

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de cinco variedades de *Lactuca sativa* bajo condiciones hidropónicas a la intemperie en Zhidmad, Ecuador

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

Autor:

Jhon Fernando Jadan Juela

Director:

Pablo Geovanny Quichimbo Miguitama

ORCID:  0000-0002-6108-9091

Cuenca, Ecuador

2024-08-05

Resumen

La lechuga es una hortaliza ampliamente cultivada en condiciones hidropónicas a nivel nacional y mundial. No obstante, existen muchas variedades y cada una tienen sus requerimientos para ser cultivada. Esta investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el crecimiento y desarrollo de cinco variedades de lechuga cultivada en sistemas hidropónicos con la técnica de la película de nutrientes (NFT por sus siglas en inglés). La investigación se llevó a cabo en la comunidad San José de Zhidmad, perteneciente al cantón Gualaceo, donde se evaluaron cinco variedades de lechuga: Great Lakes, Red Salad Bowl, Regina, Romana rubia y Seda, en un cultivo hidropónico en sistema NFT a la intemperie, bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones (4 módulos). Cada bloque contenía cinco tratamientos correspondientes a las variedades, con 12 plantas o unidades de observación por variedad. El experimento tuvo una duración de 50 días, distribuidos en 2 etapas distintas: una fase inicial de 15 días en semillero y una fase posterior de 35 días en el sistema hidropónico, en donde se evaluaron variables de crecimiento y desarrollo (altura, diámetro de planta y tallo, número de hojas y longitud radicular) y de rendimiento (peso fresco y seco). En el transcurso del experimento, se infectó el cultivo con *Fusarium* sp, como consecuencia, se registró una mortalidad del 20,8% a los 20 días después del trasplante, que aumentó al 93,7% a los 35 días después del trasplante, esto condicionó la duración del estudio (35 días bajo hidroponía). Como resultado se pudo observar que para las variables (altura, número de hojas y longitud radicular), no existió diferencias significativas entre variedades. Sin embargo, para el resto de variables (diámetro de planta, diámetro de tallo, peso fresco y peso seco), la variedad Romana rubia mostró los valores más altos en este estudio.

Palabras claves del autor: hidroponía, variedades de lechuga, campo abierto, mortalidad vegetal



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

Lettuce is a vegetable widely grown under hydroponic conditions nationally and worldwide. However, there are many varieties and each one has its own requirements to be cultivated. This research aims to evaluate the growth and development of five varieties of lettuce grown in hydroponic systems with the nutrient film technique (NFT). The research was carried out in the community of San José de Zhidmad, in the canton of Gualaceo, where five lettuce varieties were evaluated: Great Lakes, Red Salad Bowl, Regina, Romana rubia and Seda, in a hydroponic cultivation in NFT system outdoors, under a randomized block experimental design with four replications (4 modules). Each block contained five treatments corresponding to the varieties, with 12 plants (observation units) per variety. The experiment lasted 50 days, distributed in two distinct stages: an initial phase of 15 days in the seedbed and a subsequent phase of 35 days in the hydroponic system, where growth and development variables (height, plant and stem diameter, number of leaves and root length) and yield (fresh and dry weight) were evaluated. During the course of the experiment, the crop was infected with *Fusarium* sp, resulting in a 20.8% mortality rate 20 days after transplanting, which increased to 93.7% at 35 days after transplanting, which conditioned the duration of the study (35 days under hydroponics). The results showed that there were no significant differences between varieties for the variables (height, number of leaves and root length), however, for the others (plant diameter, stem diameter, fresh weight and dry weight) the variety Romana rubia showed the highest values in this study.

Author Keywords: hydroponics, lettuce varieties, outdoor, plant mortality



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

Índice de figuras.....	6
Índice de tablas	7
Agradecimientos	8
Dedicatoria	9
Introducción.....	10
Objetivos	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
Revisión bibliográfica.....	13
3.1 Cultivo de lechuga.....	13
3.2 Variedades de lechuga	13
Great lakes	13
Red Salad Bowl	13
Regina.....	13
Seda.....	13
Romana	14
3.3 La hidroponía	14
3.3.1 Ventajas de los cultivos hidropónicos	14
3.3.2 Desventajas de los cultivos hidropónicos	15
3.4 Sistema hidropónico NFT	16
3.4.1 Elementos del sistema NFT	16
3.5 La solución nutritiva	17
3.6 El potencial de hidrogeno (pH)	18
3.7 Factores que afecta	18
3.8 Comparación con otros sistemas	19
3.9 Enfermedades en el sistema	19
Materiales y métodos.....	20
4.1 Materiales y equipos	20
4.1.1 Materiales de cultivo	20
4.1.2 Materiales de campo.....	20
4.1.3 Equipos	20
4.1.4 Sistema NTF	20
4.1.5 Fertilizante.....	20

4.2 Metodología.....	20
4.2.1 Ubicación del proyecto.....	20
4.2.2. Material vegetal.....	21
4.2.3 Infraestructura	22
4.2.4 Diseño experimental	22
4.2.5 Metodología para el objetivo específico 1	23
4.2.6 Metodología para el objetivo específico 2	23
4.2.7 Análisis estadístico.....	25
Resultados y discusión	26
5.1. Crecimiento y desarrollo de las variedades de lechuga	26
5.1.1 Altura de la planta	26
5.1.2. Diámetro de la planta	28
5.1.3. Diámetro de tallo	29
5.1.4. Número de hojas	29
5.1.5. Longitud radicular.....	30
5.2. Peso fresco y peso seco de cinco variedades de lechuga	30
5.2.1 Peso fresco.....	30
5.2.2 Peso seco	32
5.2.3. Mortalidad por fusariosis	33
Conclusiones.....	36
Recomendaciones	37
Referencias	38
Anexos	42
Anexo A.....	42
Anexo B	43
Anexo C.....	44
Anexo D.....	44
Anexo E.....	45
Anexo F	45
Anexo G.....	56
Anexo H.....	65

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación	21
Figura 2 Distribución aleatoria de las repeticiones del experimento	23
Figura 3 Diferencias de peso fresco de 5 variedades de lechuga cultivados en un sistema hidropónico a la intemperie.	32
Figura 4 Diferencias de peso seco estimado de 5 variedades de lechuga cultivados en un sistema hidropónico a la intemperie	33
Figura 5 Efecto del patógeno a los 20 días después del trasplante en 5 variedades de lechuga cultivados a la intemperie	34
Figura 6 Efecto del patógeno a los 35 días después del trasplante en 5 variedades de lechuga cultivadas a la intemperie	35

Índice de tablas

Tabla 1 Rangos de concentración de minerales esenciales según diversos autores	17
Tabla 2 Prueba de normalidad de datos (Kolmogórov-Smirnov o Shapiro Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para las variables de estudio	26
Tabla 3 Resultados de las pruebas estadísticas para la evaluación de las variables altura, diámetro de planta, diámetro de tallo, número de hojas y longitud radicular	27
Tabla 4 Variación temporal de las variables bajo estudio de cinco variedades de lechuga bajo condiciones hidropónicas a la intemperie	28
Tabla 5 Prueba de normalidad de datos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para las variables peso fresco y peso seco	31
Tabla 6 Resultados de las pruebas estadísticas para la evaluación de las variables en estudio.....	31

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser fuente de sabiduría y fortaleza que han sido fundamentales en el camino de esta etapa académica.

A mi querida familia, en especial a mis padres, Benigno Jadan y Rosa Juella, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido el pilar sobre el cual he construido mi camino hacia el éxito. A mis queridos hermanos: Manuel, Luis y Miguel, y mis hermanas: Rosa, Mercedes, Carmen y Narcisa, cuya presencia y ánimo han sido una fuente constante de inspiración y motivación.

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad de Cuenca, especialmente a la facultad de Ciencias Agropecuarias, la carrera de Agronomía, por brindarme la oportunidad de crecer académicamente y desarrollarme como profesional. A todo el personal docente y administrativo, por su dedicación y compromiso en mi formación académica.

Un agradecimiento especial al Dr. Pablo Quichimbo, tutor del Trabajo de Integración Curricular, cuya orientación ha sido fundamental en la realización de este trabajo.

A mi apreciada amiga, Saida Jadan, por su invaluable ayuda y colaboración en el trabajo de campo.

Por último, agradezco a todos mis amigos, quienes han compartido conmigo momentos de alegría, estudio, desafíos y crecimiento personal. Su compañía y apoyo han enriquecido mi experiencia universitaria de manera inigualable.

Dedicatoria

A mis padres, Benigno Jadan y Rosa Juela, así como a mis hermanos Manuel, Luis y Miguel, y mis hermanas Rosa, Mercedes, Carmen y Narcisa, junto con mis sobrinos Romel y José, y mis sobrinas Tatiana, Viviana, Estefanía y Gabriela, les expreso mi más profundo agradecimiento por su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de mi trayecto académico. A ustedes les dedico este trabajo como muestra de mi gratitud por toda la confianza que me brindaron.

A mis queridos padrinos: Iván Espinoza y Nancy Arce, quienes han sido una guía constante y un apoyo incondicional en mi vida. Su amor, sabiduría y aliento han sido fundamentales en mi camino hacia la consecución de mis metas académicas. Gracias por estar siempre presentes .

Introducción

A nivel nacional, la explotación hortícola se realiza en campos abiertos y de manera tradicional. La agricultura familiar campesina (AFA) y pequeños productores ocupa el 84.5% de la explotación agraria (Pertierra & Quispe, 2020). En el estudio de Blackmore et al. (2021) indican que las poblaciones rurales de los Andes ecuatorianos han incrementado la migración campo ciudad debido a la disminución de la producción como resultado de la degradación del suelo, y es vinculada al excesivo uso y mal manejo del recurso hídrico. El incremento poblacional y la disminución de suelos agrícolas pone en peligro la soberanía alimentaria, por lo cual se buscan alternativas de producción de alimentos (Pertierra & Quispe, 2020). Los cultivos hidropónicos son la alternativa para la producción en sitios con escasez de agua. Esta técnica evidencia una alta productividad debido que los nutrientes son disueltos y suministrados directamente en las raíces, por lo tanto, se optimiza los recursos y la huella de la agricultura disminuye.

La lechuga es la principal hortaliza cultivada en condiciones hidropónicas a nivel nacional y mundial y se reporta hasta 12 cosechas anuales cuando se inicia desde plántulas (Pertierra & Quispe, 2020). Este tipo de agricultura produce alimentos de alta calidad y bajo uso de agroquímicos, por lo cual se ha utilizado en países en vía de desarrollo en sectores pobres (López, 2018). La técnica NFT es un sistema cerrado recirculante, donde se maximiza la eficiencia del uso de agua, el diseño de los canales brinda mayor oxigenación a las raíces, además, permite fácil mantenimiento y mayor control en la solución nutritiva (Beltrano & Giménez, 2015). Según Majid et al. (2021) los cultivos hidropónicos son adecuados para la producción de hortalizas de hojas, en especial la lechuga que demuestra diferencia de rendimientos entre el sistema NFT y de raíz profunda. La hidroponía encaja por ser eficiente e incrementar la productividad por área, los sistemas de circulación de nutrientes son eficiente desde el punto de vista técnico, económico y ambiental (Urrestarazu, 2015), pero también esta técnica tiene dificultades como el manejo de las soluciones nutritivas, el costo alto de inversión inicial en infraestructura como invernaderos y sistemas de circulación (Beltrano & Giménez, 2015). Este alto costo de inversión limita la adopción de sistemas hidropónicos por los agricultores, particularmente de la parroquia Zhidmad, y ante lo cual existe la necesidad imperante de evaluar la producción hidropónica de lechuga sin el uso de invernaderos, es decir, un cultivo a la intemperie evaluando variedades de lechugas y hacia esto va encaminada esta investigación, como un intento para conocer su nivel de productividad tomando en consideración el riesgo de una rápida difusión de ataque de plagas y enfermedades por mantener una solución circulante. Se espera que los resultados de este estudio proporcionen información sobre el desempeño de diferentes variedades de lechuga

en sistemas hidropónicos NFT en condiciones no controladas. Además, se espera que los resultados puedan ser utilizados para promover la adopción de prácticas agrícolas sostenibles en la región, protegiendo el medio ambiente y considerando la importancia de la agricultura en la economía local.

Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar cinco variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo condiciones hidropónicas a la intemperie en Zhidmad, Ecuador.

2.2 Objetivos Específicos

1. Describir el crecimiento y desarrollo de cinco variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivadas hidropónicamente a la intemperie en Zhidmad, Ecuador.
2. Identificar la variedad de lechuga (*Lactuca sativa*) que mayor rendimiento muestre entre las cinco variedades evaluadas bajo las condiciones hidropónicas a la intemperie en Zhidmad, Ecuador.

Revisión bibliográfica

3.1 Cultivo de lechuga

Pertenece a la familia Asteraceae, al género *Lactuca*, su diversidad radica principalmente en los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento, llevado a varios autores a distinguir variedades botánicas significativas para el uso en cultivos hortícolas en diferentes regiones del mundo (Saavedra et al., 2017).

3.2 Variedades de lechuga

Great lakes

La lechuga de la variedad Great Lakes es de ciclo medio-tardío. Sus hojas son amplias, redondas, con bordes rizados y rugosos, proporcionando una textura crujiente y un sabor sumamente agradable. La forma de siembra en un semillero a una profundidad de 0.5 cm, trasplantando posteriormente con marco de siembra de 30 x 40 cm entre plantas. El periodo de cosecha de esta variedad se ubica entre los 60 y 90 días después del trasplante (Agrosad, s.f.).

Red Salad Bowl

La lechuga variedad Red Salad Bowl requiere mantener el pH en el rango de 5.5 a 7. Esta forma una roseta atractiva de color roja, requiere temperaturas comprendidas entre 20 y 30 °C para lograr un crecimiento óptimo. Se debe evitar exposiciones a temperaturas extremas, ya que podrían propiciar un atornillado prematuro (Semillas vivas, s. f.).

Regina

Se trata de una variedad de lechuga con hojas espesas, grandes y uniformes que dan lugar a una lechuga de un distintivo color verde claro y con pocos brotes laterales. Esta lechuga puede ser cultivada durante todo el año gracias a su resistencia a la floración y su excelente adaptabilidad tanto para el cultivo en tierra como en sistemas hidropónicos. Cada lechuga pesa entre 400 y 500 gramos y su ciclo de crecimiento medio es de 65 a 70 días. Resistente a: LMV (Importadora Alaska, s.f.).

Seda

La Lechuga Seda destaca por su sabor suave y mantecoso. El repollo se presenta voluminoso y firme, con un tamaño aproximado que oscila entre 20 y 25 cm. La siembra en semillero se

realiza a profundidad de 0.5 cm. Posteriormente, el trasplante debe llevarse a cabo en un suelo bien preparado, manteniendo una distancia de 30 x 40 cm entre plantas para favorecer un crecimiento adecuado. El tiempo de cosecha de esta lechuga varía entre 60 y 80 días, momento en el cual se alcanzan las características ideales para su recolección (Agrosad, s.f).

Romana

La lechuga romana o lechuga Cos, se clasifica como una planta anual. La altura de la planta está entre 20 a 30 cm. Este vegetal exhibe una preferencia por la exposición al pleno sol y sombra parcial. La temperatura óptima del agua para su cultivo oscila entre 20 y 25 °C. El pH mantener ligeramente ácido en el rango de 5.8 a 6.4 para garantizar un entorno propicio para su desarrollo (Azcarra, 2023).

3.3 La hidroponía

La hidroponía se presenta como un sistema de cultivo donde las plantas son cultivadas sobre soluciones acuosas que contienen nutrientes esenciales para el crecimiento. Además, permite la producción de plantas principalmente herbáceas en sitios no favorables para la agricultura como terrazas, azoteas o suelos infértiles mediante la implementación de estructuras. Mediante esta técnica se han desarrollado diversas técnicas que se basan en el aporte de los nutrientes mediante soluciones estáticas o recirculantes. Las plantas crecen en este sistema mediante el suministro de la solución nutritiva, sin descuidar parámetros como temperatura, humedad relativa y calidad de agua (Beltrano & Giménez, 2015).

3.3.1 Ventajas de los cultivos hidropónicos

Para Beltrano & Giménez (2015) resaltan una serie de beneficios asociados con los cultivos hidropónicos, entre los cuales se incluyen la ausencia de parásitos, bacterias, hongos y contaminación. Este método no solo conlleva una reducción significativa de los costos de producción, sino que también ofrece independencia frente a los fenómenos meteorológicos, permitiendo la producción de cosechas en contra estación. También, se destaca por requerir menos espacio para lograr una mayor producción, por ello el ahorro sustancial de agua, la cual puede reciclarse en el sistema. La ausencia de necesidad de maquinaria agrícola, como tractores y rastras, contribuye a la limpieza e higiene en el manejo del cultivo. Otros aspectos positivos abordados incluyen la mayor precocidad de los cultivos, el alto porcentaje de automatización, la mejora en la calidad del producto y los altos rendimientos por unidad de superficie. Además, la aceleración en el proceso de cultivo y la posibilidad de cosechar repetidamente la misma especie de planta en un año son características que destacan, junto con el ahorro en el consumo de agua y la obtención de productos libres de químicos no

nutrientes. La hidroponía emerge como un enfoque agrícola altamente ventajoso en comparación con los métodos tradicionales de cultivo en suelo, destacándose por diversas mejoras significativas. En primer lugar, se destaca por su uso eficiente del agua, ya que la recirculación del agua en el sistema permite una drástica reducción en su consumo en comparación con el cultivo en suelo convencional, siendo absorbida directamente por las raíces de las plantas. Además, la hidroponía posibilita un mayor control de nutrientes al proporcionar a las plantas una cantidad precisa de elementos esenciales, lo que resulta en un crecimiento más saludable y una calidad superior de los cultivos. Esta técnica, al permitir un control preciso de factores ambientales como la luz, la temperatura y la humedad, contribuye a una mayor productividad en los cultivos. Asimismo, se reduce el uso de fertilizantes al recircular la solución nutritiva, minimizando la contaminación del suelo y el agua. La eliminación del suelo también disminuye el riesgo de enfermedades transmitidas por este medio, resultando en cultivos más sanos y menos dependencia de pesticidas. Por último, la versatilidad de la hidroponía la convierte en una opción ideal para el cultivo en espacios limitados o en áreas urbanas donde el suelo es escaso, facilitando la producción local de alimentos frescos (Trejo & Gómez, 2012).

3.3.2 Desventajas de los cultivos hidropónicos

Para Vyshnavi et al. (2023) se enumeran diversas desventajas asociadas a la agricultura hidropónica. Iniciando con el costo inicial elevado en comparación con los cultivos tradicionales, debido a la necesidad de adquirir equipos específicos mínimos y establecer la infraestructura adecuada. Además, la exigencia de conocimientos técnicos para el manejo del sistema, lo cual representa un desafío, especialmente para los productores nuevos. La disponibilidad constante de energía se presenta como un obstáculo, siendo primordial para el bombeo del agua junto a la solución nutritiva; cualquier corte de energía puede ocasionar problemas sustanciales en el funcionamiento del sistema. La calidad del agua se manifiesta como un factor crítico debido a la necesidad de cumplir con buenas características y libre de impurezas para garantizar el crecimiento óptimo de las plantas. Los requerimientos de mantenimiento son significativamente altos, demandando supervisión constante y cuidadoso mantenimiento para asegurar el equilibrio adecuado de la solución nutritiva, el pH y otros factores ambientales. Se destaca la necesidad de experiencia y conocimiento especializado para operar eficientemente un sistema hidropónico, incluyendo el manejo de nutrientes y enfermedades de las plantas.

Se hace referencia a la limitación en el tamaño de las plantas, especialmente aquellas de gran envergadura o con sistemas radicales extensos, las cuales podrían no ser adecuadas

para el cultivo hidropónico debido a las restricciones de espacio y soporte que impone, según señalan Trejo & Gómez (2012).

Finalmente, Maestre-Valero et al. (2018), se identificaron diversas dificultades relacionadas con los cultivos en sistema NFT al aire libre. Estas dificultades incluyen un mayor costo de inversión y operativos en comparación con cultivos tradicionales, así como un riesgo potencialmente más alto en términos de rentabilidad debido a la inversión inicial elevada en el sistema NFT. Además, se menciona la necesidad de una gestión más especializada y tener conocimientos agronómicos básicos para manejar eficazmente el sistema NFT, así como la mayor sensibilidad a factores externos como la disponibilidad de agua. También se considera la posible limitación en la capacidad de los agricultores para asumir los costos y riesgos asociados con el sistema NFT. Estos riesgos se deben evaluar cuidadosamente en los aspectos económicos y operativos en la implementación de un sistema NFT a la intemperie en comparación con el cultivo tradicional en suelo.

3.4 Sistema hidropónico NFT

En los sistemas hidropónicos NFT, los cultivos se desarrollan en líneas de producción con sección circular o rectangular, fabricadas con material plástico. En estas líneas, se perforan los orificios correspondientes para asegurar los plantines, a través de los cuales se suministra una lámina de solución nutritiva a las plantas. Esta solución provee todos los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es importante resaltar que, en esta técnica, la lámina de nutrientes es poco profunda, lo que beneficia la oxigenación de la solución y marca una diferencia con respecto a otros sistemas hidropónico (Gilsanz, 2007).

3.4.1 Elementos del sistema NFT

Los elementos principales que compone el sistema de acuerdo con Gilsanz (2007) se consideran:

Tanque: sirve para almacenar y coleccionar la solución nutritiva, las dimensiones del tanque se dimensionan de acuerdo con la cantidad de plantas y el tamaño del sistema.

Canal para cultivo: Lugar donde se colocan para que se desarrollen las plantas y recorre la solución nutritiva.

Bomba: Encarga de impulsar la solución nutritiva hacia los canales de cultivo. Estas pueden ser sumergibles o periféricas.

Red de distribución y recolección: Conjunto de accesorios y válvulas que se diseñan para hacer llegar la solución hacia los canales de cultivo y posterior recolectar esta hacia el tanque colector.

3.5 La solución nutritiva

Las soluciones nutritivas en hidroponía es la mezcla de nutrientes disueltos en agua que son esenciales para que las plantas absorban los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo vegetal. Algunos estudios investigan la composición óptima de la solución (Patil et al., 2020).

Tabla 1

Rangos de concentración de minerales esenciales según diversos autores

	Concentración (ppm)						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48	--	64	158	68	--
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	--

(1) Hoagland y Arnon (1938)

(4) Jensen (s/fecha)

(7) Steiner (1984)

(2) Hewitt (1966)

(5) Larsen (s/fecha)

(3) FAO (1990)

(6) Cooper (1979)

Nota: La tabla indica diferentes concentraciones de elementos para la formulación de diferentes soluciones nutritivas para el cultivo de lechuga hidropónica. Tomado de *La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")*, Carrasco & Izquierdo, 1996.

