

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía

Producción hidropónica de *Lactuca sativa* var. Seda bajo tres distancias entre plantas mediante sistemas NFT establecidos dentro y fuera de invernadero

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo

Autor:

Sebastián Federico Proaño Mendoza

Director:

Pablo Geovanny Quichimbo Miguitama

ORCID:  0000-0002-6108-9091

Cuenca, Ecuador

2024-08-07

Resumen

La explotación hidropónica es una técnica usada para aumentar la productividad y calidad de los cultivos en espacios reducidos, el presente estudio se centra en la producción hidropónica de *Lactuca sativa* var. Seda, bajo diferentes distancias en sistemas de película de nutrientes (NFT) establecidos tanto dentro como fuera de invernadero. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el impacto de tres distancias entre plantas (21 cm, 16 cm y 11 cm) en la producción de lechuga Seda, así como comparar los resultados entre cultivos dentro y fuera de invernadero. Las variables bajo estudio correspondieron a variables de crecimiento de las plantas (altura de planta y número de hojas) y de rendimiento de la cosecha (peso en fresco y peso seco). El análisis estadístico de los datos reveló diferencias estadísticamente significativas entre las distancias, el tratamiento de mayor distancia presenta un rendimiento mayor en general. Al comparar los cultivos dentro y fuera de invernadero se evidenciaron diferencias estadísticas en la mayoría de variables estudiadas, sin embargo, las diferencias más relevantes fueron aquellas donde el cultivo sin invernadero representó el mayor peso fresco, variable importante para la comercialización. Estos resultados destacan la importancia de considerar tanto el uso o no de cubierta, como la densidad de siembra al diseñar sistemas hidropónicos para la producción de lechuga.

Palabras clave del autor: hidroponía, nft, *Lactuca sativa*



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Hydroponic farming is a technique used to increase the productivity and quality of crops in reduced spaces, the present study focuses on the hydroponic production of *Lactuca sativa* var. Seda, under different distances between plants using the nutrient film technique (NFT) established both inside and outside the greenhouse. The main objective of this study was to evaluate the impact of three plant distances (21 cm, 16 cm y 11 cm) on lettuce production, as well as to compare the results between indoor and outdoor crops. The studied variables were: variables of plant growth (plant height and number of leaves) and variables of crop yield (fresh and dry weight). Statistical analysis of the data revealed statistically significant differences between the distances. The treatment with greater distance presented a higher yield in general. When comparing the crops inside and outside the greenhouse, statistical differences were exhibited in most of the studied variables, nevertheless, the most relevant differences were those where the crop was developed without the greenhouse due to its highest values of fresh weight, an important variable for commercialization. Regarding the different distances between plants. These results highlight the importance of considering both the use or not of cover and planting density when designing hydroponic systems for lettuce production.

Author keywords: hydroponics, nft, *Lactuca sativa*



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract	3
Índice de contenido.....	4
Índice de tablas	7
Índice de figuras	9
Agradecimientos	10
Dedicatoria	11
Introducción	12
Objetivos	13
2.1 Objetivo general	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
Revisión bibliográfica.....	14
3.1 Principios básicos de la hidroponía	14
3.2 Breve historia de la hidroponía	15
3.3 Ventajas y desventajas de la hidroponía en comparación con la agricultura tradicional	15
3.4 Sistemas hidropónicos: la técnica de flujo laminar de nutrientes (NFT)	16
3.5 <i>Lactuca sativa</i> var. Seda.....	16
3.5.1 Caracterización taxonómica.....	17
3.5.2 Descripción morfológica de la variedad	18
3.5.3 Ciclo de crecimiento	18
3.6 Distancia entre plantas	18
3.6.1 Competencia por nutrientes y espacio.....	19
3.7 Cultivo de lechuga en invernadero	19
3.7.1 Manejo de la luz y temperatura.....	19
3.7.2 Presencia enfermedades y plagas en un ambiente protegido	19
3.6.3 Efectos del invernadero en la producción hidropónica	19

3.6.4 Comparación de rendimiento entre cultivos bajo invernadero y al aire libre	20
3.7 Parámetros de rendimiento	20
3.8 Requerimientos de potencial de hidrógeno (pH) y Conductividad eléctrica de la lechuga en sistemas hidropónicos.....	20
3.9 Requerimientos nutricionales específicos de la lechuga	21
3.6 Monitoreo y ajuste de los niveles de nutrientes durante el ciclo de cultivo	22
Materiales y método.....	24
4.1 Área de estudio	24
4.2 Materiales.....	24
4.2.1 Materiales físicos	25
4.2.2 Material biológico	25
4.2.3 Material químico	25
4.2.4 Material informático.....	25
4.3 Metodología	25
4.3.1 Características de invernadero.....	26
4.3.2 Construcción de los sistemas hidropónicos	26
4.3.3 Siembra de semillas	27
4.4.1 Metodología para primer objetivo específico	29
4.4.2 Metodología para el segundo objetivo específico	31
Resultados y discusión	32
5.1 Evaluación de la producción a distintas distancias entre plantas	32
5.1.1 Resultados de pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas	32
5.1.2 Análisis del comportamiento de las variables	32
5.1.3 Altura de la planta.....	33
5.1.4 Número de hojas.....	34
5.1.6 Peso seco total y por sección (tallo, raíz y hojas).....	38
5.2 Evaluación de la producción dentro y fuera de invernadero	41
5.2.1 Resultados de pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas	41
5.2.2 Análisis del comportamiento de las variables	42

5.2.3 Altura de planta dentro y fuera de invernadero.....	42
5.2.4 Número de hojas dentro y fuera de invernadero.....	43
5.2.5 Comparación de peso fresco total y por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero	44
5.2.6 Comparación de peso en seco total y por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero.....	47
Conclusiones	49
Recomendaciones	49
Referencias	50
Anexos	56

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Lactuca sativa</i> var. seda	17
Tabla 2. Pérdida de productividad en función de la CE (mS/cm) del extracto saturado (CEs) o de la solución acuosa (CEa). Tomado de SIMA (1985).....	21
Tabla 3. Valor del Coeficiente del cultivo (Kc) para distintas fases del cultivo, el mayor consumo de agua y por lo tanto de nutrientes se da en la fase intermedia, tomado de Jiménez (2015).....	21
Tabla 4. Recomendación en ppm de macronutrientes	22
Tabla 5. Ajuste de macronutrientes a valor Kc	23
Tabla 6. Ajuste de nutrientes para cada etapa del cultivo de lechuga	28
Tabla 7. Prueba de Shapiro-Wilks y Levene para altura de la planta (mm), número de hojas, peso fresco total, tallo, raíz y hojas (g) y peso seco total, tallo raíz y hojas (g).....	32
Tabla 8. Tabla resumen de resultados obtenidos dentro y fuera de invernadero para las distancias a evaluar.....	33
Tabla 9. Prueba de Dunn ($\alpha=0.05$) para la comparación de altura de plantas dentro de invernadero.....	33
Tabla 10. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación de altura fuera de invernadero .	34
Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) para la determinación de significancia de número de hojas dentro de invernadero	35
Tabla 12. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación de números de hojas fuera de invernadero.....	35
Tabla 13. Prueba de Dunn ($\alpha=0.05$) para la comparación de peso fresco total dentro de invernadero.....	36
Tabla 14. Prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) para la comparación de peso fresco fuera de invernadero.....	37
Tabla 15. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación de peso seco total dentro de invernadero.....	39
Tabla 16. Prueba de Shapiro-Wilks y Levene para altura de la planta (mm), número de hojas, peso fresco total, tallo, raíz y hojas (g) y peso seco total, tallo raíz y hojas (g), dentro y fuera de invernadero.....	41

Tabla 17. *Tabla resumen de resultados obtenidos en la comparación dentro y fuera de invernadero, se visualiza valores de media, valores máximos y valores mínimos, variables altura de planta (mm), número de hojas, peso fresco total, tallo, raíz y hojas (g) y peso seco total, tallo raíz y hojas (g) 42*

Índice de figuras

Figura 1. <i>Diagrama de sistema NFT (no a escala)</i>	16
Figura 2. <i>Ubicación espacial de la parroquia en donde se encuentran los sistemas hidropónicos (QGis)</i>	24
Figura 3. <i>Breve proceso de elaboración de metodología</i>	25
Figura 4. <i>Diseño 3D de un bloque de los sistemas</i>	27
Figura 5. <i>Consideración para toma de altura de planta</i>	30
Figura 6. <i>Variabilidad de fresco de las de las secciones (tallo, raíz y hojas) entre los tratamientos dentro de invernadero</i>	37
Figura 7. <i>Variabilidad de peso fresco por secciones (tallo raíz y hojas) fuera de invernadero (prueba de Tukey, p-valor > 0.05)</i>	38
Figura 8. <i>Variabilidad de peso seco por sección (tallo, raíz y hojas) a 105 °C entre tratamientos dentro de invernadero</i>	39
Figura 9. <i>Variabilidad de peso seco total a 105°C entre tratamientos fuera de invernadero</i>	40
Figura 10. <i>Variabilidad de peso seco por sección (tallo, raíz, hojas) a 105 °C entre tratamientos fuera de invernadero</i>	40
Figura 11. <i>Diferencias de altura de las plantas dentro y fuera de invernadero (prueba t, p-valor <0,0001)</i>	43
Figura 12. <i>Diferencias de número de hojas dentro y fuera de invernaderos (prueba de U de Mann-Whitney, p-valor <0,0001)</i>	44
Figura 13 <i>Diferencias de peso fresco dentro y fuera de invernadero (prueba de U de Mann-Whitney p-valor <0.0001)</i>	45
Figura 14. <i>Diferencias de peso fresco por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero</i>	46
Figura 15 <i>Diferencias de peso seco total a 105 °C dentro y fuera de invernadero (prueba de Mann-Whitney, p-valor <0.05)</i>	47
Figura 16. <i>Diferencia de peso seco por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero</i>	48

Agradecimientos

A Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para poder elaborar este trabajo de titulación.

A mis padres, Gerardina Mendoza y Luis Proaño a quienes amo de todo corazón, por su inquebrantable apoyo a pesar de las dificultades económicas y de salud, siempre han luchado para dar todo lo mejor a sus hijos.

A mis tíos, Miguel Ángel Salinas y Julia Mendoza, al igual que mis padres, por brindar su apoyo incondicional.

A mi primo Gonzalo Álvarez que me ayudó y brindó sus conocimientos al respecto y que a pesar de la adversidad pudimos salir adelante con el proyecto.

A mi enamorada Lisseth Chocho por su dedicación y compromiso a ayudarme sin pedir nada a cambio.

A mi hermana Erika Proaño por su constante apoyo emocional.

A mi hermano Santiago Proaño, a quien admiro y valoro profundamente por ser una guía, brindarme su amor incondicional y consentirme.

Finalmente, agradezco al cuerpo docente de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Cuenca, en especial al Ing. Pablo Quichimbo, por su inspiración y orientación en este trabajo de titulación.

Dedicatoria

Con cariño y gratitud, dedico esta tesis a mis padres, Gerardina Mendoza y Luis Proaño. Su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido mi mayor inspiración y motivación a lo largo de este camino académico. Cada logro alcanzado en este trabajo es un reflejo de su dedicación y ejemplo. Gracias por ser mi roca en los momentos difíciles y por creer en mí cuando más lo necesitaba. Este logro es también suyo, y les dedico este trabajo con todo mi corazón.

Introducción

La producción de *Lactuca sativa* (Lechuga) hidropónica ofrece numerosos beneficios en comparación con los sistemas tradicionales de siembra en suelo, por ejemplo, según Beltrado & Gimenez (2015) la hidroponía permite el cultivo de plantas sin necesidad de suelo, maximizando así la productividad por metro cuadrado. Estudios como el de Maquid *et al.* (2021), demuestran que los sistemas hidropónicos son económicamente superiores a los basados en el suelo, con una relación costo- beneficio más favorable aumentando la rentabilidad. No obstante, para la implementación de los cultivos hidropónicos se requiere de inversiones iniciales altas y esto plantea un desafío para la población con recursos limitados, sin embargo, los sistemas hidropónicos presentan un bajo riesgo de pérdida por el mayor control de los factores de producción, lo que los convierte en una opción segura y puede ser una alternativa viable para los pequeños agricultores. Sin embargo, el éxito de los cultivos hidropónicos depende de información específica del cultivo de los otros factores de producción, en este contexto, existe una escasez de información específica por variedades para lechuga sobre la densidad del cultivo en sistemas NFT (Nutrient Film Technique) en hidroponía y esto se constituye en una problemática de optimización de la productividad de este cultivo y de su adopción. Además, también es necesaria una evaluación de la producción con (sistemas cerrados) y sin (sistemas abiertos) invernadero, información que también es escasa. Fayeizadeh *et al.* (2021), destacan que los sistemas hidropónicos cerrados tienen un uso productivo del agua de hasta el 96% y de los nutrientes de hasta el 97%, en comparación con los sistemas hidropónicos abiertos. Estudios de Dsouza *et al.* (2023) manifiestan que la implementación de la agricultura de ambiente cerrado (CEA por sus siglas en inglés) aumenta la eficiencia de los recursos significativamente. Por lo tanto, el desarrollo de este proyecto es importante como fuente de información para fomentar la adopción de estos sistemas alternativos (sistemas hidropónicos) que pueden ser la base para la generación de ingresos de los productores ya que podrán obtener cosechas más contundentes y de mayor calidad, y en su defecto, pueden completar a los ingresos generados por los sistemas tradicionales (Basso *et al.* 2016).

Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar la producción de *Lactuca sativa* var. seda mediante hidroponía, bajo tres distancias entre plantas mediante sistemas NFT establecidos dentro y fuera de invernadero.

2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Seda) bajo tres distancias de plantación en sistemas de cultivo hidropónicos NFT.
2. Evaluar la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Seda) en sistemas de cultivo hidropónico NFT dentro y fuera de invernadero.

Revisión bibliográfica

3.1 Principios básicos de la hidroponía

Resh (2013) define a la hidroponía como un método de cultivo de plantas que excluye el suelo como sustrato de soporte, optando en su lugar por una solución nutritiva para proveer los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. En este sistema, las plantas reciben todos los nutrientes necesarios disueltos en agua, lo que permite un control minucioso sobre la disponibilidad y absorción de dichos nutrientes (Jones, 2004).

Es importante destacar que, en los sistemas hidropónicos, las raíces de las plantas requieren oxígeno para su sano crecimiento. Por consiguiente, la oxigenación del agua se convierte en un aspecto esencial para prevenir la asfixia radicular (Resh, 2013).

Según Urrestarazu (2015) al abordar estos sistemas sin suelo o hidropónicos, se debe tomar en cuenta los tratamientos y consideraciones aplicados que se dan a las raíces de las plantas, ya que, en general, la parte aérea o el vástago de las plantas se manejan de manera similar a los sistemas de suelo convencionales. Por consiguiente, las clasificaciones de los cultivos sin suelo suelen basarse en el manejo del sistema radical de las plantas. Los criterios fundamentales usados son:

- El medio físico o de cultivo donde se desarrollan y establecen las raíces de las plantas
- El método de suministro de la solución nutritiva
- La forma, si existe, de aireación de la solución nutritiva
- La presencia o ausencia de reciclaje o recuperación de esta

Asimismo, para asegurar una adecuada absorción de nutrientes por parte de las plantas, es fundamental mantener el pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva dentro de rangos óptimos (Savvas & Passam, 2018). Este control regular no solo promueve el crecimiento saludable de las plantas, sino que también minimiza el riesgo de deficiencias nutricionales.

Por último, se destaca la importancia del monitoreo constante y el ajuste periódico de la solución nutritiva en sistemas hidropónicos. Este proceso garantiza que las necesidades cambiantes de las plantas en diferentes etapas de crecimiento sean satisfechas de manera óptima (Resh, 2013).

3.2 Breve historia de la hidroponía

El desarrollo histórico de la hidroponía revela una evolución multifacética en el cultivo de plantas fuera del suelo. Desde las antiguas civilizaciones mesoamericanas hasta el Renacimiento y más allá, se observa un progresivo refinamiento de las técnicas hidropónicas.

En primer lugar, las civilizaciones precolombinas, como los aztecas en el Valle de México, implementaron las chinampas, sistemas de cultivo innovadores contruidos sobre cuerpos de agua (Alpizar, 2004). Paralelamente, los jardines colgantes de Babilonia representan otro ejemplo temprano de cultivo sin suelo, datados en el siglo VI a.C. (Salisbury & Ross, 2015).

Durante el Renacimiento, Leonardo da Vinci exploró ideas de cultivo sin tierra, marcando un punto de inflexión en la concepción de sistemas hidropónicos. Sin embargo, el verdadero avance en la hidroponía moderna se produjo en el siglo XIX, cuando científicos como Sachs y Knop realizaron experimentos cruciales que sentaron las bases del método (Raviv & Lieth, 2007). Alpizar (2004) interpreta la palabra "hidroponía", la cual es derivada del griego antiguo, ilustra el enfoque central del método: "hydro" significa "agua" y "ponos" significa "trabajo", dando lugar a "trabajo en agua".

