



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**EVALUACION DE LA PRODUCCION DE TRES  
TIPOLOGIAS DE LECHUGA CON DOS SOLUCIONES  
NUTRITIVAS BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO EN  
INVERNADERO EN LA COMUNIDAD DE PANTAÑO.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AGRÓNOMA**

**AUTORA:** KAREN PAULINA ROBAYO CARRILLO

Riobamba – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**EVALUACION DE LA PRODUCCION DE TRES TIPOLOGIAS DE  
LECHUGA CON DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS BAJO UN  
SISTEMA HIDROPÓNICO EN INVERNADERO EN LA  
COMUNIDAD DE PANTAÑO.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AGRÓNOMA**

**AUTORA:** KAREN PAULINA ROBAYO CARRILLO

**DIRECTOR:** ING. ANDREA PATRICIA GUAPI AUQUILLA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Karen Paulina Robayo Carrillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Karen Paulina Robayo Carrillo, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

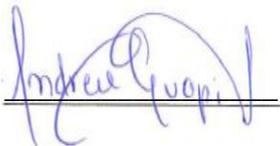
Riobamba, día de mes de año



**Karen Paulina Robayo Carrillo**  
**180541559-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACION DE LA PRODUCCION DE TRES TIPOLOGIAS DE LECHUGA CON DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO EN INVERNADERO EN LA COMUNIDAD DE PANTAÑO**, realizado por la señorita: **KAREN PAULINA ROBAYO CARRILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Victor Alberto Lindao Córdova <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-05-30
Ing. Andrea Patricia Guapi Auquilla <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-30
Ing. Marco Aníbal Vivar Arrieta, MSc <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-30

## **DEDICATORIA**

Con gratitud y cariño, dedico este trabajo de investigación a mi amada familia, cuyo amor y apoyo incondicional han sido fundamentales en mi camino. Quiero expresar un especial reconocimiento a mi querida mamá Paulina Carrillo y a mi papá Marco Robayo, quienes han sido ejemplos de superación en todas las facetas de la vida. Agradezco también a mis hermanos Sulay, Nathy, Becker y Mateo por ser mi sólido apoyo para alcanzar mis metas, a mis primos Cristina y David y a mis abuelitos, su presencia y aliento han sido la luz que ha guiado mis pasos en este viaje académico.

**Karen**

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por la vida llena de bendiciones que me ha brindado y por la familia tan maravillosa que tengo. Ellos han sido un apoyo constante en cada momento importante de mi vida. También agradezco a cada una de las personas que Dios ha puesto en mi camino, de quienes he aprendido a lo largo de este camino. Expreso mi profundo agradecimiento a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO y a mis estimados docentes por compartir sus conocimientos conmigo.

**Karen**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1	Planteamiento del problema .....	2
1.2	Objetivo.....	2
1.2.1	<i>Objetivo general</i> .....	2
1.2.2	<i>Objetivo específico</i> .....	2
1.3	Justificación .....	2
1.4	Hipótesis.....	3
1.4.1	<i>Nula</i> .....	3
1.4.2	<i>Alternativa</i> .....	3

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	4
2.1	Evaluación .....	4
2.1.1	<i>Que es evaluación</i> .....	4
2.1.2	<i>Tipos de evaluación</i> .....	4
2.2	Lechuga.....	5
2.2.1	<i>Origen y distribución geográfica</i> .....	5
2.2.2	<i>Importancia del cultivo</i> .....	6
2.2.3.	<i>Taxonomía y morfología</i> .....	6
2.2.3	<i>Etapas fenológicas</i> .....	8
2.2.4	<i>Tipologías de lechuga</i> .....	9

2.2.5	<i>Variedades</i> .....	9
2.2.6	<i>Variedades utilizadas</i> .....	11
2.2.7	<i>Cosecha</i> .....	12
2.2.8	<i>Valor nutricional</i> .....	12
2.3	<b>Hidroponía</b> .....	13
2.3.1	<i>Definición y características</i> .....	13
2.3.2	<i>Ventajas de los cultivos hidropónicos</i> .....	14
2.3.3	<i>Ventajas del NFT</i> .....	15
2.3.4	<i>Desventajas del NFT</i> .....	15
2.4	<b>Soluciones nutritivas</b> .....	16
2.4.1	<i>El pH de la solución nutritiva</i> .....	16
2.4.2	<i>Duración y renovación de la solución nutritiva</i> .....	16
2.4.3	<i>Oxigenación de la solución</i> .....	17
2.4.4	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	18
2.4.5	<i>Componentes esenciales</i> .....	18
2.5	<b>Invernadero</b> .....	20
2.5.1	<i>Que es invernadero</i> .....	20
2.5.2	<i>Tipos de invernadero</i> .....	20
2.5.3	<i>Ventajas de los invernaderos</i> .....	21
2.5.4	<i>Desventajas de los invernaderos</i> .....	22

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	23
3.1	<b>Características del lugar</b> .....	23
3.1.1	<i>Localización</i> .....	23
3.1.2	<i>Ubicación geográfica</i> .....	24
3.1.3	<i>Condiciones climáticas</i> .....	24
3.2	<b>Materiales y equipos</b> .....	25
3.2.1	<i>Equipos</i> .....	25
3.2.2	<i>Materiales</i> .....	25
3.3	<b>Metodología</b> .....	26
3.3.1	<i>Factores de estudio</i> .....	26
3.3.2	<i>Tratamientos</i> .....	26

3.3.3	<i>Diseño experimental</i> .....	27
3.3.4	<i>Variables de respuesta</i> .....	28
3.3.5	<i>Especificaciones del experimento</i> .....	28
3.3.6	<i>Población y selección de la muestra</i> .....	29
3.3.7	<i>Análisis de varianza</i> .....	29
3.3.8	<i>Análisis económico</i> .....	29

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	31
4.1	<b>Longitud radicular en cm</b> .....	31
4.1.1	<i>Longitud radicular en cm a los 15 días</i> .....	31
4.1.2	<i>Longitud radicular en cm a los 30 días</i> .....	32
4.1.3	<i>Longitud radicular en cm a los 45 días</i> .....	34
4.2	<b>Altura de la planta</b> .....	37
4.2.1	<i>Altura de la planta a los 15 días</i> .....	37
4.2.2	<i>Altura de la planta a los 30 días</i> .....	38
4.2.3	<i>Altura de la planta a los 45 días</i> .....	39
4.3	<b>Días a la cosecha</b> .....	43
4.4	<b>Peso de la lechuga</b> .....	43
4.5	<b>Rendimiento (kg/ha)</b> .....	46
4.6	<b>Análisis económico</b> .....	49

## CAPÍTULO V

<b>CONCLUSIONES</b> .....	51
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	52

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Taxonomía de la lechuga. ....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Elementos minerales esenciales para las plantas .....	18
<b>Tabla 3-2:</b>	Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía.....	19
<b>Tabla 1-3:</b>	Lista de tratamientos con dos tipos de soluciones .....	26
<b>Tabla 2-3:</b>	Diseño de la parcela experimental .....	27
<b>Tabla 3-3:</b>	Detalles de la población y muestra del experimento .....	29
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis de varianza .....	29
<b>Tabla 1-4</b>	ANOVA para longitud de la raíz (cm) a los 15 días.....	31
<b>Tabla 2-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable longitud de raíz (cm) a los 15 días .....	32
<b>Tabla 3-4:</b>	Resultados del ANOVA para longitud de la raíz (cm) a los 30 días ....	33
<b>Tabla 4-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable longitud de raíz (cm) a los 30 días .....	33
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados del ANOVA para longitud de la raíz (cm) a los 45 días ....	34
<b>Tabla 6-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable longitud de raíz (cm) a los 45 días .....	35
<b>Tabla 7-4:</b>	Resultados del ANOVA para altura de la planta (cm) a los 15 días.....	37
<b>Tabla 8-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable altura de la planta (cm) a los 15 días .....	37
<b>Tabla 9-4:</b>	Resultados del ANOVA para altura de la planta (cm) a los 30 días.....	38
<b>Tabla 10-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable altura de la planta (cm) a los 30 días .....	39
<b>Tabla 11-4:</b>	Resultados del ANOVA para altura de la planta (cm) a los 45 días.....	40
<b>Tabla 12-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable altura de la planta (cm) a los 45 días .....	40
<b>Tabla 13-4:</b>	Resultados del ANOVA para peso de la lechuga (g).....	44
<b>Tabla 14-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para soluciones con la variable peso de la lechuga (g).....	44
<b>Tabla 15-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable peso de la lechuga (g).....	44

<b>Tabla 16-4:</b>	ANOVA para rendimiento (kg/ha) de tres variedades de lechuga con dos soluciones nutritivas en producción hidropónica.....	46
<b>Tabla 17-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para soluciones con la variable rendimiento (kg/ha).....	47
<b>Tabla 18-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable rendimiento (kg/ha).....	47
<b>Tabla 19-4:</b>	Prueba de Tukey al 5% para interacción soluciones con variedades con la variable rendimiento (kg/ha).....	48
<b>Tabla 20-4:</b>	Análisis económico según la relación beneficio/costo de las tres variedades .....	49

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Componentes del sistema hidropónico.....	14
<b>Ilustración 1-3:</b>	Localización de la investigación .....	23
<b>Ilustración 1-4:</b>	Longitud de la raíz a los 15 días.....	32
<b>Ilustración 2-4:</b>	Longitud de la raíz a los 30 días.....	34
<b>Ilustración 3-4:</b>	Longitud de la raíz a los 45 días.....	35
<b>Ilustración 4-4:</b>	Altura de la planta a los 15 días .....	38
<b>Ilustración 5-4:</b>	Altura de la planta a los 30 días .....	39
<b>Ilustración 6-4:</b>	Altura de la planta a los 45 días .....	41
<b>Ilustración 7-4:</b>	Interacción entre soluciones y variedades .....	41
<b>Ilustración 8-4:</b>	Peso fresco de la lechuga.....	45
<b>Ilustración 10-4:</b>	Relación beneficio/costo .....	49

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** ANÁLISIS DE AGUA
- ANEXO B:** ESQUEMA DEL ENSAYO Y FOTOGRAFÍA
- ANEXO C:** FORMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y LAS DOSIS A EVALUAR
- ANEXO D:** MEDICIÓN DEL PH Y CE Y REGISTRO DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO
- ANEXO E:** REGISTRO DE PESOS FRESCOS DE LA PLANTA Y RAÍZ
- ANEXO F:** COMPARACIÓN DEL DESARROLLO RADICULAR ENTRE PLANTAS DE LA SOL 1 Y SOL 2
- ANEXO G:** MEDICIÓN DE LA ALTURA DE PLANTA Y LA LONGITUD DE RAÍZ
- ANEXO H:** CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA HIDROPONICO
- ANEXO I:** ENSAYO A LOS 15 DIAS
- ANEXO J:** ENSAYO A LOS 30 DIAS
- ANEXO K:** COSECHA A LOS 45 DIAS
- ANEXO L:** REGISTRO DE PH
- ANEXO M:** REGISTRO DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
- ANEXO N:** ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE LONGITUD DE RAÍZ A LOS 15 DÍAS
- ANEXO O:** ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE LONGITUD DE RAÍZ A LOS 30 DÍAS
- ANEXO P:** ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE LONGITUD DE RAÍZ A LOS 45 DÍAS
- ANEXO Q:** ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE ALTURA DE RAÍZ A LOS 15 DÍAS
- ANEXO R:** ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE ALTURA DE RAÍZ A LOS 30 DÍAS

## RESUMEN

El objetivo fue evaluar indicadores de crecimiento de las variedades de lechuga y determinar las soluciones nutritivas más eficaces para estas variedades en condiciones hidropónicas. El estudio se desarrolló en la comunidad de "Pantaño", perteneciente al Cantón Chambo, provincia de Chimborazo, a una altitud de 2750 msnm y coordenadas geográficas de latitud 0,1°65' S y longitud 79°40' O. El estudio consideró las variedades de lechuga V1: Jade, V2: Scarlet y V3: Starfighter, con la aplicación de dos soluciones nutritivas. Se empleó el método NFT (Técnica de Película Nutritiva), se establecieron seis tratamientos, cada uno con tres repeticiones, utilizando un diseño completamente al azar (DBCA). Se realizó el análisis de varianza y se compararon las medias mediante separación de medias de Tukey al 5% de probabilidad. Los datos se recolectaron inicialmente a los 15 días del trasplante y posteriormente cada 15 días. Los resultados que destacaron en cuanto a la longitud de raíz a los 45 días, la V1 (Jade) fue la que presentó mejores resultados donde se registró un promedio de 27,75 cm. En cuanto a la altura de la planta, las variedades V2 (Scarlet) y V3 (Starfighter) alcanzaron los mejores promedios, con 17,56 y 16,43 cm respectivamente. En términos de rendimiento en peso fresco, se observó que la variedad Jade respondió de mejor manera con la solución 2 obteniendo una media de 37612,5 kg ha<sup>-1</sup>.

Palabras clave: CULTIVO HIDROPÓNICO, NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT), SOLUCIÓN NUTRITIVA, VARIEDADES, RENDIMIENTO.

0693-DBRA-UPT-2024

10-06-2024



## ABSTRACT

This investigation aimed to evaluate growth indicators of lettuce varieties and to determine the most effective nutrient solutions for these varieties under hydroponic conditions. The study was carried out in the community of "*Pantaño*", *Chambo* canton, *Chimborazo* province, at an altitude of 2750 m above sea level and geographical coordinates of latitude 0.1°65' S and longitude 79°40' W. The study considered the lettuce varieties V1: Jade, V2: Scarlet and V3: Starfighter, with the application of two nutrient solutions. The NFT (Nutrient Film Technique) method was used, six treatments were established, each with three replications, using a randomized complete block design (RCD). Analysis of variance was performed and means were compared using Tukey's 5% probability mean separation. Data were collected initially 15 days after transplanting and every 15 days thereafter. The results that stood out in terms of root length at 45 days, V1 (Jade) was the one that presented the best results, with an average of 27.75 cm. In terms of plant height, V2 (Scarlet) and V3 (Starfighter) achieved the best averages, with 17.56 and 16.43 cm respectively. In terms of fresh weight yield, it was observed that the Jade variety responded best with solution 2 obtaining an average of 37612.5 kg ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** HYDROPONIC CROP, NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT), NUTRITIVE SOLUTION, YIELD



Esthela Isabel Colcha Guashpa

0603020678

## **INTRODUCCIÓN**

Las condiciones medioambientales privilegiadas que caracterizan al Ecuador han propiciado que el país se posicione como un actor significativo en la producción de diversos productos agrícolas. Entre estos, las hortalizas, como la lechuga que han adquirido un papel relevante, especialmente en varias zonas de la sierra ecuatoriana. Este entorno geográfico diverso proporciona condiciones óptimas para su cultivo, permitiendo una climatización excepcional. No obstante, para maximizar la eficiencia y productividad de estos cultivos, se ha explorado el empleo de sistemas avanzados de producción, como el sistema hidropónico.

La producción de hortalizas utilizando sistemas hidropónicos ha ganado relevancia en la agricultura moderna debido a sus ventajas en términos de eficiencia hídrica y control de nutrientes, además se puede decir que su combinación con un buen manejo de invernadero permite ocasionalmente alcanzar rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto, a esto se puede agregar una fuerte disminución de plagas y por ende el nulo uso de pesticidas, obteniendo así más productos sanos.

Es importante destacar que, según los resultados del III Censo Nacional, la producción de lechuga en el país abarca aproximadamente 1278 hectáreas como monocultivo y 366 hectáreas en cultivos hortícolas diversificados. Se registra un rendimiento promedio de 7,5 toneladas por hectárea, contrastando notablemente con el rendimiento de la lechuga de hoja, que alcanza un promedio de 14 toneladas por hectárea.