La solución nutritiva desempeña un papel fundamental en la producción de cultivos hidropónicos, sirviendo como el vehículo crucial a través del cual las plantas obtienen los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. En primer lugar, la solución nutritiva cumple con la función primordial de suministrar a las plantas tanto macro como micronutrientes indispensables, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, entre otros, en formas solubles que facilitan su absorción por parte de las plantas, en segundo lugar, la capacidad de controlar con precisión la cantidad y composición de los nutrientes en la solución resulta crucial en un sistema hidropónico. Este control preciso posibilita la optimización del crecimiento de las plantas, maximizando, de este modo, la producción de cultivos. El tercer aspecto relevante se centra en el pH y el equilibrio nutricional

de la solución nutritiva. La mantención de un pH adecuado es esencial, ya que impacta directamente en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, asegurando así una óptima absorción (Carrasco & Izquierdo, 1996).

3.6 El potencial de hidrogeno (pH)

El pH de la solución nutritiva en la hidroponía desempeña un papel fundamental al incidir directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Esta variable pH influye significativamente en la absorción de nutrientes, ya que algunos elementos, como el hierro, manganeso y zinc, alcanzan su máxima disponibilidad en un rango ligeramente ácido, mientras que otros, como el fósforo y el potasio, exhiben mayor accesibilidad en un entorno ligeramente alcalino. Asimismo, el pH incide en la interacción iónica en la solución nutritiva, ya que, en extremos ácidos o alcalinos, los iones pueden precipitar, volviéndose inaccesibles para las plantas y limitando su aprovechamiento. Un equilibrio nutricional adecuado se ve afectado por el pH, ya que desviaciones pueden provocar deficiencias o toxicidades en las plantas, destacando la importancia de mantener un pH adecuado para garantizar la absorción equilibrada de todos los nutrientes necesarios (Meselmani, 2023) .

3.7 Factores que afectan a los cultivos hidropónicos a la intemperie

La influencia de varios factores climáticos en el comportamiento de las soluciones nutritivas dentro de un sistema hidropónico es un aspecto de suma relevancia. Diversos elementos climáticos desempeñan un papel crucial en este contexto, entre ellos:

La temperatura, tanto ambiental como del agua de la solución nutritiva, incide directamente en la absorción de nutrientes por parte de las plantas, la tasa de evaporación del agua y la actividad microbiana en la solución. La humedad relativa del aire ejerce su influencia sobre la tasa de evaporación de la solución nutritiva y la transpiración de las plantas, lo que repercute en la concentración de nutrientes en dicha solución. La radiación solar, en términos de intensidad y duración, impacta en la fotosíntesis de las plantas, afectando así la demanda de nutrientes y agua en la solución nutritiva. La velocidad y dirección del viento también desempeñan un papel al afectar la evaporación de la solución nutritiva y la transpiración de las plantas, influyendo en la concentración de nutrientes. Por otro lado, las lluvias pueden diluir la solución nutritiva en sistemas al aire libre, afectando su composición, pH y concentración de nutrientes. Además, las variaciones estacionales, caracterizadas por cambios en la temperatura, humedad y radiación solar, pueden requerir ajustes en la formulación y manejo de la solución nutritiva para adaptarse a las necesidades de las plantas en distintas épocas del año (Trejo & Gómez, 2012).

3.8 Comparación con otros sistemas

En el trabajo de Maestre-Valero et al. (2018) se menciona que el sistema NTF, en comparación con el cultivo en suelo, presenta un mayor rendimiento en términos de producción, optimización del agua, costos totales, ingresos y ganancias más altos. En la evaluación financiera, el primer sistema tiene un mayor valor presente neto (VPN), lo que lo convierte en una opción atractiva. Sin embargo, el sistema de cultivo en suelo muestra una tasa de retorno significativamente más alta.

3.9 Enfermedades en el sistema hidropónico

García (2012) menciona que tanto la solución nutritiva como el agua de riego pueden actuar como vehículos de transmisión para hongos, bacterias y virus, constituyendo así un riesgo potencial para la salud de las plantas en sistemas hidropónicos. Por tal motivo, se enfatiza la necesidad de esterilizar tanto la solución nutritiva como los sustratos con el fin de prevenir la contaminación y el desarrollo de enfermedades en los cultivos hidropónicos. Asimismo, se resalta la importancia crucial de implementar métodos efectivos de desinfección para garantizar la sanidad de todos los componentes utilizados en el sistema hidropónico. Se mencionan algunas enfermedades destacadas en estos sistemas, tales como las ocasionadas por hongos como *Fusarium* spp., *Pythium* spp. y *Phytophthora* spp., así como las bacterianas como *Agrobacterium tumefaciens* y las virales. Además, se señalan los problemas fitopatológicos asociados con la presencia de microorganismos patógenos en sustratos inertes, así como el riesgo de contaminación y transmisión de enfermedades a través del agua de riego y la solución nutritiva. En el estudio de Khan et al. (2017) se menciona que soluciones nutritivas no tratadas en los tanques tuvieron incidencia de infección de raíz (85.08%), infección de hojas (70.02%), pudrición (80.97%) y el rendimiento más bajo (30.00 g/planta).

También se plantea el riesgo de contaminación bacteriana o fúngica si la recirculación de la solución nutritiva no se gestiona adecuadamente. Según Suárez et al. (2021) mencionan que las enfermedades es el desafío común en los sistemas hidropónicos, ya que patógenos adaptados a ambientes acuáticos como *Fusarium*, *Pythium* y *Phytophthora* pueden propagarse fácilmente a través de la solución nutritiva. Una vez dentro del sistema, estos agentes patógenos pueden causar daños significativos como la marchitez, necrosis de tejidos y pudrición de raíces, lo que en casos graves puede resultar en la muerte de las plantas. Esto provoca impactos negativos en la productividad de los cultivos.

Materiales y métodos

4.1 Materiales y equipos

4.1.1 Materiales de cultivo

Semillas de 5 variedades de lechuga	Tiras de madera
Bandejas de aluminio	Clavos
Arena de río	Bomba de fumigar 2 litros

4.1.2 Materiales de campo

Teléfono celular	Marcador
Carteles	

4.1.3 Equipos

Balanza	Timmer analógico
Calibrador	Conductímetro y pH metro
Flexómetro	Estufa
Electrobomba	

4.1.4 Sistema NTF

Tanque 70L	Accesorios para conexión flex
Tubos PVC 3 pulgadas	Manguera flex ½ pulgada
Manguera espagueti	Tapones PVC 3 pulgadas
Conector 16 mm	Pega para PVC

4.1.5 Fertilizante

Solución para hidroponía INCUSA ®

4.2 Metodología

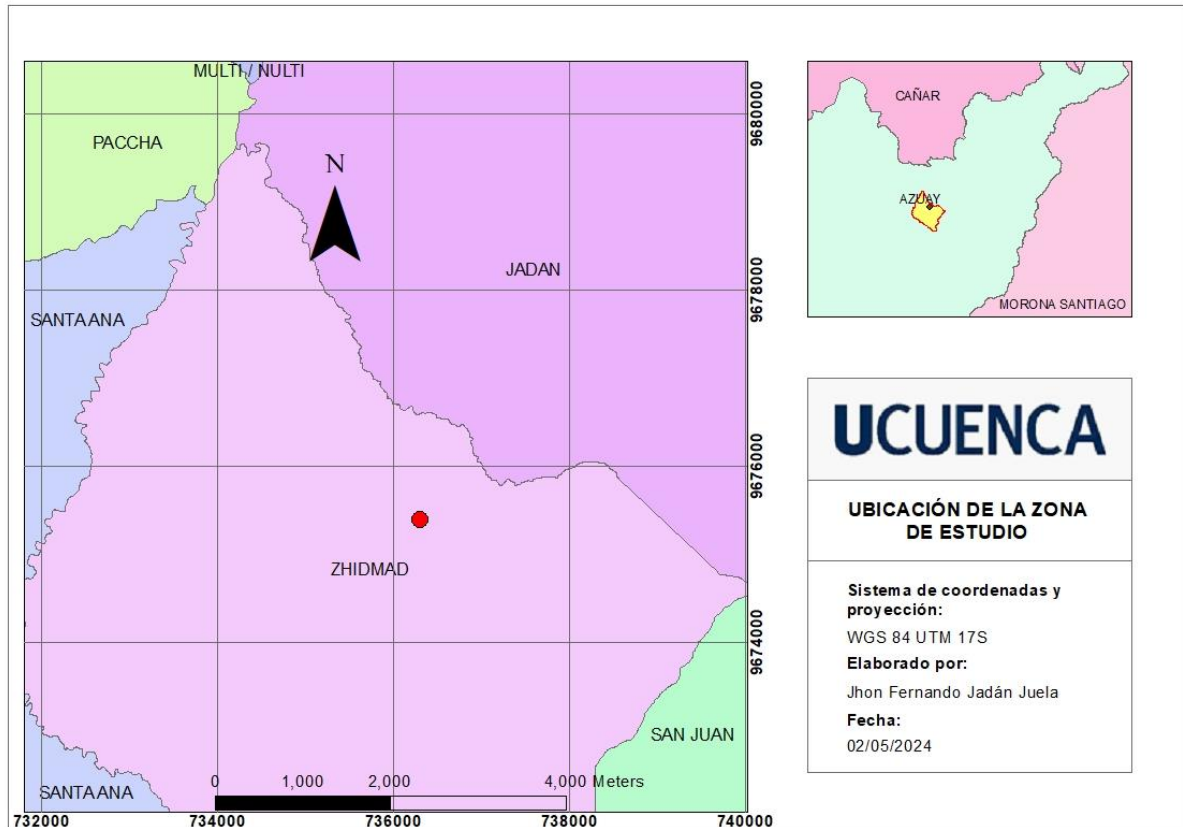
4.2.1 Ubicación del proyecto

Este estudio se desarrolló en la comunidad San José (-2°56'05.5" de latitud y -78°52'26.8" de longitud), ubicada en la Cuenca del río Santiago, subcuenca del río Paute y la microcuenca quebrada Choro Blanco. La ubicación política es la parroquia Zhidmad del cantón Gualaceo, provincia del Azuay, a una altura de 2794 m s.n.m. La zona es templada, la temperatura promedio anual de 11.5°C y una precipitación promedio anual de 750 mm, según los registros

proporcionados por el GAD Zhidmad (2020). El experimento se desarrolló en un área aproximada de 40 m².

Figura 1

Mapa de ubicación



4.2.2. Material vegetal

Las semillas de las diferentes variedades fueron adquiridas de 3 casas comerciales: Agrosad (Great lakes, Romana rubia y Seda), Agrosemillas (Red Salad Bowl) e Importadora Alaska S.A. (Regina 500). Estas fueron sembradas en arena previamente desinfectada y sobre recipientes de aluminio. La emergencia de las diferentes variedades fue diferente; Great lakes a los 6 días, Red Salad Bowl a los 10 días, Regina a los 6 días, Romana rubia a los 7 días y Seda a los 5 días. Las plantas se mantuvieron en el semillero durante 15 días, hasta que desarrollaron 2 hojas verdaderas, tras lo cual fueron trasladadas al sistema hidropónico donde se cultivaron durante 35 días adicionales, teniendo una duración total de 50 días.

4.2.3 Infraestructura

Se llevó a cabo la reestructuración del sitio de estudio, comenzando con la limpieza de maleza e iniciando la construcción de la infraestructura necesaria (Anexo A). Se implementó un sistema NFT en las mesas de cultivo, las cuales constan de 5 tubos de PVC de 3 metros de longitud cada uno. Para su adecuación, se procedió a marcar los tubos a intervalos de 25 centímetros, con el fin de perforarlos posteriormente.