3.3 Ventajas y desventajas de la hidroponía en comparación con la agricultura tradicional

Según Benedetta *et al.* (2023) afirman que existen múltiples razones por el cual los sistemas hidropónicos son superiores a los sistemas convencionales, sin embargo también existen desventajas para estos:

Ventajas

- Se corrigen deficiencias nutricionales
- Ahorro de insumos o químicos
- Recurso agua con excelente manejo
- Fácil control de sanidad
- Aprovecha el espacio

Desventajas

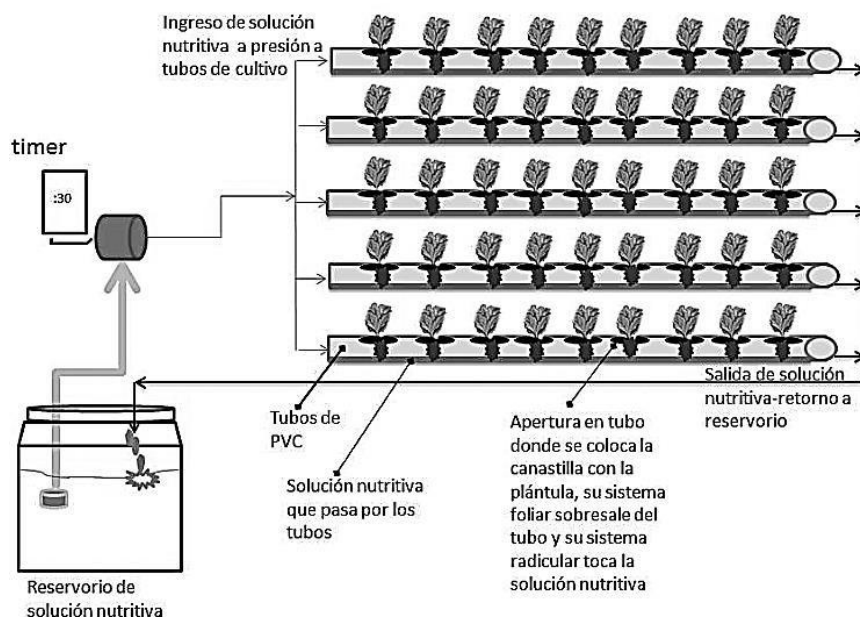
- Requiere de precisión al momento de manipular las soluciones nutritivas
- Costo inicial de inversión muy alto

3.4 Sistemas hidropónicos: la técnica de flujo laminar de nutrientes (NFT)

Dentro de los sistemas hidropónicos existen múltiples técnicas, una de ellas es el basado en la técnica de cultivo de flujo laminar de nutrientes (NFT), desarrollada a finales de la década de 1960 en Inglaterra, implica el crecimiento de las plantas con sus raíces introducidas en tubos o canales rectangulares, donde circula continuamente una solución nutritiva (Zárate, 2014). Aunque existen varias adaptaciones y modificaciones en base a los materiales usados para su construcción y funcionamiento, en los Andes del Perú, la Universidad de La Molina, que es uno de los centros referentes utilizan tubos de PVC de 3" de diámetro y 11 metros de longitud, espaciados de entre 20 a máximo 25 cm entre plantas para cultivo de lechuga (González, 2008) (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de sistema NFT (no a escala)



Nota. Adaptado de “Experiencias de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT” (p. 58), por L. Brenes y M. Jiménez, 2013, Tecnología en marcha, 27.

3.5 *Lactuca sativa* var. Seda

La lechuga (*Lactuca sativa*), una planta ampliamente cultivada y consumida globalmente por su valor culinario y medicinal, ha sido objeto de numerosos estudios científicos que respaldan

sus propiedades terapéuticas. Con compuestos bioactivos como terpenoides, flavonoides y fenoles, exhibe propiedades antimicrobianas, antioxidantes, neuroprotectoras e hipnóticas, además de ser una valiosa fuente de fitonutrientes, vitaminas y minerales. Su cultivo se extiende por todo el mundo, con los Estados Unidos y Europa liderando la producción, seguidos de áreas significativas en Australia, Asia, América del Sur y México. Estas cualidades, junto con su relevancia en la agricultura sostenible, hacen de la lechuga un objeto de estudio importante para investigaciones genéticas (Noumedem *et al.*, 2017; Pink & Eavan, 1993).

La *Lactuca sativa* de clase capitata, conocida como lechuga arrepollada, se divide en dos tipos: las crispheads (iceberg) y las butterheads. Las crispheads tienen cabezas crujientes y firmes debido a la superposición de las venas de las hojas, ideal para ensaladas. Las butterheads, como Batavia o Seda, tienen una textura más suave y delicada, perfecta para una variedad de platos (George, 2009).

Para este estudio se usó lechuga de tipo butterhead, la variedad Seda.

3.5.1 Caracterización taxonómica

Tabla 1

Clasificación taxonómica de *Lactuca sativa* var. *seda*

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Subfamilia:	Cichorioideae
Tribu:	Lactuceae
Género:	<i>Lactuca</i>
Nombre científico:	
<i>Lactuca sativa</i> L.	

Nota. Caracterización taxonómica de *Lactuca sativa* L. tomado de Mallar (1978).

3.5.2 Descripción morfológica de la variedad

Carrasco & Sandoval (2016), presenta características morfológicas importantes de la especie:

- El sistema radical de la lechuga está compuesto por una raíz principal poco profunda que experimenta un rápido crecimiento, especialmente en suelos húmedos. Las raíces laterales iniciales son horizontales y cercanas a la superficie del suelo, con el conjunto de raíces presentando un diámetro y longitud similares a la raíz principal.
- El tallo de la lechuga es corto, cilíndrico y aplanado, siendo el punto de emergencia de las hojas y el lugar de corte durante la cosecha (Maroto, 1989).
- Las hojas de lechuga son el principal atractivo comercial y varían en tamaño, forma y textura. Padilla & Molina (2014) afirman que las hojas se disponen en espiral formando una roseta o cogollo. Son simples, sésiles, con láminas lisas, y pueden ser anchas o angostas, orbiculares o sinuosas. La textura puede variar, algunas hojas son crujientes y otras más oleosas, con nervaduras más o menos prominentes.
- Los bordes de las hojas pueden ser lisos, ondulados, rizados o con deplecciones, y su tamaño es otra característica importante en su comercialización. Las lechugas tipo Romana son más grandes que las que forman cabeza, como Iceberg y butterhead.
- La inflorescencia de la lechuga se presenta en capítulos con 15 a 25 flores cada uno. La flor es autógama, con una tasa de polinización cruzada de hasta un 3%. El fruto, conocido como aquenio, es indehiscente y presenta un vilano plumoso en su base que se desprende. Su tamaño no supera los 3 mm y puede ser blanco o negro.

3.5.3 Ciclo de crecimiento

La lechuga cultivada se caracteriza por una duración variable según la variedad. En promedio, las variedades tempranas requieren alrededor de 50-60 días desde la siembra hasta la cosecha, mientras que las variedades tardías necesitan aproximadamente 70-80 días para completar su ciclo de cultivo (Japon, 1977), por tanto, la variedad que se usó en el experimento (seda) es una variedad tardía ya que tardó más de 70 días para completar su ciclo de cultivo.

3.6 Distancia entre plantas

El espaciamiento y las distancias entre plantas son aspectos críticos en la agricultura y la horticultura que pueden tener un impacto significativo en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Estos conceptos se refieren a la distancia física que se deja entre cada planta individual dentro de un cultivo o entre filas de plantas (Mosleh, 2023).

Goldberg (1996), afirma que el espaciamiento entre plantas en la agricultura es crucial. Aunque puede reducir la competencia por recursos y mejorar la circulación de aire, un espaciamiento excesivo puede desperdiciar espacio, especialmente en sistemas agrícolas de alta densidad. Por lo tanto, se debe considerar cuidadosamente el espaciamiento óptimo para maximizar el rendimiento por unidad de superficie.

3.6.1 Competencia por nutrientes y espacio

Según Aschehoug *et al.* (2016), la competencia entre plantas se deriva de sus características para adquirir recursos y ocupar espacio. Entender cómo estas características impulsan la competencia por recursos limitados puede mejorar nuestras predicciones sobre los resultados competitivos y las implicaciones de dicha competencia. La competencia por recursos puede ser entendida como el proceso mediante el cual individuos cercanos compiten por la adquisición de recursos esenciales de un suministro común y limitado (Trinder *et al.*, 2013).

3.7 Cultivo de lechuga en invernadero

3.7.1 Manejo de la luz y temperatura

La temperatura ideal y luminosidad según García (2013), para la producción de lechuga, ronda de los 20 a 24°C durante la mañana y la temperatura en la noche no debe bajar de los 10°C. La luminosidad deberá ser de entre 6-8 horas Luz.

3.7.2 Presencia enfermedades y plagas en un ambiente protegido

Suárez *et al.* (2021) afirman que, aunque algunas enfermedades pueden propagarse fácilmente en medios acuosos, la incidencia de estas enfermedades es menor en sistemas hidropónicos cerrados (Dentro de invernadero). Este fenómeno podría deberse a factores como la actividad microbiológica, el tipo de sustrato y la especie vegetal utilizada. Según una revisión reciente, los microorganismos antagonistas en sistemas hidropónicos pueden suprimir enfermedades mediante competencia por nutrientes, parasitismo, antibiosis e inducción de resistencia en las plantas.

3.6.3 Efectos del invernadero en la producción hidropónica

Los factores ambientales como la temperatura, el fotoperiodo y la luz afectan significativamente el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los productos. Por lo tanto, el cultivo controlado en invernaderos es una solución para superar la diversidad climática (Khammayom *et al.*, 2022). Aparte de la diversidad climática también se usan, por ejemplo,

grandes áreas de campos abiertos para la producción de cultivos principales (como leguminosas y cereales) que se han convertido en invernaderos para satisfacer la demanda de hortalizas, frutas y plantas ornamentales (Boulard *et al.*, 2011).

3.6.4 Comparación de rendimiento entre cultivos bajo invernadero y al aire libre

La comparación entre cultivos bajo invernadero y al aire libre es relevante en la agricultura y la horticultura, proporcionando información sobre sus ventajas y desventajas. Los estudios muestran que los cultivos bajo invernadero suelen tener un rendimiento superior en calidad y cantidad debido al control ambiental. Sin embargo, esto conlleva una inversión inicial y costos continuos más altos. Por otro lado, los cultivos al aire libre son más económicos, pero están sujetos a las fluctuaciones climáticas y tienen menos control ambiental. La elección depende del tipo de cultivo, condiciones locales y recursos disponibles (Jain *et al.*, 2023).

3.7 Parámetros de rendimiento

Poorter (2012) manifiesta que los indicadores o parámetros de desempeño o rendimiento en la agricultura y la biología vegetal son medidas empleadas para valorar el progreso y evolución de las plantas. Algunos indicadores son el peso fresco, que corresponde a la masa de la planta medida tras la recolección, el peso seco, que representa la masa de la planta tras deshidratarla para eliminar la humedad, y la biomasa, que indica la cantidad de material vegetal presente en una muestra. Estos indicadores son esenciales para comprender la productividad de los cultivos y pueden experimentar variaciones según la especie de la planta, las condiciones de cultivo y el método de evaluación aplicado.

3.8 Requerimientos de potencial de hidrógeno (pH) y Conductividad eléctrica de la lechuga en sistemas hidropónicos

El nivel de pH y conductividad eléctrica de la solución en sistemas hidropónicos son importantes, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por lo general, el rango ideal de pH varía entre 5,5 y 6,5, aunque también se puede llevar hasta 7 en algunos casos. Savvas & Passam (2018) afirman que este rango óptimo garantiza una absorción eficiente de nutrientes y un crecimiento saludable de las plantas, pero es importante adaptarlo según el cultivo y las condiciones específicas del sistema, la conductividad eléctrica del agua o de una solución nutritiva es una herramienta importante para monitorear la concentración de sales disueltas, según SIMA (1985) para que no haya pérdida de productividad de la lechuga se usa la siguiente información (Tabla 2):

Tabla 2

Pérdida de productividad en función de la CE (mS/cm) del extracto saturado (CE_{es}) o de la solución acuosa (CE_a). Tomado de SIMA (1985)

Pérdida de productividad	0%	10%	25%	50%
CE_{es}	1,3	2,1	3,2	5,2
CE_a	0,9	1,4	2,1	3,4

3.9 Requerimientos nutricionales específicos de la lechuga

En la Tabla 3 se puede ver el valor del coeficiente de cultivo (K_c) a lo largo del cultivo de lechuga según Jiménez (2015):

Tabla 3

Valor del Coeficiente del cultivo (K_c) para distintas fases del cultivo, el mayor consumo de agua y por lo tanto de nutrientes se da en la fase intermedia, tomado de Jiménez (2015).

Fases del cultivo	Inicial	Desarrollo	Intermedia	Final
K_c	0,45	0,6	1	0,9

Basándose en la investigación de Teng *et al.* (2024), se han identificado las siguientes recomendaciones para la composición de macronutrientes en sistemas hidropónicos para cultivos de lechuga. (Tabla 4):

Tabla 4

Recomendación en ppm de macronutrientes

Nutriente	Solución nutritiva (ppm)
N	129,18
P	48,32
K	183,23
S	52,10
Ca	136,52
Mg	32,68

Nota. ppm = partes por millón

3.6 Monitoreo y ajuste de los niveles de nutrientes durante el ciclo de cultivo

El coeficiente de cultivo (K_c) según Jiménez (2015), representa la tasa de absorción de agua y nutrientes por las plantas en diferentes etapas de su ciclo de crecimiento y se ajusta a cada fase del cultivo debido a los cambios en las necesidades nutricionales de las plantas a lo largo del tiempo. Este ajuste garantiza que las plantas reciban la cantidad adecuada de nutrientes en el momento preciso, lo que favorece un crecimiento saludable y una producción óptima de cultivos en sistemas hidropónicos y otros sistemas sin suelo (Wiesler, 2012) (Tabla 5).

Tabla 5

Ajuste de macronutrientes a valor Kc

Fases del cultivo	Inicial	Desarrollo	Intermedia	Final
Valor Kc	0,45	0,60	1	0,9
N	58,13	77,51	129,18	116,26
P	21,74	28,99	48,32	46,49
K	82,45	109,94	183,23	164,91
S	23,45	31,26	52,10	46,89
Ca	61,43	81,91	136,52	122,87
Mg	16,71	19,61	32,68	29,41

Nota. El valor de cada nutriente se encuentra en ppm, tomado de Wiesler (2012).

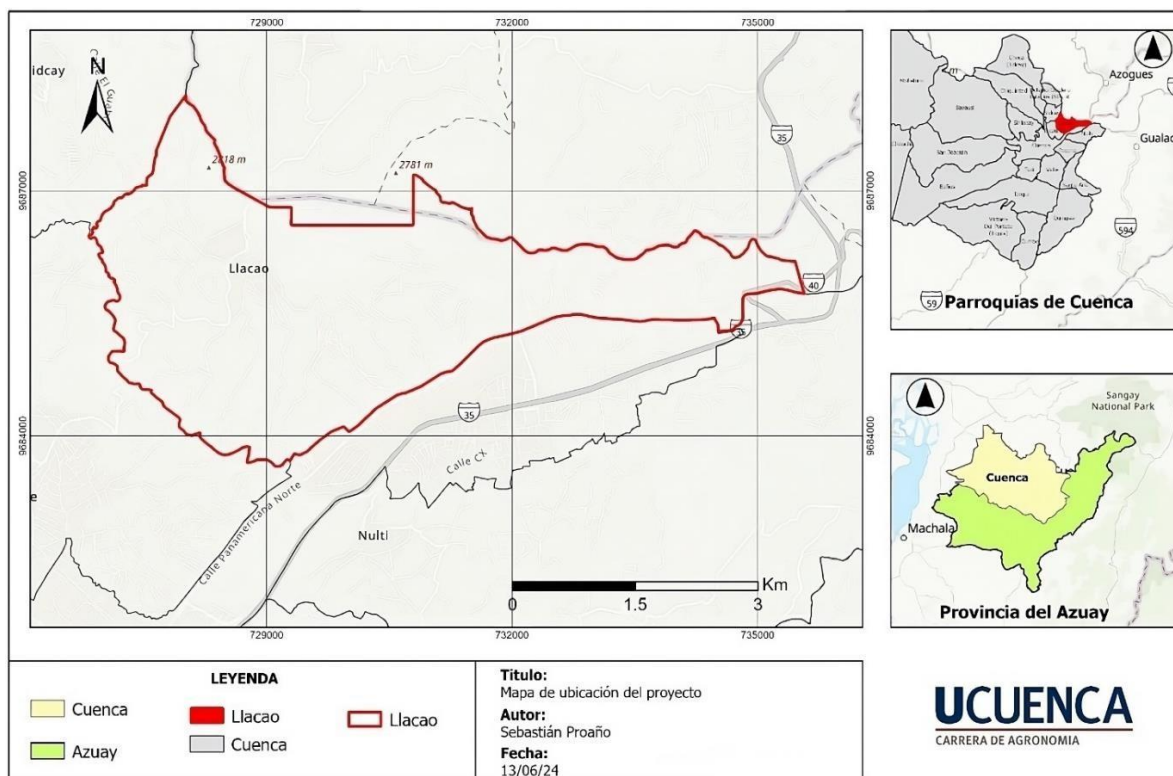
Materiales y método

4.1 Área de estudio

Como se puede apreciar en la Figura 2, el presente proyecto de titulación se elaboró en el barrio “San Martín”, perteneciente a la parroquia de “Llacao”, cantón Cuenca de la provincia del Azuay, en las coordenadas 2°50′58.43” S; 78°56′25.46” O, a una elevación de 2633 m.s.n.m. El área total del terreno es de 36 m².

Figura 2

Ubicación espacial de la parroquia en donde se encuentran los sistemas hidropónicos (Google Earth)



4.2 Materiales

Para este proyecto de titulación se usaron materiales físicos, químicos, biológicos e informáticos.

4.2.1 Materiales físicos

Se usaron varios materiales físicos y estructurales, importantes para la implementación del proyecto, dichos materiales incluyen pingos, tubos, bombas etc. (Anexo V).