Este proyecto se centra en la evaluación de la producción de tres tipologías de lechuga bajo dos soluciones nutritivas en un sistema hidropónico en invernadero en la comunidad de Pantaño, siendo un estudio ventajoso, al permitir un control preciso de los factores ambientales y nutricionales, contribuyendo a potenciar su rendimiento y calidad, optimizando los recursos disponibles, entendiendo que el cultivo de lechuga bajo este sistema, no solo diversifica la oferta de productos agrícolas de alta demanda, sino que también fortalece la dinámica social, al respaldar la economía campesina con una actividad económica, sostenible y rentable.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

Existe escasa información sobre el uso de sistema hidropónico en invernadero para la producción de hortalizas como la lechuga en la comunidad de Pantaño, al igual que existe desconocimiento acerca de que solución nutritiva ayuda o mejora el desarrollo de este cultivo.

### 1.2 Objetivo

#### *1.2.1 Objetivo general*

Evaluar la producción de tres tipologías de lechuga con dos soluciones nutritivas bajo un sistema hidropónico en invernadero en la comunidad de Pantaño.

#### *1.2.2 Objetivo específico*

- Determinar el nivel de adaptación de tres tipologías de lechuga bajo sistema hidropónico en invernadero
- Comparar el efecto de dos soluciones nutritivas en el crecimiento y desarrollo de las lechugas
- Realizar un análisis económico de los tratamientos

### 1.3 Justificación

El contraste significativo en los rendimientos entre la lechuga convencional y de hoja subraya la importancia de explorar métodos de cultivo más eficaces y tecnológicamente avanzados. La incursión en técnicas de cultivo bajo invernadero y la expansión hacia mercados de productos orgánicos representan estrategias prometedoras para fortalecer la economía agrícola del país.

Este estudio se propone como un esfuerzo para contribuir al conocimiento y la optimización de la producción de lechuga en Ecuador, considerando la diversidad geográfica y las oportunidades comerciales emergentes. A través de la implementación de técnicas como el cultivo hidropónico, se busca no solo mejorar la productividad, sino también promover una agricultura sostenible y competitiva a nivel nacional e internacional.

La selección de las soluciones nutritivas es un factor crítico en la producción hidropónica, debido a que influye directamente en el crecimiento, desarrollo y calidad de las plantas. La variación en la composición de estas soluciones puede tener un impacto significativo en los resultados finales. Por lo tanto, es imperativo llevar a cabo una comparación detallada para determinar qué solución nutritiva se adapta mejor a las condiciones específicas de Pantaño.

## **1.4 Hipótesis**

### ***1.4.1 Nula***

Ninguna de las tres tipologías de lechuga con dos soluciones nutritivas bajo el sistema hidropónico en invernadero presenta altos rendimientos

### ***1.4.2 Alternativa***

Al menos una de las tres tipologías de lechuga con dos soluciones nutritivas bajo el sistema hidropónico en invernadero presenta altos rendimientos

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Evaluación

##### 2.1.1 *Que es evaluación*

La evaluación hace referencia a un juicio que tiene por finalidad identificar el valor o la importancia de algo, atendiendo a una serie de normas o criterios establecidos. En el caso de la producción agrícola, la evaluación comprende la medición de los requerimientos y las características de un cultivo para determinar su valor. (Aguilar, 2021, pág. 2237)

Esta medición establece una descripción numérica y objetiva del cultivo, en cuanto a sus características. Para realizar estas mediciones, se pueden emplear diversas técnicas estandarizadas tanto de observación del cultivo como de control de los materiales y procedimientos utilizados. (Campoverde, 2021, pág. 20)

En los cultivos hidropónicos la evaluación es la última etapa del proceso, y en ella se especifican los indicadores cuantitativos y cualitativos que se deben considerar para determinar de manera estandarizada, sistemática y particular las necesidades específicas de suelo, agua, humedad y temperatura requerida por cada sistema.

##### 2.1.2 *Tipos de evaluación*

Las evaluaciones realizadas en los diferentes tipos de cultivos comprenden el análisis de varios factores, procesos y procedimientos asociados con las semillas, la producción y la cosecha de los productos. En este sentido, es necesario incluir listas de variables que son necesarias para los procesos de observación y posterior contraste de datos. (Aguilar, 2021, pág. 2237) En el caso de la producción de hortalizas y plantas se pueden establecer variables como la altura de las plantas, el número de hojas, medidas de la hoja y la cabeza, formas de producción y costos, así como, las variables asociadas a las condiciones ambientales, químicas y físicas de los cultivos. (Ayres, 2023, pág. 2)

Una vez obtenidos los datos, se pueden realizar varias pruebas de contraste de los datos con la finalidad de evaluar las diferencias entre los grupos. Algunas de las pruebas que se pueden emplear son:

- La prueba Tukey, empleada comúnmente en la biología y la agricultura, para comparar combinaciones de datos en conjuntos o grupos de estudio. (Chesniuk, 2023, pág. 1)
- La prueba de Scheffé, en este tipo de prueba la comparación de datos se da en conjuntos o grupos más pequeños, es decir, con pocas combinaciones. (Chesniuk, 2023, pág. 1)

Este tipo de pruebas o evaluaciones deben ser empleadas de acuerdo a la cantidad y tipo de datos que se desean analizar, en comparación con la pregunta de investigación o hipótesis que se desea comprobar. Para esto, se debe considerar que forman parte de análisis estadísticos para la obtención de resultados específicos. (Chesniuk, 2023, pág. 1)

## **2.2 Lechuga**

### ***2.2.1 Origen y distribución geográfica***

La lechuga o *Lactuca sativa* L es una planta anual de la familia Asteraceae, es dicotiledónea y autógama, con un periodo de cultivo corto que varía entre los 55 y hasta los 75 días. Generalmente, tiene forma de roseta y sus hojas se presentan con un aspecto apretado, aunque en algunas de sus variedades se pueden presentar en hojas sueltas, con forma de cogollo o de falso cogollo. (Palma Chambilla, 2019, pág. 3)

La lechuga es una hortaliza que se puede cultivar en distintas zonas, aunque la mayor parte de su producción ocurre en Asia, Norteamérica, África y Europa, principalmente en prados, zonas rocosas hasta en terrenos eriazos. (Ramos et al., 2021, pág. 38)

De acuerdo con lo establecido por varios autores, el origen de la lechuga no está claro, sin embargo, algunos coinciden en que su origen se remonta al antiguo Egipto alrededor del año 4500 a.C., y posteriormente su cultivo se extendió por el Mediterráneo hasta la Europa Occidental. (Ramos et al., 2021, pág. 38) En América, su origen es fechado alrededor del año 1494, cuando a través de los procesos de colonización, los europeos trasladaron esta hortaliza domesticada al territorio americano para su cultivo. Actualmente, los distintos tipos de lechugas cultivados se consideran una hibridación de varias especies que han sufrido ciertos procesos de selección y mutación. (Ramos et al., 2021, pág. 38)

Debido a sus características, la lechuga se considera una hortaliza con “una fuente importante de calcio, hierro, proteínas, tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), ácido ascórbico (vitamina C) y niacina además posee vitaminas E y K”. (Palma Chambilla, 2019, pág. 4) El 94.8% de su peso está constituido por agua, el 1.2% por proteínas, 0.2% de grasa y 2.9% de carbohidratos. (Palma, 2019, pág. 4)

### **2.2.2 *Importancia del cultivo.***

La importancia del cultivo de la lechuga ha ido incrementándose en los últimos años, debido a la diversificación de tipos varietales como al aumento de la gama. (Ramos et al., 2021, pág. 38)

El cultivo de Lechuga por sus características culinarias y nutricionales presenta dinámicas de alto consumo en el comercio gastronómico global, por lo que, su importancia a nivel económico es elevado. Actualmente, su demanda en el mercado culinario internacional se ha incrementado, tanto para consumo en ensaladas como para decoración gastronómica. (Ramos et al., 2021, pág. 38)

### **2.2.3 *Taxonomía y morfología.***

El nombre botánico de la lechuga es *Lactuca sativa* L., término que proviene del latín “lactis” cuyo significado es “leche”. Esta denominación hace referencia a la savia blanca,

también llamado látex, que se desprende de sus vasos conductores. (Ramos et al., 2021, pág. 38). En la siguiente tabla se detallan las características taxonómicas de la lechuga.

**Tabla 1-2:** Taxonomía de la lechuga.

LECHUGA (LACTUCA SATIVA L.)	
Reino:	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Macrophyllophita
Sub- división	Magnoliophytina
Clase	Paenopsida
Subclase	Ateridae
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae/Compositae
Género	Lactuca
Especie	<i>Lactuca sativa</i> L.

Autor: (Pérez, 2021, pág. 3)

La lechuga presenta una gran variabilidad, por lo que su morfología es igualmente muy variada, sin embargo, se pueden encontrar características similares entre ellas. (Ramos et al., 2021, pág. 38).

- Tallo: La lechuga presenta un tallo corto, comprimido y con forma cilíndrica. Este se ramifica en el momento de la cosecha, aunque tiene la capacidad de estirarse antes del tiempo de cosecha por el aumento de la temperatura. (Palma, 2019, pág. 5)
- Hojas: Las hojas de la lechuga comúnmente son de color verde en tonos variados, rojizas o moradas dependiendo de las condiciones de cultivo. En cuanto a sus características particulares, tienen forma de roseta o cogollo dependiendo de la variedad de lechuga, las hojas pueden estar sueltas o más apretadas hacia el interior, no presentan peciolo y tienen ausencia de pelos, el limbo puede variar entre ondulado o liso, su borde y los extremos pueden ser entero, dentado o lobulado. (Carguachi, 2022, pág. 11)

- Raíz: la raíz de lechuga se presenta en forma radicular compuesto por una raíz principal y raíces laterales superficiales. Generalmente no supera los 25 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. (Carguachi, 2022, pág. 10)
- Flor: las flores de la lechuga son hermafroditas y autógama, ramificadas con un promedio entre 15 y 20 flores de color blanco o amarillas. Cada flor tiene cinco estambres soldados y un ovario con dos carpelos. (Palma, 2019, pág. 6)
- Fruto: El fruto o semilla de la lechuga es un aquenio, alargado y que presenta estrías en toda su superficie. Dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo este fruto puede ser de color blanco, crema, pardo o negro. La longitud varía entre los 3 o 4 mm de largo y 1 mm de ancho. (Carguachi, 2022, pág. 11)

### ***2.2.3 Etapas fenológicas.***

Las etapas fenológicas de la lechuga abarcan comprende 5 estadios según (Carguachi, 2022, pág. 13)

- La primera etapa es la Germinación, que tiene una duración de entre 7 y 10 días. Esta etapa requiere alta humedad, ausencia de luz directa, una temperatura entre los 15 y 20 °C. (Carguachi, 2022, pág. 13)
- La segunda etapa es la Plántula: éste es el período de crecimiento que debe ser lento y delicado con una duración de entre 3 y 4 semanas. La temperatura ideal en esta etapa de 18 a 21 °C. En esta etapa comienza el brote apical y el crecimiento del sistema radicular y de las hojas. (Carguachi, 2022, pág. 14)
- La tercera etapa es la de Formación de la Roseta, en este período el aspecto de la planta cambia, desaparecen los peciolos y las hojas se acortan, esto da la forma de roseta. Dependiendo de la variedad en esta etapa la planta puede tener entre 11 y 15 hojas verdaderas. (Carguachi, 2022, pág. 14)
- La cuarta etapa es la de la Formación de Cabeza, en esta etapa dependiendo de la variedad las hojas maduran y dan forma a la cabeza a través del envolvimiento de las hojas internas en el proceso de maduración de la planta. (Carguachi, 2022, pág. 14-15)

- La última etapa es la de Floración y producción de Semillas, esta se presenta en el momento en el que la planta alcanza la madurez fisiológica. (Carguachi, 2022, pág. 15)

#### **2.2.4 Tipologías de lechuga**

La lechuga puede dividirse en cinco variedades botánicas, dentro de las que se incluyen:

- La *Latuca sativa* L. var. *Longifolia*, esta comprende todas las variedades de lechugas romanas, presentan como características generales que no forman cogollos, poseen hojas grandes y alargadas. (Ayres, 2023, pág. 8)
- *Latuca sativa* L. var. *Capitata*, en esta tipología se incluyen todas las variedades que tienen cogollo apretado, con hojas anchas y lisas, poseen una textura mantecosa. (Ayres, 2023, pág. 8)
- *Latuca sativa* L. var. *crispa* L., esta tipología incluye las lechugas denominadas iceberg y las Batavia. (Ayres, 2023, pág. 8)
- *Lactuca sativa* L. var. *Acephala* Dill, en esta se encuentran las lechugas llamadas Lollo Rosa, dentro de sus características principales se puede mencionar que tienen hojas sueltas y no forman cogollo. (Ayres, 2023, pág. 8)
- *Latuca sativa* L. var. *Augustuana* All., este tipo de lechuga es de tallo con hojas de color verde o rojo. (Ayres, 2023, pág. 8)

#### **2.2.5 Variedades**

Las lechugas se pueden agrupar en distintas variedades de acuerdo con algunas de sus características agronómicas. Entre estas características se encuentran la capacidad de formar cogollo, consistencia de las hojas o la capacidad de adaptación a las estaciones del año. (Cevallos, 2020, pág. 12)

Una clasificación general expuesta por (Ruíz, 2022), las divide en lechugas de cabeza que pueden incluir variedades como Icevic, Grandes Lagos, Coolguard y Arizona, estas se caracterizan de forma general formar un cogollo apretado y redondo, con hojas de bordes rizados, gruesas y crujientes. (págs. 7-12). Otra variedad es la denominada lechugas tipo mantequilla, que son aquellas que presentan una cabeza cerrada con hojas lisas, suaves y grasosas (Ruíz, 2022, págs. 7-12). También se encuentran las lechugas romanas, que poseen hojas alargadas y un cogollo medianamente apretado, tienen coloración verde o rojo oscuro (Ruíz, 2022, págs. 7-12). Por último, se mencionan las lechugas sin cabeza, que poseen hojas sueltas, lisas y blandas, su color va desde el verde oscuro al morado. (Ruíz, 2022, págs. 7-12)

Considerando estas características, algunos autores presentan una clasificación más detallada de algunas variantes de lechugas, algunas que se pueden encontrar son las siguientes:

- Lechuga Romana: pertenece a la variedad botánica longiflora, una de sus características es que no forma cogollo, sus hojas tienen forma oblonga y su nervio central es ancho. (Cevallos, 2020, pág. 14)
- Lechuga Valladolid: esta variedad se caracteriza por tener piezas compactas en forma de repollo prieto, de color verde oscuro con hojas brillantes y de borde liso. Es una variedad adaptada a la estación del invierno. (Cevallos, 2020, pág. 14)
- Lechuga Inverna: esta variedad suele ser de color verde claro, sus hojas son anchas y finas con el borde dentado, son una variedad voluminosa y redondeada, aunque su repollo es menos prieto que en otras variedades. (Cevallos, 2020, pág. 14)
- Lechuga Parrish Island o Cos: esta variedad posee un color verde intenso y hojas redondeadas, gruesas y crujientes. (Cevallos, 2020, pág. 14)
- Lechuga Romana del Prat: son una variedad que se caracteriza por su buen sabor y textura. Son lechugas con hojas estrechas y finas de borde liso, generalmente son de color verde intenso. (Cevallos, 2020, pág. 14)
- Lechuga Iceberg: este tipo de lechuga pertenece a la variedad botánica capitata.