Se diseñaron arcos rectangulares con dimensiones de 1 metro de altura por 1.50 metro de ancho, los cuales se dispusieron en las mesas, colocando tres en cada una: uno en cada extremo y uno en el centro. Estas estructuras están diseñadas con una pendiente del 3% para un óptimo drenaje.

El sistema de riego tiene componentes como la bomba periférica de 0.5 HP. Se estableció un ciclo de riego con intervalos de 15 minutos de encendido y apagado durante el día, y durante la noche, el ciclo consistió en 15 minutos de encendido y 45 minutos de apagado, adaptándose así a las necesidades de las plantas en diferentes momentos del día.

Para la colecta y almacenamiento de la solución nutritiva, se empleó un tanque con una capacidad de 70 litros, asegurando un suministro constante y adecuado de nutrientes para las plantas cultivadas en el sistema hidropónico.

4.2.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBA), considerando un solo factor (las 5 variedades de lechuga) con 4 repeticiones que fueron los módulos (un módulo = un bloque). Los módulos constaron de 5 tubos de PVC, donde en cada tubo se ubicaron en cada una variedad (un tubo = una variedad = una unidad experimental). Cada unidad experimental constó de 12 unidades de observación. El sistema hidropónico fue del tipo NFT en condiciones ambientales no controladas (campo abierto) y las plantas estuvieron a una distancia de 25 cm entre ellas

Figura 2

Distribución aleatoria de las repeticiones del experimento



Nota: Las variedades (tratamientos = T) son las siguientes: Great lakes (T1), Red Salad Bowl (T2), Regina (T3), Romana rubia (T4) y Seda (T5). Bloques o repeticiones (R).

4.2.5 Metodología para el objetivo específico 1

Para alcanzar el cumplimiento del objetivo se procedió con la toma de datos en el intervalo de 15 días para cada variable, los datos se procedieron a tomar 5 días después del trasplante, teniendo un periodo total de evaluación de 35 días (Anexo B). Para medir la altura de las plantas se procedió a sacar esta del vaso y con la regla se midió desde la base del tallo hasta la hoja más alta de la planta. La medición del diámetro de la planta se realizó midiendo la distancia entre los bordes extremos de las mismas con un calibrador. La medición del diámetro del tallo de la planta se lo realizó con un calibrador. Para el número de hojas se procedió al conteo del número total de hojas verdaderas. Finalmente, para la longitud de la raíz se sacaron a las plantas del vaso contenedor de las lechugas y se midió la longitud desde el tallo de la planta hasta la extremidad de la raíz.

4.2.6 Metodología para el objetivo específico 2

Los datos relativos al peso fresco de las plantas fueron recopilados a los 30 días posteriores al trasplante. En esta fecha, la incidencia del ataque fúngico se encontraba en su apogeo, presentando un riesgo significativo de perder unidades de observación. Para esta fecha aún se contaba con plantas de todas las variedades objeto de estudio, lo que permitió la recolección de los datos sobre el peso fresco de las plantas.

Para el cálculo del peso seco se colocaron las muestras 24 horas en la estufa a 40°C hasta obtener un peso constante (variación de 0.05 g). Luego, estas son colocadas en la estufa a 105°C por 24 horas para obtener el peso seco (Anexo E), esta metodología se adaptó a la norma (ISO, 1993).

Para esta variable se estimaron los valores en base al contenido de humedad presente en plantas de lechuga de un experimento desarrollado en el mismo sitio de estudio con la misma configuración que el experimento original, es decir, con el mismo diseño experimental con el sistema NFT y con las mismas variedades o similares a aquellas y plantas de una edad similar (plantas de lechuga de aproximadamente 39 días), las mismas que fueron pesadas en fresco y seco. No obstante, para el segundo experimento, inicialmente tuvo como objetivo replicar el experimento original, pero por materia de tiempo, no fue posible cumplir esta meta, pero los datos se utilizaron para las estimaciones de humedad de la biomasa y así obtener los factores de corrección que se usaron para el experimento original.

Se tiene que mencionar que para este segundo experimento, 2 variedades de lechuga: Red Salad Bowl y Regina no estaban disponibles comercialmente a corto plazo. Por lo tanto, en el segundo experimento se tuvieron 3 variedades similares a las del experimento original (Great lakes, Romana rubia y Seda) y 2 variedades (Crespa y Crespa roja), que no son las mismas variedades que el experimento original, pero son similares en las características morfológicas. Las plántulas de las variedades mencionadas fueron desinfectadas e instaladas en el sistema hidropónico, en este sistema estuvieron un lapso de 39 días después del trasplante. Posteriormente, se obtuvo el peso fresco y luego se obtuvo el peso seco. Mediante el peso seco del experimento dos, se calculó el porcentaje de humedad de cada variedad. Estos valores de humedad se utilizaron para corregir o ajustar el peso seco de las plantas del primer experimento y obtener el peso seco estimado.

En el experimento original, el hongo que atacó el cultivo fue identificado en el laboratorio de fitopatología de la Universidad de Cuenca. Primeramente, se seleccionó una muestra vegetal y se procedió a desinfectarla con una solución de cloro al 1%, luego se procedió a colocarlo en algodón húmedo durante 3 días para que esporule. Después, se procedió a sacar una muestra y colocar en el portaobjetos para seguidamente ubicarlo en el microscopio con el aumento de 10X e identificar el hongo presente en la muestra vegetal (Anexo D).

Adicionalmente, se evaluó el efecto del ataque de *Fusarium* sp. por medio de la contabilización de las plantas muertas provocadas por este patógeno mientras se desarrollaba el cultivo.

4.2.7 Análisis estadístico

Se llevaron a cabo pruebas de normalidad mediante las pruebas de Kolmogórov-Smirnov o Shapiro-Wilk, la homocedasticidad de los datos se realizó la prueba de Levene para para la homogeneidad de varianza, en caso de que estos cumplieron con los supuestos de normalidad, se llevó a cabo un ANOVA, seguido de una prueba de Tukey para detectar diferencias entre tratamientos. En situaciones en las que los supuestos no fueron cumplidos, se optó por realizar una prueba no paramétrica, como la de Kruskal-Wallis. Si esta última evidenciaba diferencias significativas entre los grupos, se procedía entonces a realizar la prueba de Conover-Iman. Todos los análisis estadísticos se realizaron al nivel de significancia $\alpha=0.05$. Todos los análisis se desarrollaron mediante el uso el software R (R Core Team, 2024). Para las figuras se usó el software Microsoft Excel ®.

Resultados y discusión

5.1. Crecimiento y desarrollo de las variedades de lechuga

La evaluación del crecimiento y desarrollo de las variedades bajo estudio se basó en la descripción de las variables que se describen a continuación.

5.1.1 Altura de la planta

La altura de la planta fue evaluada para cada fecha de monitoreo (Anexo F, G y H) y en donde para las primeras fechas se detectaron diferencias significativas entre las variedades (Tabla 4), siendo la variedad Regina la que mostró la mayor altura entre las variedades (altura promedio: 2.1 cm, Tabla 4) a los cinco días del experimento. Mientras que, a los 20 días, la variedad Romana rubia alcanzó la mayor altura (altura promedio: 6.41 cm, Tabla 4) entre las variedades. A los 35 días las alturas de las plantas ya no evidenciaron diferencias significativas (Tabla 4).

Tabla 2

Prueba de normalidad de datos (Kolmogórov-Smirnov o Shapiro Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para las variables de estudio

Variable	Días después del trasplante	Kolmogórov-Smirnov	Shapiro - Wilk	Levene
Altura	5 días	0.002592		0.02588
	20 días	0.002061		0.1632
	35 días		0.5421	0.7301
Diámetro de la planta	5 días	0.3643		0.01641
	20 días	0.05084		0.02386
	35 días		0.05769	0.7543
Diámetro del tallo	5 días	2.20E-16		0.2166
	20 días	5.04E-08		0.01312
	35 días		0.8782	0.6598
Número de hojas	5 días	2.20E-16		0.0002335
	20 días	2.20E-16		0.4942
	35 días		0.04808	0.6777
Longitud radicular	5 días	8.63E-08		0.001108
	20 días	0.001514		0.002192
	35 días		0.1306	0.5215

Tabla 3

Resultados de las pruebas estadísticas para la evaluación de las variables altura, diámetro de planta, diámetro de tallo, número de hojas y longitud radicular

Variable	Días después del trasplante	Kruskal-Wallis	ANOVA	Interpretación
Altura	5 días	2.57E-09	0.663	Presentan diferencias significativas
	20 días	2.50E-13		Presentan diferencias significativas
	35 días			No presentan diferencias significativas
Diámetro de la planta	5 días	1.07E-14	0.0149	Presentan diferencias significativas
	20 días	1.20E-10		Presentan diferencias significativas
	35 días			Presentan diferencias significativas
Diámetro del tallo	5 días	2.86E-16	0.0251	Presentan diferencias significativas
	20 días	2.20E-16		Presentan diferencias significativas
	35 días			Presentan diferencias significativas
Número de hojas	5 días	2.20E-16	0.4916	Presentan diferencias significativas
	20 días	2.20E-16		Presentan diferencias significativas
	35 días			No presentan diferencias significativas
Longitud radicular	5 días	2.20E-16	0.45	Presenta diferencias significativas
	20 días	2.07E-10		Presenta diferencias significativas
	35 días			No presentan diferencias significativas

Según los resultados, se puede apreciar que existen diferencias en las primeras semanas, pero luego éstas tienden a homogenizarse, este comportamiento puede atribuirse a las diferencias derivadas de la genética de las variedades; al respecto, existen estudios en donde al comparar variedades de lechuga, se evidencian diferencias, como es el caso del estudio de Ayala et al. (2019) donde ellos evaluaron a dos variedades de lechuga (Rubinela y Crocantela), atribuyendo tales diferencias a la genética de cada variedad, otros estudios como el de Leiva et al. (2019) al evaluar el comportamiento de 11 variedades de lechuga, encontraron diferencias significativas entre las variedades, igualmente atribuyendo las diferencias al componente genético. No obstante, también existen estudios, con resultados similares al de este trabajo, en donde no se reportaron diferencias, por ejemplo, en el estudio de Gumisiriza et al. (2023) se evaluaron dos variedades de lechuga (verde y roja) y que a los 20 días después del trasplante mostraban similitudes (tampoco presentaron diferencias a los 40 días). En general, las diferencias o similitudes son dependientes del componente genético para esta variable (altura de la planta).

Tabla 4

Variación temporal de las variables bajo estudio de cinco variedades de lechuga bajo condiciones hidropónicas a la intemperie

Variable	Días después del trasplante	Great lakes	Red Salad Bowl	Regina	Romana rubia	Seda
Altura	5 días	1.98 c	1.56 a	2.1 c	1.79 b	1.94 bc
	20 días	6.36 c	5.72 bc	3.57 a	6.41 c	5.65 b
	35 días	6.7	6.72		7.31	6.56
Diámetro de la planta	5 días	1.74 bc	1.04 a	1.82 c	1.5 b	1.74 bc
	20 días	4.84 b	5 b	2.44 a	5.72 c	5.01 b
	35 días	4.9 a	5.6 ab		6.87 b	5.55 ab
Diámetro del tallo	5 días	0.14 cd	0.09 a	0.11 b	0.12 bc	0.15 d
	20 días	0.25 c	0.2 b	0.13 a	0.3 d	0.23 c
	35 días	0.47 ab	0.4 a		0.52 b	0.43 ab
Número de hojas	5 días	3.25 c	2.25 a	3.04 c	2.98 c	2.69 b
	20 días	4.72 c	4.3 b	3.42 a	5.59 d	5.76 d
	35 días	7.33	7.6		8.33	8
Longitud radicular	5 días	6.33 c	3.69 a	5.45 b	5.96 c	5.34 b
	20 días	7.74 b	7.84 b	4.48 a	8.14 b	9.25 c
	35 días	11.8	10.8		11.33	11.3

5.1.2. Diámetro de la planta

Para la variable diámetro de planta, al evaluarlo entre fechas (Anexo F, G y H), se reveló las diferencias significativas entre variedades (Tabla 4), siendo la variedad Regina la que mostró el mayor diámetro de planta (diámetro promedio: 1.82 cm) a los cinco días. La variedad Romana rubia alcanzó el mayor diámetro de planta (diámetro planta promedio: 5.72 cm, Tabla 4) transcurridos los 20 días. Finalmente, a los 35 días la variedad Romana rubia alcanzó el mayor diámetro de planta (diámetro planta promedio: 6.87 cm, Tabla 4) entre las variedades evaluadas (Tabla 4).