4.2.2 Material biológico

Semilla de lechuga, variedad Seda certificada y agua lluvia.

4.2.3 Material químico

Sales minerales como: Nitrato de calcio (Yara), sulfato de magnesio (Solvesa), fosfato mono potásico (Arcoe), micronutrientes (Bascote plus 6m).

4.2.4 Material informático

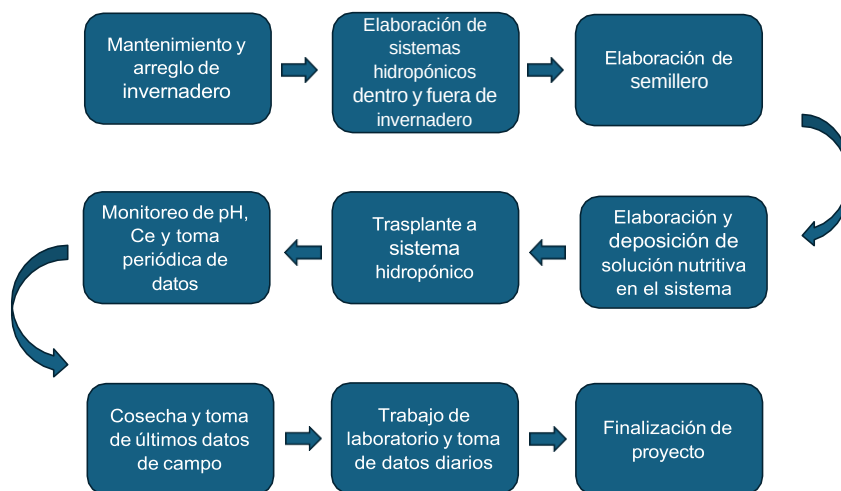
Excel móvil, InfoStat, QGis. 123d Desing, RStudio.

4.3 Metodología

En la Figura 3 se puede observar un resumen del proceso metodológico del proyecto desde la implementación de los sistemas hasta la toma de datos.

Figura 3

Breve proceso de elaboración de metodología



4.3.1 Características de invernadero

El lugar donde se llevó a cabo parte de este proyecto de titulación corresponde a un invernadero que tiene las siguientes características:

- Cubierta y paredes con plástico de polietileno
- Uso de malla tipo poli-sombra sobre el sistema
- Estructura metálica
- Altura de 2,50 m, 6 m de largo y 3 m de ancho
- Temperatura promedio de 35 °C durante el día y 10 °C en la noche
- La humedad relativa promedio de 60%
- Área total del invernadero es de 18 m²

4.3.2 Construcción de los sistemas hidropónicos

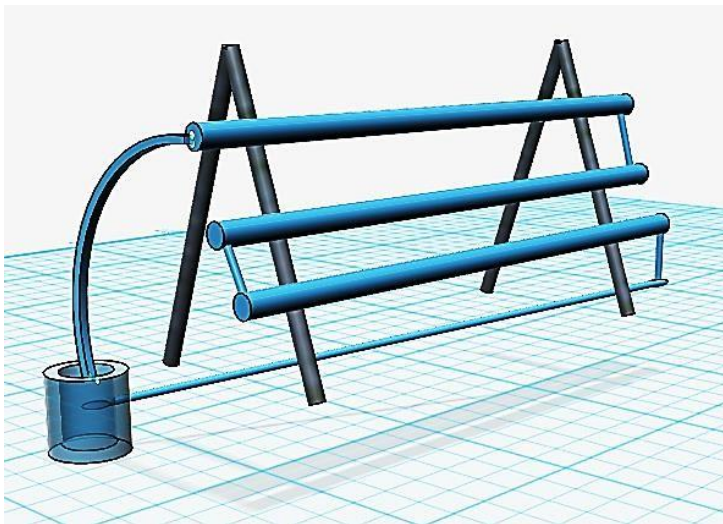
Para implementación del sistema hidropónico NFT en forma piramidal, se definió primero el diseño, luego, se ensambló la estructura utilizando tubos PVCD de 75 mm y pingos como soporte, colocando diez pingos inclinados a una altura de 1,8 m y distanciados 1,50 m entre cada par, fijando clavos en cada pingo para sostener los tubos PVC. Se usaron un total de 18 tubos PVC, 9 para cada sistema (dentro y fuera del invernadero). En cada sistema, los tubos se agruparon en tres bloques apilados en forma de repisas (tres tubos uno sobre otro). Se conectaron los componentes como reductores y tapones PVCD, así como los tubos PVC de presión con codos para dirigir el flujo de nutrientes. Se instalaron bombas en tanques de 100 L y se conectaron flexi-tubos para el suministro de nutrientes. Finalmente, se realizaron agujeros de 5 cm de diámetro en los tubos (doce por cada tubo) y se instalaron los vasos

hidropónicos en los agujeros. Como paso final se procedió a configurar los timers para el riego y se realizaron pruebas de funcionamiento. Finalmente, se monitoreó y realizó mantenimiento regular para garantizar el funcionamiento correcto del sistema hidropónico.

A continuación, se presenta la Figura 4, la cual proporciona una representación visual del diseño tridimensional del sistema hidropónico NFT. Esta figura ofrece una visión completa de los componentes clave del sistema y su disposición espacial, permitiendo una comprensión más clara de su funcionamiento.

Figura 4

Diseño 3D de un bloque de los sistemas



4.3.3 Siembra de semillas

Para la siembra se limpió el semillero para eliminar cualquier residuo y se aseguró de que esté nivelada para un drenaje adecuado, se mezcló los ingredientes del sustrato en las proporciones adecuadas (dos partes de tierra negra, una parte de arena y una parte de materia orgánica). Se aseguró de mezclar bien los sustratos para una distribución homogénea. Se llenó cada agujero de la bandeja con la mezcla de sustrato preparada, asegurando que estén llenos hasta el borde y compactos, pero no apretados en exceso. La siembra se dio a partir de una semilla en cada agujero de la bandeja de acuerdo con las recomendaciones específicas para la profundidad y la distancia entre las semillas de cada tipo de planta. El riego se aplicó suavemente en la bandeja de semillero después de la siembra para asegurar que el sustrato esté ligeramente húmedo y eventualmente se colocó en un recipiente lo suficientemente largo para depositar el agua ahí y mediante capilaridad garantizar que el sustrato siempre esté húmedo. Se evitó el exceso de agua para no desplazar

las semillas y para evitar pudrición. La colocación de la bandeja de semillero fue en un lugar con la exposición adecuada a la luz solar y protegido de fuertes corrientes de viento o lluvias intensas.

4.3.4 Preparación y control de la solución nutritiva

La solución nutritiva que usamos se basa en la de Trillas (2019) que sugiere usar disueltas en 100 L de agua las siguientes sales:

- Nitrato de calcio= 118 g
- Sulfato de magnesio= 49 g
- Fosfato mono potásico= 29 g

Para suplir con la demanda de micronutrientes del cultivo, se llevó a cabo el uso de abono verde altamente soluble (Bascote plus 6m), que contiene hierro (0,15%), cobre (0,5%), manganeso (0,06%), molibdeno (0,015%), zinc a (0,02%) y boro (0,02%), en una dosis de 0,3g/l. Para evitar el exceso de sales por parte de los macronutrientes se calculó la cantidad óptima que no influyera de forma negativa al cultivo, siendo esta de 30g para 100 L aumentando 108 ppm a la solución, obteniendo un total de 921,4 ppm que se encuentran por debajo del límite (1000 ppm) considerando también el uso de aquellas sales minerales mencionadas en la Tabla 6.

Las cantidades obtenidas de la Tabla 6 se deben ajustar al valor Kc del cultivo, para la aplicación de la solución se colocó las cantidades exactas en ppm en los tanques y mediante mediciones periódicas del pH y conductividad eléctrica se ajustó la solución. Estos parámetros fueron cuidadosamente monitoreados dos veces por semana y ajustados regularmente para mantener condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de las plantas de *Lactuca sativa* var. Seda en el sistema hidropónico. Se aseguró que el pH estuviera dentro del rango (5,5 y 6,5) para la absorción de nutrientes y que la conductividad eléctrica estuviera en niveles óptimos para el suministro de nutrientes disueltos para promover un desarrollo saludable de las plantas. Además, se controló la temperatura de la solución para prevenir el estrés térmico en las plantas y garantizar una absorción eficiente de nutrientes.

Tabla 6

Ajuste de nutrientes para cada etapa del cultivo de lechuga

Compuestos	Elementos	g/L	ppm	Inicial (0,45)	Desarrollo (0,6)	Intermedia (1)	Final (0,9)
------------	-----------	-----	-----	-------------------	---------------------	-------------------	----------------

Nitrato de calcio	Calcio (Ca)	0,27	271,40	122,13	162,84	271,40	244,26
	Nitrógeno (N)	0,14	137,70	61,97	82,62	137,70	123,93
Sulfato de magnesio	Magnesio (Mg)	0,09	88,20	39,69	52,92	88,20	79,38
	Azufre (S)	0,07	68,60	30,87	41,16	68,60	61,74
Fosfato monopotásico	Fósforo (P)	0,15	150,80	67,86	90,48	150,80	135,72
	Potasio (K)	0,10	98,60	44,37	59,16	98,60	88,74

Nota. Las cantidades establecidas se encuentran en ppm para cada etapa de cultivo.

Toma de datos

La toma de datos se la realizó desde el cuarto día después del trasplante y las plantas se encontraron en condiciones óptimas para la cosecha a los cuarenta y dos días después del trasplante (Anexo F).

4.4.1 Metodología para primer objetivo específico

Para cumplir el primer objetivo planteado, se usó un diseño experimental de bloques al azar (DBA) con tres repeticiones o bloques. Cada bloque consta de tres tratamientos (distancias de plantación) para lo cual se usaron tubos de PVC (unidades experimentales) y cada unidad experimental contiene 12 plántulas de lechuga que se constituyen en las unidades de observación.

La implementación del sistema NFT, estuvo constituido por tubos y codos PVC de 75 mm, el área que ocupó el sistema fue de 3x3 con una altura de 1,80 m de forma piramidal de 3 repisas (Repisas = Unidad experimental) (Figura 4), cada tubo fue perforado a un diámetro de 5 cm, necesarios para colocar las plantas de lechuga. Para que el sistema NFT funcione correctamente usamos agua lluvia, la cual fue almacenada inicialmente en un tanque de 250 L y luego fue llevada a tanques de 100 L, los cuales fueron suficiente para suplir con la cantidad de agua necesaria para completar el ciclo de cultivo de la lechuga.

Se definió las distancias ideales que, según la literatura de Serafín (2006), nos recomienda usar distancia entre plantas de 16 cm, pero se aumentó y redujo ese valor aproximadamente un 30%, valores que recomienda la literatura (Calori *et al.*, 2019; González, 2008), siendo los

tres tratamientos (T) siguientes: T1: 21 cm; T2: 16 cm; T3: 11 cm. La recolección de datos se dio cada semana durante todo el ciclo de cultivo de la planta hasta que alcance la madurez, se llevó un registro detallado de las condiciones del sistema. La configuración de este experimento se lo replicó bajo dos ambientes (con y sin invernadero) y se lo realizó con la finalidad de cumplir con el objetivo dos que se describe en lo posterior.

Específicamente para la recolección de datos de altura de la planta (que se llevó a cabo de forma semanal) se utilizó un instrumento llamado pie de rey, que nos brindó datos exactos en cada medición hasta que las plantas llegaron a una altura de 150 mm donde no se pudo seguir usando esta herramienta, se usó una cinta métrica para la toma de la altura. La toma del número de hojas se realizó de forma manual, se hizo el conteo una por una para asegurar la viabilidad de los datos (Anexo F).

La altura de la planta de lechuga se mide únicamente a partir del tallo principal (Figura 5) para asegurar la consistencia y uniformidad en las mediciones. Esto garantiza la comparabilidad entre diferentes plantas y el seguimiento preciso del crecimiento a lo largo del estudio (Ojo *et al.*, 2024).

Figura 5

Consideración para toma de altura de planta.



Nota. Adaptado de “Estimación de los parámetros fenotípicos de la lechuga hidropónica para una asignación eficiente de recursos”, por Ojo M., Zahid A., Masabni J., (2024), Computers and Electronics in Agriculture. 218.

Para la toma de datos del número de hojas, ésta se la realizó de forma manual y sin sacrificar a las plantas, ya que la variedad a evaluar no es de repollo, lo que facilitó la cuantificación directa de las hojas.

Para el peso fresco total, se pesaron el 100% de las plantas, mientras que para el peso por secciones (raíz, tallo y hojas) se tomó una muestra correspondiente al 25 % de plantas al azar, por ser un método destructivo, lo que involucró el corte de cada parte de la planta para su respectiva medición. Para el peso fresco, se pesó a la planta en el momento exacto de la cosecha, se la dejó drenar por un minuto y por consiguiente se realizó la toma del peso. En el estudio, se siguió la normativa de la ISO 11465:1993 para determinar el peso seco a 105°C de muestras de tallo, raíz y hojas. Esta normativa estandariza el método de secado de muestras biológicas a una temperatura específica (105°C) para asegurar la consistencia y precisión en la medición del peso seco, eliminando la humedad de manera controlada y replicable.

Para el análisis estadístico, se evaluó la normalidad y homocedasticidad de los datos mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. Una vez confirmada la normalidad de la distribución de los datos, se procedió con la ejecución de ANOVAs y como post-hoc la prueba de Tuckey. En caso contrario, se optó por pruebas no paramétricas como el Test de Kruskal-Wallis, con la prueba de Dunn como post hoc, para garantizar la robustez de los resultados ante posibles desviaciones de la normalidad. Todos estos análisis se desarrollaron en los programas Infostat y RStudio.

Las fluctuaciones de temperatura, consumo de agua etc. Se encuentran en el Anexo S y Anexo T.

4.4.2 Metodología para el segundo objetivo específico

Para la consecución del objetivo específico dos, se evaluó el efecto de la cubierta plástica (invernadero) bajo la comparación de la producción de lechuga (considerando las mismas variables descritas en el objetivo uno) y usando la configuración del sistema de cultivo descrito para el objetivo uno. Se optó por esta configuración de una simple comparación de datos debido a las limitaciones económicas que impidieron que se puedan tener repeticiones (más invernaderos). De manera que el análisis de datos será por una comparación de pares de datos usando una prueba T-Student o en su defecto una de U-Man-Whitney en caso de no cumplir con los supuestos de normalidad. Estos análisis estadísticos se los realizó usando el programa Infostat y RStudio en el caso de requerirlo.

Resultados y discusión

5.1 Evaluación de la producción a distintas distancias entre plantas

5.1.1 Resultados de pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas

La Tabla 7 presenta los resultados de pruebas estadísticas importantes (Shapiro-Wilks y Levene) para evaluar la normalidad y la homogeneidad de varianzas en múltiples atributos relacionados con las plantas usados como variables en este proyecto. Estos atributos incluyen la altura de la planta (mm), el número de hojas, el peso fresco total de tallo, raíz y hojas (g), así como el peso seco correspondiente.

Tabla 7

Prueba de Shapiro-Wilks y Levene para altura de la planta (mm), número de hojas, peso fresco total, tallo, raíz y hojas (g) y peso seco total, tallo raíz y hojas (g)

Variables/Pruebas	Dentro de invernadero		Fuera de invernadero	
	Shapiro-Wilk ($p<0,05$)	Levene ($p<0,05$)	Shapiro ($p<0,05$)	Levene ($p<0,05$)
Altura de la planta	0,0033	0,0006	0,7115	0,0563
Número de hojas	<0,0001	0,0001	0,1093	0,2350
Peso fresco total	0,0629	0,0089	0,5097	0,0107
Peso fresco de tallo	0,3431	0,6425	0,7852	0,0605
Peso fresco de raíz	0,7410	0,0727	0,4110	0,0902
Peso fresco de hojas	0,5680	0,0191	0,1317	0,1612
Peso seco total	0,6640	0,0817	<0,0001	0,4131
Peso seco de tallo	0,1809	0,0750	<0,0001	0,8025
Peso seco de raíz	0,4670	0,6873	<0,0001	0,9479
Peso seco de hojas	0,9323	0,0610	<0,0001	0,9365

Nota. Todas las variables de altura están representadas en milímetros (mm) y variables de peso en gramos (g)

5.1.2 Análisis del comportamiento de las variables

La Tabla 8 proporciona un resumen detallado de los valores de media, valores máximos y valores mínimos para diversas variables tales como altura de planta (mm), número de hojas, peso fresco total, tallo, raíz y hojas (g) y peso seco total, tallo raíz y hojas (g).

Tabla 8

Tabla resumen de resultados obtenidos dentro y fuera de invernadero para las distancias a evaluar.

