.87	0.18	3.53



REPETICIÓN 4

Tratamiento	Área foliar (cm ²)		Peso seco de la planta (g)	
	AF ₁ (15 dds)	AF ₂ (45 dds)	W ₁ (15 dds)	W ₂ (45 dds)
T1: A ₁ B ₁	6.43	86.46	0.18	3
T2: A ₁ B ₂	7.18	78.64	0.16	2.77
T3: A ₂ B ₁	7.45	98.77	0.18	3.56
T4: A ₂ B ₂	6.68	91.85	0.16	3.54



ANEXO 10. Análisis de varianza de la comparación del desarrollo biométrico de los rábanos

Tablas de análisis de varianza para el número de hojas por planta

Análisis de varianza para (número de hojas a 15 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	0.910	0.303	45.500	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.810	0.810	121.500	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.090	0.090	13.500	4.750	0.0032	*
Interacción A x B	1	0.010	0.010	1.500	4.750	0.2442	NS
Error	12	0.080	0.007				
Total	15	0.990	0.081				

Análisis de varianza para (número de hojas a 30 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	2.732	0.911	141.000	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	2.176	2.176	336.871	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.031	0.031	4.742	4.750	0.0501	NS
Interacción A x B	1	0.526	0.526	81.387	4.750	0.0000	*
Error	12	0.078	0.006				
Total	15	2.809	0.243				

Análisis de varianza para (número de hojas a 45 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	2.502	0.834	105.368	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	1.690	1.690	213.474	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.722	0.722	91.263	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.090	0.090	11.368	4.750	0.0056	*
Error	12	0.095	0.008				
Total	15	2.597	0.223				

Tablas de análisis de varianza para el ancho de hoja

Análisis de Varianza (ANOVA) para (ancho de hojas a 15 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	1.596	0.532	7510.824	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	1.440	1.440	20329.412	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.156	0.156	2202.706	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.000	0.000	0.353	4.750	0.5635	NS
Error	12	0.001	0.000				
Total	15	1.597	0.142				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (ancho de hojas a 30 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	0.545	0.182	814.832	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.419	0.419	1880.776	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.124	0.124	557.411	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.001	0.001	6.308	4.750	0.0273	*
Error	12	0.003	0.000				
Total	15	0.548	0.048				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (ancho de hojas a 45 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	0.756	0.252	1129.748	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.494	0.494	2213.860	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.253	0.253	1132.738	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.010	0.010	42.645	4.750	0.0000	*
Error	12	0.003	0.000				
Total	15	0.758	0.067				

Tablas de análisis de varianza para la longitud de hojas

Análisis de Varianza (ANOVA) para (longitud de hojas a 15 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	0.682	0.227	1399.026	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.632	0.632	3889.385	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.040	0.040	246.154	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.010	0.010	61.538	4.750	0.0000	*
Error	12	0.002	0.000				
Total	15	0.684	0.061				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (longitud de hojas a 30 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	0.501	0.167	1513.566	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.432	0.432	3915.226	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.066	0.066	600.509	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.003	0.003	24.962	4.750	0.0003	*
Error	12	0.001	0.000				
Total	15	0.503	0.045				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (longitud de hojas a 45 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	1.002	0.334	3207.520	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.664	0.664	6376.560	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.265	0.265	2546.160	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.073	0.073	699.840	4.750	0.0000	*
Error	12	0.001	0.000				
Total	15	1.004	0.089				

Tablas de análisis de varianza para la altura de la planta

Análisis de Varianza (ANOVA) para (altura de planta a 15 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	3.085	1.028	1518.828	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.351	0.351	518.483	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	2.568	2.568	3792.748	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.166	0.166	245.252	4.750	0.0000	*
Error	12	0.008	0.001				
Total	15	3.093	0.274				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (altura de planta a 30 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	2.582	0.861	387.114	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.797	0.797	358.338	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	1.697	1.697	763.189	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.089	0.089	39.815	4.750	0.0000	*
Error	12	0.027	0.002				
Total	15	2.608	0.230				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (altura de planta a 45 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	11.339	3.780	1338.960	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	9.938	9.938	3520.563	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	1.340	1.340	474.618	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.061	0.061	21.700	4.750	0.0006	*
Error	12	0.034	0.003				
Total	15	11.373	1.008				