En los resultados obtenidos se observa que las variedades de lechuga presentan diferencias significativas durante el desarrollo del experimento, lo que podría vincularse con la expresión genética inherente a cada variedad, lo que se ha visto también en varios estudios de comparación entre variedades de lechuga (Ayala et al., 2019), quienes destacan diferencias significativas en el diámetro de la roseta entre las variedades de lechuga estudiadas (Rubinela y Crocantela), atribuyendo esta variación a factores genéticos y a la interacción genotipo-ambiente, estos datos influyen en la densidad de siembra. Resultados similares fueron observados por Leiva et al. (2019), quienes encontraron diferencias significativas en sus

variedades de estudio. Al comparar nuestro estudio con el de Thakulla et al. (2021) donde se evaluaron diferentes variedades de lechuga, se encontraron diferencias significativas similares. Estas diferencias fueron atribuidas al manejo de la temperatura de la solución y a la expresión genética de las variedades, lo que subraya la importancia de considerar tanto los factores genéticos como ambientales en la interpretación de los resultados.

5.1.3. Diámetro de tallo

Durante el proceso de evaluación, de igual manera para las tres fechas de monitoreo (Anexo F, G y H), se evidenciaron diferencias significativas, la variedad Seda demostró tener el mayor diámetro del tallo de la planta (diámetro del tallo promedio: 0.15 cm, Tabla 4) a los cinco días. Para la próxima fecha (a los 20 días) la variedad Great lakes alcanzó el mayor diámetro del tallo de la planta (diámetro del tallo promedio: 0.25 cm, Tabla 4). Finalmente, la variedad Romana rubia alcanzó el mayor diámetro del tallo (diámetro del tallo promedio: 0.52 cm, Tabla 4).

Los resultados revelan diferencias estadísticamente significativas entre las variedades en cuanto al diámetro del tallo y su variación en el tiempo, estos son atribuibles a las características inherentes de las variedades. Un hallazgo similar se presenta en el estudio de Leiva et al. (2019), donde se encontraron diferencias significativas en el diámetro del tallo entre 11 variedades de lechuga evaluadas. Por otro lado, el estudio de Moraes et al. (2020) con tres variedades de lechuga, indica que el diámetro del tallo no presenta diferencias. Por lo tanto, las diferencias en el diámetro del tallo dependerían también del factor genético.

5.1.4. Número de hojas

Para la variable número de hojas, del análisis estadístico se observó diferencias significativas entre las variedades, la variedad Great lakes fue la que obtuvo el mayor número de hojas (número de hojas promedio: 3.25 unidades, Tabla 4) a los 5 días. La variedad Seda demostró tener el mayor número de hojas (número de hojas promedio: 5.76 unidades, Tabla 4) transcurridos los 20 días. A los 35 días los datos del número de hojas de las plantas ya no evidenciaron diferencias significativas (Tabla 4). Por lo tanto, las cinco variedades muestran diferencias significativas en las primeras etapas de crecimiento y desarrollo, pero para la última fecha, las variedades no tienen diferencias, el comportamiento tiende a homogenizarse (Anexo F, G y H).

La cantidad de hojas, por ejemplo, está estrechamente relacionada con la fase fenológica, como lo destacan Djidonou & Leskovar (2019), quienes señalan que la aparición de nuevas hojas está influenciada por la estación de siembra, la concentración de nutrientes y la

variedad seleccionada. Estos autores también indican la existencia de una fase inicial de crecimiento lento, caracterizada por la aparición de 2 a 10 hojas nuevas, dependiendo de la estación de cultivo, seguida de una fase de crecimiento rápido, en la cual el número de hojas nuevas puede aumentar de 3 a 17, nuevamente dependiendo de la estación. Por otro lado, Moraes et al. (2020) informan que, entre tres cultivares evaluados, no se encontraron diferencias significativas en el número de hojas, aunque sí realiza un análisis en la longitud de las mismas. Estos resultados pueden atribuirse a las diferencias genéticas entre las variedades y las condiciones específicas que se establecen dentro del entorno del invernadero.

5.1.5. Longitud radicular

La longitud radicular fue monitoreada durante 3 fechas (Anexo F, G y H), esta variable en las 2 primeras fechas revela diferencias significativas entre variedades, siendo la variedad Great lakes la que demostró la mayor longitud radicular (longitud radicular promedio: 6.33 cm, Tabla 4) a los cinco días. Mientras que a los 20 días la variedad Seda alcanzó la mayor longitud radicular (longitud radicular promedio: 9.25 cm, Tabla 4) entre las variedades. A los 35 días la longitud radicular de las plantas ya no evidenció diferencias significativas (Tabla 4).

Los resultados obtenidos indican que las diferentes variedades presentan patrones de crecimiento radicular distintos en las dos primeras fechas de observación, pero en la tercera semana se homogeniza, este hallazgo es similar al reportado por Leiva (2019) y Moraes et al. (2020), que reportan que entre cultivares evaluados, no se encontraron diferencias significativas en la longitud de la raíz. Gumisiriza et al. (2023) señalan que en sistemas hidropónicos, la longitud de la raíz puede alcanzar un rango uniforme (18 y 20 cm), dado que las raíces tienen acceso a nutrientes y oxígeno disueltos en el agua, favoreciendo su proliferación.

5.2. Peso fresco y peso seco de cinco variedades de lechuga

5.2.1 Peso fresco

Para el peso fresco de la planta se detectaron diferencias significativas entre las variedades (Tabla 6) para el final del período de evaluación de este trabajo. La variedad Romana rubia fue la que mostró el mayor peso fresco (peso fresco promedio: 17 g), mientras que la variedad Regina obtuvo el menor peso fresco (peso fresco promedio= 7.33 g) durante el período de tiempo de evaluación (Figura 3).

Tabla 5

Prueba de normalidad de datos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) para las variables peso fresco y peso seco

Variables	Shapiro	Levene
Peso fresco	0.6883	0.8662
Peso seco	0.8527	0.8769

Tabla 6

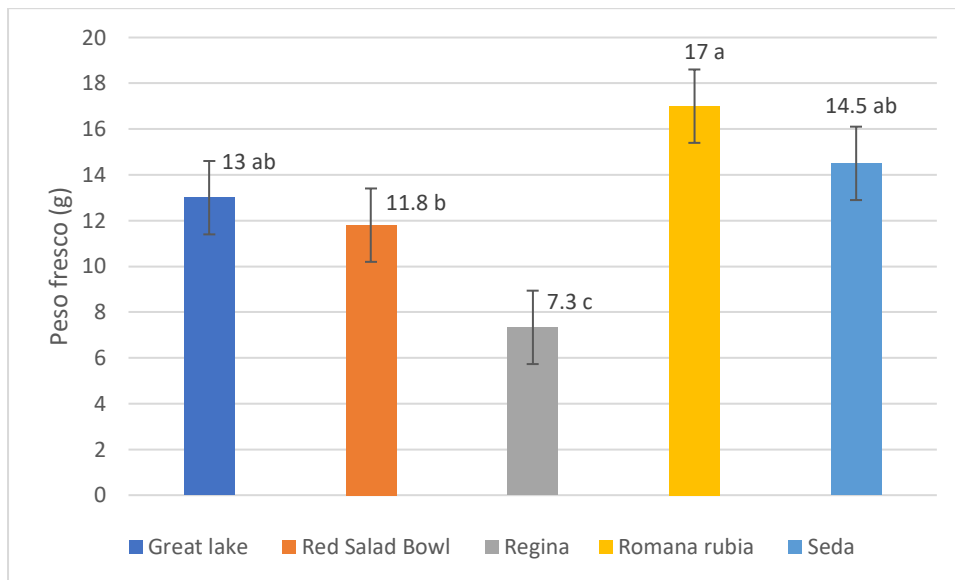
Resultados de las pruebas estadísticas para la evaluación de las variables en estudio

Variables	ANOVA	Interpretación
Peso fresco	0.000246	Presenta diferencias significativas
Peso seco	0.000296	Presenta diferencias significativas

Los resultados obtenidos revelan diferencias notables en el rendimiento en términos de peso fresco entre las diversas variedades evaluadas. Varias investigaciones respaldan esta observación; por ejemplo, un estudio realizado por Leiva et al. (2019) señala que las 11 variedades de lechuga examinadas exhibieron diferencias significativas en cuanto a su peso fresco.

Figura 3

Diferencias de peso fresco de 5 variedades de lechuga cultivados en un sistema hidropónico a la intemperie.

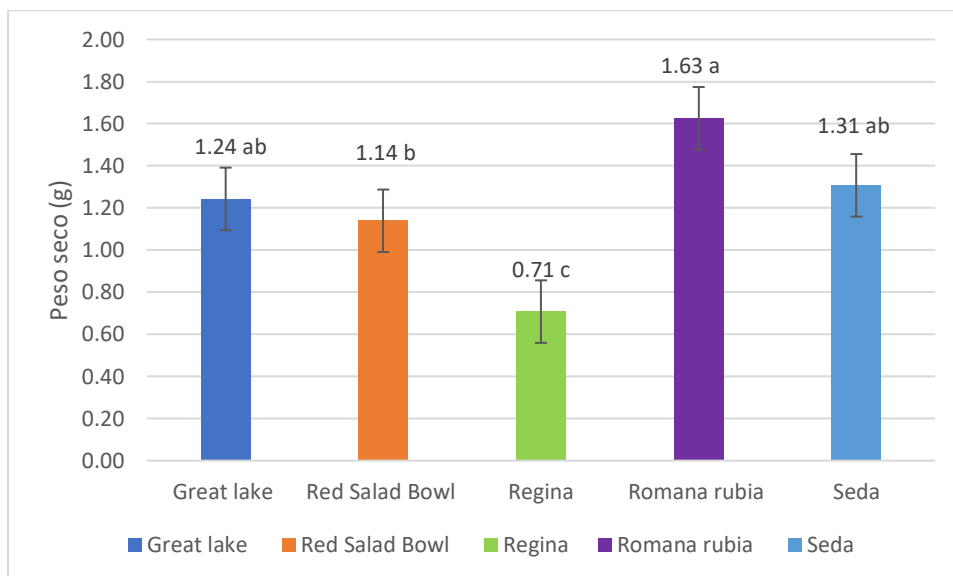


5.2.2 Peso seco

Para el peso seco estimado de la planta se detectaron diferencias significativas entre las variedades (Tabla 6), siendo la variedad Romana rubia la que mostró el mayor peso seco estimado (peso seco estimado promedio: 1.63 g, Figura 4) entre las 5 variedades de estudio (prueba de Tukey, p -valor < 0.05 , Figura 4). Mientras que la variedad Regina obtuvo el menor peso seco estimado (Figura 4).