Variables/Tratamientos	Dentro de invernadero [Media (máximo-mínimo)]			Fuera de invernadero [Media (máximo-mínimo)]		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Altura de la planta	268,17 (305-225)	255,39 (300-175)	273,33 (305-225)	211 (240-185)	221,19 (255-194)	248,50 (295-205)
Número de hojas	34,47 (45-21)	30,19 (41-12)	31,36 (42-16)	23,36 (30-15)	21,47 (28-14)	21,31 (28-16)
Peso fresco total	159,19 (258-52)	128,78 (226-23)	130,25 (200-33)	188,17 (281-99)	164,25 (244-81)	160,90 (244-118)
Peso fresco de tallo	19 (24-15)	14,33 (18-11)	11 (14-9)	15 (28-9)	15,67 (18-14)	20 (18-12)
Peso fresco de raíz	17,33 (23-13)	12,33 (13-11)	9,67 (11-8)	14,33 (29-9)	16,33 (22-8)	19,67 (22-17)
Peso fresco hojas	141,33 (195-108)	107 (113-103)	101,67 (116-91)	138,67 (187-133)	152 (207-104)	177,33 (207-151)
Peso seco total	10,72 (15,79-6,1)	8,68 (12,07-4,15)	8,25 (11,44-5,07)	6,84 (16,82-3,87)	5,83 (16,07-1,71)	5,21 (13,84-0,78)
Peso seco de tallo	1,14 (2,36-0,4)	1 (1,57-0,18)	0,84 (1,61-0,41)	0,7 (2,72-0,16)	0,60 (1,2-0,15)	0,52 (1,82-0,1)
Peso seco de raíz	1,54 (2,31-0,5)	1,28 (1,88-0,5)	1,27 (2,24-0,3)	0,7 (2,56-0,06)	0,71 (1,86-0,06)	0,54 (1,82-0,11)
Peso seco hojas	8,05 (12,15-4,98)	6,56 (8,8-3,19)	5,98 (8,11-4,04)	5,44 (12,85-3,47)	4,52 (13,01-0,64)	4,16 (10,33-0,05)

Nota. Todas las variables de altura están representadas en milímetros (mm) y variables de peso en gramos (g)

5.1.3 Altura de la planta

Mediante el análisis estadístico se logró determinar que existen diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Kruskal-Wallis, p-valor = 0.03) para la altura de la planta (mm) dentro de invernadero, donde el tratamiento tres (T3) obtuvo la altura mayor y el tratamiento dos (T2) presentó el valor menor entre la comparación (prueba de Dunn, p-valor = 0,0142; Tabla 9).

Tabla 9

Prueba de Dunn ($\alpha=0.05$) para la comparación de altura de plantas dentro de invernadero

Tratamientos	Rangos	Niveles
T2	44,28	A
T1	55,83	A B
T3	63,39	B

Nota. Letras mayúsculas (en Niveles) indican diferencias significativas entre tratamientos

El análisis estadístico de comparación de medias de la altura de la planta fuera de invernadero indicó que existen diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA, p -valor $< 0,0001$). El tratamiento tres (T3) fue el que mostró la mayor altura de la planta, mientras que el tratamiento uno (T1) fue el del valor más bajo entre los tratamientos (prueba de Tukey, valor- $p < 0.05$; Tabla 10).

Tabla 10

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación de altura fuera de invernadero

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Niveles
T1	211	36	2,98	A
T2	221,19	36	2,98	B
T3	248,5	36	2,98	C

Nota. Letras mayúsculas (en Niveles) indican diferencias significativas entre tratamientos

Los resultados obtenidos en este estudio (Tabla 9 y 10) con respecto a la altura de la planta coinciden con hallazgos previos, como el estudio realizado por Calori (2019), que sugiere una clara tendencia en la relación entre la distancia entre plantas y la altura de la planta. Maboko & Plooy (2009) también mediante un sistema sin suelo cuatro cultivares de lechuga, analizó cada cultivar a cinco distancias entre plantas distintas, donde la distancia menor entre plantas fue la que ofreció mayor altura, similar hallazgo fue mostrado por Huda *et al.* (2022), que obtuvieron en su estudio que el tratamiento con la mayor densidad de siembra exhibió la mayor altura en las plantas. Por lo tanto, las densidades más altas presentaron mayores alturas al menos fuera de invernadero, lo que sugiere que las plantas orientaron su crecimiento vertical debido al espacio restringido para su expansión lateral en general, nuestros resultados son concordantes con lo que reportaron los estudios antes mencionados, así la menor distancia provocó un mayor crecimiento vertical de la planta tanto dentro como fuera del invernadero.

5.1.4 Número de hojas

Mediante el análisis estadístico se logró determinar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (prueba de Kruskal-Wallis, p -valor = 0,0852) para el número de hojas dentro de invernadero (Tabla 11).

Tabla 11

Prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) para la determinación de significancia de número de hojas dentro de invernadero

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Número de							
hojas	T1	36	34,47	5,89	35,5	4,91	0,0852
	T2	36	30,19	9,65	34		
	T3	36	31,36	5,28	31		

Los resultados de la Tabla 11, coinciden con el estudio de Colque (2017), que no encontró diferencias significativas entre los tratamientos de densidad de siembra dentro de invernadero. Esto sugiere que la densidad de siembra puede no tener un impacto significativo en la producción de hojas en el cultivo de lechuga bajo ciertas condiciones ambientales. Sin embargo, en el estudio de Makhadmeh *et al.* (2017) evaluaron dos densidades de siembra en lechuga dentro de invernadero y lograron determinar que la mayor distancia entre plantas influye directamente en el número de hojas que la planta puede desarrollar, pues obtuvieron resultados significativos en este análisis.

En el caso del número de hojas fuera del invernadero se evidenciaron diferencias estadísticas significantes (ANOVA, p-valor = 0,0112). Mediante comparación de medias (prueba de Tukey, p-valor < 0,05) tratamiento uno (T1) resultó ser el que presentó el mayor número de hojas y tratamiento tres (T3) mostró el menor número de hojas (Tabla 12).

Tabla 12

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación de números de hojas fuera de invernadero

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Niveles
T3	21,31	36	0,53	A
T2	21,47	36	0,53	A
T1	23,36	36	0,53	B

Nota. Letras mayúsculas (en Niveles) indican diferencias significativas entre tratamientos

Huda *et al.* (2022) lograron determinar resultados semejantes a los de este proyecto, donde el análisis del número hojas por planta reveló un patrón interesante: el mayor número se

encontró en las plantas de menor densidad de siembra, mientras que el menor se registró en las de mayor densidad, por tanto, a mayor densidad, menor será el número de hojas.

5.1.5 Peso fresco total y por sección (tallo, raíz y hoja)

El peso fresco de total mostró diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Kruskal-Wallis, p -valor = 0.0253) dentro de invernadero, donde el tratamiento uno (T1) obtuvo el peso mayor y el tratamiento dos (T2) presentó el valor menor entre la comparación (prueba de Dunn, p -valor = 0,0120; Tabla 13).

Tabla 13

Prueba de Dunn ($\alpha=0.05$) para la comparación de peso fresco total dentro de invernadero

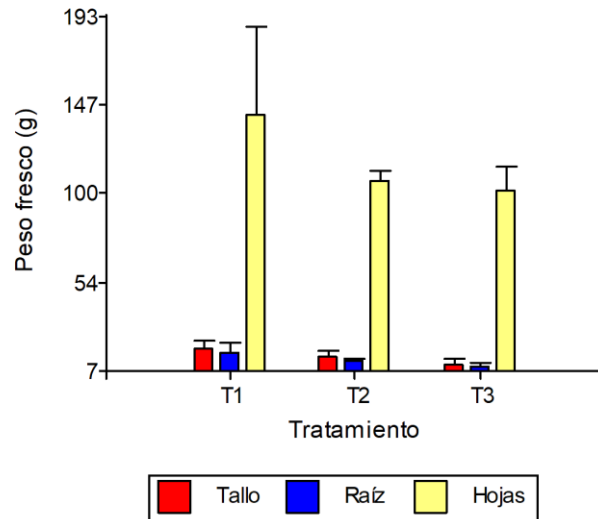
Tratamiento	Rangos	Niveles	
T1	45,9	A	
T2	52,11	A	B
T3	65,49		B

Nota. Letras mayúsculas (en Niveles) indican diferencias significativas entre tratamientos

El análisis estadístico de comparación de medias del peso fresco de tallo, raíces y hojas dentro de invernadero mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (prueba de Tukey, $\alpha = 0.05$) para peso fresco (g) de las raíces (p -valor = 0.0938) y de tallo (p -valor = 0.0629), (prueba de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0.05$) para hojas (p -valor = 0.1774) (Figura 6). La inconsistencia entre las diferencias estadísticas encontradas entre el peso fresco total y las no encontradas para las secciones pueden atribuirse al número de observaciones empleadas para estas dos estimaciones (para el peso total se tomaron en cuenta el 100% de las plantas, mientras que para el peso de las secciones se usó el 25%).

Figura 6

Variabilidad de fresco de las de las secciones (tallo, raíz y hojas) entre los tratamientos dentro de invernadero.



Fuera del invernadero para el peso fresco total, mediante el análisis estadístico se logró determinar que existen diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Kruskal-Wallis, p-valor = 0.0028; Tabla 14) para peso fresco de la planta (g), donde el tratamiento uno (T1) obtuvo el peso mayor y el tratamiento tres (T3) presentó el valor menor entre la comparación (prueba de Dunn, p-valor = 0,0010).

Tabla 14

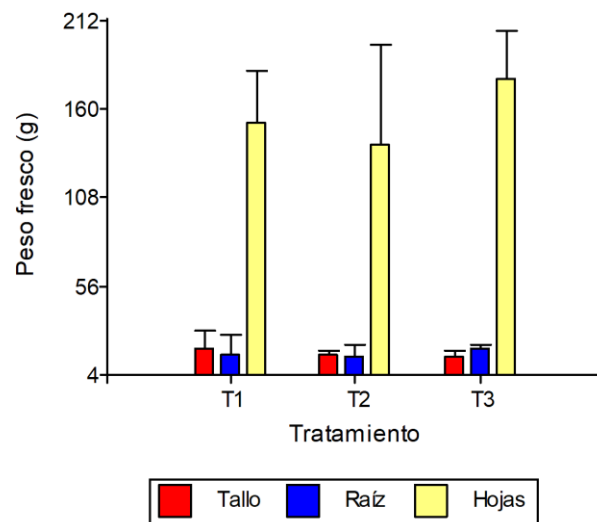
Prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) para la comparación de peso fresco fuera de invernadero

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso en fresco (g)	T1	36	188,17	38,58	192,5	11,74	0,0028
	T2	36	164,25	42,41	176		
	T3	36	160,97	26,57	153		

De forma fraccionada, el peso seco de tallo, raíces y hojas fuera del invernadero, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Tukey, $\alpha = 0.05$); así, para el peso fresco (g) del tallo (p-valor = 0.5781), raíces (p-valor = 0.7073) y hojas (p-valor = 0.5481) (Figura 7). De igual manera que para el peso fresco dentro del invernadero, el tamaño de la muestra estaría afectando a los resultados.

Figura 7

Variabilidad de peso fresco por secciones (tallo raíz y hojas) fuera de invernadero (prueba de Tukey, p -valor > 0.05).



En general, las diferencias encontradas en el peso fresco total entre cultivo con y sin invernadero, concuerdan con los hallazgos de Gonella *et al.* (2003) y Makhadmeh *et al.* (2017), quienes indican que, a mayor distancia entre plantas (o menor densidad), mayor será el peso fresco de la lechuga, en nuestro caso el tratamiento con la mayor distancia es el que muestra el mayor peso. Este fenómeno podría atribuirse a una mayor disponibilidad de recursos por planta, lo que favorece un mayor crecimiento y acumulación de biomasa.

5.1.6 Peso seco total y por sección (tallo, raíz y hojas)

Mediante el análisis estadístico se logró determinar que existen diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Tukey, ANOVA, p -valor = 0.0036; Tabla 15) para peso seco total de la planta (g) dentro de invernadero, donde el tratamiento uno (T1) obtuvo el peso mayor y el tratamiento tres (T3) presentó el valor menor entre la comparación.

Mediante una prueba paramétrica se obtuvo que existen diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Tukey, ANOVA, p -valor < 0.05) para peso seco (g) de las hojas dentro de invernadero, donde el tratamiento uno (T1) fue el tratamiento con mayor peso a comparación de tratamiento dos y tres (T2; T3). No existieron diferencias significativas entre los tratamientos para peso seco (g) de tallo (p -valor = 0.1462) y raíces (p -valor = 0.1769) (Figura 8).

Tabla 15

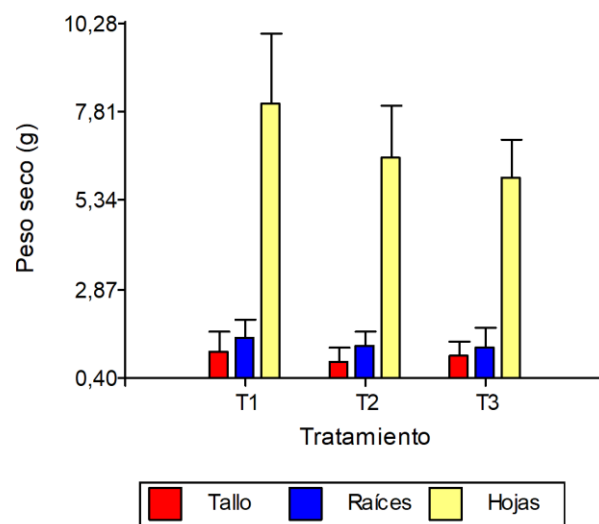
Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación de peso seco total dentro de invernadero

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Niveles
T3	8,25	18	0,53	A
T2	8,68	18	0,53	A
T1	10,72	18	0,53	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 8

Variabilidad de peso seco por sección (tallo, raíz y hojas) a 105 °C entre tratamientos dentro de invernadero.



Mediante el análisis estadístico para el peso seco total fuera de invernadero se logró determinar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Kruskal-Wallis, p -valor = 0.0896; Figura 9).

El análisis estadístico de comparación de medias del peso seco de tallo, raíces y hojas fuera de invernadero logró determinar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (prueba de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0.05$), para peso seco (g) de tallo (p -valor = 0.4529) y raíces (p -valor = 0.3453) y hojas (p -valor = 0.0502) (Figura 10).

De igual manera nuestros resultados coinciden con los de Gonella et al. (2003), quienes afirmaron que, a menor densidad de plantas, mayor será el peso de la lechuga dentro de

invernadero. Este fenómeno podría atribuirse a una mayor disponibilidad de recursos por planta, lo que favorece un mayor crecimiento y acumulación de biomasa.

Figura 9

Variabilidad de peso seco total a 105°C entre tratamientos fuera de invernadero

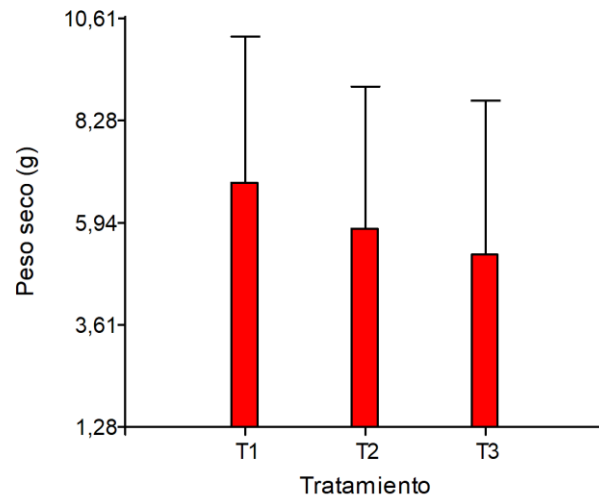
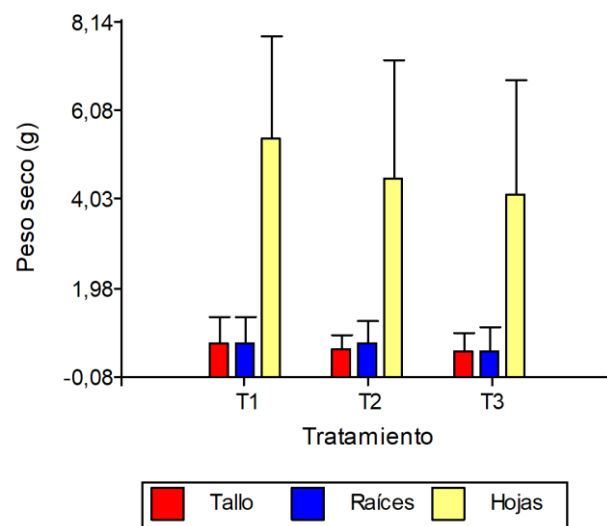


Figura 10

Variabilidad de peso seco por sección (tallo, raíz, hojas) a 105 °C entre tratamientos fuera de invernadero



Jin *et al.* (2021), a través de sus resultados, destaca un fenómeno interesante en el cultivo de lechugas, al iniciar con una densidad alta de siembra cuando las plantas son pequeñas, no se observa una influencia significativa en los parámetros de evaluación. Esto sugiere que, en

las etapas tempranas de desarrollo, las plantas son capaces de tolerar y adaptarse a la alta densidad sin que esto afecte significativamente su rendimiento. Sin embargo, a medida que las plantas crecen y se desarrollan, Jin *et al.* (2021) observan una disminución gradual en su peso seco a medida que las plantas aumentan de tamaño y se empiezan a estrechar. Estos resultados se asemejan a los de este proyecto, a medida que las plantas se vuelven más grandes y requieren más recursos, como luz, agua y nutrientes, la competencia entre ellas se intensifica, lo que resulta en una reducción en el peso seco individual de cada planta en el momento de su cosecha.

5.2 Evaluación de la producción dentro y fuera de invernadero

5.2.1 Resultados de pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas

La prueba de Shapiro-Wilks y Levene se utilizó para evaluar la normalidad y la homogeneidad de varianzas de diversas variables relacionadas con las plantas, tanto dentro como fuera de invernadero. La comparación entre los valores obtenidos dentro y fuera del invernadero permitió analizar cómo diferentes condiciones ambientales afectan estas medidas (Tabla 16).

Tabla 16

Prueba de Shapiro-Wilks y Levene para altura de la planta (mm), número de hojas, peso fresco total, tallo, raíz y hojas (g) y peso seco total, tallo raíz y hojas (g), dentro y fuera de invernadero.