(Cevallos, 2020, pág. 15)

- Lechuga Empire: esta variedad es de color verde con hojas poco abullonadas con bordes rizados. Esta variedad se ha adaptado a los climas cálidos. (Cevallos, 2020, pág. 15)
- Lechuga Grandes Lagos: esta variedad de lechuga tiene hojas de color verde brillante con el borde uy rizado. Forma cogollos medianos, y en la actualidad, casi no se cultiva. (Cevallos, 2020, pág. 15)
- Lechuga Calmar: dentro de las características de esta variedad, se puede mencionar que posee una hoja verde brillante y con bordes rizados. Igual que la lechuga grandes lagos, casi no se cultiva en la actualidad. (Cevallos, 2020, pág. 15)
- Lechuga Salinas: esta variedad es de las más comercializadas y se caracteriza por tener buenos cogollos esféricos, con hojas de color verde mate, un poco abullonadas y de borde liso. (Cevallos, 2020, pág. 15)
- Lechuga Trocadero: esta pertenece a la variedad botánica capitata, dentro de sus características se puede mencionar que tienen hojas finas y largas de color verde, poseen un tallo corto de color blanco algo redondeado, son mantecosas y forman cogollos. (Cevallos, 2020, pág. 15)
- Lechuga Batavia: esta variedad se caracteriza por formar cogollos y sus hojas son crujientes con borde dentado. Pertenece a la variedad botánica capitata. (Cevallos, 2020, pág. 15)

## **2.2.6 Variedades utilizadas**

### **2.2.6.1 Jade Lechuga semi verde**

Esta variedad de lechuga es de tipo Batavia verde y tiene como características principales que es grande y voluminosa con hojas crespas de color verde. Su período de producción dura aproximadamente 60 días, por lo que se considera bastante rápido. Su cultivo puede adaptarse a cualquier estación o época del año. (Ruíz, 2022, pág. 12)

### *2.2.6.2 Scarlet roja de hoja*

La lechuga Scarlet es de tipo Batavia, esta variedad es crespa y morada. Dentro de sus características se incluyen que es una variedad grande, aunque tiene un ciclo rápido de cultivo de alrededor de 40 días, y alto nivel de resistencia a Bl razas 1 a 16, 21 y 23, mientras que al Psp, presente un nivel moderado de resistencia. El cultivo de esta variedad puede adaptarse a cualquier época del año. (Pérez, 2021, págs. 12-13)

### *2.2.6.3 Starfighter verde de hoja*

La lechuga Starfighter es de tipo Batavia, tiene como características que posee hojas sueltas rizadas y de color verde, presenta una alta uniformidad, y resistencia al calor. El período de cosecha es de aproximadamente 52 días. (Toral, 2022, pág. 4)

### **2.2.7 Cosecha**

La siembra de la lechuga se puede producir de forma diferente, puede ser directa, por trasplante o mixta. (Tejada, 2022, pág. 19) Cada una de estas, requiere de diferentes tiempos y condiciones para que se pueda originar la cosecha. En el caso de las variedades de lechugas que presentan hojas sueltas, el tiempo de cosecha se produce cuando las hojas terminales y las de abajo no están quebradizas. En las variedades de lechugas que forman cabezas, el tiempo de cosecha se produce cuando las hojas estén bien compactas. (Carguachi, 2022, pág. 21)

Los periodos en los que se puede dar la cosecha dependiendo de la variedad de lechuga pueden alcanzar los 100 días. (Tejada, 2022, pág. 29)

### **2.2.8 Valor nutricional**

El valor nutricional de la lechuga radica en que su consumo aporta una gran cantidad de minerales importantes como el fósforo, el calcio, el hierro y el zinc; además de compuestos antioxidantes como fenoles, vitaminas, carotenos y clorofila. (Pérez, 2021, pág. 4). En algunas variedades, la lechuga puede aportar una alta concentración de

vitamina A y C (Ramos et al., 2021, pág. 38) Igualmente, puede aportar pequeñas cantidades de bsitosterol, stigmasterol y campesterol, fitoesteroles, que contribuyen a la reducción de los niveles de colesterol. (Pérez, 2021, pág. 4)

Este aporte nutricional cambia dependiendo de la variedad de lechuga y de las características que estas posean, como el color, la cabeza y calidad de las hojas. (Pérez, 2021, pág. 4)

Del mismo modo, la lechuga contiene propiedades medicinales que contribuyen al proceso de digestión, tiene propiedades calmantes, contribuye a evitar el insomnio y, en algunos casos, puede ser utilizada en preparaciones para aliviar los síntomas de irritación, alergia o quemaduras. (Ramos et al., 2021, pág. 38)

## **2.3 Hidroponía**

### **2.3.1 Definición y características**

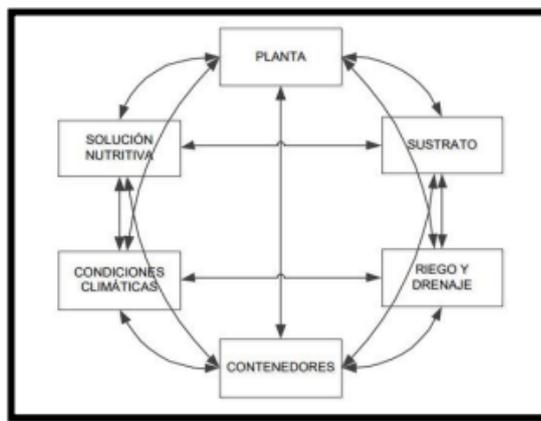
La producción tradicional de diversos tipos de alimentos en muchos casos se ha visto comprometida debido a las condiciones de contaminación ambiental y cambios climáticos. Estas situaciones han contribuido a que la población deba generar nuevas formas de producción en entornos controlados que garanticen una correcta producción de los alimentos. (Rojas, 2019, pág. 10) De acuerdo con esto, se han creado diversas técnicas que permiten el cultivo de los productos, entre las que se pueden mencionar la hidroponía.

La hidroponía es un sistema de producción agrícola que comprende un conjunto de técnicas que se pueden emplear para el cultivo de plantas, hortalizas y semillas sin el uso de la tierra. (Flores, 2020, pág. 14) Es decir, que el cultivo de las distintas especies se realiza en un sistema aislado del suelo, pero con el suministro adecuado de todos los nutrientes que estos productos necesitan para desarrollarse adecuadamente. (Flores, 2020, pág. 14)

Estas técnicas son empleadas principalmente en lugares donde la producción de éstos es restringida, y se emplean estructuras simples o complejas para lograr la producción de los

cultivos en áreas que poseen suelos infértiles o terrenos escabrosos. (Aguilar, 2021, pág. 2241)

Los cultivos hidropónicos requieren una serie de sistemas y componentes que garanticen que las condiciones de temperatura, humedad y luz son apropiadas para el desarrollo de las plantas y hortalizas que se cultivan. (Flores, 2020, pág. 16) Los componentes antes mencionados se pueden agrupar, tal como se aprecia en la Figura 1, para determinar el tipo de sistema hidropónico que se emplea en cada cultivo.



**Ilustración 1-2:** Componentes del sistema hidropónico

Autor: (Flores, 2020, pág. 16)

### 2.3.2 *Ventajas de los cultivos hidropónicos*

Los cultivos hidropónicos poseen varias ventajas que favorecen la producción de plantas y diversas hortalizas. Entre ellas se pueden mencionar que este tipo de cultivos no presenta los problemas asociados con las enfermedades producidas por el suelo, reducen los costos relacionados con la siembra y el terreno, requieren menos consumo de agua en la producción, proporciona un mejor aprovechamiento de los recursos, minerales y nutrientes necesarios para el cultivo, por sus características utiliza espacios que no son empleados en la agricultura tradicional y por lo tanto genera mayor producción de cosechas por año. (Flores, 2020, pág. 15) Esto se refleja al permitir una concentración más elevada de plantas por metro cuadrado, tal es el caso del cultivo de lechugas. (Beltrano, 2015, pág. 18)

Otras ventajas que se pueden mencionar, es que a través de este tipo de cultivos existe menor dependencia de las estaciones año ya que es una zona de cultivo protegida, puede realizarse de forma automatizada, autónoma, sin empleo de maquinarias pesadas y por ende una considerable reducción de contaminación de los recursos naturales; igualmente, los productos obtenidos a través de este tipo de cultivo tienen menos agentes contaminantes ya que se pueden emplear insecticidas orgánicos. (Cevallos, 2020, pág. 8)

### ***2.3.3 Ventajas del NFT***

El Nutrient Film Technique o Técnica de la Película Nutriente (NFT) es una técnica de cultivo de plantas que consiste en la circulación continua de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas. (Soares et al., 2019, pág. 2) Se suele emplear principalmente en el cultivo de hortalizas como lechugas, acelga, berro, especias como la albahaca y algunos frutos como el tomate o el pepino. (Flores, 2020, pág. 28)

En esta técnica aplicada a la hidroponía, se emplea un sistema radicular sumergido en una lámina de agua por la que circula la solución nutritiva, donde las raíces se encuentran sumergidas y pueden absorber los nutrientes necesarios para desarrollarse. (Flores, 2020, pág. 28). La ventaja que ofrece la NFT es que produce una mayor calidad en los productos, además de obtener las cosechas en un menor tiempo. (Flores, 2020, pág. 28)

Otras ventajas que se pueden mencionar es la eficiencia en el empleo de minerales necesarios para el desarrollo de las plantas ya que las raíces tienen contacto directo con la solución nutritiva de forma directa, evita los constantes procesos de desinfección por lo que proporciona alta densidad en la plantación y un máximo aprovechamiento del espacio de cultivo. (Cevallos, 2020, pág. 10)

### ***2.3.4 Desventajas del NFT***

El cultivo empleando las técnicas del NFT tiene pocas desventajas según lo que refieren algunos autores. Algunas de las que se pueden mencionar es que es indispensable que el personal que labora en este tipo de cultivos debe contar con preparación especializada en

los requerimientos del sistema para su construcción y manejo, al igual que preparación en el área de química para la elaboración de las soluciones nutritivas que se emplean. (Cevallos, 2020, pág. 11) Por otra parte, los costos de inversión inicial para la construcción de este tipo de sistemas especializados son elevados. (Cevallos, 2020, pág. 11)

## **2.4 Soluciones nutritivas**

La solución nutritiva es una mezcla que se obtiene con la mezcla de agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales que se encuentran en forma iónica. Dichos nutrientes dependen de la especie, variedad, etapa fenológica de la planta que se desea cultivar, así como de las condiciones ambientales. (Cevallos, 2020, pág. 18) De forma general, las soluciones nutritivas contienen macronutrientes que incluyen: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, molibdeno, cloro y azufre. (Flores, 2020, pág. 28)

### **2.4.1 *El pH de la solución nutritiva***

La solución nutritiva debe tener un pH ácido o básico, que influye en la solubilidad de los iones. Su función es mantener los iones saludables para la planta, de forma que contribuya con la nutrición de la misma. El pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones. El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición. (Flores, 2020, pág. 38)

Para la absorción de los nutrientes adecuados el rango de pH debe estar alrededor de los 5,5 y 7. Cuando estos valores cambian se deben realizar las adecuaciones necesarias para acidificar la solución. (Cevallos, 2020, pág. 21)

### **2.4.2 *Duración y renovación de la solución nutritiva***

La duración de la solución nutritiva en muchos casos depende de las condiciones ambientales y los cambios que se producen durante el proceso de cultivo, sin embargo, se puede decir que en promedio para la mayoría de los cultivos la duración es de alrededor

de 30 días, con el proceso de oxigenación de estas dos veces al día. (Ayres, 2023, pág. 21)

Es por esto que las propiedades de la solución deben evaluarse continuamente para garantizar que contenga todos los nutrientes requeridos para el desarrollo de los cultivos. (Ayres, 2023, pág. 21) A medida que las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas cambian, se deben realizar los ajustes pertinentes en la solución nutritiva. (Ayres, 2023, pág. 21) La estabilidad de la solución permitirá prolongar los tiempos de renovación preservando agua y nutrientes y favoreciendo el cuidado del ambiente. (Ayres, 2023, pág. 21)

El crecimiento de las plantas genera que la absorción de los nutrientes cambie, por lo que, la solución nutritiva acumula iones, situación que puede generar un aumento de la electroconectividad de la solución. (Ayres, 2023, pág. 21) Esta situación disminuye los nutrientes de la solución impidiendo el correcto desarrollo y crecimiento de la planta, derivando en síntomas de toxicidad de los nutrientes. (Ayres, 2023, pág. 21)

Cuando se presentan estas situaciones, el procedimiento es ajustar la solución nutritiva antes de que ocurran efectos adversos en el desarrollo del cultivo. Para tal fin, se deben evaluar continuamente los procesos, partiendo de la observación y el testeo para encontrar el balance más adecuado para las producciones individuales. (Ayres, 2023, pág. 21)

### ***2.4.3 Oxigenación de la solución***

Para que la solución nutritiva ofrezca todos los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, es necesario que este se oxigene correctamente. Los valores mínimos para esto suelen ser de 8-9 mg O<sub>2</sub>/lt de SN. (Cevallos, 2020, pág. 20)

Para que la solución nutritiva alcance y mantenga estos valores se pueden emplear diversos mecanismos que incluyen la inclusión de agitadores, recirculación de la solución y hasta, agregando el oxígeno puro. (Cevallos, 2020, pág. 20) Para que la oxigenación sea la adecuada es importante el control de la temperatura y considerar el tamaño del

contenedor, ya que estos elementos influyen en el aumento o disminución de los valores de oxigenación del sistema. (Cevallos, 2020, pág. 20)

#### **2.4.4 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es el parámetro que se relaciona con la medición del total de sales disueltas en el agua que permiten la conducción de corriente eléctrica en la solución nutritiva. (Cevallos, 2020, pág. 21), (Flores, 2020, pág. 39) Estos valores ofrecen la información necesaria para determinar si la solución contiene la cantidad exacta de nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos. (Cevallos, 2020, pág. 21) Es decir, que con este parámetro se puede determinar el correcto crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. (Flores, 2020, pág. 39)

En el caso de los cultivos hidropónicos se suele emplear el Factor de conductividad (Fc) en un rango de 15 a 30 aproximadamente. (Cevallos, 2020, pág. 21) Este se define como  $(Fc) = C.E. (mS/cm) \times 10$ , es decir, un  $Fc=20$  equivale a 2 mS/cm. (Cevallos Mendoza, 2020)

Cuando se emplea el sistema NFT, la conductividad eléctrica es uno de los parámetros indispensables para compensar la escasez o exceso de nutrientes en la solución. (Cevallos, 2020, pág. 21). Para que este valor sea óptimo, debe estar en un rango de entre: 1,5-2,5 mS/cm. (Cevallos, 2020, pág. 21)

En el caso de la lechuga la formulación de la solución considerando el agregado de sales se ubica en un rango de entre 1.8 y 2.5. (Flores, 2020, pág. 39)

#### **2.4.5 Componentes esenciales**

Los componentes esenciales para la solución nutritiva son los siguientes:

**Tabla 2-2:** Elementos minerales esenciales para las plantas

Elemento mineral	Peso atómico
------------------	--------------

MACRONUTRIENTES	
Nitrógeno	14
Fósforo	31
Potasio	39
Calcio	40
Magnesio	24
Azufre	32
MICRONUTRIENTES	
Hierro	56
Manganeso	55
Zinc	65,5
Boro	11
Cobre	64
Molibdeno	96
Cloro	35,5

Autor: (Flores, 2020, pág. 18)

**Tabla 3-2:** Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía

Nombre químico	Solubilidad (gr /litro)
Nitrato de calcio	1220
Nitrato de potasio	130
Nitrato de magnesio	279
Fosfato Mono potásico	230
Sulfato de magnesio	710
Sulfato de potasio	111
Sulfato de manganeso	980
Ácido bórico	60
Sulfato de cobre	310
Sulfato de zinc	960
Molibdato de amonio	430

Autor: (Flores, 2020, pág. 18)

## **2.5 Invernadero**

### **2.5.1 *Que es invernadero***

Un invernadero es una estructura cerrada no hermética, que puede ser construida con diferentes tipos de materiales como metal o madera, y que se encuentra recubierto con una estructura exterior de vidrio o plástico. (Carguachi, 2022, pág. 4) Debido a este modelo de construcción, permite que en su interior se genere un microclima que es capaz de producir las condiciones necesarias para que se obtengan cultivos de alta calidad en cualquier estación del año. (Carguachi, 2022, pág. 4)