Figura 4

Diferencias de peso seco estimado de cinco variedades de lechuga cultivados en un sistema hidropónico a la intemperie



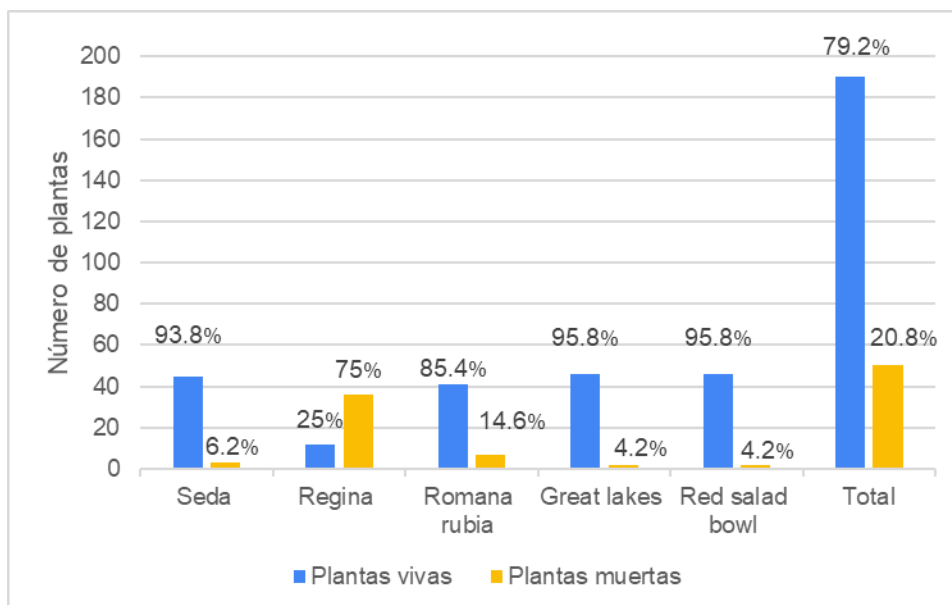
El mayor peso seco exhibido por la variedad Romana rubia se lo puede atribuir a que esta variedad presenta valores mayores en las variables de crecimiento y desarrollo, una mayor cantidad de biomasa sintetizada puede generar una mayor posibilidad de tener un peso seco mayor como lo reporta Lara et al. (2023).

5.2.3. Mortalidad por fusariosis

Las cinco variedades bajo estudio fueron afectadas por *Fusarium* sp (Anexo C y D), a partir de la segunda fecha. Sin embargo, las variedades mostraron respuestas divergentes ante esta enfermedad. A los 20 días después del trasplante, se destaca que la variedad Regina exhibió la mayor tasa de mortalidad, alcanzando un 75% y hasta ese monitoreo se constató que la mortalidad es considerable, alcanzando un 20.8% de mortalidad para la totalidad del experimento (Figura 5).

Figura 5

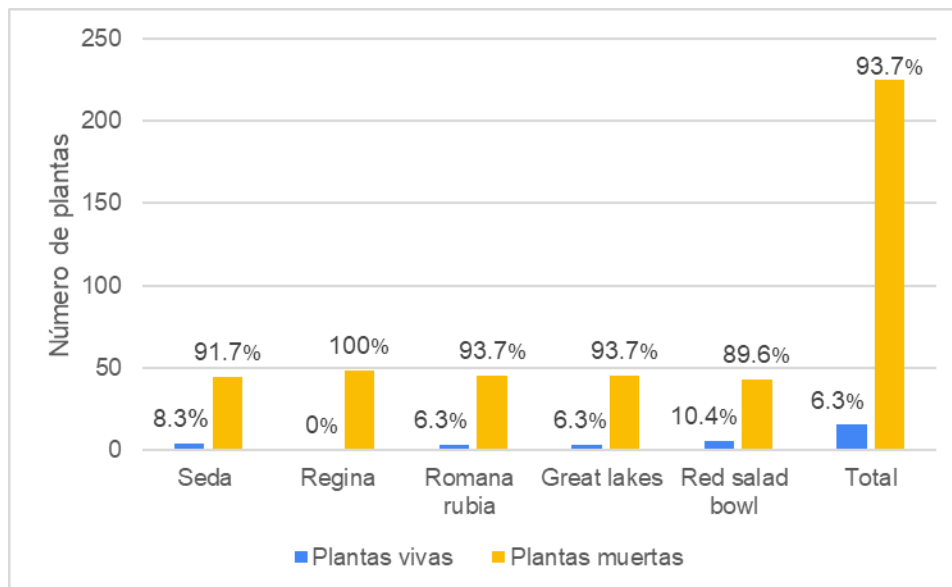
Efecto de la fusariosis a los 20 días después del trasplante en cinco variedades de lechuga cultivados a la intemperie



La tasa de mortalidad a los 35 días después del trasplante, provocada por el patógeno (Figura 6), evidencia un aumento significativo, denotando la creciente agresividad del patógeno dentro del sistema de cultivo. Para esta fecha (35 días del trasplante), la variedad Regina presentó una mortalidad de 100%, y las demás variedades exhibieron comportamientos similares en términos de mortalidad. El incremento total en la tasa de mortalidad del sistema alcanzó un 93.7%, lo que llevó a dar por culminado el experimento. Al respecto, es reconocido que las enfermedades transmitidas por el agua suponen un importante riesgo en los cultivos hidropónicos (Suárez et al., 2021). Khan et al. (2017), en su estudio sobre control de fusariosis en un cultivo de lechuga hidropónica en sistema de raíz flotante, reportaron altos porcentajes de infección de esta enfermedad (infección de raíz: 85.08%; infección de hojas: 70.02%) y que finalmente llevaron a una reducción significativa de la producción (una reducción aproximada del 88% de la producción frente a uno de los tratamientos más efectivos para el control de la enfermedad).

Figura 6

Efecto de la fusariosis a los 35 días después del trasplante en cinco variedades de lechuga cultivadas a la intemperie



Nota: Porcentaje de mortalidad ocasionada por *Fusarium* sp. en cinco variedades de lechuga y el porcentaje total del experimento.

Conclusiones

La variabilidad de las características de las cinco variedades estudiadas en este trabajo (altura de planta, diámetro de la planta y tallo, número de hojas, longitud radicular y pesos) sugiere la importancia del factor genético de cada variedad en la expresión de estas. Aunque se observaron disparidades significativas al inicio del experimento, con el tiempo estas discrepancias disminuyen para ciertas variables, lo que podría indicar un proceso de adaptación y ajuste de las plantas a las condiciones del sistema hidropónico a lo largo del tiempo. No obstante, también hay que considerar que en el presente trabajo, el período de evaluación no es del ciclo comercial completo, por lo tanto, los hallazgos de este estudio están condicionados al periodo de evaluación de 35 días en un cultivo hidropónico a la intemperie, y que a partir de los 20 días mostraron afecciones por los síntomas de fusariosis, lo que finalmente condujo al 100% de mortalidad de las plantas.

El efecto de *Fusarium* sp en este trabajo permite observar la vulnerabilidad del sistema de cultivo de cinco variedades de lechuga hidropónico NFT a la intemperie. Se puede observar que ninguna variedad demostró una mayor resistencia a la enfermedad en el periodo de evaluación. Mediante estos hallazgos se concluye que a pesar de las diferencias genéticas inherentes entre las variedades, todas son susceptibles a la enfermedad. Por lo tanto, se deben plantear la importancia de implementación de estrategias del manejo de plagas y enfermedades en sistemas a campo abierto, donde están expuestas a diversas fuentes de contaminación.

Recomendaciones

Debido al riesgo de incidencia y severidad altas en sistemas hidropónicos desarrollados a la intemperie se recomienda elaborar y ejecutar estrictos protocolos de prevención de plagas y enfermedades para así disminuir los riesgos de infecciones.

Y ante infecciones de plagas y enfermedades se resalta la importancia de tener un plan de manejo integrado de plagas y enfermedades en los cultivos hidropónicos a la intemperie, se recomienda enfocarse en la evaluación de los impactos potenciales de la ausencia o implementación de un plan en la productividad, calidad y sostenibilidad de los cultivos.

Debida a la naturaleza del sistema NFT, es posible trabajar dividiendo los módulos para evitar la diseminación del patógeno. Se puede trabajar con sistemas de bombeo independientes, lo que permitiría evitar la pérdida total del cultivo.

Referencias

- Agrosad USA: Lechuga Great Lakes 118. (s. f.). <https://agrosad.com.ec/index.php/linea-agricola/semillas/marca-agrosad-usa/lechuga-great-lakes-118-detail>
- Agrosad USA: Lechuga Kagramer Ommer (s. f.). <https://www.agrosad.com.ec/index.php/linea-agricola/semillas/marca-agrosad-usa/lechuga-seda-detail>
- Agrosad USA: Sativa: Lechuga Romana Rubia. (s. f.). <https://www.agrosad.com.ec/index.php/linea-agricola/semillas/marca-sativa/tomate-de-mesa-sibari-f1-pomodoro-211-detail>
- Ali Al Meselmani, M. (2023). Nutrient solution for hydroponics. En *Recent Research and Advances in Soilless Culture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101604>
- Ayala, B., Chui, C., & Fernández, C. (2019). Evaluación del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en sistema hidropónico bajo dos niveles de cloruro de potasio. . . ISSN. http://www.scielo.org.bo/pdf/rriarn/v6n2/v6n2_a09.pdf
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía* (Primera Edición, Vol. 1). Editorial de la Universidad de la Plata (EDULP). <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/414>
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante («NFT»)*. Universidad de Talca : Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Di Benedetto, A, & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282. Recuperado en 13 de junio de 2024, http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142016000300007&lng=es&tlng=es
- Djidonou, D., & Leskovar, D. I. (2019). Seasonal Changes in Growth, Nitrogen Nutrition, and Yield of Hydroponic Lettuce. *HortScience*, 54(1), 76-85. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13567-18>

- GAD Zhidmad. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Gobierno Autónomo Descentralizado Zhidmad. <https://zhidmad.gob.ec/azuay/>
- García, A. (2012). *Desinfección de sustrato y solución nutritiva contaminados con Fusarium oxysporum f.sp.lycopersy*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Gilsanz, J.C. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)
- Gumisiriza, M. S., Ndakidemi, P. A., Nampijja, Z., & Mbega, E. R. (2023). Soilless urban gardening as a post covid-19 food security salvage technology: A study on the physiognomic response of lettuce to hydroponics in Uganda. *Scientific African*, 20, e01643. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01643>
- Importadora Alaska S.A. Lechuga Regina 500 (s.f.). <https://www.imporalaska.com/lechugas>
- International Organization for Standardization. (1993). Soil quality – Determination of dry matter and water content on a mass basis – Gravimetric method (ISO 11465:1993). <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/20886/ee7f98f57be14ec883df354add1c5802/ISO-11465-1993.pdf>
- Khan, P., Bora, L. C., & Borah, P. K. (2017). Management of Lettuce Rot Caused by *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Lactuca* in Hydroponically Grown Crop Using Microbial Consortia. *Indian Phytopathology*, 70(2). <https://doi.org/10.24838/ip.2017.v70.i2.70757>
- Lara, A., De La Rosa-Rodríguez, R., & Trejo-Téllez, L. I. (2023). Producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con cinco proporciones de macronutrientes en solución nutritiva. *Bioagro*, 35(1), 113-122. <https://doi.org/10.51372/bioagro352.4>
- Leiva, S. T., Román, A., Vilca, N. C., & Neri, J. C. (2019). Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante (Chachapoyas – Amazonas). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2(1), 50. <https://doi.org/10.25127/aps.20181.384>
- Maestre-Valero, J. F., Martín-Gorrioz, B., Soto-García, M., Martínez-Mate, M. A., & Martínez - Álvarez, V. (2018). Producing lettuce in soil-based or in soilless outdoor systems.