Variables	Shapiro-Wilk ($p < 0,05$)	Levene ($p < 0,05$)
Altura de planta	0,8482	0,7305
Número de hojas	<0,0001	<0,0001
Peso fresco total	0,1185	0,0235
Peso fresco de tallo	0,5141	0,6058
Peso fresco de raíz	0,6303	0,0754
Peso fresco de hojas	0,3201	0,1470
Peso seco total	<0,0001	0,1655
Peso seco de tallo	<0,0001	0,2725
Peso seco de raíz	0,0790	0,7276
Peso seco de hojas	<0,0001	0,0788

Nota. Todas las variables de altura están representadas en milímetros (mm) y variables de peso en gramos (g)

5.2.2 Análisis del comportamiento de las variables

La Tabla 17 resume los resultados obtenidos al comparar variables clave relacionadas con el crecimiento de plantas dentro y fuera de invernadero. Estos datos permiten visualizar y analizar el comportamiento diferencial de las variables bajo distintas condiciones ambientales (dentro y fuera de invernadero).

Tabla 17

Tabla resumen de resultados obtenidos en la comparación dentro y fuera de invernadero, se visualiza valores de media, valores máximos y valores mínimos, variables altura de planta (mm), número de hojas, peso fresco total, tallo, raíz y hojas (g) y peso seco total, tallo raíz y hojas (g).

	Grupo 1 (Dentro de invernadero)			Grupo 2 (Fuera de invernadero)		
	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Altura de planta	265,6	305,0	175,0	226,9	295,0	185,0
Número de hojas	32,0	45,0	12,0	22,0	30,0	14,0
Peso fresco total	144,6	242,0	109,0	189,7	244,0	131,0
Peso fresco de tallo	14,8	24,0	9,0	16,9	28,0	9,0
Peso fresco de raíz	13,1	23,0	8,0	16,8	29,0	8,0
Peso fresco de hojas	116,7	195,0	91,0	156,0	207,0	104,0
Peso seco total	9,2	15,8	4,2	6,0	16,8	0,8
Peso seco de tallo	1,0	2,4	0,2	0,6	2,7	0,1
Peso seco de raíz	1,4	2,3	0,3	0,7	2,6	0,1
Peso seco de hojas	6,9	12,2	3,2	4,7	13,0	0,5

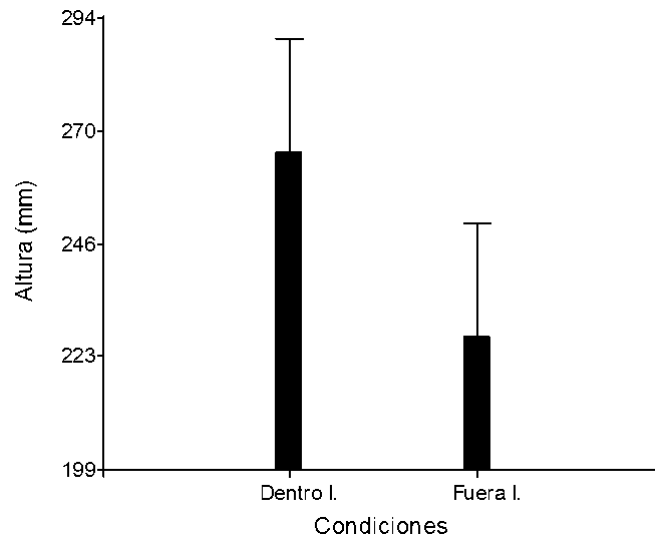
Nota. Todas las variables de altura están representadas en milímetros (mm) y variables de peso en gramos (g)

5.2.3 Altura de planta dentro y fuera de invernadero

Para la comparación de medias de la altura de la planta se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (prueba t, p-valor <0,0001) para la altura de la planta dentro y fuera de invernadero, obteniendo que las plantas del grupo uno (dentro de invernadero) son superiores a aquellas del grupo dos (fuera de invernadero), se obtuvieron medias (mm) de 265,63 g y 226,9 g respectivamente (Figura 11).

Figura 11

Diferencias de altura de las plantas dentro y fuera de invernadero (prueba t, p-valor <0,0001).



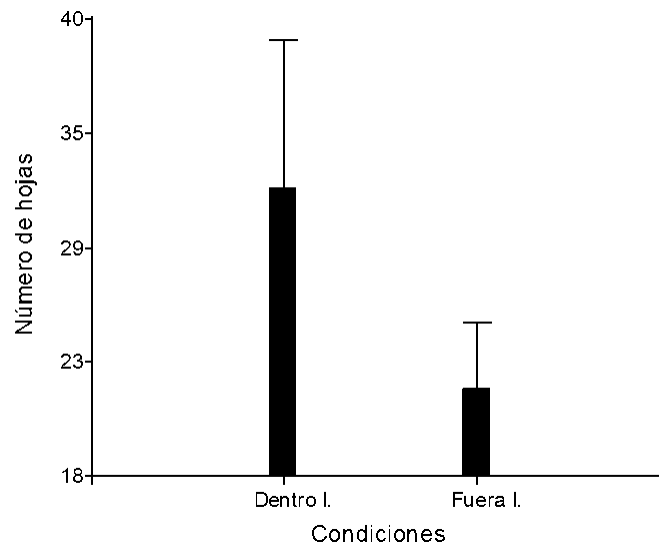
En el estudio James *et al.* (2023) se comparó la altura de la planta en condiciones bajo invernadero y a campo abierto, tras la comparación sus resultados tuvieron diferencias significativas y a la vez obtuvieron que las plantas dentro de invernadero en promedio son un 48% mejores en relación a las que se encontraban en condiciones de campo abierto, esto es consistente con nuestros resultados, determinando que las condiciones dentro de invernadero sí influyen en la altura de la planta.

5.2.4 Número de hojas dentro y fuera de invernadero

Para el número de hojas se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (prueba de U de Mann-Whitney, p-valor <0,0001) para el número de hojas dentro y fuera de invernadero, obteniendo que las plantas del grupo uno (dentro de invernadero) son superiores a aquellas del grupo dos (fuera de invernadero), se obtuvieron medias de 32,01 y 22.05 hojas respectivamente.

Figura 12

Diferencias de número de hojas dentro y fuera de invernaderos (prueba de U de Mann-Whitney, p-valor <0,0001).



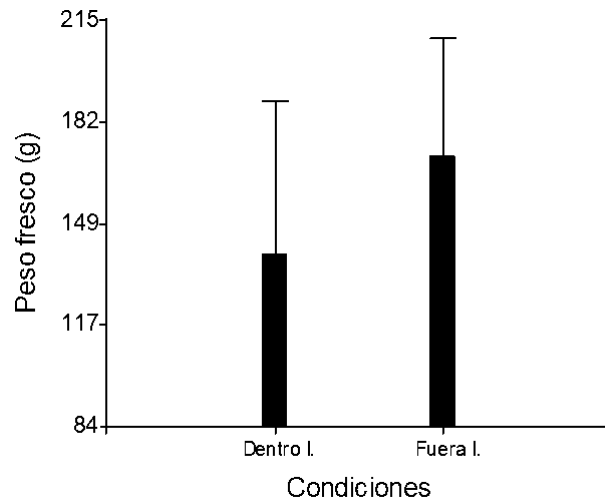
El estudio de Amirahmadi *et al.* (2023) muestra, a través de la comparación de cuatro escenarios (dos de ellos involucran el uso de invernaderos), que el rendimiento (ton ha^{-1}) y otros parámetros de observación como lo es el número de hojas son considerablemente mayores en los escenarios que implican el uso de invernaderos. También otro estudio como el de James *et al.* (2023), evaluó el número de hojas de las plantas tanto en condiciones de invernadero como en campo abierto. Tras la comparación, se encontraron diferencias significativas siendo las plantas en condiciones de invernadero las mejores. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en nuestro estudio, donde también se encontraron diferencias significativas entre los grupos, demostrando así la influencia positiva de las condiciones de invernadero en el número de hojas en las plantas.

5.2.5 Comparación de peso fresco total y por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero

Mediante el análisis estadístico se logró determinar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (prueba de U de Mann-Whitney p-valor <0.0001) para peso fresco dentro y fuera de invernadero, obteniendo que las plantas del grupo dos (fuera de invernadero) son superiores a aquellas del grupo uno (dentro de invernadero) con medias de 171,1 g y 139,4 g, respectivamente (Figura 13).

Figura 13

Diferencias de peso fresco dentro y fuera de invernadero (prueba de U de Mann-Whitney p-valor <0.0001).

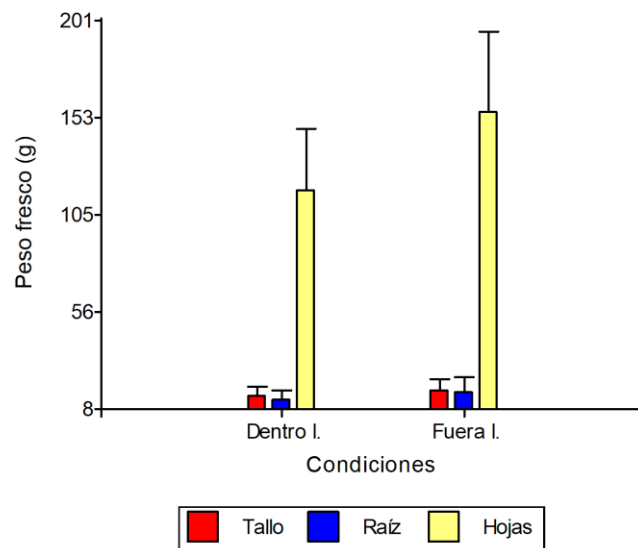


Para el caso de las hojas, existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (prueba T student, p-valor < 0.05) para el peso fresco (de las hojas) dentro y fuera de invernadero, obteniendo que las plantas del grupo dos (fuera de invernadero) son superiores a aquellas del grupo uno (dentro de invernadero) (Figura 14). Según el análisis estadístico se logró determinar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos para el peso fresco de los tallos (p-valor = 0.407) y raíces (p-valor = 0.2034).

La composición del peso fresco de las plantas, donde más del 90% corresponde a agua, como señala Raviv et al. (2001), confirma la importancia del agua en la estructura y el funcionamiento de las plantas. En el estudio de Zhou et al. (2022), se encontró que la temperatura óptima para la tasa fotosintética máxima, el punto de saturación de luz, el contenido de clorofila y el rendimiento de la lechuga fue de 23°C. Este hallazgo coincide relativamente con nuestra investigación realizada fuera de invernadero, donde la temperatura promedio fue de 21.12°C, demostrando ser óptima para el rendimiento debido a peso fresco de la lechuga, sin embargo, la temperatura dentro de invernadero sobrepasó los 23 °C provocando valores inferiores del peso fresco.

Figura 14

Diferencias de peso fresco por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero.



Se observó una similitud con los resultados de Branco *et al.* (2017), quienes también señalaron que las plantas cultivadas bajo baja intensidad lumínica tienden a mostrar una menor eficiencia en la producción de biomasa. Esta tendencia se corroboró en nuestro experimento realizado dentro del invernadero ya que el paso de intensidad lumínica se vio afectada por el uso de poli-sombra sobre todas las lechugas.

En su estudio, Fu *et al.* (2013) determinaron que el peso fresco de la planta de lechuga aumentó con niveles intermedios de intensidad de luz, mientras que disminuyó con intensidades bajas. Ghorbel *et al.* (2023) señala que las plantas en condiciones de baja luminosidad redistribuyen sus productos hacia las hojas para mantener una tasa normal de fotosíntesis. Sin embargo, este proceso puede conducir al adelgazamiento de las hojas, lo que a su vez reduce su capacidad para retener o acumular agua entre sus tejidos, razón por la cual las plantas obtuvieron un menor peso fresco dentro de invernadero que fuera.

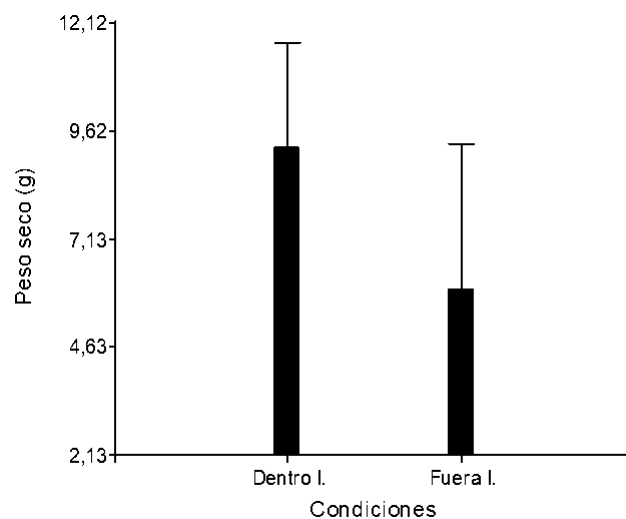
Estudio como el de Gonzaga *et al.* (2018) respalda nuestros resultados, donde se evaluó el peso fresco de las raíces, tallos y hojas de lechuga usando un método de cultivo sin cubierta y otro con cubierta (bajo túnel), lograron determinar que no existen diferencias significativas entre los grupos, para la raíz y tallo, pero para las hojas fueron evidentes las diferencias.

5.2.6 Comparación de peso en seco total y por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero

Mediante el análisis estadístico se logró determinar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (prueba de U de Mann-Whitney, p -valor <0.05) para peso seco total dentro y fuera de invernadero, obteniendo que las plantas del grupo uno (dentro de invernadero) son superiores a aquellas del grupo dos (fuera de invernadero) (Figura 15).

Figura 15

Diferencias de peso seco total a 105 °C dentro y fuera de invernadero (prueba de Mann-Whitney, p -valor <0.05).



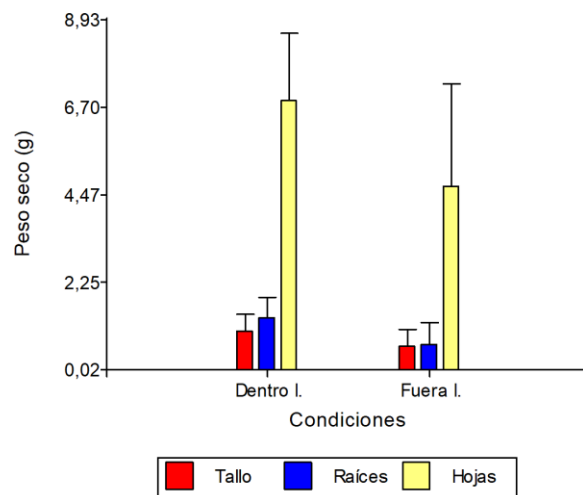
Mediante el análisis estadístico se logró determinar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (prueba de U de Mann-Whitney, p -valor <0.05) para el peso seco (g) de las secciones tallo y hojas, de igual manera existen diferencias significativas para el peso seco de las raíces (prueba de T student, p -valor <0.05), donde el grupo uno (dentro de invernadero) obtuvo resultados superiores a los del grupo dos (fuera de invernadero) (Figura 16).

Nuestros hallazgos son respaldos por las observaciones de Doust (2023) que en sus resultados demostró que existen disparidades en los datos de peso seco de las plantas al comparar el uso de cubierta (invernadero) con la ausencia de esta, lo que evidenció resultados superiores al emplear cubierta. El estudio realizado por Jin *et al.* (2021) contiene similitud en los resultados de este proyecto en la sección de peso seco, ya que representa un avance significativo en la comprensión de los diferentes métodos de cultivo de lechuga y su impacto

en la productividad hortícola al comparar el cultivo de lechuga mediante sistemas verticales, invernaderos y en campo abierto, donde como resultados logró obtener que el peso seco en granjas verticales e invernadero son superiores al peso seco a campo abierto, dando como premisa que las granjas verticales y los invernaderos proporcionan entornos controlados que pueden ser adaptados específicamente para satisfacer las necesidades de las plantas cultivadas en comparación con los sistemas tradicionales fuera de invernadero. Por otro lado, el estudio de Gonzaga *et al.* (2018) es consistente con los resultados de nuestro estudio, donde se evaluó el peso seco de las raíces, tallos y hojas con y sin cubierta, donde solo los esos secos de las hojas mostraron diferencias.

Figura 16

Diferencia de peso seco por sección (tallo, raíz y hojas) dentro y fuera de invernadero.



Conclusiones

El tratamiento de mayor distancia de plantación de lechuga en general fue el que exhibe un rendimiento superior en variables como número de hojas, el peso seco y el peso fresco de las plantas, independientemente de que se cuente o no con protección (invernadero). No obstante, el uso de invernadero evidenció un menor rendimiento en peso fresco de la lechuga y este aspecto es de gran importancia comercial, puesto que las lechugas se comercializan frescas y por lo tanto, bajo las mismas condiciones de este estudio se podría prescindir de la cubierta, pero esto implicaría el contar con protocolos más exigentes para el monitoreo del cultivo para disminuir el riesgo de ataque de plagas y enfermedades y de condiciones ambientales adversas.

Recomendaciones

Debido a que este estudio se lo realizó a pequeña escala (36 m² de área de estudio: 18 m² de invernadero y 18 m² de campo abierto), se recomendaría ampliar este estudio para extensiones mayores para evaluar si nuestros hallazgos son extrapolables a explotaciones hidropónicas comerciales.

En el caso de cultivos hidropónicos con invernadero, se debería realizar una mayor investigación sobre los aspectos de control de variables ambientales para alcanzar un mayor rendimiento (similar al del campo abierto) pero disminuyendo el riesgo de plagas y enfermedades (que esto es lo que nos brindaría el uso de los invernaderos).

Realizar estudios sobre análisis de costos a diferentes escalas de producción con y sin invernadero para evaluar la viabilidad económica de los cultivos hidropónicos.