Tablas de análisis de varianza para el área foliar

Análisis de Varianza (ANOVA) para (área foliar a 15 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	2.527	0.842	6033.597	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.284	0.284	2031.448	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.001	0.001	3.627	4.750	0.0811	NS
Interacción A x B	1	2.243	2.243	16065.716	4.750	0.0000	*
Error	12	0.002	0.000				
Total	15	2.528	0.225				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (área foliar a 45 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	869.169	289.723	3391880.399	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	651.143	651.143	7623135.147	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	217.194	217.194	2542757.878	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.833	0.833	9748.171	4.750	0.0000	*
Error	12	0.001	0.000				
Total	15	869.170	77.260				

Tablas de análisis de varianza para el peso seco de la planta

Análisis de Varianza (ANOVA) para (peso seco de la planta a 15 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	0.005	0.002	9.073	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	0.003	0.003	17.707	4.750	0.0012	*
Solución nutritiva (B)	1	0.002	0.002	9.366	4.750	0.0099	*
Interacción A x B	1	0.000	0.000	0.146	4.750	0.7087	NS
Error	12	0.002	0.000				
Total	15	0.007	0.000				

Análisis de Varianza (ANOVA) para (peso seco de la planta a 45 días)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	1.829	0.610	498.417	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	1.736	1.736	1419.399	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.061	0.061	50.090	4.750	0.0000	*
Interacción A x B	1	0.032	0.032	25.763	4.750	0.0003	*
Error	12	0.015	0.001				
Total	15	1.843	0.163				

Tablas de análisis de varianza para el peso de la raíz

Análisis de varianza ANOVA (peso de la raíz)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	2518.688	839.563	17.348	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	2328.063	2328.063	48.105	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	138.063	138.063	2.853	4.750	0.1170	NS
Interacción A x B	1	52.563	52.563	1.086	4.750	0.3179	NS
Error	12	580.750	48.396				
Total	15	3099.438	227.110				

Tablas de análisis de varianza para el perímetro de la raíz

Análisis de varianza ANOVA (perímetro de la raíz)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	29.032	9.677	17.845	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	24.256	24.256	44.728	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	1.626	1.626	2.998	4.750	0.1090	NS
Interacción A x B	1	3.151	3.151	5.810	4.750	0.0329	*
Error	12	6.508	0.542				
Total	15	35.539	2.617				

Tablas de análisis de varianza para la longitud de la raíz

Análisis de varianza ANOVA (longitud de la raíz)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	8.963	2.988	6.020	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	4.840	4.840	9.753	4.750	0.0088	*
Solución nutritiva (B)	1	0.123	0.123	0.247	4.750	0.6283	NS
Interacción A x B	1	4.000	4.000	8.060	4.750	0.0149	*
Error	12	5.955	0.496				
Total	15	14.918	0.830				

Tablas de análisis de varianza para el diámetro de la raíz reservante

Análisis de varianza ANOVA (diámetro de la raíz reservante)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Cal	F tab ($\alpha = 0.05$)	P Value	Significancia
Tratamientos	3	2.865	0.955	18.942	3.490		
Sistema hidropónico (A)	1	2.403	2.403	47.653	4.750	0.0000	*
Solución nutritiva (B)	1	0.160	0.160	3.174	4.750	0.1001	NS
Interacción A x B	1	0.302	0.302	6.000	4.750	0.0000	*
Error	12	0.605	0.050				
Total	15	3.470	0.258				

ANEXO 11. Rentabilidad de proyecto

A. Inversión Inicial

Elemento	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Tubos de PVC (3 pulgadas, 3 metros)	4 tubos	S/ 20.00	S/ 80.00
Soporte	1 unidad	S/ 300.00	S/ 300.00
Bomba de agua	1 unidad	S/1500.00	S/ 1500.00
Accesorios (medidores, válvulas, etc.)	-	S/ 100.00	S/ 100.00
Total inversión inicial	-	-	S/ 1,980.00