- Which is more economically profitable? *Agricultural Water Management*, 206, 48-55.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.022>
- Moraes, V. H., Giongo, P. R., Silva, F. D. F., Mesquita, M., De Abreu, J. P., & Pereira, A. D. (2020). Behavior of three lettuce cultivars in a hydroponic system. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(2), 9165-9170.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n2.75423>
- Patil, S., Kadam, U., Mane, M., Mahale, D., & Dekale, J. (2020). *Hydroponic nutrient solution: A review*. <https://dx.doi.org/10.22271/phyto>
- Pertierra, R., & Quispe, J. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *La Granja*, 31(1), Article 1.
- R Core Team (2024). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Saavedra, G., Gorradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). *Manual de produccion de Lechuga*.
- Semillas vivas (s.f.) <https://www.semillasvivas.bio/es/lechuga/8122-semillas-lechuga-red-salad-bowl.html>
- Suárez, G. P., Pérez, L., Avilés, M., Borrero, C., Lobillo Eguíbar, J. R., & Fernández-Cabanás, V. M. (2021). Susceptibility to water-borne plant diseases of hydroponic vs. Aquaponics systems. *Aquaculture*, 544, 737093.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737093>
- Thakulla, D., Dunn, B., Hu, B., Goad, C., & Maness, N. (2021). Nutrient Solution Temperature Affects Growth and °Brix Parameters of Seventeen Lettuce Cultivars Grown in an NFT Hydroponic System. *Horticulturae*, 7(9), 321.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7090321>
- Trejo, L. I., & Gómez, F. C. (2012). *Nutrient Solutions for Hydroponic Systems*.
<http://www.intechopen.com/books/hydroponics-a-standardmethodology-for-plant-biological-researches/nutrient-solutions-for-hydroponic-systems>

Vyshnavi, Agarwal, S., S, A., Dubey, H., & Jain, C. (2023). *A study on hydroponic farming*. 5(2).

Anexos

Anexo A

Armado de la infraestructura del sistema NFT



Anexo B

Recolección de datos: Altura de planta, longitud radicular, diámetro de planta, diámetro de tallo, número de hojas



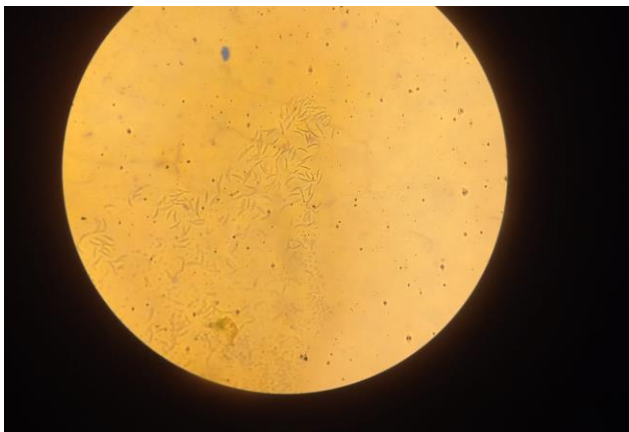
Anexo C

Plantas atacadas por *Fusarium* sp en campo



Anexo D

Fusarium sp identificado en el laboratorio de fitopatología



Anexo E

Muestras vegetales en la estufa para obtener peso seco de las variedades



Anexo F

Registro de datos 1 (9/2/2024)

HOJA DE REGISTRO DE DATOS					
Fecha:	09/02/2024		Nº de registro:	1	
Id	Altura	Diámetro planta	Diámetro tallo	Nº hojas	Longitud raíz
T5R1P1	1.6	1.9	0.05	2	5.5
T5R1P2	1.4	2.1	0.15	2	5.5
T5R1P3	1.4	1.7	0.17	2	5.7
T5R1P4	1.8	1.86	0.22	2	5.6
T5R1P5	1.6	1.17	0.11	2	5.9
T5R1P6	1.4	1.65	0.16	2	5.4
T5R1P7	2.1	2.18	0.22	2	5.2
T5R1P8	2.1	1.97	0.24	2	5.2

T5R1P9	2.2	2.3	0.21	2	6.1
T5R1P10	2	1.83	0.22	2	5.6
T5R1P11	2	2.05	0.21	3	5.2
T5R1P12	1.7	2.8	0.2	2	6
T4R1P1	2	1.01	0.1	3	5.5
T4R1P2	2	1.27	0.16	3	6.5
T4R1P3	1.8	2.32	0.22	3	5.6
T4R1P4	2.3	1.74	0.17	3	7.4
T4R1P5	1.3	1.13	0.12	2	4.5
T4R1P6	1.8	1.46	0.19	3	7.2
T4R1P7	1.9	1.36	0.2	3	5.6
T4R1P8	1.6	1.32	0.13	3	7.2
T4R1P9	1.9	1.8	0.08	3	6
T4R1P10	1.6	1.42	0.16	3	4.5
T4R1P11	2	1.76	0.15	3	4.6
T4R1P12	1.5	1.42	0.16	3	7.6
T1R1P1	1.8	1.4	0.2	2	7.8
T1R1P2	1.2	2.01	0.08	3	6.5
T1R1P3	2.3	1.34	0.13	3	7.9
T1R1P4	1.8	2.59	0.08	3	5.8
T1R1P5	2	1.5	0.12	3	6.5
T1R1P6	1.5	1.54	0.11	3	9.1

T1R1P7	1.5	1.61	0.15	3	6.4
T1R1P8	2	2.01	0.13	3	7.2
T1R1P9	1.9	1.12	0.16	3	5.4
T1R1P10	2.3	2.3	0.13	3	7
T1R1P11	1.9	1.6	0.13	3	6.3
T1R1P12	1.6	1.64	0.15	4	7.8
T2R1P1	0.5	0.65	0.08	1	4.3
T2R1P2	1.2	0.72	0.08	2	4.1
T2R1P3	1.5	0.45	0.08	2	3.4
T2R1P4	1.9	0.59	0.08	2	3.9
T2R1P5	1.5	0.59	0.09	2	3.8
T2R1P6	1.6	0.95	0.1	3	4.2
T2R1P7	1.5	0.6	0.08	2	3.6
T2R1P8	1.6	0.85	0.08	2	3.21
T2R1P9	1.8	0.77	0.08	2	3.8
T2R1P10	1.5	0.92	0.08	2	4.1
T2R1P11	1.8	1.08	0.09	3	3.6
T2R1P12	1.1	0.13	0.07	2	3.9
T3R1P1	1.79	1.74	0.19	3	5.5
T3R1P2	1.8	1.89	0.11	2	4.1
T3R1P3	1.7	0.13	0.13	3	5.9
T3R1P4	1.9	1.95	0.1	2	4.8

T3R1P5	2	2	0.1	4	6.5
T3R1P6	3.3	1.08	0.12	3	5.1
T3R1P7	2.1	1.86	0.13	3	5.3
T3R1P8	1.1	1.42	0.13	3	5.5
T3R1P9	1.5	1.39	0.08	3	6.2
T3R1P10	1.71	0.82	0.09	3	6.3
T3R1P11	2	1.03	0.1	3	6
T3R1P12	1.6	1.46	0.13	3	6.7
T3R2P1	3.3	2.8	0.09	3	5.6
T3R2P2	1.6	2.6	0.09	3	5.2
T3R2P3	2.3	1.8	0.09	3	3.4
T3R2P4	2.1	2.01	0.1	3	6
T3R2P5	2.4	2.1	0.09	3	6.1
T3R2P6	2.4	2.76	0.12	3	5.4
T3R2P7	2.5	1.6	0.09	3	4.9
T3R2P8	2.5	2.1	0.12	3	6.5
T3R2P9	2	1.8	0.09	3	5.6
T3R2P10	2.1	1.22	0.11	3	5.3
T3R2P11	1.9	1.16	0.12	2	5.3
T3R2P12	3	2.84	0.13	4	5.9
T1R2P1	1.4	1.27	0.1	3	5.6
T1R2P2	2.4	2.22	0.09	4	5.9

T1R2P3	1.5	1.58	0.09	3	6.9
T1R2P4	1.6	1.49	0.1	3	5.6
T1R2P5	1.3	1.38	0.09	3	8
T1R2P6	1.6	1.16	0.08	3	6
T1R2P7	2.6	1.52	0.12	4	7
T1R2P8	2.1	1.55	0.12	3	5.5
T1R2P9	1.5	1.72	0.1	4	5.6
T1R2P10	1.9	1.51	0.13	3	5.6
T1R2P11	1.8	1.63	0.12	4	6.8
T1R2P12	2.1	1.84	0.11	3	5.6
T4R2P1	1.4	1.3	0.1	3	6.5
T4R2P2	2.1	2.13	0.11	4	5.6
T4R2P3	1.9	1.6	0.1	3	6.9
T4R2P4	1.7	1.89	0.12	3	6.1
T4R2P5	1.4	0.96	0.08	3	5.6
T4R2P6	1.5	1.31	0.11	3	6.3
T4R2P7	1.3	2.1	0.08	3	3.1
T4R2P8	2.4	1.75	0.12	3	6.3
T4R2P9	2.1	1.45	0.1	3	6.8
T4R2P10	1.4	0.98	0.08	2	6.8
T4R2P11	2.4	1.48	0.09	3	6.4
T2R2P1	1.6	1.16	0.09	3	6.1

T2R2P2	1.1	0.44	0.06	2	3.1
T2R2P3	1.8	0.58	0.07	2	2.5
T2R2P4	1.61	0.99	0.09	2	2.5
T2R2P5	0.97	0.64	0.07	2	3.5
T2R2P6	1.25	1.71	0.07	2	2.9
T2R2P7	1.6	0.86	0.07	2	3.4
T2R2P8	1.55	0.52	0.08	2	4.1
T2R2P9	1.6	0.72	0.07	2	3.4
T2R2P10	1.1	0.63	0.08	2	4.1
T2R2P11	1.6	0.93	0.08	2	3.1
T2R2P12	1.3	1.08	0.09	3	3.9
T2R2P13	1.1	1.61	0.09	3	3.5
T5R2P1	1.59	2.65	0.12	4	5.45
T5R2P2	1.42	0.97	0.11	3	5.4
T5R2P3	1.94	2.3	0.08	3	3.68
T5R2P4	2.4	0.94	0.08	3	5.4
T5R2P5	2.1	1.61	0.09	2	4.5
T5R2P6	2.3	1.28	0.11	3	5.1
T5R2P7	1.9	1.49	0.12	3	5.3
T5R2P8	1.4	1.36	0.09	2	4.2
T5R2P9	1.9	0.94	0.08	2	4.1
T5R2P10	2.2	2.43	0.13	3	6.1

T5R2P11	2.9	2.4	0.11	3	6.3
T5R2P12	2.1	1.33	0.08	3	5.2
T3R3P1	2.3	2.4	0.12	3	6.1
T3R3P2	2.1	2.29	0.1	3	5.3
T3R3P3	2.8	1.95	0.09	3	6.1
T3R3P4	2.5	1.51	0.11	3	6.3
T3R3P5	2.9	2.1	0.11	3	6.5
T3R3P6	1.6	2.2	0.11	3	5.3
T3R3P7	2.1	2.6	0.11	3	6.9
T3R3P8	2.3	2.4	0.08	3	3.4
T3R3P9	1.9	2.4	0.09	3	3.6
T3R3P10	2.6	2.5	0.11	3	4.6
T3R3P11	1.9	1.6	0.1	3	5.2
T3R3P12	2.3	1.8	0.09	3	6.3
T4R3P1	2.1	1.8	0.1	3	6.5
T4R3P2	1.85	1.4	0.11	3	7.2
T4R3P3	2.1	1.7	0.13	3	5.6
T4R3P4	1.6	1.8	0.11	3	7.1
T4R3P5	1.4	2.1	0.09	3	6.1
T4R3P6	1.9	1.4	0.1	3	6.1
T4R3P7	1.3	1.6	0.08	3	6.3
T4R3P8	1.8	1.2	0.09	2	6.6