Referencias

- Alpizar, L. (2004). *Hidroponía, cultivo sin tierra*. Editorial, tecnología de Costa Rica.
- Amirahmadi, E., Ghorbani, M., Moudry, J., Konvalina, P., & Kopecký, M. (2023). *Impacts of Environmental Factors and Nutrients Management on Tomato Grown under Controlled and Open Field Conditions*. *Agronomy*. 13(3):916. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030916>
- Aschehoug, E., Brooker, B., Atwater, D., Maron, M., & Callaway, R. (2016). *The mechanisms and consequences of interspecific competition among plants*. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 47:263-81. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolys.annualreviews.org>
- Basso, M., Pizzi, A., Marzouki, F., & Abdalla, S. (2016). *Horticultural/hydroponics and floral natural foams from tannins*. *Industrial Crops and Products*, pp. 177-181.
- Branco, M., de Almeida, A., Dalmolin, A., Ahnert, D., Baligar, V. (2017). *Influence of low light intensity and soil flooding on cacao physiology*. *Sci. Hortic*, pp. 243–257.
- Beltrado J., & Gimenez, D. (2015). *¿Qué es la hidroponía?* La Palta: Edulp.
- Benedetta F., Ahmed A., Giulia B., & Franco L. (2023). *A smart aeroponic system for sustainable indoor farming*. *Procedia CIRP*. Vol. 116, pp. 636-641, ISSN 2212-8271. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.107>.
- Boulard T., Raeppe C., Brun R., Lecompte F., Hayer F., & Carmassi G., (2011). *Environmental impact of greenhouse tomato production in France*. *Agron. Sustain. Dev.*, pp. 757-777, <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0031-3>
- Borrero, C., Trillas, I., & Avilés, M. (2009). *Carnation Fusarium wilt suppression in four composts*. *Eur. J. Plant Pathol.*, pp. 425-433, <https://doi.org/10.1007/s10658-008-9380-4>
- Brenes, L., & Jiménez, M. (2013). *Experiencia de producción de lechuga americana (Lactuca sativa) hidropónica, tipo NFT*. VI Encuentro de Investigación y Extensión. pp. 56-64.
- Bethany, M., Manzoni, L., Graham, C., Rodgers, B., Farmer, J., & Dodd A. (2020). *Getting to the roots of aeroponic indoor farming*. *New Phytologist Forum*.

- Calori, A., Purquerio, L., Factor, T., Júnior, S., & Moraes, L. (2019). *Effects of electric conductivity and plant density on lettuce baby leaf production in NFT hydroponic system*. Acta Hortic. 1249. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1249.2>. Vol 1249, p. 5.
- Carrasco G., & Sandoval C. (2016). *Manual práctico del cultivo de lechuga*. Ediciones mundi-prensa.
- Colque, V. (2018). *Evaluación del cultivo de lechuga (lactuca sativa l.) bajo tres densidades de siembra en un sistema acuapónico en el centro experimental de cota cota – la paz*. UMSA. [T-2615.pdf \(umsa.bo\)](https://repositorio.umsa.bo/handle/document/12615)
- Dsouza, A., Newman, L., Graham, T., & Fraser, E. (2023). *Exploring the landscape of controlled environment agriculture research: A systematic scoping review of trends and topics*. Agricultural Systems.
- Doust, J., Nazarideljou, M., Arshad, M., & Ferrante, A. (2023). *Comparison of the Growth, Physio-Biochemical Characteristics, and Quality Indices in Soilless-Grown Strawberries under Greenhouse and Open-Field Conditions*. Horticulturae, 9, 774. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070774>
- Fayezizadeh, M., Zadeh, N., Albaji, M., & Khaleghi, E. (2021). *Effects of hydroponic systems on yield, water productivity and stomatal gas exchange of greenhouse tomato cultivars*. Agricultural Water Management, Vol. 258.
- Fu, W., Li, P., & Wu, Y. (2012). *Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce*. Scientia Horticulturae, Vol. 135, pp. 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.004>.
- García, Z. (2013). *El Cultivo de la Lechuga – The Lettuce Growing*. PUV, pp. 105-110.
- George, RAT. (2009). *Vegetable seed production*. 3a. ed. Wallingford, Reino Unido, CABI International, p. 320.
- Ghorbel, M., Brini, F., Brestic, M, & Landi, M., (2023). *Interplay between low light and hormone-mediated signaling pathways in shade avoidance regulation in plants*, Plant Stress, Vol 9. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100178>.
- Godolphin, D. (2019). *Two-level factorial and fractional factorial replicates in blocks of size two*. Computational Statistics & Data Analysis, pp.120-137.

- Goldberg, D. (1996). *Simplifying the study of competition at the individual plant level: Consequences of distinguishing between competitive effect and response for forest vegetation management*. Department of Biology, University of Michigan, Michigan 48109-1048.
- Gonnella, M., Serio, F., Conversa, G., & Santamaría, P. (2003). *Yield and quality of lettuce grown in floating system using different sowing density and plant spatial arrangements*. Acta Hortic. pp. 687–692. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.614.102>.
- Gonzaga, Z., Robido, J., Rom, J., Capuno, O. & Rogers, G. (2018). *Growth and yield of lettuce (Lactuca sativa L.) as influenced by methods of raising seedlings under two types of cultivation system*. Acta Horticulturae. pp. 843-850. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1205.107>.
- González, R. (2008). *Hidroponía en NFT*. Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP2\(10\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP2(10).pdf)
- Horwitz, W., & AOAC International. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International. Vol. 2: Food composition, additives, natural contaminants* (17. ed). AOAC International.
- Huda, M., Hossain S., Jahan, T., Ali, M., Hossain, M. (2022). *Effect of planting density on growth, development and yield of Tomato (Solanum lycopersicum L.)*. International Journal of Biosciences (IJB). 21. pp. 209-214. <https://doi.org/10.12692/ijb/21.3.209-214>.
- International Organization for Standardization. (1993). ISO 11465:1993 *Soil quality. Determination of dry matter and water content on a mass basis. Gravimetric method*. <https://www.iso.org/standard/10899.html>
- Jain S., Deepak S., Kishorkumar G., Mohapatra, A., Baksh, H., Kumar V., Mohanty S., & Haokip W., (2023). *A Comprehensive Review on Protected Cultivation of Horticultural Crops. Present Status and Future Prospects*. Int. J. Environ. Clim. Change, Vol. 13, Nro. 11, pp. 3521-3531.
- James C., Thirumalai M., Idawa, O., Chilwea, J., Kilamba, C., Hussy, B., Ishaq, H., & Rajendran, K. (2023). *Greenhouse and open-field farming: A comparison through yield and growth parameters investigated in Dar es Salaam, Tanzania*. Innovations in Agriculture. <https://doi.org/10.25081/ia.2023-02>.

- Japón, J. (1977). *La lechuga. Hojas divulgadoras*. Publicaciones de extensión agraria.
- Jimenez, M. (2015). *Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga*. Revista agropecuaria, Cabildo de gran canaria, ISSN: 2545-1797.
- Jin, W., Lopez, D., Heuvelink, E., & Marcelis, L. (2022). *Light use efficiency of lettuce cultivation in vertical farms compared with greenhouse and field*. Food and Energy Security. 12. <https://doi.org/10.1002/fes3.391>.
- Jones Jr, J. (2004). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press.
- Khammayom, N., Maruyama, N., Chaichana, C., & Hirota, M., (2022). *Impact of environmental factors on energy balance of greenhouse for strawberry cultivation*. Case Studies in Thermal Engineering. Vol. 33. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101945>.
- Maboko M. & Plooy C. (2009). *Effect of plant spacing on growth and yield of lettuce (Lactuca sativa L.) in a soilless production system*. South African Journal of Plant and Soil. 23. pp. 199-201. <https://doi.org/10.1080/02571862.2009.10639954>.
- Makhadmeh, I., Al-Tawaha, A., Edaroyati, P., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, R., & Hassan, S. (2017). *effects of different growth media and planting densities on growth of lettuce grown in a closed soilless system*. Research on Crops. 18. 294-298.
- Mallar, A. (1978). *La lechuga*. Buenos Aires, Editorial hemisferio sur, pp. 18-19.
- Maroto, J. V. (1989). *Guía del cultivo de la lechuga*. Horticultura, pp. 42-50.
- Martínez, F., Castillo, S., Carmona, E., & Avilés, M. (2010). *Dissemination of Phytophthora cactorum, cause of crown rot in strawberry, in open and closed soilless growing systems and the potential for control using slow sand filtration*. Sci. Hortic. (Amsterdam)., pp. 756-760, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.010>.
- Mosleh, U. (2023). *Effect of Spacing and Nitrogen Fertilizer on the Growth and Yield of Cabbage (Brassica oleracea Var. Capitata L.)*. Department of Crop science and Technology, University of Rajshahi, Bangladesh, <https://doi.org/10.23880/oajar-16000318>
- Noumedem, J., Djeussi, D., Hritcu, L., Mihasan, M., & Kuete, V. (2017). *Chapter 20 - Lactuca sativa, Medicinal Spices and Vegetables from Africa*. Academic Press. pp. 437-449.

- Ojo, M., Zahid, A., & Masabni J., (2024). *Estimating hydroponic lettuce phenotypic parameters for efficient resource allocation*. Computers and Electronics in Agriculture. 218-108642.
- Padilla, V., & Molina, A. (2014). *Caracterización morfológica preliminar de ocho variedades peninsulares tradicionales de lechuga tipo Romana cultivadas en ecológico en Tenerife (Canarias)*. Universidad de la Laguna.
- Pink, D., & Eavan, M., (1993). *40 - Lettuce: Lactuca sativaL., Genetic Improvement of Vegetable Crops*. Pergamon, pp. 543-571.
- Poorter, H., Fiorani, F., Stitt, M., Schurr, U., Finck, A., Gibon, Y., ... & Usadel, B. (2012). *The art of growing plants for experimental purposes: a practical guide for the plant biologist*. Functional Plant Biology, 39(10-11), pp. 821-838.
- Postma, J., Van Os, E., & Bonants, P. (2008). *Pathogen detection and management strategies in soilless plant growing systems Soilless Culture: Theory and Practice*. 1a. ed., Elsevier Ltd (2008), <https://doi.org/10.1016/B978044452975-6.50012-5>
- Raviv, M., Lieth, J.H., Burger D.W., & Wallach, R. (2001). *Optimization of transpiration and potential growth rates of Kardinal rose with respect to root zone physical properties*. J Am. Soc. Hort. Sci., 126, pp. 638–643.
- Raviv, M., & Lieth, J. (2007). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier.
- Resh, H. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press.
- Savvas, D., & Passam, H. C. (2018). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. CRC Press.
- Salisbury, F., & Ross, C. (2015). *Plant Physiology*. Cengage Learning.
- Serafín, S. (2006). *Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes*. Honduras: Zamorano.
- SIMA (1985). *Tolerancia a la Salinidad de los Cultivos*. Revista Agropecuaria “Granja” Nro.17

- Suárez, G., Pérez, U., Avilés, M., Borrero, C., Lobillo, J., & Fernández, M. (2021). *Susceptibility to water-borne plant diseases of hydroponic vs. aquaponics systems*. Aquaculture. Vol. 544. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737093>.
- Teng, Y., Uttara, S., & James, A., (2024). *Growth, phytochemical concentration, nutrient uptake, and water consumption of butterhead lettuce in response to hydroponic system design and growing season*. Scientia Horticulturae. Vol. 332. ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113201>.
- Trillas. (2019). *Hidroponía*. Ciudad de México: Negocios agropecuarios.
- Trinder. C., Brooker, W., & Robinson, D. (2013). *Plant ecology's guilty little secret: understanding the dynamics of plant competition*. Funct. Ecol 27:918-29
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico de cultivo sin suelo e hidroponía*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Wiesler, F. (2012). *Chapter 9 - Nutrition and Quality, Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3a. ed. Academic Press, pp. 271-282. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00009-1>.
- Zakher, A. (2017). *Effect of plant density and spraying with aluminum silicate on fruit yield and quality of processing tomato grown in summer season*. Menoufia Journal of Plant Production. 2. pp. 149-167. <https://doi.org/10.21608/mjppf.2017.176023>.
- Zárate, A. (2014). *Manual de hidroponía, Instituto de biología UNAM*. www.ibiología.unam.mx.
- Zhou, J., Li, P., & Wang, J. (2022). *Effects of Light Intensity and Temperature on the Photosynthesis Characteristics and Yield of Lettuce*. Horticulturae., 8(2):178. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020178>

Anexos

Anexo A

Adecuaciones respectivas al invernadero



Anexo B

Construcción de los sistemas dentro de invernadero



Anexo C

Construcción de los sistemas fuera de invernadero





Anexo D

Elaboración de conecciones hidraulicas



Anexo E

Trasplante a sistemas NFT



Anexo F

Primera toma de datos dentro y fuera de invernadero



Anexo G

Segunda toma de datos dentro y fuera



Anexo H

Tercera toma de datos dentro y fuera de invernadero



Anexo I

Cuarta toma de datos dentro y fuera de invernadero



Anexo J

Quinta toma de datos dentro y fuera de invernadero



Anexo K

Sexta toma de datos dentro y fuera de invernadero



Anexo L

Sexta toma de datos dentro y fuera de invernadero.



Anexo M

Análisis de laboratorio



Anexo N

Última fecha de toma de altura de la planta y número de hojas dentro de invernadero

ID	Fecha	Bloque	Tratamientos	Repetición	Altura de la planta (mm)	Número de hojas
B1T1R1	23/3/2024	B1	T1	R1	270	40
B1T1R2	23/3/2024	B1	T1	R2	285	42
B1T1R3	23/3/2024	B1	T1	R3	272	38
B1T1R4	23/3/2024	B1	T1	R4	260	39
B1T1R5	23/3/2024	B1	T1	R5	250	27
B1T1R6	23/3/2024	B1	T1	R6	290	35
B1T1R7	23/3/2024	B1	T1	R7	270	31
B1T1R8	23/3/2024	B1	T1	R8	273	27
B1T1R9	23/3/2024	B1	T1	R9	236	27
B1T1R10	23/3/2024	B1	T1	R10	280	32
B1T1R11	23/3/2024	B1	T1	R11	265	32
B1T1R12	23/3/2024	B1	T1	R12	281	27
B1T2R1	23/3/2024	B1	T2	R1	260	41
B1T2R2	23/3/2024	B1	T2	R2	248	29
B1T2R3	23/3/2024	B1	T2	R3	285	36
B1T2R4	23/3/2024	B1	T2	R4	244	40
B1T2R5	23/3/2024	B1	T2	R5	273	36
B1T2R6	23/3/2024	B1	T2	R6	270	39
B1T2R7	23/3/2024	B1	T2	R7	273	33
B1T2R8	23/3/2024	B1	T2	R8	280	38
B1T2R9	23/3/2024	B1	T2	R9	275	28
B1T2R10	23/3/2024	B1	T2	R10	282	41
B1T2R11	23/3/2024	B1	T2	R11	270	35
B1T2R12	23/3/2024	B1	T2	R12	250	25
B1T3R1	23/3/2024	B1	T3	R1	261	42
B1T3R2	23/3/2024	B1	T3	R2	225	16

B1T3R3	23/3/2024	B1	T3	R3	248	37
B1T3R4	23/3/2024	B1	T3	R4	260	36
B1T3R5	23/3/2024	B1	T3	R5	250	42
B1T3R6	23/3/2024	B1	T3	R6	240	29
B1T3R7	23/3/2024	B1	T3	R7	242	31
B1T3R8	23/3/2024	B1	T3	R8	265	31
B1T3R9	23/3/2024	B1	T3	R9	268	36
B1T3R10	23/3/2024	B1	T3	R10	254	31
B1T3R11	23/3/2024	B1	T3	R11	280	28
B1T3R12	23/3/2024	B1	T3	R12	270	41
B2T1R1	23/3/2024	B2	T1	R1	225	21
B2T1R2	23/3/2024	B2	T1	R2	244	31
B2T1R3	23/3/2024	B2	T1	R3	240	25
B2T1R4	23/3/2024	B2	T1	R4	230	29
B2T1R5	23/3/2024	B2	T1	R5	250	38
B2T1R6	23/3/2024	B2	T1	R6	252	31
B2T1R7	23/3/2024	B2	T1	R7	290	40
B2T1R8	23/3/2024	B2	T1	R8	254	35
B2T1R9	23/3/2024	B2	T1	R9	262	41
B2T1R10	23/3/2024	B2	T1	R10	270	38
B2T1R11	23/3/2024	B2	T1	R11	283	38
B2T1R12	23/3/2024	B2	T1	R12	250	41
B2T2R1	23/3/2024	B2	T2	R1	275	41
B2T2R2	23/3/2024	B2	T2	R2	240	32
B2T2R3	23/3/2024	B2	T2	R3	230	22
B2T2R4	23/3/2024	B2	T2	R4	233	27
B2T2R5	23/3/2024	B2	T2	R5	224	24
B2T2R6	23/3/2024	B2	T2	R6	205	12
B2T2R7	23/3/2024	B2	T2	R7	200	13
B2T2R8	23/3/2024	B2	T2	R8	209	13
B2T2R9	23/3/2024	B2	T2	R9	175	12
B2T2R10	23/3/2024	B2	T2	R10	221	16
B2T2R11	23/3/2024	B2	T2	R11	226	15
B2T2R12	23/3/2024	B2	T2	R12	220	13
B2T3R1	23/3/2024	B2	T3	R1	300	31