Los invernaderos se han empleado en los procesos de cultivo de diferentes tipos de productos en distintas regiones, debido a que son capaces de producir las condiciones ambientales y climáticas apropiadas para la producción eficiente de diversas especies. Su uso se ha incrementado en los últimos años debido a su capacidad proteger los cultivos de las condiciones ambientales externas que pueden perjudicar su crecimiento y desarrollo. (Peris, 2020, pág. 1)

### **2.5.2 *Tipos de invernadero***

La clasificación de los invernaderos depende de varios factores, como, por ejemplo, de acuerdo con su estructura, la forma de fijación, el tipo de material, y otras. Con relación a su estructura se pueden dividir de la siguiente forma:

- Invernadero tipo capilla o multicapilla, en este tipo de invernadero la estructura puede estar formada por arcos o por dos planos inclinados. El ancho aproximado es de 12 a 16 metros y su altura entre los 4 y 5,50 metros. En algunos casos pueden presentar dos o más naves continuas. (Campoverde, 2021, pág. 25)
- Invernaderos góticos, este tipo de invernadero posee arcos con un diseño medieval, por lo que tienen un mayor volumen interior. Su ancho aproximado es entre 8 y 9,60 metros, con una altura de entre 4 y 5 metros. (Campoverde, 2021, pág. 25)

- Invernadero túnel o semicilíndrico, en este, las paredes son curvas y tiene una longitud de entre 8 y 9.60 metros de ancho y una altura de entre 3.5 y 5 metros. (Campoverde, 2021, pág. 25)
- Invernadero tipo parral, este invernadero tiene techo inclinado, una parte vertical y otra horizontal con una altura de 50 metros. Es recomendado su uso para zonas de pocas lluvias. (Campoverde, 2021, pág. 25)
- Invernadero en raspa y amagado, en este invernadero hay dos alturas, una denominada raspa que alcanza una altura de 3 y 4.2 metros, y otra denominada amagado, que tiene una menor altura de entre 2 y 2.8 metros. Esta variedad lo provee de un canal intermedio que permite el aprovechamiento del agua de lluvia. (Campoverde, 2021, pág. 25)
- Invernadero asimétrico, este tipo de invernadero se emplea generalmente en zonas de climas cálidos debido a su orientación Este-Oeste. La altura promedio es de 9.60 metros. (Campoverde, 2021, pág. 26)

### 2.5.3 *Ventajas de los invernaderos*

La producción de diferentes tipos de plantas, hortalizas o frutas en invernaderos tiene varias ventajas dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Aumento de la producción, debido a que en los invernaderos se crean las condiciones adecuadas para que los cultivos consigan un mayor desarrollo en un tiempo de cosecha menor. De igual forma, al ser un ambiente controlado se pueden plantar o producir una mayor cantidad de productos a la vez. (Carguachi, 2022, pág. 7)
- Elevación del rendimiento en la producción, esto se refiere a que las condiciones generadas en el invernadero permiten que el desarrollo de los cultivos sea más rápido y eficiente que en el cultivo tradicional. (Carguachi, 2022, pág. 7)
- Disminución en el riesgo de la producción, debido a que al ser un espacio protegido y con las condiciones controladas, el daño que puede generarse en el cultivo producto de los cambios climáticos o ambientales y el desarrollo de enfermedades o plagas se reduce considerablemente. (Carguachi, 2022, pág. 7)

- Mejor control de plagas y enfermedades, ya que están contruidos para evitar o disminuir el riesgo de daño por el desarrollo de este tipo de eventos adversos. (Carguachi, 2022, pág. 7)
- Creación de condiciones idóneas para la investigación, es decir, que por las condiciones que se crean en los invernaderos los procesos de análisis e investigación de los cultivos se facilita, ya que se cuentan con las herramientas para obtener datos más precisos. (Carguachi, 2022, pág. 7)
- Cultivo de productos de alta calidad, debido a las condiciones favorables en el desarrollo de los cultivos, los productos obtenidos poseen una mejor calidad, sabor y presentación. (Carguachi, 2022, pág. 7)

#### **2.5.4 Desventajas de los invernaderos**

Como en todos los sistemas de cultivo, además de las ventajas, algunas condiciones pueden generar ciertas desventajas en cuanto a la producción. En este sentido, se pueden mencionar las siguientes:

- Requiere una inversión inicial más elevada que en la siembra tradicional, debido a los procesos y materiales de construcción, la creación de invernaderos es elevada en un inicio. (Carguachi, 2022, pág. 8)
- Falta de conocimiento en la construcción, para que sea efectivo y eficiente, las construcciones de invernaderos deben ser realizadas bajo estrictos requerimientos que permitan lograr las condiciones para que los cultivos se desarrollen de forma correcta y favorable. (Carguachi, 2022, pág. 8)
- Elevados costos de producción, esto ocurre porque los invernaderos son estructuras que poseen un funcionamiento complejo, lo que incide en el costo de mantenimiento y producción. (Carguachi, 2022, pág. 8)
- Requieren un elevado nivel de capacitación, es decir, que las personas encargadas de la producción en invernaderos deben estar capacitadas para controlar la producción y resolver los problemas que se puedan presentar en su funcionamiento. (Carguachi, 2022, pág. 8)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Características del lugar

##### 3.1.1 Localización

El presente estudio se realizó en la comunidad de Pantaño perteneciente al cantón Chambo, Provincia de Chimborazo.



**Ilustración 1-3:** Localización de la investigación

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

## **3.2 Metodología**

### **3.2.1 Ubicación geográfica**

La ubicación geográfica del lugar se encuentra a una altura de 2750 msnm a 0,1°65' Latitud Sur y 79°40' Longitud Oeste.

### **3.2.2 Condiciones climáticas**

Las condiciones climatológicas en el cantón Chambo son:

#### **3.2.2.1 Temperatura**

La temperatura media anual en Chambo es 12° C a 18° C.

#### **3.2.2.2 Precipitación**

La precipitación media anual es 3498 mm.

#### **3.2.2.3 Humedad media**

La humedad media es del 83%

#### **3.2.2.4 Índice UV**

Índice UV es 2 lo que indica una exposición solar baja, lo que significa que no hay una alta intensidad de radiación UV, en este caso para la lechuga, esto podría significar que se encuentra en un estado donde no se verá afectada negativamente por la radiación UV, ya que es una planta sensible a la luz.

### 3.2.2.5 *Promedios climáticos de todo el año*

- Día: la temperatura media diurna está entre 11°C y 15°C durante el día
- Noche: la temperatura media nocturna está entre 3°C y 6°C
- Lluvia: 3498 mm precipitaciones
- Horas de sol: a lo largo del año hay 3271 horas de sol.

## 3.3 **Materiales y equipos**

### 3.3.1 *Equipos*

- Bomba de 2 HP
- Balanza digital
- Peachimetro

### 3.3.2 *Materiales*

- Tubos 4'' pvc
- Tubos 32 mm pvc
- Taponos 32mm pvc
- Codos 32 mm pvc
- T 32 mm pvc
- Adaptadores M 1''
- Conectores 12 mm
- Pega
- Manguera 12 mm
- Válvulas de paso
- Tanque de 120 L
- Taladro y brocas
- Variedades de lechuga
  - a) Jade – lechuga semi verde

- b) Scarlet de hoja roja
- c) Starfighter de hoja verde
- Sales para soluciones nutritivas
  - a) Nitrato de amonio
  - b) Nitrato de potasio
  - c) Nitrato de calcio
  - d) Fosfato monopotásico

### 3.4 Metodología

#### 3.4.1 Factores de estudio

##### 3.4.1.1 Soluciones de nutritivas

- Solución 1
- Solución 2

##### 3.4.1.2 Variedades

- V1 (Jade – lechuga semi verde)
- V2 (Scarlet de hoja roja)
- V3 (Starfighter de hoja verde)

#### 3.4.2 Tratamientos

Los tratamientos aplicados y que resultan de la combinación de los factores en estudio se presentan en la tabla 4.

**Tabla 1-3:** Lista de tratamientos con dos tipos de soluciones

Numero	Tratamiento	Descripción
1	S1V1	Solución 1 (Nitrato de amonio 0,33 g/L; nitrato de calcio 0,46 g/L; nitrato de potasio 0,28 g/L y microelementos 0.03 g/L) variedad 1 (Jade – lechuga semi verde)

2	S1V2	Solución 1 (Nitrato de amonio 0,33 g/L; nitrato de calcio 0,46 g/L; nitrato de potasio 0,28 g/L y microelementos 0.03 g/L) variedad 2 (Scarlet de hoja roja)
3	S1V3	Solución 1 (Nitrato de amonio 0,33 g/L; nitrato de calcio 0,46 g/L; nitrato de potasio 0,28 g/L y microelementos 0.03 g/L) variedad 3 Starfighter de hoja verde
4	S2V1	Solución 2 (Nitrato de amonio 0,33 g/L; nitrato de calcio 0,46 0,33 g/L; fosfato monopotásico 0,22 y microelementos 0.03 g/L g/L) variedad 1 (Jade – lechuga semi verde)
5	S2V2	Solución 2 (Nitrato de amonio 0,33 g/L; nitrato de calcio 0,46 g/L; fosfato monopotásico 0,22 g/L y microelementos 0.03 g/L) variedad 2 (Scarlet de hoja roja)
6	S2V3	Solución 2 (Nitrato de amonio 0,33 g/L; nitrato de calcio 0,46 g/L; fosfato monopotásico 0,22 g/L y microelementos 0.03 g/L) variedad 3 Starfighter de hoja verde

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

### 3.4.3 *Diseño experimental*

Se aplicó un diseño completo al azar (DCA), con tres repeticiones y 6 tratamientos, contando así con 18 unidades experimentales. Se detalla el diseño de la parcela experimental.

**Tabla 2-3:** Diseño de la parcela experimental

	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>
<b>Tratamiento 1</b>	S1V1	S1V2	S1V3
	S1V2	S1V3	S1V1
	S1V3	S1V1	S1V2
<b>Tratamiento 2</b>	S2V1	S2V2	S2V3
	S2V2	S2V3	S2V1
	S2V3	S2V1	S2V2

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

### 3.4.4 Variables de respuesta

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

Con la ayuda de una regla graduada se midió este parámetro en 90 plantas tomadas al azar de la parcela neta, a los 15, 30 y 45 días respectivamente, desde el tallo hasta el ápice de la hoja.

#### 3.4.4.2 Longitud radicular (cm)

Con una regla graduada se midió esta variable en 90 plantas tomadas al azar de la parcela neta, a los 15, 30 y 45 días respectivamente, desde el cuello hasta la cofia.

#### 3.4.4.3 Días a la cosecha

Se registraron los días desde el trasplante hasta la cosecha de cada variedad de lechuga

#### 3.4.4.4 Rendimiento ( $\text{kg. ha}^{-1}$ )

El rendimiento se obtuvo sumando el peso total de las lechugas cosechadas de la parcela neta, expresando los valores en kilogramos por hectárea.

### 3.4.5 Especificaciones del experimento

**Tabla 3-3:** Especificaciones del área experimental

<b>Parámetro</b>	<b>Niveles</b>
<b>Soluciones (S):</b>	2
<b>Numero de variedades (V):</b>	3
<b>Número de tratamientos (S x V):</b>	6

<b>Unidades experimentales totales:</b>	18
<b>Área de la unidad experimental:</b>	10 m <sup>2</sup>
<b>Área total del ensayo:</b>	20 m <sup>2</sup>

---

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

### 3.4.6 Población y selección de la muestra

**Tabla 4-3:** Detalles de la población y muestra del experimento

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Distancia entre plantas</b>	0,15	m
<b>Distancia entre hileras</b>	0,3	m
<b>Número de hileras</b>	9	hileras
<b>Plantas por hilera</b>	24	plantas
<b>Número total de plantas</b>	306	plantas
<b>Área total del ensayo</b>	20	m <sup>2</sup>
<b>Unidades experimentales totales:</b>	18	unidades experimentales
<b>Plantas por unidad experimental:</b>	15	plantas
<b>Plantas muestra por unidad experimental</b>	5	plantas
<b>Muestra total</b>	90	plantas

---

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

### 3.4.7 Análisis de varianza

**Tabla 5-3:** Análisis de varianza

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Fórmula</b>	<b>g l</b>
<b>Total</b>	(R*T)-1	17
<b>Repeticiones</b>	R-1	2
<b>Soluciones</b>	S-1	1
<b>Variedades</b>	V-1	2
<b>ERROR</b>	(R-1) (S-1) (V-1)	12

---

Realizado por: Robayo, Karen, 2023

### 3.4.8 Análisis económico

Después de completar la investigación, se logró determinar todos los costos de producción asociados con cada tratamiento, abarcando tanto los costos de la implementación como los costos variables. Además, se llevaron a cabo cálculos detallados para estimar los ingresos generados por las ventas de la lechuga. Posteriormente, se procedió a realizar un análisis de la relación entre los beneficios obtenidos y los costos B/C (Beneficio/Costo).

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Longitud radicular (cm)

##### 4.1.1 Longitud radicular (cm) a los 15 días

El análisis de varianza para la longitud radicular a los 15 días (Tabla 1-4) indica que no hay diferencias significativas entre las soluciones utilizadas por lo cual se acepta la  $H_0$ . Sin embargo, se observan diferencias altamente significativas entre las variedades con un p-valor 0,0009, por lo tanto, se toma la hipótesis alterna. Además, el coeficiente de variación alcanzó un valor del 12,6 %, con un promedio de 17,13 cm.

**Tabla 1-4:** ANOVA para longitud de la raíz (cm) a los 15 días

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor
Total	17	
Soluciones	1	0,1604
Variedades	2	0,0009 **
Soluciones*Variedades	2	0,7434
Error	12	4,66
CV %	12,6	
Promedio	17,13	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

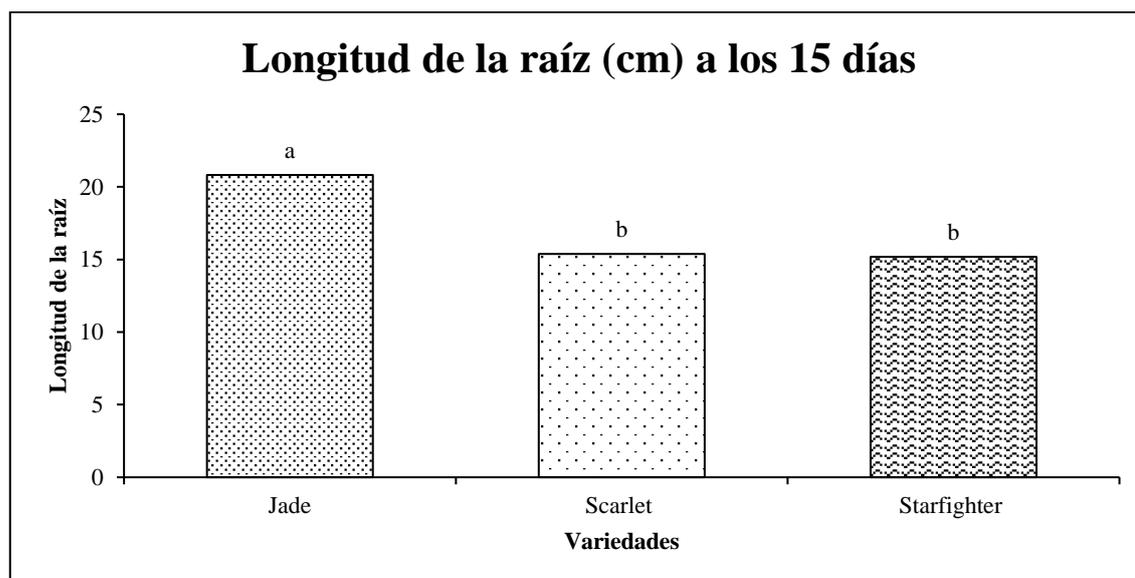
**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 2-4), (Ilustración 1-4) para longitud radicular a los 15 días, se identificaron dos rangos de significación estadística, en el rango “b” se encuentran la V2 (Scarlet) y V3 (Starfighter) con medias de 15,3 y 15,18 cm respectivamente, mientras que en el rango a se encuentra V1(Jade) con una media de 20,82 cm.