B. Costos recurrentes por ciclo

Concepto	Costo por ciclo (S/)	Detalle
Semillas (40 plantas)	S/ 1.18	Precio: S/ 7.40 por 250 semillas
Solución nutritiva (100 litros)	S/ 8.90	Precio: S/ 89.00 por 1,000 litros
Otros insumos (nutrientes adicionales)	S/ 49.90	Incluye nutrientes adicionales
Agua y energía	S/ 70.00	Costo ajustado para todo el ciclo
Mantenimiento del sistema	S/ 30.00	Costo de mantenimiento del sistema
Total costos recurrentes por ciclo	S/ 159.98	Suma total de los costos recurrentes

C. Producción y precio de venta

Producción:

Concepto	Valores (por ciclo)	Detalle
Número de plantas	40 plantas	Producción total por ciclo
Producción por planta	374 g por rábano	Basado en las mejores condiciones de la investigación
Producción total por ciclo	14.96 kg (14,960 g)	40 plantas × 374 g/planta

Precio de venta:

Concepto	Valores (S/)	Detalle
Precio por 400 g	Entre S/ 7.20 y S/ 8.00	Ajustado en función del mercado
Ingresos por ciclo (S/)	Entre S/ 269.28 y S/ 298.40	Calculado en base a la producción total

D. Ingresos y rentabilidad por ciclo

Escenario 1: Precio de venta de S/ 7.20 por 400 g

Concepto	Valores (S/)
Producción total (14.96 kg)	40 plantas × 374 g/planta = 14.96 kg
Precio por 400 g	S/ 7.20
Ingresos por ciclo (S/)	$\frac{14,960 \text{ g}}{400 \text{ g}} \times 7.20 = \text{S/ } 269.28$
Total costos por ciclo (S/)	S/ 159.98
Utilidad neta (S/)	S/ 269.28 - S/ 159.98 = S/ 109.30
Rentabilidad (%)	$\frac{\text{S/ } 269.28 - 159.98}{159.98} \times 100$ = +68.32%

Escenario 2: Precio de venta de S/ 8.00 por 400 g

Concepto	Valores (S/)
Producción total (14.96 kg)	40 plantas × 374 g/planta = 14.96 kg
Precio por 400 g	S/ 8.00
Ingresos por ciclo (S/)	$\frac{14,960 \text{ g}}{400 \text{ g}} \times 8.00 = \text{S/ } 298.40$
Total costos por ciclo (S/)	S/ 159.98
Utilidad neta (S/)	S/ 298.40 - S/ 159.98 = S/ 138.42
Rentabilidad (%)	$\frac{\text{S/ } 298.40 - 159.98}{159.98} \times 100$ = +86.51%

E. Flujo de caja con inversión inicial

Escenario 1: Precio de venta de S/ 7.20 por 400 g

Mes	Ingresos (S/)	Costos recurrentes (S/)	Inversión inicial (S/)	Costos totales (S/)	Utilidad neta (S/)	Acumulado (S/)
Enero	269.28	159.98	495	654.98	-385.7	-385.7
Febrero	269.28	159.98	495	654.98	-385.7	-771.4
Marzo	269.28	159.98	495	654.98	-385.7	-1,157.10
Abril	269.28	159.98	495	654.98	-385.7	-1,542.80
Mayo	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-1,433.50
Junio	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-1,324.20

Julio	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-1,214.90
Agosto	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-1,105.60
Septiembre	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-996.3
Octubre	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-887
Noviembre	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-777.7
Diciembre	269.28	159.98	0	159.98	109.3	-668.4

Escenario 2: Precio de venta de S/ 8.00 por 400 g

Mes	Ingresos (S/)	Costos	Inversión	Costos	Utilidad neta (S/)	Acumulado (S/)
		recurrentes (S/)	inicial (S/)	totales (S/)		
Enero	298.4	159.98	495	654.98	-356.58	-356.58
Febrero	298.4	159.98	495	654.98	-356.58	-713.16
Marzo	298.4	159.98	495	654.98	-356.58	-1,069.74
Abril	298.4	159.98	495	654.98	-356.58	-1,426.32
Mayo	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-1,287.90
Junio	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-1,149.48
Julio	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-1,011.06
Agosto	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-872.64
Septiembre	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-734.22
Octubre	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-595.8
Noviembre	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-457.38
Diciembre	298.4	159.98	0	159.98	138.42	-318.96