B2T3R2	23/3/2024	B2	T3	R2	295	26
B2T3R3	23/3/2024	B2	T3	R3	285	31
B2T3R4	23/3/2024	B2	T3	R4	298	32
B2T3R5	23/3/2024	B2	T3	R5	275	25
B2T3R6	23/3/2024	B2	T3	R6	280	29
B2T3R7	23/3/2024	B2	T3	R7	275	29
B2T3R8	23/3/2024	B2	T3	R8	305	29
B2T3R9	23/3/2024	B2	T3	R9	288	32
B2T3R10	23/3/2024	B2	T3	R10	295	33
B2T3R11	23/3/2024	B2	T3	R11	291	31
B2T3R12	23/3/2024	B2	T3	R12	280	33
B3T1R1	23/3/2024	B3	T1	R1	270	36
B3T1R2	23/3/2024	B3	T1	R2	305	39
B3T1R3	23/3/2024	B3	T1	R3	285	41
B3T1R4	23/3/2024	B3	T1	R4	275	36
B3T1R5	23/3/2024	B3	T1	R5	285	28
B3T1R6	23/3/2024	B3	T1	R6	265	33
B3T1R7	23/3/2024	B3	T1	R7	268	27
B3T1R8	23/3/2024	B3	T1	R8	285	36
B3T1R9	23/3/2024	B3	T1	R9	270	33
B3T1R10	23/3/2024	B3	T1	R10	280	41
B3T1R11	23/3/2024	B3	T1	R11	289	45
B3T1R12	23/3/2024	B3	T1	R12	295	41
B3T2R1	23/3/2024	B3	T2	R1	300	40
B3T2R2	23/3/2024	B3	T2	R2	280	33
B3T2R3	23/3/2024	B3	T2	R3	288	32
B3T2R4	23/3/2024	B3	T2	R4	285	35
B3T2R5	23/3/2024	B3	T2	R5	280	37
B3T2R6	23/3/2024	B3	T2	R6	275	35
B3T2R7	23/3/2024	B3	T2	R7	270	38
B3T2R8	23/3/2024	B3	T2	R8	265	35
B3T2R9	23/3/2024	B3	T2	R9	268	37
B3T2R10	23/3/2024	B3	T2	R10	260	29
B3T2R11	23/3/2024	B3	T2	R11	280	39
B3T2R12	23/3/2024	B3	T2	R12	275	36

B3T3R1	23/3/2024	B3	T3	R1	275	35
B3T3R2	23/3/2024	B3	T3	R2	265	28
B3T3R3	23/3/2024	B3	T3	R3	280	32
B3T3R4	23/3/2024	B3	T3	R4	265	28
B3T3R5	23/3/2024	B3	T3	R5	265	30
B3T3R6	23/3/2024	B3	T3	R6	280	28
B3T3R7	23/3/2024	B3	T3	R7	275	27
B3T3R8	23/3/2024	B3	T3	R8	290	28
B3T3R9	23/3/2024	B3	T3	R9	285	39
B3T3R10	23/3/2024	B3	T3	R10	275	26
B3T3R11	23/3/2024	B3	T3	R11	270	28
B3T3R12	23/3/2024	B3	T3	R12	285	39

Anexo O

Última fecha de toma de altura de la planta y número de hojas dentro de invernadero

ID	Fecha	Tratamiento	Repetición	Altura de la planta (mm)	Número de hojas
B1T1R1	23/3/2024	T1	R1	202	30
B1T1R2	23/3/2024	T1	R2	195	27
B1T1R3	23/3/2024	T1	R3	196	24
B1T1R4	23/3/2024	T1	R4	210	26
B1T1R5	23/3/2024	T1	R5	201	23
B1T1R6	23/3/2024	T1	R6	195	21
B1T1R7	23/3/2024	T1	R7	205	26
B1T1R8	23/3/2024	T1	R8	210	24
B1T1R9	23/3/2024	T1	R9	190	22
B1T1R10	23/3/2024	T1	R10	195	23
B1T1R11	23/3/2024	T1	R11	215	21
B1T1R12	23/3/2024	T1	R12	205	18
B1T2R1	23/3/2024	T2	R1	230	27
B1T2R2	23/3/2024	T2	R2	245	21
B1T2R3	23/3/2024	T2	R3	250	21

B1T2R4	23/3/2024	T2	R4	240	21
B1T2R5	23/3/2024	T2	R5	246	25
B1T2R6	23/3/2024	T2	R6	225	22
B1T2R7	23/3/2024	T2	R7	235	19
B1T2R8	23/3/2024	T2	R8	236	20
B1T2R9	23/3/2024	T2	R9	224	19
B1T2R10	23/3/2024	T2	R10	251	22
B1T2R11	23/3/2024	T2	R11	255	25
B1T2R12	23/3/2024	T2	R12	222	22
B1T3R1	23/3/2024	T3	R1	225	24
B1T3R2	23/3/2024	T3	R2	240	19
B1T3R3	23/3/2024	T3	R3	255	20
B1T3R4	23/3/2024	T3	R4	280	21
B1T3R5	23/3/2024	T3	R5	240	17
B1T3R6	23/3/2024	T3	R6	246	21
B1T3R7	23/3/2024	T3	R7	291	16
B1T3R8	23/3/2024	T3	R8	295	25
B1T3R9	23/3/2024	T3	R9	260	23
B1T3R10	23/3/2024	T3	R10	245	22
B1T3R11	23/3/2024	T3	R11	245	25
B1T3R12	23/3/2024	T3	R12	220	23
B2T1R1	23/3/2024	T1	R1	185	15
B2T1R2	23/3/2024	T1	R2	193	21
B2T1R3	23/3/2024	T1	R3	205	24
B2T1R4	23/3/2024	T1	R4	220	27
B2T1R5	23/3/2024	T1	R5	220	23
B2T1R6	23/3/2024	T1	R6	240	26
B2T1R7	23/3/2024	T1	R7	220	21
B2T1R8	23/3/2024	T1	R8	220	24
B2T1R9	23/3/2024	T1	R9	228	23
B2T1R10	23/3/2024	T1	R10	195	27
B2T1R11	23/3/2024	T1	R11	215	25
B2T1R12	23/3/2024	T1	R12	220	27
B2T2R1	23/3/2024	T2	R1	223	22
B2T2R2	23/3/2024	T2	R2	220	22

B2T2R3	23/3/2024	T2	R3	208	26
B2T2R4	23/3/2024	T2	R4	200	16
B2T2R5	23/3/2024	T2	R5	202	18
B2T2R6	23/3/2024	T2	R6	194	14
B2T2R7	23/3/2024	T2	R7	205	15
B2T2R8	23/3/2024	T2	R8	194	15
B2T2R9	23/3/2024	T2	R9	210	15
B2T2R10	23/3/2024	T2	R10	209	19
B2T2R11	23/3/2024	T2	R11	200	20
B2T2R12	23/3/2024	T2	R12	210	26
B2T3R1	23/3/2024	T3	R1	220	23
B2T3R2	23/3/2024	T3	R2	230	19
B2T3R3	23/3/2024	T3	R3	245	22
B2T3R4	23/3/2024	T3	R4	243	21
B2T3R5	23/3/2024	T3	R5	250	16
B2T3R6	23/3/2024	T3	R6	247	21
B2T3R7	23/3/2024	T3	R7	205	19
B2T3R8	23/3/2024	T3	R8	215	19
B2T3R9	23/3/2024	T3	R9	220	21
B2T3R10	23/3/2024	T3	R10	250	21
B2T3R11	23/3/2024	T3	R11	230	20
B2T3R12	23/3/2024	T3	R12	213	22
B3T1R1	23/3/2024	T1	R1	230	26
B3T1R2	23/3/2024	T1	R2	236	24
B3T1R3	23/3/2024	T1	R3	220	23
B3T1R4	23/3/2024	T1	R4	230	22
B3T1R5	23/3/2024	T1	R5	225	25
B3T1R6	23/3/2024	T1	R6	203	19
B3T1R7	23/3/2024	T1	R7	212	24
B3T1R8	23/3/2024	T1	R8	225	22
B3T1R9	23/3/2024	T1	R9	206	21
B3T1R10	23/3/2024	T1	R10	200	24
B3T1R11	23/3/2024	T1	R11	209	23
B3T1R12	23/3/2024	T1	R12	220	20
B3T2R1	23/3/2024	T2	R1	219	25

B3T2R2	23/3/2024	T2	R2	225	27
B3T2R3	23/3/2024	T2	R3	202	28
B3T2R4	23/3/2024	T2	R4	215	24
B3T2R5	23/3/2024	T2	R5	215	20
B3T2R6	23/3/2024	T2	R6	220	23
B3T2R7	23/3/2024	T2	R7	225	27
B3T2R8	23/3/2024	T2	R8	220	20
B3T2R9	23/3/2024	T2	R9	218	21
B3T2R10	23/3/2024	T2	R10	230	22
B3T2R11	23/3/2024	T2	R11	225	21
B3T2R12	23/3/2024	T2	R12	215	23
B3T3R1	23/3/2024	T3	R1	235	27
B3T3R2	23/3/2024	T3	R2	268	20
B3T3R3	23/3/2024	T3	R3	273	21
B3T3R4	23/3/2024	T3	R4	265	20
B3T3R5	23/3/2024	T3	R5	250	21
B3T3R6	23/3/2024	T3	R6	270	22
B3T3R7	23/3/2024	T3	R7	255	19
B3T3R8	23/3/2024	T3	R8	260	26
B3T3R9	23/3/2024	T3	R9	285	23
B3T3R10	23/3/2024	T3	R10	280	17
B3T3R11	23/3/2024	T3	R11	250	23
B3T3R12	23/3/2024	T3	R12	245	28

Anexo P

Daros de peso fresco dentro de invernadero

ID	Fecha	Tratamiento	Repetición	Peso en freco (g)
B1T1R1	23/3/2024	T1	R1	189
B1T1R2	23/3/2024	T1	R2	214
B1T1R3	23/3/2024	T1	R3	242
B1T1R4	23/3/2024	T1	R4	175
B1T1R5	23/3/2024	T1	R5	121

B1T1R6	23/3/2024	T1	R6	181
B1T1R7	23/3/2024	T1	R7	124
B1T1R8	23/3/2024	T1	R8	92
B1T1R9	23/3/2024	T1	R9	89
B1T1R10	23/3/2024	T1	R10	124
B1T1R11	23/3/2024	T1	R11	114
B1T1R12	23/3/2024	T1	R12	125
B1T2R1	23/3/2024	T2	R1	226
B1T2R2	23/3/2024	T2	R2	129
B1T2R3	23/3/2024	T2	R3	163
B1T2R4	23/3/2024	T2	R4	182
B1T2R5	23/3/2024	T2	R5	162
B1T2R6	23/3/2024	T2	R6	147
B1T2R7	23/3/2024	T2	R7	135
B1T2R8	23/3/2024	T2	R8	139
B1T2R9	23/3/2024	T2	R9	126
B1T2R10	23/3/2024	T2	R10	164
B1T2R11	23/3/2024	T2	R11	147
B1T2R12	23/3/2024	T2	R12	107
B1T3R1	23/3/2024	T3	R1	200
B1T3R2	23/3/2024	T3	R2	33
B1T3R3	23/3/2024	T3	R3	143
B1T3R4	23/3/2024	T3	R4	118
B1T3R5	23/3/2024	T3	R5	162
B1T3R6	23/3/2024	T3	R6	124
B1T3R7	23/3/2024	T3	R7	101
B1T3R8	23/3/2024	T3	R8	127
B1T3R9	23/3/2024	T3	R9	187
B1T3R10	23/3/2024	T3	R10	105
B1T3R11	23/3/2024	T3	R11	124
B1T3R12	23/3/2024	T3	R12	195
B2T1R1	23/3/2024	T1	R1	52
B2T1R2	23/3/2024	T1	R2	108
B2T1R3	23/3/2024	T1	R3	100
B2T1R4	23/3/2024	T1	R4	139

B2T1R5	23/3/2024	T1	R5	147
B2T1R6	23/3/2024	T1	R6	111
B2T1R7	23/3/2024	T1	R7	179
B2T1R8	23/3/2024	T1	R8	195
B2T1R9	23/3/2024	T1	R9	198
B2T1R10	23/3/2024	T1	R10	167
B2T1R11	23/3/2024	T1	R11	188
B2T1R12	23/3/2024	T1	R12	206
B2T2R1	23/3/2024	T2	R1	184
B2T2R2	23/3/2024	T2	R2	156
B2T2R3	23/3/2024	T2	R3	77
B2T2R4	23/3/2024	T2	R4	130
B2T2R5	23/3/2024	T2	R5	68
B2T2R6	23/3/2024	T2	R6	27
B2T2R7	23/3/2024	T2	R7	35
B2T2R8	23/3/2024	T2	R8	46
B2T2R9	23/3/2024	T2	R9	23
B2T2R10	23/3/2024	T2	R10	46
B2T2R11	23/3/2024	T2	R11	25
B2T2R12	23/3/2024	T2	R12	29
B2T3R1	23/3/2024	T3	R1	118
B2T3R2	23/3/2024	T3	R2	85
B2T3R3	23/3/2024	T3	R3	105
B2T3R4	23/3/2024	T3	R4	101
B2T3R5	23/3/2024	T3	R5	105
B2T3R6	23/3/2024	T3	R6	137
B2T3R7	23/3/2024	T3	R7	114
B2T3R8	23/3/2024	T3	R8	133
B2T3R9	23/3/2024	T3	R9	140
B2T3R10	23/3/2024	T3	R10	137
B2T3R11	23/3/2024	T3	R11	130
B2T3R12	23/3/2024	T3	R12	181
B3T1R1	23/3/2024	T1	R1	165
B3T1R2	23/3/2024	T1	R2	200
B3T1R3	23/3/2024	T1	R3	186

B3T1R4	23/3/2024	T1	R4	152
B3T1R5	23/3/2024	T1	R5	106
B3T1R6	23/3/2024	T1	R6	140
B3T1R7	23/3/2024	T1	R7	135
B3T1R8	23/3/2024	T1	R8	182
B3T1R9	23/3/2024	T1	R9	148
B3T1R10	23/3/2024	T1	R10	239
B3T1R11	23/3/2024	T1	R11	258
B3T1R12	23/3/2024	T1	R12	240
B3T2R1	23/3/2024	T2	R1	211
B3T2R2	23/3/2024	T2	R2	142
B3T2R3	23/3/2024	T2	R3	168
B3T2R4	23/3/2024	T2	R4	182
B3T2R5	23/3/2024	T2	R5	144
B3T2R6	23/3/2024	T2	R6	139
B3T2R7	23/3/2024	T2	R7	175
B3T2R8	23/3/2024	T2	R8	158
B3T2R9	23/3/2024	T2	R9	178
B3T2R10	23/3/2024	T2	R10	107
B3T2R11	23/3/2024	T2	R11	194
B3T2R12	23/3/2024	T2	R12	165
B3T3R1	23/3/2024	T3	R1	148
B3T3R2	23/3/2024	T3	R2	97
B3T3R3	23/3/2024	T3	R3	132
B3T3R4	23/3/2024	T3	R4	132
B3T3R5	23/3/2024	T3	R5	142
B3T3R6	23/3/2024	T3	R6	96
B3T3R7	23/3/2024	T3	R7	122
B3T3R8	23/3/2024	T3	R8	105
B3T3R9	23/3/2024	T3	R9	200
B3T3R10	23/3/2024	T3	R10	115
B3T3R11	23/3/2024	T3	R11	109
B3T3R12	23/3/2024	T3	R12	186

Anexo Q*Datos de peso fresco fuera de invernadero*

ID	Fecha	Tratamiento	Repetición	Peso en fresco (g)
B1T1R1	23/3/2024	T1	R1	195
B1T1R2	23/3/2024	T1	R2	194
B1T1R3	23/3/2024	T1	R3	223
B1T1R4	23/3/2024	T1	R4	220
B1T1R5	23/3/2024	T1	R5	210
B1T1R6	23/3/2024	T1	R6	218
B1T1R7	23/3/2024	T1	R7	240
B1T1R8	23/3/2024	T1	R8	257
B1T1R9	23/3/2024	T1	R9	223
B1T1R10	23/3/2024	T1	R10	205
B1T1R11	23/3/2024	T1	R11	205
B1T1R12	23/3/2024	T1	R12	171
B1T2R1	23/3/2024	T2	R1	207
B1T2R2	23/3/2024	T2	R2	171
B1T2R3	23/3/2024	T2	R3	199
B1T2R4	23/3/2024	T2	R4	190
B1T2R5	23/3/2024	T2	R5	207
B1T2R6	23/3/2024	T2	R6	188
B1T2R7	23/3/2024	T2	R7	165
B1T2R8	23/3/2024	T2	R8	176
B1T2R9	23/3/2024	T2	R9	175
B1T2R10	23/3/2024	T2	R10	193
B1T2R11	23/3/2024	T2	R11	244
B1T2R12	23/3/2024	T2	R12	192
B1T3R1	23/3/2024	T3	R1	188
B1T3R2	23/3/2024	T3	R2	166
B1T3R3	23/3/2024	T3	R3	165
B1T3R4	23/3/2024	T3	R4	153