**Tabla 2-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable longitud de raíz (cm) a los 15 días

Variedades	Código	Longitud (cm)	Rango
Jade	V1	20,82	a
Scarlet	V2	15,38	b
Starfighter	V3	15,18	b

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.



**Ilustración 1-4:** Longitud de la raíz a los 15 días

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

#### 4.1.2 Longitud radicular (cm) a los 30 días

El análisis de varianza para la longitud radicular a los 30 días (Tabla 3-4) indica que no hay diferencias significativas entre las soluciones utilizadas por lo cual se acepta la  $H_0$ . Sin embargo, se observan diferencias altamente significativas entre las variedades con un p-valor 0,0008, por lo tanto, se toma la hipótesis alterna. Además, el coeficiente de variación alcanzó un valor del 6,83 %. Con un promedio de longitud radicular de 25,7 cm.

**Tabla 3-4:** Resultados del ANOVA para longitud de la raíz (cm) a los 30 días

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor
Total	17	
Soluciones	1	0,7056
Variedades	2	0,0008 **
Soluciones*Variedades	2	0,404
Error	12	3,08
CV %	6,83	
Promedio	25,7	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

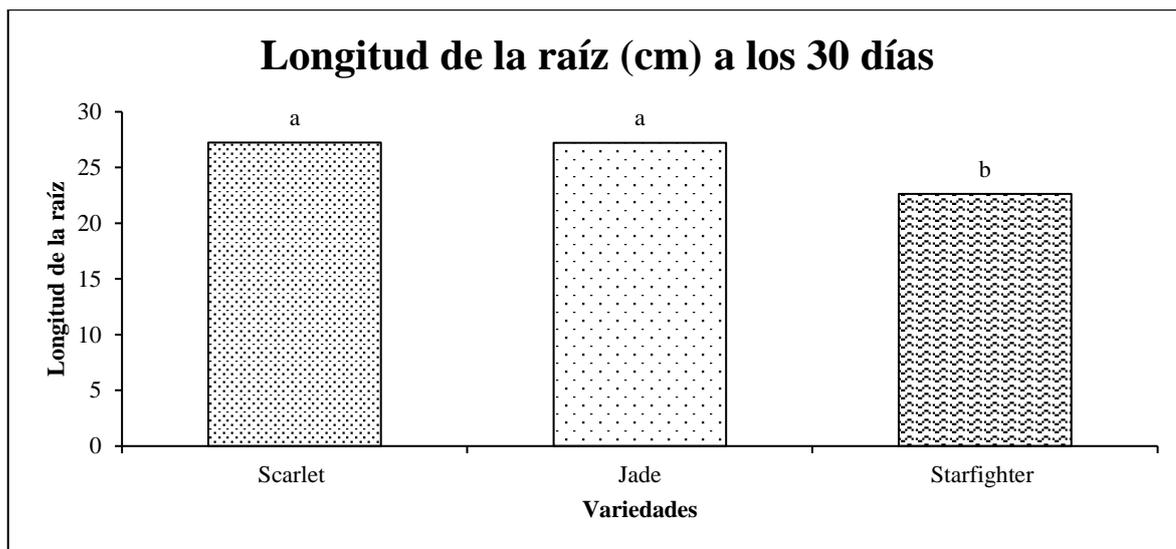
**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 4-4), (Ilustración 2-4) para longitud radicular a los 30 días, se identificaron dos rangos de significación estadística, en el rango “a” se encuentran la V2 (Scarlet) y V1 (Jade) con medias de 27,24 y 27,22 cm respectivamente, mientras que en el rango a se encuentra V3 (Starfighter) con una media de 22,63 cm.

**Tabla4-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable longitud de raíz (cm) a los 30 días

Variedades	Código	Longitud (cm)	Rango
Scarlet	V2	27,24	a
Jade	V1	27,22	a
Starfighter	V3	22,63	b

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.



**Ilustración 2-4:** Longitud de la raíz a los 30 días

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

#### 4.1.3 Longitud radicular (cm) a los 45 días

El análisis de varianza para la longitud radicular a los 45 días (Tabla 5-4) indica que no hay diferencias significativas entre las soluciones utilizadas por lo cual se acepta la  $H_0$ . Sin embargo, se observan diferencias altamente significativas entre las variedades con un p-valor de 0,0008, un coeficiente de variación 5,81 % y un promedio de longitud radicular de 26,31 cm.

**Tabla 5-4:** Resultados del ANOVA para longitud de la raíz (cm) a los 45 días

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor
Total	17	
Soluciones	1	0,7631
Variedades	2	0,0008 **
Soluciones*Variedades	2	0,4195
Error	12	2,34
CV %	5,81	
Promedio	26,31	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

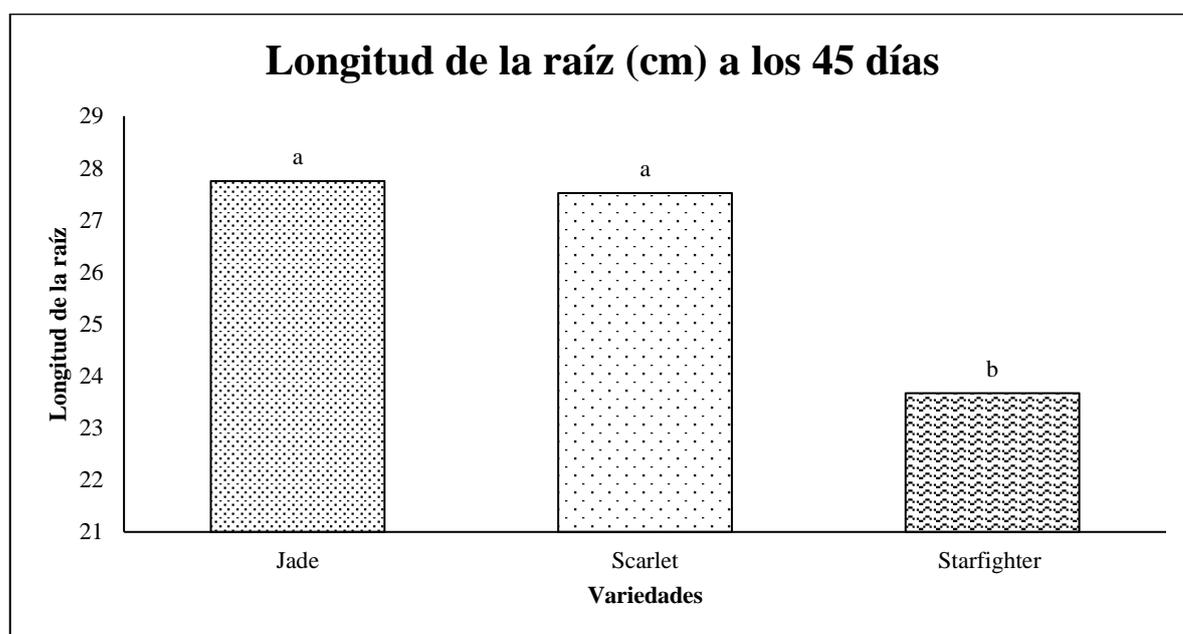
Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 6-4), (Ilustración 3-4) para longitud radicular a los 45 días, se identificaron dos rangos de significación estadística, en el rango “a” se encuentran la V2 (Scarlet) y V1 (Jade) con medias de 27,75 y 27,52 cm respectivamente, mientras que en el rango a se encuentra V3 (Starfighter) con una media de 23,67 cm.

**Tabla 6-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable longitud de raíz (cm) a los 45 días

Variedades	Código	Medias	Rangos
Jade	V1	27,75	a
Scarlet	V2	27,52	a
Starfighter	V3	23,67	b

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.



**Ilustración 3-4:** Longitud de la raíz a los 45 días

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

## DISCUSIÓN

La V1 y V2 presentaron mejores resultados con medias de 27,75 y 27,52cm por lo cual se define que el mayor desarrollo de la zona radicular se traduce en una mejor asimilación de los nutrientes por lo cual ayuda a un mejor desarrollo de la planta.

Se observó que entre soluciones no presentan diferencias significativas por lo cual se establece que las dos soluciones son efectivas, ratificando lo establecido por Truca (2002), quien demostró que se pueden obtener excelentes resultados en cultivos hidropónicos con diferentes soluciones nutritivas.

Según Ibáñez (2007), el nivel de pH en el agua puede influir en el proceso fisiológico de absorción de nutrientes por parte de las raíces de las plantas. Cuando los valores de pH se apartan significativamente de su nivel óptimo, existe el riesgo de deterioro del sistema radicular o la aparición de toxicidad en la planta. Esto se debe a una posible absorción excesiva de elementos químicos perjudiciales, conocidos como fitotóxicos, que pueden interferir con el adecuado desarrollo de la planta.

Por otro lado, CIHNM (2010), señala que la conductividad eléctrica es una medida indirecta que permite cuantificar la concentración de aniones (como nitratos, fosfatos, sulfatos, etc.) o cationes (tales como potasio, calcio, magnesio, etc.) en una solución. Para asegurar un crecimiento óptimo del cultivo, se establece que el rango adecuado de conductividad eléctrica debería situarse entre 1,5 y 2,5 dS/m, si la conductividad eléctrica está por debajo del rango recomendado, se requiere una renovación total de la solución nutritiva. Estas prácticas son esenciales para mantener las condiciones ideales para el desarrollo de las plantas.

En la presente investigación, la solución S1 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{KNO}_3$  y microelementos) presenta un pH de 6,42 y una conductividad eléctrica (CE) de 1,6 dS/m, mientras que la solución S2 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y microelementos) muestra valores de pH de 5.38 y CE de 1,5 dS/m. Ambas soluciones se sitúan dentro de los rangos óptimos recomendados. Por lo tanto, tanto S1 como S2 se consideran adecuadas para promover un buen desarrollo radicular.

## 4.2 Altura (cm) de la planta

### 4.2.1 Altura de la planta (cm) a los 15 días

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 15 días (Tabla 7-4) indica que no hay diferencias significativas entre las soluciones utilizadas por lo cual se acepta la  $H_0$ . Sin embargo, se observan diferencias altamente significativas entre las variedades con un p-valor 0,0013, por lo tanto, se toma la hipótesis alterna. Además, el coeficiente de variación alcanzó un valor del 12,33% y un promedio de la variable altura de 10,78 cm.

**Tabla 7-4:** Resultados del ANOVA para altura de la planta (cm) a los 15 días

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor
Total	17	
Soluciones	1	0,1323
Variedades	2	0,0013 **
Soluciones*Variedades	2	0,1401
Error	12	1,76
CV %	12,33	
Promedio	10,78	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

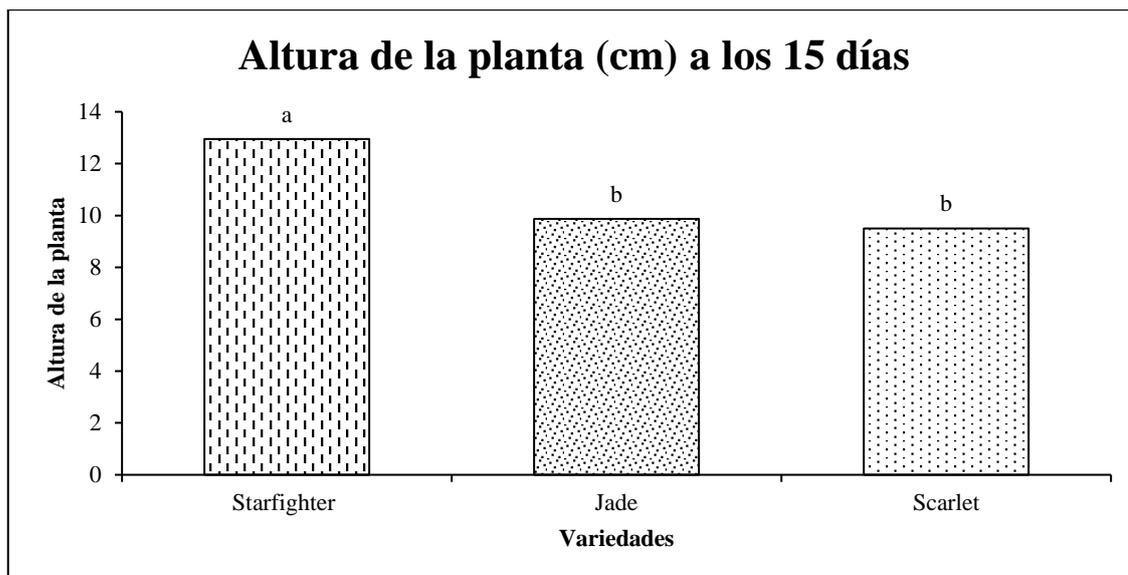
**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 8-4), (Ilustración 4-4) para altura de la planta a los 15 días, evidenció dos rangos de significación estadística, en el rango “a” se encuentran la V3 (Starfighter) con una media de 12,95 cm mientras que en el rango “b” se encuentran V1 (Jade) y V2 (Scarlet) con medias de 9,87 y 9,5 cm respectivamente.

**Tabla 8-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable altura de la planta (cm) a los 15 días

Variedades	Código	Altura (cm)	Rango
Starfighter	V3	12,95	a
Jade	V1	9,87	a
Scarlet	V2	9,5	b

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.



**Ilustración 4-4:** Altura de la planta a los 15 días

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

#### 4.2.2 *Altura de la planta a los 30 días*

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 días (Tabla 9-4) indica que hay diferencias significativas entre las soluciones utilizadas. Así como también, se observan diferencias altamente significativas entre las variedades con un p-valor de 0,0002, por lo cual se toma la hipótesis alterna. Además, el coeficiente de variación alcanzó un valor del 6,59 % y un promedio para la variable altura de 14,95 cm.

**Tabla 9-4:** Resultados del ANOVA para altura de la planta (cm) a los 30 días

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor
Total	17	
Soluciones	1	0,0178 *
Variedades	2	0,0002 **
Soluciones*Variedades	2	0,1401
Error	12	0,97
CV %	6,59	
Promedio	14,95	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

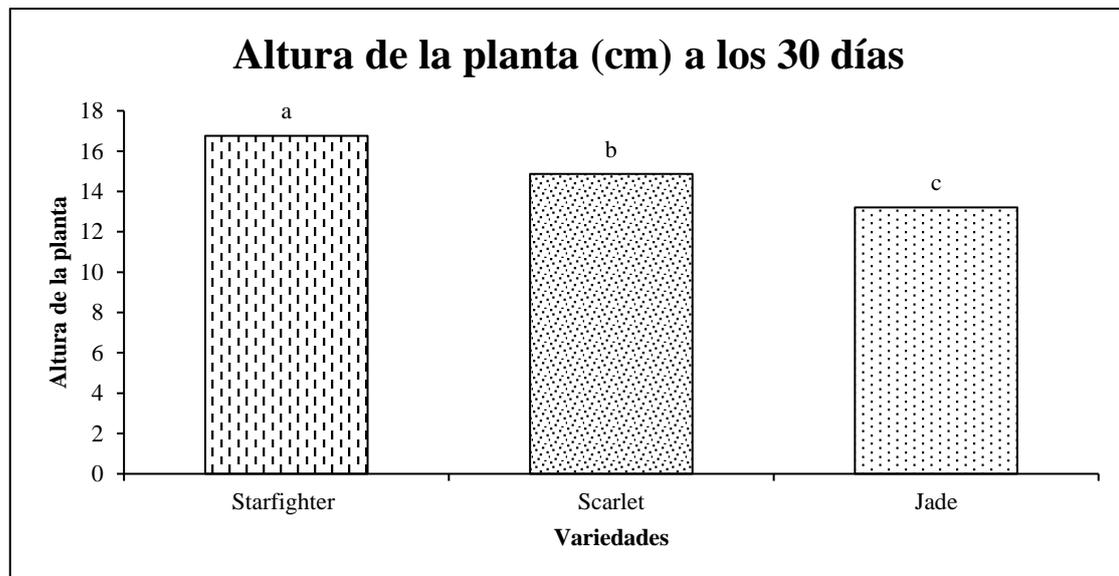
**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 10-4), (Ilustración 5-4) para altura de la planta a los 30 días, se identificaron tres rangos de significación estadística, en el rango “a” se encuentran la V3 (Starfighter) con una media de 16,76 cm mientras que en el rango “b” se encuentran V2 (Scarlet) con una media de 14,87 cm y en el rango “c” se encuentra V1 (Jade) con una media de 13,21 cm.

**Tabla 10-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable altura de la planta (cm) a los 30 días

Variedades	Código	Altura (cm)	Rango
Starfighter	V3	16,76	a
Scarlet	V2	14,87	b
Jade	V1	13,21	c

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.



**Ilustración 5-4:** Altura de la planta a los 30 días

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

#### 4.2.3 *Altura de la planta (cm) a los 45 días*

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 45 días (Tabla 11-4) indica que hay diferencias significativas entre las soluciones utilizadas, así como también se observan diferencias altamente significativas entre las variedades con un p-valor de 0,0011, además existe diferencias significativas entre la interacción de S y V, por lo cual se toma la

hipótesis alterna. Además, el coeficiente de variación alcanzó un valor del 4,77 % y promedio de la variable altura de 16,24 cm.

**Tabla 11-4:** Resultados del ANOVA para altura de la planta (cm) a los 45 días

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>p-valor</b>
Total	17	
Soluciones	1	0,0061 *
Variedades	2	0,0011 **
Soluciones*Variedades	2	0,008 *
Error	12	0,61
CV %	4,77	
Promedio	16,24	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

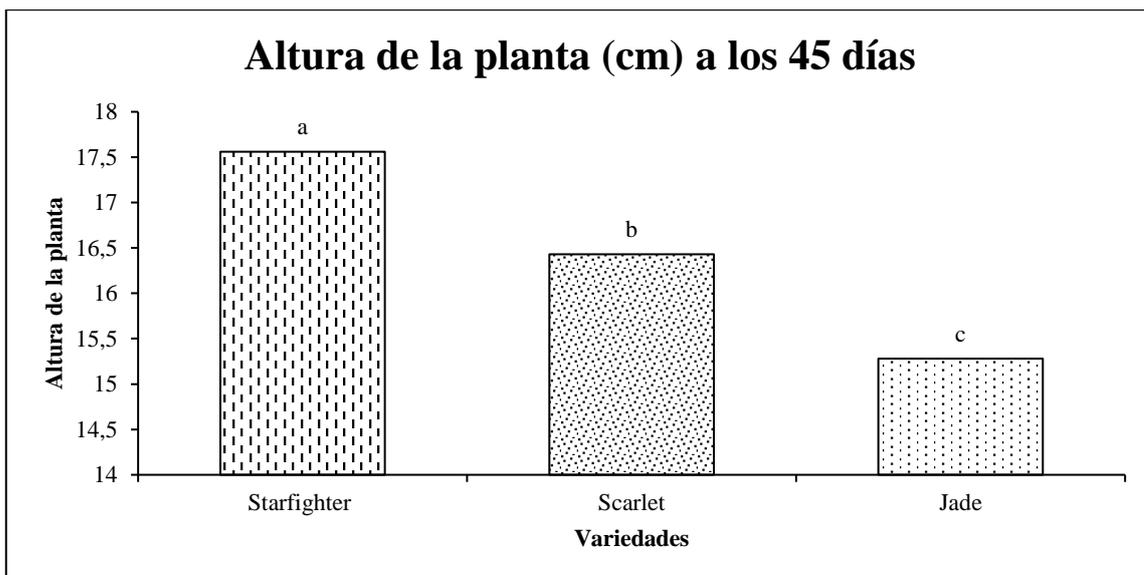
**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 12-4), (Ilustración 6-4) para altura de la planta a los 45 días, se identificaron tres rangos de significación estadística, en el rango “a” se encuentran la V3 (Starfighter) con una media de 17,56 cm mientras que en el rango “b” se encuentran V2 (Scarlet) con una media de 16,43 cm y en el rango “c” se encuentra V1 (Jade) con una media de 15,28 cm.

**Tabla 12-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable altura de la planta (cm) a los 45 días

<b>Variedades</b>	<b>Códigos</b>	<b>Medias</b>	<b>Rangos</b>
Starfighter	V3	17,56	a
Scarlet	V2	16,43	b
Jade	V1	15,28	c

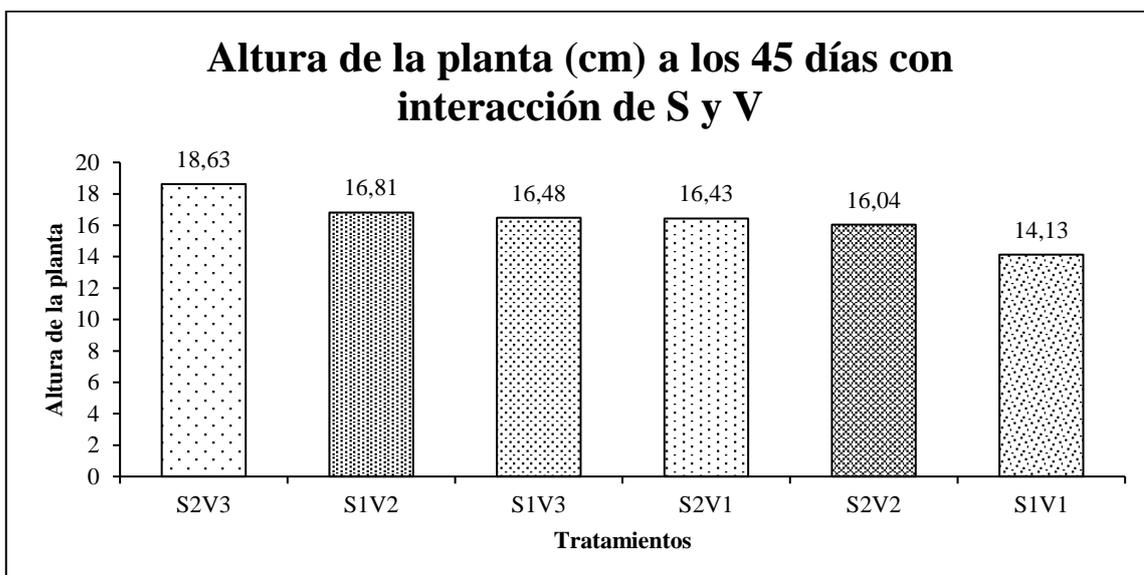
**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.



**Ilustración 6-4:** Altura de la planta a los 45 días

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

En la interacción entre las variedades evaluadas y la solución nutritiva empleada (Ilustración 7-4), se observó que la variedad 3 (Starfighter) mostró una mejor respuesta a la solución 2 en términos de la variable altura. Sin embargo, esta misma solución no generó la misma respuesta en la variedad 2, que registró la menor altura a los 45 días. Por el contrario, la variedad 2 mostró una mejor respuesta a la solución 1.



**Ilustración 7-4:** Interacción entre soluciones y variedades

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023

## DISCUSIÓN

Gonzales (2013), define que la diferencia en la altura de la lechuga se atribuye a una combinación de factores ambientales como el clima, la temperatura, el pH del suelo, el riego y la disponibilidad de nutrientes, y características genéticas específicas de la variedad cultivada. En este estudio, al establecer condiciones ambientales iguales para todas las variedades, se deduce que las diferencias de altura se deben principalmente a las diferencias genéticas existentes entre ellas.

Por otro lado, los datos presentados en la (Tabla 12-4) revelan una tendencia en las plantas de lechuga a lo largo de los 15, 30 y 45 días de observación, donde la variedad V3 (Starfighter) muestra una altura superior a las otras variedades. Es evidente que la V3 mostro el mayor promedio de altura, destacando diferencias altamente significativas entre las variedades. Con una altura final de 17,56 cm, superando la media de la V2 (16,43 cm) y la V1 (15,28 cm). Este dato se compara con los resultados de una investigación previa realizada por Chacha (2020), donde se observó que la variedad Starfighter, cuando se cultiva en un sistema NFT (Técnica de Película Nutriente), alcanza una altura media por planta de hasta 18,9 cm, lo que representa una diferencia de 1,34 cm con nuestra investigación.

Además, en la variable altura existen diferencias significativas entre soluciones siendo así que S2 la cual contiene fosfato monopotásico presenta una media de 17,04 cm siendo mayor que S1. Solvesa Ecuador (2020) menciona que el fosfato monopotásico cuenta con uno de los índices salinos más bajos entre los fertilizantes, donde se posesiona entre el fertilizante ideal para cultivos hidropónicos.

El fosfato monopotásico es una fuente de fósforo y potasio que, en el caso específico de la lechuga, estos nutrientes son fundamentales para su crecimiento y desarrollo. El fósforo presente en el fosfato monopotásico es esencial para la lechuga, ya que contribuye a varios procesos vitales en la planta, como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la formación de raíces fuertes. También juega un papel crucial en la síntesis de compuestos como el ATP (trifosfato de adenosina) y los ácidos nucleicos, que son fundamentales para el crecimiento y la reproducción de las células. Por otro lado, el potasio proporcionado

por el fosfato monopotásico es necesario para la regulación osmótica de las células de la lechuga, lo que ayuda a mantener el equilibrio hídrico y la turgencia de las hojas.

### **4.3 Días a la cosecha**

Los resultados promedio obtenidos en todos los tratamientos para días a la cosecha, fueron a los 40 y a los 45 días. Este resultado sugiere que la variable "días a la cosecha" es una característica esencial de las variedades de lechuga, ya que no hay una variación significativa entre los datos recopilados

Al comparar nuestros resultados con investigaciones previas, se observa que la variedad V1 tiene un período de cosecha de aproximadamente 60 días, según lo documentado por Ruiz (2022, pág. 12). Por otro lado, se informa que la variedad V3 tiene un ciclo de cosecha de alrededor de 52 días, según lo establecido por Toral (2022, pág. 4). Es importante destacar que, en comparación con estas revisiones bibliográficas, nuestro estudio revela que el ciclo de cosecha fue más corto para ambas variedades.

En el caso de la variedad V2, se informa que su ciclo de cosecha es de aproximadamente 40 días, según lo mencionado por Pérez (2021, págs. 12-13). Nuestros resultados confirman esta duración del ciclo de cosecha para la variedad V2, lo que demuestra que el estudio realizado coincide con lo propuesto por el autor en términos de la duración del ciclo de cultivo para esta variedad.

Los resultados respaldan la idea de que el ciclo de cosecha de las variedades de lechuga apenas varía, lo que sugiere que esta característica está determinada principalmente por las propiedades genéticas de cada variedad y no tanto por las condiciones de cultivo o las soluciones utilizadas

### **4.4 Peso de la lechuga (g)**

Mediante el análisis de varianza se evaluaron los datos de campo relacionados con la variable del peso de la lechuga (Tabla 13-4), revelando diferencias altamente significativas tanto para las soluciones utilizadas como para las variedades, por lo cual se

toma la hipótesis alterna. El coeficiente de variación registrado fue del 9,01 %, indicando una moderada variabilidad en los datos analizados, además el promedio para la variable peso fue de 123,77 g.

**Tabla 13-4:** Resultados del ANOVA para peso de la lechuga (g)

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor
Total	17	
Soluciones	1	<0,0001 **
Variedades	2	<0,0001 **
Soluciones*Variedades	2	0,0018 **
Error	12	125,82
CV %	9,01	
Promedio	123,77	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 14-4) para las soluciones en la variable peso de la lechuga, se identificaron dos rangos de significación estadística. En primer lugar, “a” donde se observa S2 registró una media de 140,53 g, mientras que en el rango “b” se encuentran la S1 la cual mostro una media menor con un valor de 107 g.

**Tabla 14-4:** Prueba de Tukey al 5% para soluciones con la variable peso de la lechuga (g)

Soluciones	Medias	Rangos
S2	140,53	a
S1	107	b

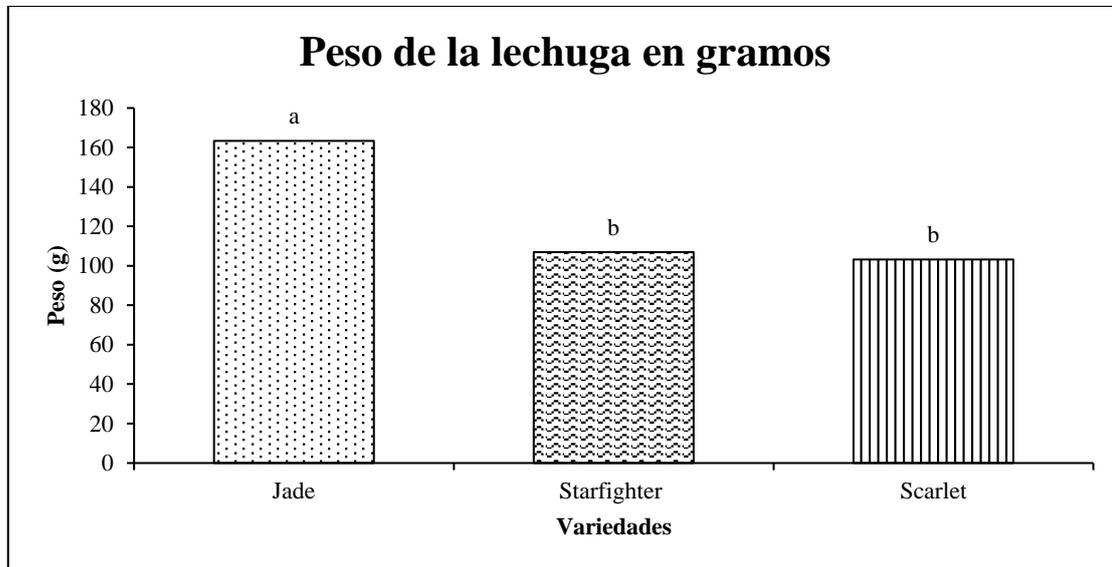
**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 15-4), (Ilustración 8-4) para las variedades en la variable peso de la lechuga, se identificaron dos rangos de significación estadística. En primer lugar, “a” donde se encuentra V1 (Jade) registró una media de 163,33 g, mientras que en el rango “b” se encuentran V2 (Scarlet) y V3 (Starfighter) que mostraron un peso menor, con valores de 103,2 y 106,93 g, respectivamente

**Tabla 15-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable peso de la lechuga (g)

Variedades	Código	Medias	Rangos
Jade	V1	163,33	a
Starfighter	V3	106,93	b
Scarlet	V2	103,2	b

Realizado por: Robayo, Karen, 2023



**Ilustración 8-4:** Peso fresco de la lechuga (g)

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

## DISCUSIÓN

En la presente investigación las variedades utilizadas respondieron de forma diferente con las soluciones empleadas, existiendo diferencias altamente significativas entre S1 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{KNO}_3$  y microelementos) y S2 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y microelementos) en la comparación de las medias del peso de planta.

Si bien ambas soluciones proporcionan nutrientes esenciales, la variación en la formulación podría haber afectado la disponibilidad y la proporción relativa de estos nutrientes en el agua. FERMAGRI (2019) menciona que el fosfato monopotásico el cual se encuentra presente en S2 es un fertilizante altamente soluble y eficiente que aporta fósforo y potasio totalmente disponibles para el cultivo, por lo tanto, la presencia de fosfato en la solución S2 podría haber influido en aspectos como el desarrollo radicular lo que a su vez podría haber tenido un impacto en el peso final de la planta.

Otro factor para considerar es la interacción entre las características genéticas de las variedades utilizadas y las condiciones específicas de las soluciones nutricionales. Siendo así que V1 se adaptó de mejor manera con S2 presentando una media de 196,67 g.

Por otro lado, en una investigación realizada por Cevallos (2020) la variedad Starfighter obtuvo mejor resultado en cuanto a las variables peso planta con una media de 190.39 g, peso que supero considerablemente con la media de nuestra investigación que fue de 106 g, esto puede deberse a las soluciones nutritivas empleadas.