B1T3R5	23/3/2024	T3	R5	137
B1T3R6	23/3/2024	T3	R6	180
B1T3R7	23/3/2024	T3	R7	130
B1T3R8	23/3/2024	T3	R8	151
B1T3R9	23/3/2024	T3	R9	158
B1T3R10	23/3/2024	T3	R10	152
B1T3R11	23/3/2024	T3	R11	181
B1T3R12	23/3/2024	T3	R12	169
B2T1R1	23/3/2024	T1	R1	99
B2T1R2	23/3/2024	T1	R2	160
B2T1R3	23/3/2024	T1	R3	148
B2T1R4	23/3/2024	T1	R4	191
B2T1R5	23/3/2024	T1	R5	199
B2T1R6	23/3/2024	T1	R6	202
B2T1R7	23/3/2024	T1	R7	178
B2T1R8	23/3/2024	T1	R8	235
B2T1R9	23/3/2024	T1	R9	281
B2T1R10	23/3/2024	T1	R10	211
B2T1R11	23/3/2024	T1	R11	198
B2T1R12	23/3/2024	T1	R12	226
B2T2R1	23/3/2024	T2	R1	181
B2T2R2	23/3/2024	T2	R2	152
B2T2R3	23/3/2024	T2	R3	131
B2T2R4	23/3/2024	T2	R4	101
B2T2R5	23/3/2024	T2	R5	95
B2T2R6	23/3/2024	T2	R6	81
B2T2R7	23/3/2024	T2	R7	95
B2T2R8	23/3/2024	T2	R8	91
B2T2R9	23/3/2024	T2	R9	97
B2T2R10	23/3/2024	T2	R10	104
B2T2R11	23/3/2024	T2	R11	109
B2T2R12	23/3/2024	T2	R12	176
B2T3R1	23/3/2024	T3	R1	244
B2T3R2	23/3/2024	T3	R2	179
B2T3R3	23/3/2024	T3	R3	159

B2T3R4	23/3/2024	T3	R4	147
B2T3R5	23/3/2024	T3	R5	120
B2T3R6	23/3/2024	T3	R6	179
B2T3R7	23/3/2024	T3	R7	118
B2T3R8	23/3/2024	T3	R8	149
B2T3R9	23/3/2024	T3	R9	148
B2T3R10	23/3/2024	T3	R10	137
B2T3R11	23/3/2024	T3	R11	135
B2T3R12	23/3/2024	T3	R12	167
B3T1R1	23/3/2024	T1	R1	157
B3T1R2	23/3/2024	T1	R2	179
B3T1R3	23/3/2024	T1	R3	160
B3T1R4	23/3/2024	T1	R4	168
B3T1R5	23/3/2024	T1	R5	179
B3T1R6	23/3/2024	T1	R6	128
B3T1R7	23/3/2024	T1	R7	153
B3T1R8	23/3/2024	T1	R8	185
B3T1R9	23/3/2024	T1	R9	149
B3T1R10	23/3/2024	T1	R10	130
B3T1R11	23/3/2024	T1	R11	148
B3T1R12	23/3/2024	T1	R12	149
B3T2R1	23/3/2024	T2	R1	192
B3T2R2	23/3/2024	T2	R2	215
B3T2R3	23/3/2024	T2	R3	182
B3T2R4	23/3/2024	T2	R4	180
B3T2R5	23/3/2024	T2	R5	160
B3T2R6	23/3/2024	T2	R6	183
B3T2R7	23/3/2024	T2	R7	206
B3T2R8	23/3/2024	T2	R8	131
B3T2R9	23/3/2024	T2	R9	209
B3T2R10	23/3/2024	T2	R10	173
B3T2R11	23/3/2024	T2	R11	175
B3T2R12	23/3/2024	T2	R12	187
B3T3R1	23/3/2024	T3	R1	212
B3T3R2	23/3/2024	T3	R2	147

B3T3R3	23/3/2024	T3	R3	150
B3T3R4	23/3/2024	T3	R4	141
B3T3R5	23/3/2024	T3	R5	144
B3T3R6	23/3/2024	T3	R6	153
B3T3R7	23/3/2024	T3	R7	168
B3T3R8	23/3/2024	T3	R8	173
B3T3R9	23/3/2024	T3	R9	176
B3T3R10	23/3/2024	T3	R10	143
B3T3R11	23/3/2024	T3	R11	152
B3T3R12	23/3/2024	T3	R12	224

Anexo R

Datos de peso seco dentro de invernadero

					Biomasa (g) 105°C			
ID	Fecha	Hora			Tallo	Raíces	Hojas	Peso seco (g)
T1R1	12/4/2024	16:00	T1	R1	1,47	2,22	9,6	13,29
T1R2	12/4/2024	16:00	T1	R2	0,57	1,46	6,36	8,39
T1R3	12/4/2024	16:00	T1	R3	0,4	0,93	5,01	6,34
T1R4	12/4/2024	16:00	T1	R4	1,32	1,34	8,22	10,88
T1R5	12/4/2024	16:00	T1	R5	2,36	1,92	9,96	14,24
T1R6	12/4/2024	16:00	T1	R6	0,92	1,61	8,06	10,59
T1R7	12/4/2024	16:00	T1	R7	1,42	2,13	9,05	12,6
T1R8	12/4/2024	16:00	T1	R8	1,97	1,61	10,61	14,19
T1R9	12/4/2024	16:00	T1	R9	1,56	1,18	7,87	10,61
T1R10	12/4/2024	16:00	T1	R10	0,62	0,5	4,98	6,1
T1R11	12/4/2024	16:00	T1	R11	0,99	2,31	8,5	11,8
T1R12	12/4/2024	16:00	T1	R12	1,51	1,88	10,33	13,72
T1R13	12/4/2024	16:00	T1	R13	0,58	1,35	6,43	8,36
T1R14	12/4/2024	16:00	T1	R14	0,8	1,52	7,55	9,87

T1R15	12/4/2024	16:00	T1	R15	0,79	0,9	6,26	7,95
T1R16	12/4/2024	16:00	T1	R16	0,57	1,66	6,54	8,77
T1R17	12/4/2024	16:00	T1	R17	0,92	1,18	7,44	9,54
T1R18	12/4/2024	16:00	T1	R18	1,66	1,98	12,15	15,79
T2R1	12/4/2024	16:00	T2	R1	0,41	0,55	3,19	4,15
T2R2	12/4/2024	16:00	T2	R2	0,39	1,47	5,59	7,45
T2R3	12/4/2024	16:00	T2	R3	1,04	0,84	6,02	7,9
T2R4	12/4/2024	16:00	T2	R4	1,01	1,02	7,78	9,81
T2R5	12/4/2024	16:00	T2	R5	1,03	1,49	7,62	10,14
T2R6	12/4/2024	16:00	T2	R6	1,15	1,03	7,03	9,21
T2R7	12/4/2024	16:00	T2	R7	0,78	1,46	7,03	9,27
T2R8	12/4/2024	16:00	T2	R8	0,56	1,42	6,82	8,8
T2R9	12/4/2024	16:00	T2	R9	0,7	0,88	5,45	7,03
T2R10	12/4/2024	16:00	T2	R10	0,38	1,7	6,06	8,14
T2R11	12/4/2024	16:00	T2	R11	1,05	1,69	7	9,74
T2R12	12/4/2024	16:00	T2	R12	0,18	1,34	4,43	5,95
T2R13	12/4/2024	16:00	T2	R13	1,57	1,88	8,62	12,07
T2R14	12/4/2024	16:00	T2	R14	1,45	0,94	6,54	8,93
T2R15	12/4/2024	16:00	T2	R15	0,66	1,54	7,04	9,24
T2R16	12/4/2024	16:00	T2	R16	0,73	0,5	5,45	6,68
T2R17	12/4/2024	16:00	T2	R17	1,08	1,72	8,8	11,6
T2R18	12/4/2024	16:00	T2	R18	0,95	1,57	7,63	10,15
T3R1	12/4/2024	16:00	T3	R1	0,63	0,48	5,54	6,65
T3R2	12/4/2024	16:00	T3	R2	0,58	0,3	4,19	5,07
T3R3	12/4/2024	16:00	T3	R3	0,92	0,97	6,39	8,28
T3R4	12/4/2024	16:00	T3	R4	0,58	1,1	6,03	7,71
T3R5	12/4/2024	16:00	T3	R5	0,58	0,94	5,99	7,51
T3R6	12/4/2024	16:00	T3	R6	0,76	0,91	5,55	7,22
T3R7	12/4/2024	16:00	T3	R7	0,87	1,24	6,83	8,94
T3R8	12/4/2024	16:00	T3	R8	0,69	0,55	4,04	5,28
T3R9	12/4/2024	16:00	T3	R9	0,41	1,05	5,32	6,78
T3R10	12/4/2024	16:00	T3	R10	1,52	1,4	5,48	8,4
T3R11	12/4/2024	16:00	T3	R11	1,23	2,1	8,11	11,44
T3R12	12/4/2024	16:00	T3	R12	1,01	1,4	5,2	7,61
T3R13	12/4/2024	16:00	T3	R13	1,29	1,22	5,09	7,6

T3R14	12/4/2024	16:00	T3	R14	1,61	1,59	6,74	9,94
T3R15	12/4/2024	16:00	T3	R15	1,28	1,84	6,67	9,79
T3R16	12/4/2024	16:00	T3	R16	1,58	1,68	7,04	10,3
T3R17	12/4/2024	16:00	T3	R17	1,32	2,24	7,53	11,09
T3R18	12/4/2024	16:00	T3	R18	1,12	1,77	5,92	8,81

Anexo S

Datos de peso seco fuera de invernadero

					Biomasa (g) 105°C			
ID	Fecha	Hora			Tallo	Raíces	Hojas	Peso seco (g)
T1R1	12/4/2024	16:00	T1	R1	0,16	0,45	3,54	4,15
T1R2	12/4/2024	16:00	T1	R2	0,19	0,42	4,33	4,94
T1R3	12/4/2024	16:00	T1	R3	0,5	0,63	4,49	5,62
T1R4	12/4/2024	16:00	T1	R4	0,59	0,53	5,36	6,48
T1R5	12/4/2024	16:00	T1	R5	0,61	0,1	5,14	5,85
T1R6	12/4/2024	16:00	T1	R6	0,58	2,56	9,14	12,28
T1R7	12/4/2024	16:00	T1	R7	0,58	1,36	4,91	6,85
T1R8	12/4/2024	16:00	T1	R8	0,29	0,06	3,52	3,87
T1R9	12/4/2024	16:00	T1	R9	1,09	1,22	7,01	9,32
T1R10	12/4/2024	16:00	T1	R10	0,17	0,22	3,48	3,87
T1R11	12/4/2024	16:00	T1	R11	0,22	0,27	3,47	3,96
T1R12	12/4/2024	16:00	T1	R12	0,91	0,86	6,48	8,25
T1R13	12/4/2024	16:00	T1	R13	0,45	0,14	3,59	4,18
T1R14	12/4/2024	16:00	T1	R14	0,59	0,46	4,63	5,68
T1R15	12/4/2024	16:00	T1	R15	2,72	1,25	12,85	16,82
T1R16	12/4/2024	16:00	T1	R16	1,36	0,99	6,23	8,58
T1R17	12/4/2024	16:00	T1	R17	0,86	0,51	4,09	5,46
T1R18	12/4/2024	16:00	T1	R18	0,64	0,65	5,72	7,01
T2R1	12/4/2024	16:00	T2	R1	0,21	0,11	1,39	1,71

T2R2	12/4/2024	16:00	T2	R2	1,02	0,76	6,23	8,01
T2R3	12/4/2024	16:00	T2	R3	0,78	0,59	4,38	5,75
T2R4	12/4/2024	16:00	T2	R4	0,77	0,09	3,44	4,3
T2R5	12/4/2024	16:00	T2	R5	0,58	1,32	4,74	6,64
T2R6	12/4/2024	16:00	T2	R6	0,44	0,54	3,07	4,05
T2R7	12/4/2024	16:00	T2	R7	0,34	0,84	4,25	5,43
T2R8	12/4/2024	16:00	T2	R8	0,64	0,31	6,98	7,93
T2R9	12/4/2024	16:00	T2	R9	0,76	1,18	0,64	2,58
T2R10	12/4/2024	16:00	T2	R10	0,69	1,33	5,28	7,3
T2R11	12/4/2024	16:00	T2	R11	0,88	0,63	4,13	5,64
T2R12	12/4/2024	16:00	T2	R12	0,81	0,76	5,65	7,22
T2R13	12/4/2024	16:00	T2	R13	0,18	0,06	2,34	2,58
T2R14	12/4/2024	16:00	T2	R14	0,48	0,62	3,78	4,88
T2R15	12/4/2024	16:00	T2	R15	0,15	0,18	1,89	2,22
T2R16	12/4/2024	16:00	T2	R16	0,37	0,96	5,89	7,22
T2R17	12/4/2024	16:00	T2	R17	0,42	0,69	4,22	5,33
T2R18	12/4/2024	16:00	T2	R18	1,2	1,86	13,01	16,07
T3R1	12/4/2024	16:00	T3	R1	0,3	0,25	3,19	3,74
T3R2	12/4/2024	16:00	T3	R2	0,1	0,21	1,91	2,22
T3R3	12/4/2024	16:00	T3	R3	0,66	0,59	4,17	5,42
T3R4	12/4/2024	16:00	T3	R4	0,91	0,46	4,63	6
T3R5	12/4/2024	16:00	T3	R5	0,25	0,13	2,75	3,13
T3R6	12/4/2024	16:00	T3	R6	0,59	1,38	8,79	10,76
T3R7	12/4/2024	16:00	T3	R7	0,61	0,21	3,77	4,59
T3R8	12/4/2024	16:00	T3	R8	0,37	0,23	3,47	4,07
T3R9	12/4/2024	16:00	T3	R9	0,21	0,16	2,05	2,42
T3R10	12/4/2024	16:00	T3	R10	0,39	0,18	2,81	3,38
T3R11	12/4/2024	16:00	T3	R11	0,17	0,11	0,5	0,78
T3R12	12/4/2024	16:00	T3	R12	0,19	0,28	3,67	4,14
T3R13	12/4/2024	16:00	T3	R13	0,43	0,9	3,54	4,87
T3R14	12/4/2024	16:00	T3	R14	0,19	0,16	2,62	2,97
T3R15	12/4/2024	16:00	T3	R15	0,58	0,4	3,95	4,93
T3R16	12/4/2024	16:00	T3	R16	1,05	1,82	9,33	12,2
T3R17	12/4/2024	16:00	T3	R17	0,58	0,49	3,33	4,4
T3R18	12/4/2024	16:00	T3	R18	1,82	1,69	10,33	13,84

Anexo T

Parámetros de control de la solución nutritiva dentro de invernadero

Consumo de agua					
Fecha	(L)	Temp. Max	Temp. Min	pH	CE (mS/cm)
10/2/2024	-	42,8	18,6	5,3	2,9
14/2/2024	24	45,6	19,7	5,3	2,3
17/2/2024	46	41,5	13	5,5	2
21/2/2024	-	42,7	16,1	6,6	1,3
24/2/2024	18	42,8	15,4	6,8	1
28/2/2024	-	45,3	15,2	6,5	0,6
2/3/2024	79	41	10,2	5,6	1,7
6/3/2024	-	38,2	17,3	7,1	0,1
9/3/2024	18	37,8	17,5	6,8	0,6
13/3/2024	-	32,4	12	7	0,5
16/3/2024	30	34,7	10,3	7	0,9
20/3/2024	-	29,8	10,5	6,9	0,7
23/3/2024	24	30,1	11,7	6,5	0,9

Nota. La variación extrema de algunos datos fue debido a problemas imprevistos del sistema.

Los datos dentro de invernadero muestran fluctuaciones en el consumo de agua (18-43 litros) cada tres o cuatro días, sin tomar en cuenta el consumo de una fecha donde un sistema falló y drenó gran cantidad del agua. El pH se mantuvo mayormente entre 5,3 y 7, con algunas desviaciones menores. La Conductividad Eléctrica (CE) varió de 0,1 a 2,9 mS/cm, indicando niveles adecuados tanto de pH como de conductividad eléctrica.

Anexo U

Parámetros de control de la solución nutritiva fuera de invernadero

Consumo de agua					
Fecha	(L)	Max	Min	pH	CE (mS/cm)

10/2/2024	-	25,6	5,08	5,5	2
14/2/2024	31	22	8	5,6	1,9
17/2/2024	-	20	6	6,1	1
21/2/2024	10	23	9	6	1,5
24/2/2024	-	15	2	6,4	1,2
28/2/2024	14	18	5	6,2	1,5
2/3/2024	-	24	10	6	1,1
6/3/2024	28	17	11	6	1,4
9/3/2024	-	25	7	6,5	0,7
13/3/2024	17	27	10	6,5	0,9
16/3/2024	-	23	8	6,7	0,6
20/3/2024	20	16	1	6,7	0,9
23/3/2024	-	19	4	6,8	0,7

Nota. La variación extrema de algunos datos fue debido a problemas imprevistos del sistema.

Los datos fuera de invernadero muestran fluctuaciones en el consumo de agua (10-31 litros) cada tres o cuatro días. El pH se mantuvo mayormente entre 5,5 y 6,8, con algunas desviaciones menores. La Conductividad Eléctrica (CE) varió de 0,6 a 2,0 mS/cm, indicando niveles adecuados tanto de pH como de conductividad eléctrica.

Anexo V

Materiales físicos y estructurales usados para la implementación del proyecto

Taladro, Pingos de dos metros de altura, tubos PVCD 75 mm por 3 m, tapones PVCD 75 mm por 50 mm, reductores bujes PVCD 75 mm por 50 mm, reductor PVC 50 mm por 32 mm, codos plegables 32 mm por 90°, adaptadores hembra, adaptadores Flex macho de 1", adaptadores PVC 32 mm por 1", abrazaderas alemanas de 32 a 35 mm, tees flexibles de ¾" y 1", tubos PVC de presión de 32 mm, pega para tubería weldon, bomba BP de 0,50 hp, flexi-tubo 1" a 65 PSI de 100 m, vasos hidropónicos de 5 cm, timers analógicos, tanques de 100 L, cinta métrica, pie de rey, peachímetro y conductímetro, etiquetas, plástico para invernadero, estufa, balanza de precisión, fundas de papel, equipo de bioseguridad, hojas de registro, computador, teléfono celular.