#### 4.5 Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)

El análisis de varianza para el rendimiento kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 16-4), demostró que existen diferencias altamente significativas tanto para las soluciones utilizadas como para las variedades, mientras que para su interacción se muestran diferencias significativas. El coeficiente de variación registrado fue del 9,01 %, indicando una moderada variabilidad en los datos analizados, además el promedio para la variable rendimiento fue 23808,5 kg ha<sup>-1</sup>. Siendo así que se toma la hipótesis alterna ya que al menos una de las tres tipologías de lechuga con dos soluciones nutritivas bajo el sistema hidropónico en invernadero presentó altos rendimientos.

**Tabla 16-4:** ANOVA para rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) de tres variedades de lechuga con dos soluciones nutritivas en producción hidropónica.

Fuentes de variación	Grados de libertad	p-valor
Total	17	
Soluciones	1	<0,0001 **
Variedades	2	<0,0001 **
Soluciones*Variedades	2	0,0018 *
Error	12	4602144,38
CV %	9,01	
Promedio	23808,5	

p-valor: >0,10 = No significativo (n.s); p-valor: <0,10 y >0,01 = Significativo (\*); p-valor: <0,01 = Altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2024.

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 17-4) para las soluciones con la variable rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de la lechuga, se identificaron dos rangos de significación estadística. En el rango “a” se encuentra S2 con una media de  $27004,5 \text{ kg ha}^{-1}$  mientras que en el rango “b” se encuentra S1 con una media de  $20612,5 \text{ kg ha}^{-1}$ , presentando así la S2 mejor rendimiento.

**Tabla 17-4:** Prueba de Tukey al 5% para soluciones con la variable rendimiento ( $\text{kg/ha}$ )

Soluciones	Medias	Rangos
2	27004,5	a
1	20612,5	b

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023

Tras realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 18-4) para variedades con la variable rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de la lechuga, se identificaron dos rangos de significación estadística. En el rango “a” se encuentra V1 (Jade) con una media de  $31237,5 \text{ kg ha}^{-1}$  mientras que en el rango “b” se encuentra V3 (Starfighter) y V2 (Scarlet) con una media de  $20451 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $19737 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente.

**Tabla 18-4:** Prueba de Tukey al 5% para variedades con la variable rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Variedades	Medias	Rangos
1	31237,5	a
3	20451	b
2	19737	b

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2024.

En la interacción entre las variedades evaluadas y la solución nutritiva empleada (Tabla 19-4), se observó que la variedad 1 (Jade) mostró una mejor respuesta a la solución 2 en términos de la variable rendimiento. Sin embargo, la combinación de la variedad 2 con solución 1 registró el menor rendimiento.

**Tabla 19-4:** Prueba de Tukey al 5% para interacción soluciones con variedades con la variable rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)

<b>Soluciones</b>	<b>Variedades</b>	<b>Medias</b>	<b>Rangos</b>
2	1	37612,5	a
1	1	24862,5	b
2	2	22325,25	b, c
2	3	21075,75	b, c
1	3	19826,25	b, c
1	2	17148,75	c

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2024.

## DISCUSIÓN

Los datos finales revelan que V1 (Jade), cuando se utiliza con la solución 2, exhibe un rendimiento superior en comparación con otras combinaciones. Este fenómeno podría atribuirse tanto a las características genéticas de la variedad como a los beneficios específicos de las soluciones aplicadas.

Según lo señalado por (Sakata, 2024) en su manual de variedades, la Jade se distingue por su mayor número de hojas por planta y el alargamiento precoz de las mismas. Estas características pueden contribuir significativamente al aumento del rendimiento, ya que una mayor área foliar puede traducirse en una mayor capacidad para capturar luz solar y realizar la fotosíntesis, un proceso fundamental para la producción de carbohidratos y, por ende, el crecimiento de la planta.

Además, la solución con fosfato monopotásico, presente en la solución 2, puede jugar un papel crucial en el desarrollo de la pared celular de las plantas. El fósforo es un componente esencial en la formación de estructuras celulares, lo que puede mejorar la resistencia de la planta y favorecer su crecimiento.

Por otro lado, el potasio, puede estimular el rendimiento fotosintético al favorecer la apertura estomática y mejorar la absorción de dióxido de carbono, lo que resulta en una mayor producción de fotoasimilados que se almacenan en las hojas y contribuyen al crecimiento y desarrollo de la planta.

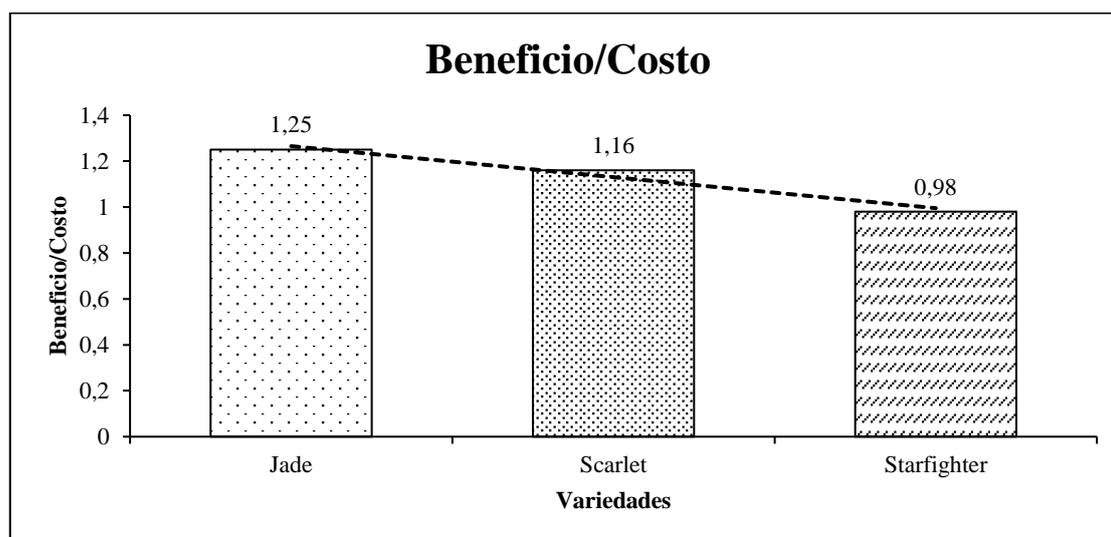
En el estudio llevado a cabo por Chacha (2020), la variedad Starfighter demostró un rendimiento de 8,272 kg ha<sup>-1</sup> en el sistema NFT. Sin embargo, en la investigación actual, este rendimiento se superó significativamente, alcanzando los 20,451 kg ha<sup>-1</sup>. Este resultado destaca un notable incremento en el rendimiento de la variedad Starfighter en el contexto del presente estudio en comparación con la investigación anterior.

#### 4.6 Análisis económico

**Tabla 20-4:** Análisis económico según la relación beneficio/costo de las tres variedades

Variedades	Códigos	Beneficio/Costo
Jade	V1	1,25
Scarlet	V2	1,16
Starfighter	V3	0,98

Realizado por: Robayo, Karen, 2024.



**Ilustración 10-4:** Relación beneficio/costo

Realizado por: Robayo, Karen, 2023

En la (Tabla 20-4) se presenta el análisis económico de cada tratamiento, donde se destaca que la mejor relación beneficio/costo se logró con V1 (Jade), alcanzando un valor de 1,25. Esto indica que por cada dólar invertido se recupera dicho dólar y se obtiene una ganancia adicional de 25 centavos. En segundo lugar, se encuentra V2 (Scarlet) con un valor de 1,16 lo que significa que por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de 0,16 centavos. Sin embargo, en el caso de V3 (Starfighter), no se alcanza rentabilidad ya que

los costos de producción superan los ingresos percibidos por ventas, lo que resulta en una pérdida para el productor.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

Después de evaluar tres variedades de lechuga cultivadas con dos soluciones nutritivas diferentes en un entorno de invernadero, se llega a la conclusión de que tanto la selección de la solución nutritiva como la elección de la variedad de lechuga son cruciales, ya que tienen un impacto significativo en el rendimiento del cultivo. La variabilidad en los nutrientes y su disponibilidad afecta directamente al desarrollo de las plantas.

Al determinar el nivel de adaptación de tres tipologías de lechuga bajo sistema hidropónico en invernadero. En primer lugar, se observó que las tres tipologías de lechuga estudiadas mostraron cierto grado de adaptación al sistema hidropónico en invernadero.

Se evidenció la capacidad de las plantas para crecer y desarrollarse en un entorno controlado, independientemente de las diferencias genéticas entre las variedades. Sin embargo, se observaron diferencias en el rendimiento entre las variedades estudiadas, siendo así que V1 presentó mejor rendimiento, lo que sugiere que la adaptación no fue uniforme.

Al comparar el efecto de dos soluciones se concluye que la combinación de la variedad Jade con la solución 2 obtuvo un mejor rendimiento siendo este de 37612,5 kg/ha, por lo tanto, con esos resultados queda demostrado que es importante seleccionar variedades adecuadas y aplicar estrategias de fertilización específicas para maximizar la producción.

Después de realizar el análisis económico, se llega a la conclusión de que los tratamientos que emplearon la solución 2 junto con la variedad V1 (Jade) mostraron la mejor relación beneficio/costo, equivalente a 1,25. Esto significa que, por cada dólar invertido en este tratamiento, se obtendrá un beneficio adicional de 0,25 centavos.

## **RECOMENDACIONES**

Se debe monitorear el pH y la CE permanentemente para asegurar las condiciones adecuadas de la solución para las plantas.

Es fundamental considerar qué cultivar y qué tipo de lechuga sembrar para optimizar los rendimientos. Por lo cual se recomienda optar por combinación de la variedad Jade con la solución 2.

Basándonos en el análisis económico obtenido, debemos elegir el tratamiento donde se emplea la solución 2 junto con la variedad 1 (Jade), que ofrece el mejor equilibrio entre costos y beneficios.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **CASTAÑARES, José Luis. 2020.** *ABC de la Hidroponia*. Buenos Aires - Argentina : s.n., 2020, EEAAMBA, págs. 1-15.
2. **AGUILAR Ledesma, Luis Jordan. 2022.** “*Beneficios de las soluciones nutritivas, para el desarrollo y crecimiento de plantas hidropónicas del cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.)*”. [aut. libro] Universidad Técnica de Babahoyo- Facultad de Ciencias Agropecuarias. Trabajo de Titulación - Ingeniería Agropecuario. Babahoyo : s.n., 2022, págs. 1- 21.
3. **Aguilar, Ghery Milenka. 2021.** *Evaluación de seis variedades de tomate (Solanum lycopersicum) en cultivo hidropónico con sustrato sólido en el municipio de El Alto*. [En línea] 2021. [Consulta : 15 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://aphapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/110>.
4. **VANIPRIYA, C.H., y otros. 2021.** *Artificial intelligence enabled plant emotion xpresser in the development hydroponics system*. India : s.n., 26 de February de 2021, ELSEVIER, Vol. 45, págs. 5034-5040.
5. **Ayres Laporta, Juan. 2023.** *CRECIMIENTO Y CONSUMO DE NUTRIENTES DE LECHUGA Y RÚCULA EN SISTEMA HIDROPÓNICO NFT*. [En línea] 2023. [Consulta: 15 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/37343/1/AyresLaportaJuanIgnacio.pdf>.
6. **Beltrano, José y Gimenez, Daniel. 2015.** *Cultivo en Hidroponía*. [En línea] 2015. [Consulta: 17 de Noviembre de 2023]. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
7. **CALLE, Antonio. 2022.** *Hidroponia - Cosechando mis alimentos*. 2022, pág. 2.
8. **Campoverde, Carla. 2021.** *Evaluación de las variables microclimáticas de invernaderos y correlación con variables fisiológicas del tomate de mesa (Solanum*

*lycopersicum) en la zona de Paute-Guachapala.* [En línea] 2021. [Consulta: 15 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/36307/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>.

9. **Carguachi Gamboy, Luis. 2022.** *“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LECHUGA CRESPA (Lactuca sativa L.) var. Batavia, EN DOS TIPOS DE INVERNADEROS, PARROQUIA CALPI, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.* [En línea] 2022. [Consulta: 16 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17454/1/13T01022.pdf>.
10. **CARGUACHI, Luis. 2022.** Evaluación del rendimiento de lechuga crespa(Lactuca sativa L.) var Batavia, en dos tipos de Invernadero, parroquia Calpi,Cantón Riobamba,provincia de Chimborazo. [aut. libro] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. *Proyecto de Investigación-Ingeniero Agrónomo.* Calpi : s.n., 2022, págs. 1-43.
11. **Cevallos Mendoza, Mario. 2020.** *APLICACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN VARIEDADES DE LECHUGA EN CULTIVO HIDROPÓNICO BAJO EL SISTEMA NFT.* [En línea] 2020. [Consulta: 17 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4846/1/UTC-PIM-000191.pdf>.
12. **Chesniuk, Sergio. 2023.** Metroquímica.net. [En línea] 21 de Febrero de 2023. [Citado el: 16 de Noviembre de 2023.] <https://metroquimica.net/blogs/news/que-son-las-pruebas-de-comparacion-multiple>.
13. **CIHNM. 2010.** *¿Qué es Hidroponía?* Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM). P. 45. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Perú. I
14. *Deep Water Culture using Automated Hydroponic Systems.*
15. **SIVALEELA, M., y otros. 2023.** July de 2023, 2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA).IEEE, págs. 674-678. *Diseño del proceso de implementación de cultivos hidropónicos en terrenos inutilizados en el distrito de Piura.*

16. **ABAD, Carlos, Castillo, Leonardo y García, María. 2020.** Piura : s.n., Junio de 2020, UNIVERSIDAD DE PIURA, págs. 1-112. *Do consumers value hydroponics? Implications for organic certification.*
17. **GILMAOUR, Daniel, y otros. 2019.** 6, Italia : s.n., 14 de August de 2019, AGRICULTURAL ECONOMICS, Vol. 50, págs. 707-721.
18. *ECONOMIC EVALUATION OF THE AGRICULTURAL AND INDUSTRIAL SECTOR IN THE ECUADOR 1980 - 2015.*
19. **GARCÍA, Dayanara, APOLO, Vivanco y BERMEJO, Pacheco. 2019.** 2, Ecuador : s.n., Agosto de 2019, ECA Sinergia Magazine, Vol. 10, págs. 116-128.
20. *EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE APIO (*Apium graveolens* L.) EN TRES DENSIDADES DE TRASPLANTE EN SISTEMA HIDROPÓNICO (NFT), EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA - LA PAZ.*
21. **CHOQUE, Daniela. 2021.** Paz-Bolivia : s.n., 2021, págs. 1-77. *First report of cercospora leaf spot on Swiss chard caused by *Cercospora beticola* in Turkey.*
22. **SOYLU, Soner, MINE SOYLU, Emine y KURT, Sener. 2023.** Turquía : s.n., 30 de Noviembre de 2023, Patología de plantas, Vol. 52, págs. 804-804. *First Report of *Erysiphe betae* Causing Powdery Mildew on Chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*) in Mexico.*
23. **SOLANO BÁEZ, Alma Rosa, y otros. 2022.** 4, Mexico : s.n., 3 de Octubre de 2022, plant disease, Vol. 107.
24. **FERMAGRI. (s.f).** Fosfato Monopotásico MKP. Obtenido de Fermagri. [En línea] s.f. [Consulta: 01 de Marzo de 2024]. Disponible en: <http://www.fermagri.com/mkp-prayon-fosfato-monopotasico.html>
25. **Flores, Reynaldo Martin. 2020.** Evaluación de dos variedades de berro (*Nasturtium officinale*) a diferentes densidades de transplante en un sistema hidropónico N.F.T. en Centro Experimental Cota- Cota. [En línea] 2020. [Consulta: 15 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/25587>.

26. **GONZÁLES, wALTER. 2020.** Producción de lechuga hidropónica (*Lactuca Sativa L.*) en sistema de raíz flotante bajo el efecto de 3 bioestimulantes. [aut. libro] Trabajo de Titulación- Ingeniería Agropecuario. *Universidad Estatal Pendínsula de Snta Elena- Facultad de Ciencias Agrarias.* Libertad : s.n., 2020, págs. 1- 43.
27. **Gonzales, L., Zepeda, A., & Graciano, S. 2013.** *RENDIMIENTO DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA Lactuca sativa L. TIPO GOURMET CICLO PRIMAVERA-VERANO.* [En línea] 2013. [Consulta: 01 de Febrero de 2024]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3477/IAF1GOU01301.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. **GÜEQUEN, Carlos Eugenio Patricio Fuentes. 2018.** Evaluación económica del cultivo de *Lactuca sativa* en sistema hidropónico bajo invernadero en Puerto Aysén, Región de Aysén. [aut. libro] Tesis Doctoral. Universidad Austral de Chile. Chile : s.n., 2018, págs. 1- 42.
29. **GUZMÁN, Jesús y MARRERO, Elizabeth. 2019.** Evaluación Económica de Inversiones. [aut. libro] INC PAGE Publishing. Estados Unidos : s.n., 2019.
30. Ibáñez, J. J. (2007). pH del suelo y nutrición vegetal. Un Universo invisible bajo nuestros pies. [En línea] 2007. [Consulta: 01 de Marzo de 2024]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/10/63196>
31. **CHACHA, LEIDY MIRELLA, CHÁVEZ, NAHOMI MAGALI. 2020.** *EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE LECHUGA (Lactuca sativa L.) CULTIVADAS EN SISTEMAS: HIDROPÓNICO TÉCNICA DE PELÍCULA NUTRITIVA (NFT) Y CONVENCIONAL.* [En línea] 2020. [Consulta: 01 de Marzo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/615/1/T.AGROP.B.UEA.1135>
32. **OÑATE, Diego. 2019.** DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PLANTA MODULAR DE DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR CON PANELES SOLARES Y CULTIVOS HIDROPÓNICOS. *UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA BIOTECNOLOGÍA Y MATERIALES.* Santiago de Chile : s.n., 2019. págs. 1-57.

33. **Palma Chambilla, Ricardo. 2019.** Universidad Católica de Santa María. [En línea] 2019. [Citado el: 16 de Noviembre de 2023.] <https://core.ac.uk/download/pdf/287059637.pdf>.
34. **Pérez Ronquillo, Miguel. 2021.** COMPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) BAJO SISTEMA AEROPÓNICO VERTICAL AUTOMATIZADO EN CANTÓN DAULE – GUAYAS. [En línea] 2021. [Consulta: 16 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PEREZ%20RONQUILLO%20JOSE%20MIGUEL.pdf>.
35. **Peris, Eduardo. 2020.** EFECTO DE LA ALTURA EN DOS INVERNADEROS SOBREL A TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA. [En línea] 2020. [Consulta: 16 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://catalogobiblioteca.unach.cl/Record/2366883>.
36. **PINEDO, Alexa. 2022.** Proyecto de inversión para la instalación de un vivero para la producción industrial de hortalizas hidropónicas en la ciudad de Chiclayo 2021. *UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS.* Chiclayo : s.n., 2022. págs. 1-108.
37. **Ramos, Leidy Marcela, Ortiz, Jaime Enrique y Erazo, Hugo Ruiz. 2021.** SUELOS ECUATORIALES. [En línea] 2021. [Consulta: 15 de Noviembre de 2023]. Disponible en: 10.47864/SE(51)2021p37-44\_133. ISSN 0562-5351 .
38. **Ribera, Loira. 2023.** Isabión. [En línea] 2023. <http://agroquimicoscarlosarmas.com/productos/6-isabion.pdf>.
39. **RICARDO, Joselyn. 2019.** Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica( *Lactuca sativa* L.) en raíz flotante bajo diferentes soluciones nutritivas. [aut. libro] Trabajo de Titulación- Ingeniería Agropecuaria. *Universidad Estatal Península de Santa Elena Facultad de Ciencias Agrarias.* La Libertad : s.n., 2019, págs. 1- 55.

40. **RODRIGUEZ, William. 2021.** Producción de lechuga (*Lactuca Sativa L*) en hidroponía cantón Guayaquil, provincia de Guayas. [aut. libro] Trabajo de titulación- Ingeniero Agrónomo. *Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Agrarias*. Guayaquil : s.n., 2021, págs. 1- 47.
41. **Rojas Togra, Marlon. 2019.** Evaluación del desarrollo de la lechuga "*Lactuca sativa*" en un sistema hidroponico recirculante aplicando dos soluciones nutritivas en base a microorganismos benéficos (Mobs) en el canton Paute-Azuay-Ecuador. [En línea] 2019. [Consulta: 16 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18107/1/UPS-CT008604.pdf>.
42. **Ruíz, Nereyda. 2022.** VALUACIÓN DE LA ADAPTIBILIDAD DE CULTIVARES DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*), EN EL CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI. [En línea] 2022. [Consulta: 17 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36398/1/Tesis-327%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20Ruiz%20Turushina%20Nereyda%20Viviana.pdf>.
43. **Soares, Hammady Ramalho e, y otros. 2019.** Water and physiological relationships of lettuce cultivated in hydroponics with brackish waters. [En línea] 2019. [Consulta: 17 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190025>.
44. **Solvesa Ecuador. 2020.** Fosfatos Agrícola. [En línea] 2020. [Consulta: 26 de febrero de 2024]. Disponible en: <http://www.solvesacorp.com/solvesa/solvesa-productos-fosfatos.html>
45. **Tejada, Kevin. 2022.** PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*) Y ACELGA (*Beta vulgaris L. var. cicla*) BAJO UN SISTEMA DE JARDINES. [En línea] 2022. [Consulta: 17 de Noviembre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5508/tejada-abad-kevin-jhon.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
46. **Toral Astudillo, Leslie. 2022.** VIABILIDAD COMERCIAL DE CUATRO VARIEDADES DE LECHUGA CULTIVADAS DE FORMA ORGÁNICA, EN LA PROVINCIA DE EL ORO. [En línea] 2022. [Consulta: 17 de Noviembre de 2023].

Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18395/1/TTUACA-2022-EA-DE00005.pdf>. *Uptake and translocation of triadimefon by wheat (Triticum aestivum L.) grown in hydroponics and soil conditions.*

47. **Truca, P. (2002).** *Efecto de la composición de Soluciones nutritivas en el cultivo Hidropónico de la Lechuga (Lactuca sativa L.var. Crespa) en Sucre.*
48. **SUMEI, Yu, y otros. 2022.** 2022, Journal of Hazardous Materials, Vol. 423, pág. 127011.
49. **VARGAS, Juan. 2022.** Propagación asexual de pitahaya (hylocereus undatus) por medio hidropónico de raíces flotantes con dos enraizantes en la provincia de Camaná. *Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú : s.n., 26 de Diciembre de 2022. págs. 1-60.*



# ANEXOS

## ANEXO A: ANÁLISIS DE AGUA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
LABORATORIO DE SUELOS



Nombre del estudiante: Sra. Karen Paulina Robayo Carrillo

Fecha de ingreso: 10/11/2023  
Fecha de salida: 24/11/2023

TEMA TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR: "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE TRES TIPOLOGÍAS DE LECHUGA CON DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO EN INVERNADERO EN LA COMUNIDAD DE PANTAÑO"  
CARRERA: AGRONOMÍA  
SEMESTRE: NOVENO

Ubicación: BARRIO LOS ANDES MALDONADO RIOBAMBA CHIMBORAZO  
Nombre del sitio: Parroquia Parroquia Cantón Provincia

### RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA POTABLE

	us/cm	mg/l	%
Identificación	pH	Cond. eléctrica	mg/l
AGUA POTABLE	8.159 Alc.	149.2.0 NS	42.51 107.4 74.5 Carbonatos de calcio 0.0125 MB

CODIGO	
MB: Muy bajo	A: alto
NS: No salino	M: medio
Alcalalino	B: bajo

Ing. Victor Lindao Ph.D.  
JEFE DE LAB. SUELOS

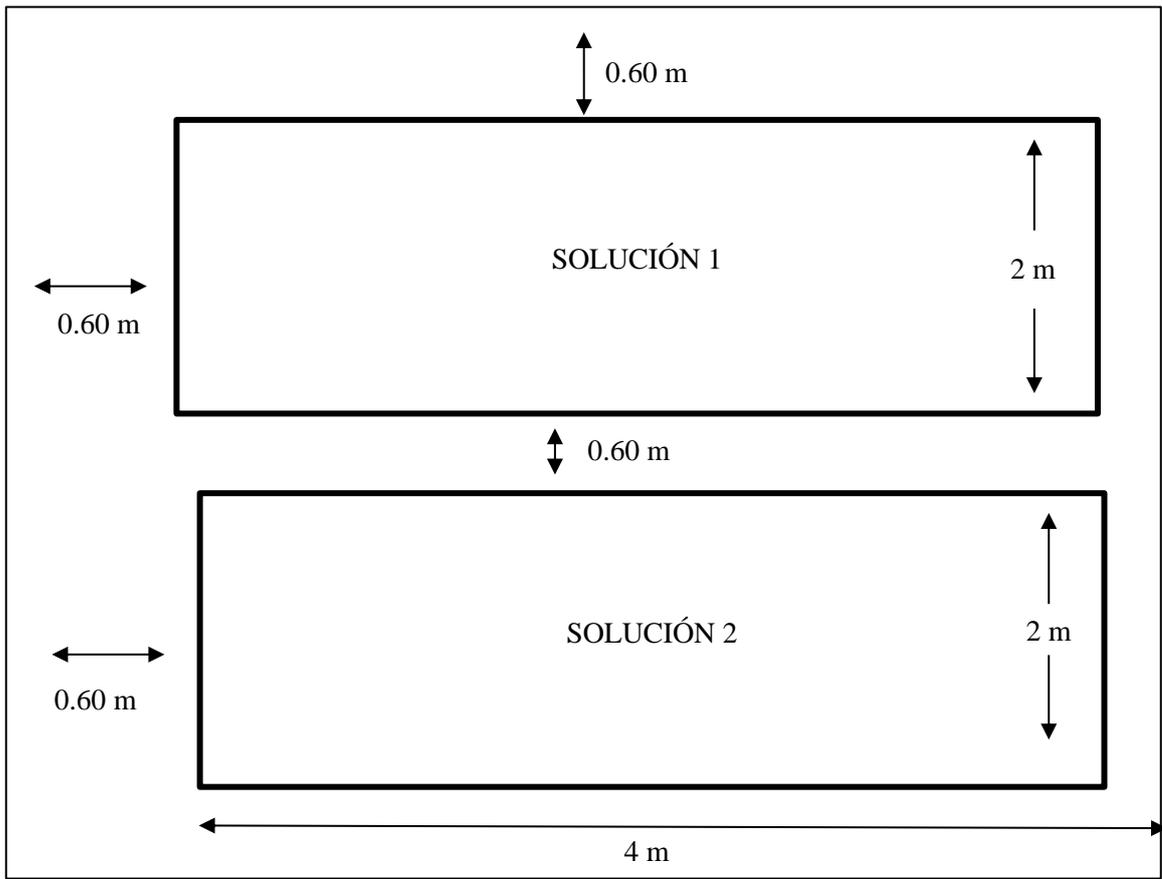
Directora: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Rectoría Sur Km 18, Facultad de Recursos Naturales, Tlono 2998220 Extensión 418  
"Apoyando a la producción sustentable y amigable con la naturaleza"



Ing. Elizabeth Pachacama Ch.  
TECNICO DOCENTE LAB. SUELOS

Realizado por: Pachacama, Elizabeth, 2023.

## ANEXO B: ESQUEMA DEL ENSAYO Y FOTOGRAFÍA



Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

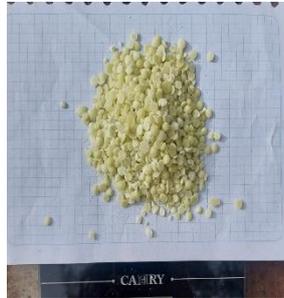
## ANEXO C: FORMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y LAS DOSIS A EVALUAR

### Solución 1

Nitrato de amonio



Nitrato de calcio



Nitrato de Potasio



Micronutrientes

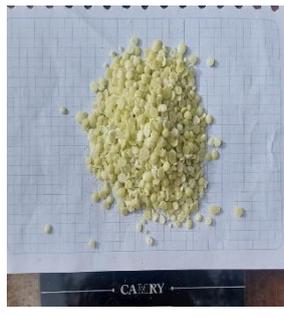


### Solución 2

Nitrato de amonio



Nitrato de calcio



Fosfato monopotásico



Micronutrientes



Balanza digital



Micronutrientes



pH



Soluciones



Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

## ANEXO D: MEDICIÓN DEL PH Y CE Y REGISTRO DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO

Temperatura del ambiente



pH



Conductividad electrica



Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

## ANEXO E: REGISTRO DE PESOS FRESCOS DE LA PLANTA Y RAÍZ

V1: Jade



V2: Scarlet



V3: Starfighte



Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

**ANEXO F: COMPARACIÓN DEL DESARROLLO RADICULAR ENTRE PLANTAS DE LA SOL 1 Y SOL 2**

**Solución 1**

**V1**



**V2**



**V3**



**Solución 2**

V1



V2



V3



Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

## ANEXO G: MEDICIÓN DE LA ALTURA DE PLANTA Y LA LONGITUD DE RAÍZ

	Solución 1	Solución 2
V1		
V2		
V3		

Realizado por: Robayo, Karen, 2024.

## ANEXO H: CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA HIDROPONICO



Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

## ANEXO I: ENSAYO A LOS 15 DIAS



**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

## ANEXO J: ENSAYO A LOS 30 DIAS



**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

## ANEXO K: COSECHA A LOS 45 DIAS



Realizado por: Robayo, Karen, 2024.

## ANEXO L: REGISTRO DE pH

Soluciones	Días pH			
	0	15	30	45
S1	6,23	6	6,42	6,1
S2	6,15	6,22	5,38	5,8

Realizado por: Robayo, Karen, 2023.

**ANEXO M: REGISTRO DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**

Soluciones	Conductividad eléctrica			
	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>
<b>S1</b>	1,5	1,5	1,65	1,7
<b>S2</b>	1,5	1,65	1,58	1,69

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2023.

**ANEXO N: ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE LONGITUD DE RAÍZ A LOS 15 DÍAS**

Soluciones	Medias	n	E.E.	Rangos
<b>2</b>	17,89	9	0,72	a
<b>1</b>	16,37	9	0,72	a

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2024.

**ANEXO O: ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE LONGITUD DE RAÍZ A LOS 30 DÍAS**

Soluciones	Medias	n	E.E.	Rangos
<b>1</b>	25,86	9	0,58	a
<b>2</b>	25,54	9	0,58	a

**ANEXO P: ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE LONGITUD DE RAÍZ A LOS 45 DÍAS**

Soluciones	Medias	n	E.E.	Rangos
<b>1</b>	26,42	9	0,51	a
<b>2</b>	26,2	9	0,51	a

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2024.

**ANEXO Q: ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE ALTURA DE RAÍZ A LOS 15 DÍAS**

Soluciones	Medias	n	E.E.	Rango
<b>2</b>	11,28	9	0,44	a
<b>1</b>	10,27	9	0,44	a

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2024.

**ANEXO R: ANOVA ENTRE SOLUCIONES DE LA VARIABLE ALTURA DE RAÍZ  
A LOS 30 DÍAS**

<b>Soluciones</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Rangos</b>
<b>2</b>	15,58	9	0,33	a
<b>1</b>	14,31	9	0,33	b

**Realizado por:** Robayo, Karen, 2024.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 30 / 05 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Karen Paulina Robayo Carrillo
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Agronomía
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Agrónoma
 <b>Ing. Andrea Patricia Guapi Auquilla</b> <b>Directora del Trabajo de Titulación</b>  <b>Ing. Marco Aníbal Vivar Arrieta, MSc.</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>