T4R3P9	1.4	1.1	0.08	2	6.5
T4R3P10	1.5	1.4	0.1	3	6.2
T4R3P11	1.3	1.03	0.08	3	5.3
T4R3P12	2.6	2.2	0.1	3	5.6
T2R3P1	1.1	0.9	0.07	2	3.2
T2R3P2	1.5	0.9	0.08	3	3.9
T2R3P3	1.6	1.06	0.09	3	4.01
T2R3P4	1.9	1.45	0.1	2	4.2
T2R3P5	1.8	1.13	0.09	2	4.2
T2R3P6	1.6	2.03	0.11	3	4.2
T2R3P7	1.8	1.9	0.1	3	3.8
T2R3P8	1.9	2.1	0.11	2	3.9
T2R3P9	1.5	1.2	0.08	2	3.03
T2R3P10	1.9	1.5	0.09	2	3.7
T2R3P11	2.1	1.8	0.11	3	3.9
T2R3P12	1.7	1.4	0.07	2	3.7
T5R3P1	1.9	1.84	0.23	3	4.9
T5R3P2	2.3	1.9	0.2	4	5.8
T5R3P3	1.39	2.1	0.21	3	5.1
T5R3P4	2.03	1.7	0.16	3	5.4
T5R3P5	2.1	1.64	0.17	4	5.9
T5R3P6	1.8	2.04	0.14	4	5.8

T5R3P7	1.8	1.4	0.16	3	4.9
T5R3P8	2.23	1.78	0.19	3	5.6
T5R3P9	2.26	1.6	0.17	3	5.1
T5R3P10	1.7	1.4	0.12	3	4.86
T5R3P11	2.14	1.95	0.19	4	5.9
T5R3P12	2.06	1.8	0.16	3	4.7
T1R3P1	1.6	1.35	0.14	3	5.9
T1R3P2	1.9	1.52	0.12	3	5.1
T1R3P3	2.4	2.03	0.16	3	5.9
T1R3P4	2.41	2.06	0.16	3	6.5
T1R3P5	2.4	2	0.19	4	6.3
T1R3P6	2.4	2.06	0.17	4	6.4
T1R3P7	1.8	1.6	0.13	3	5.9
T1R3P8	2.1	1.8	0.19	3	5.9
T1R3P9	2.13	1.89	0.18	3	5.9
T1R3P10	1.8	1.67	0.14	3	6.42
T1R3P11	2.13	1.86	0.19	4	6.31
T1R3P12	2.6	2.1	0.2	4	6.4
T2R4P1	1.23	0.98	0.1	2	3.6
T2R4P2	1.6	0.89	0.09	2	3.4
T2R4P3	1.56	1.08	0.1	3	3.6
T2R4P4	1.5	1.04	0.09	2	4.3

T2R4P5	1.6	1.04	0.07	2	4.2
T2R4P6	1.9	1.37	0.11	2	3.9
T2R4P7	1.64	1.02	0.09	3	3.4
T2R4P8	1.79	1.12	0.1	2	3.9
T2R4P9	1.76	1.04	0.08	3	3.6
T2R4P10	2.01	1.4	0.11	3	4.2
T2R4P11	1.9	1.4	0.09	2	3.4
T2R4P12	1.87	1.24	0.12	2	3.89
T1R4P1	1.8	2.03	0.13	3	5.8
T1R4P2	2.3	1.9	0.14	3	6.7
T1R4P3	2.1	1.6	0.14	3	5.9
T1R4P4	2.4	1.9	0.14	3	5.7
T1R4P5	1.9	1.76	0.13	3	5.9
T1R4P6	2.16	1.78	0.15	4	6.4
T1R4P7	2.3	1.79	0.16	4	6.03
T1R4P8	2.13	1.6	0.13	3	6.17
T1R4P9	2.1	1.69	0.17	3	6.1
T1R4P10	2.31	2.14	0.16	4	6.03
T1R4P11	1.96	2.01	0.16	4	6.1
T1R4P12	2.14	1.75	0.14	3	6.41
T5R4P1	1.8	2.01	0.21	2	4.7
T5R4P2	1.89	1.6	0.16	3	5.4

T5R4P3	2.4	1.6	0.14	2	5.3
T5R4P4	2.3	1.7	0.13	3	5.79
T5R4P5	1.9	1.89	0.16	2	5.4
T5R4P6	2.1	1.67	0.14	2	5.3
T5R4P7	2.3	1.3	0.16	3	5.3
T5R4P8	2.01	1.78	0.16	2	5.4
T5R4P9	1.34	1.14	0.11	2	5.3
T5R4P10	1.67	1.31	0.14	3	5.4
T5R4P11	2.03	1.41	0.16	3	5.94
T5R4P12	2.14	1.59	0.16	3	5.4
T4R4P1	1.6	1.43	0.14	3	5.1
T4R4P2	2.14	1.72	0.13	3	5.41
T4R4P3	1.69	1.03	0.11	3	5.2
T4R4P4	2.19	1.41	0.13	3	5.6
T4R4P5	2.41	2.2	0.21	4	5.1
T4R4P6	1.43	1.24	0.13	3	5.1
T4R4P7	2.06	1.47	0.16	3	5.6
T4R4P8	1.59	1.28	0.14	3	6.12
T4R4P9	1.28	1.02	0.14	3	5.98
T4R4P10	1.62	1.49	0.14	3	5.97
T4R4P11	2.37	1.73	0.19	4	5.1
T4R4P12	1.91	1.34	0.13	3	6.2

T3R4P1	1.46	1.6	0.09	3	4.23
T3R4P2	1.64	1.34	0.1	3	4.29
T3R4P3	2.06	1.76	0.14	4	4.19
T3R4P4	1.34	0.94	0.08	3	4.91
T3R4P5	2.31	1.95	0.13	3	5.2
T3R4P6	2.41	1.96	0.14	4	5.3
T3R4P7	1.43	1.34	0.1	3	5.67
T3R4P8	2.31	2.06	0.16	4	5.34
T3R4P9	2.3	1.93	0.13	3	5.61
T3R4P10	1.36	1.67	0.09	3	5.34
T3R4P11	2.19	1.97	0.15	3	6.91
T3R4P12	1.91	1.34	0.12	3	6.01

Anexo G

Registro de datos 2 (24/2/2024)

HOJA DE REGISTRO DE DATOS					
Fecha:	24/02/2024		Nº de registro:	2	
Id	Altura	Diámetro planta	Diámetro tallo	Nº hojas	Longitud raíz
T5R1P1	4.5	3.63	0.28	5	10
T5R1P2	5.5	4	0.25	5	8.9
T5R1P3	6	4.7	0.27	6	10.7

T5R1P5	5.1	4.26	0.13	4	6.6
T5R1P6	6.4	5.64	0.26	6	11
T5R1P7	5.5	4.46	0.25	5	9.6
T5R1P8	6.5	5.5	0.3	6	7.1
T5R1P9	5.7	4.6	0.29	6	8.6
T5R1P10	7.1	5.88	0.31	6	8.5
T5R1P11	6.5	5.33	0.31	6	8.1
T5R1P12	6.6	5.37	0.27	6	10.5
T4R1P1	6.7	4.7	0.26	5	7.9
T4R1P2	5.6	6.44	0.3	6	8.8
T4R1P3	7.1	6.53	0.32	6	11
T4R1P4	7.06	6.84	0.36	6	8.9
T4R1P5	5.95	3.47	0.19	4	7.9
T4R1P6	6.54	7.09	0.3	5	7
T4R1P8	5.41	6.88	0.33	6	8.2
T4R1P9	6.87	5.6	0.29	4	9.1
T4R1P10	7.01	6.96	0.3	6	7
T4R1P11	5.94	6.71	0.35	5	8.9
T4R1P12	5.28	5.08	0.35	6	6.5
T1R1P1	5.48	4.03	0.09	5	7
T1R1P2	5.94	4.45	0.36	4	6.5
T1R1P3	5.25	3.25	0.32	3	7.3

T1R1P4	6.47	6.35	0.32	5	7.4
T1R1P5	5.92	3.3	0.22	5	7.1
T1R1P6	6.14	3.87	0.2	4	10.6
T1R1P7	6.84	4.24	0.28	5	9.4
T1R1P8	5.31	3.9	0.32	4	7.9
T1R1P9	5.87	3.28	0.22	4	8.1
T1R1P10	6.56	3.94	0.37	5	7.9
T1R1P11	6.07	4.27	0.26	5	8.9
T2R1P1	6.01	4.35	0.18	4	8.9
T2R1P2	5.19	5.09	0.18	4	7.8
T2R1P3	5.56	4.39	0.23	4	8.1
T2R1P4	5.84	5.79	0.19	4	6.9
T2R1P5	5.27	4.42	0.19	4	8.6
T2R1P6	4.57	4.41	0.2	5	7.3
T2R1P7	6.25	4.65	0.21	5	8.1
T2R1P9	5.74	4.91	0.19	4	9.2
T2R1P10	6.14	5.07	0.22	5	5.8
T2R1P11	5.75	3.94	0.16	4	7.2
T2R1P12	6.06	3.3	0.18	4	6.6
T3R1P10	3.1	2.3	0.11	4	4.6
T3R1P11	4.2	2.4	0.12	4	4.3
T3R1P1	4.1	2.12	0.11	4	4.6

T3R2P10	3.12	2.46	0.12	3	4.5
T3R2P11	3.6	2.13	0.11	4	4.2
T3R2P12	4.5	3.6	0.15	3	5.12
T1R2P1	6.25	5.48	0.23	4	7.6
T1R2P2	6.67	4.62	0.28	5	6.9
T1R2P3	6.9	5.72	0.32	5	7.1
T1R2P4	7.11	4.33	0.26	5	8.8
T1R2P5	6.19	6.31	0.24	5	8.9
T1R2P6	5.51	5.4	0.25	5	6.9
T1R2P7	5.77	5.78	0.26	5	7.4
T1R2P8	6.03	4.71	0.29	5	8
T1R2P9	8.4	5.15	0.31	5	7.8
T1R2P10	6.72	4.65	0.34	5	7.8
T1R2P11	7.05	4.07	0.23	4	7.5
T1R2P12	5.81	6.91	0.36	4	8.9
T4R2P1	5.6	5.6	0.32	5	9
T4R2P2	7.66	5.34	0.32	5	8.5
T4R2P3	6.03	4.9	0.3	6	9.4
T4R2P6	6.62	6.73	0.35	6	7.1
T4R2P7	5.27	4.12	0.22	5	5.9
T4R2P8	5.09	6.13	0.27	5	7.8
T4R2P9	5.87	5.21	0.35	6	5.8

T4R2P10	5.67	5.28	0.26	5	9.9
T4R2P11	7.82	5.18	0.36	7	10.4
T4R2P12	6.87	5.28	0.32	6	7.1
T2R2P1	5.88	5.2	0.15	4	7.2
T2R2P2	5.67	6.19	0.24	6	6.6
T2R2P3	5.52	6.25	0.21	4	10.4
T2R2P4	5.23	5.12	0.22	4	7.2
T2R2P5	4.54	4.86	0.19	6	6.3
T2R2P6	5.18	4.53	0.2	5	7.2
T2R2P7	6.08	5.02	0.2	4	8.6
T2R2P8	6.57	4.96	0.26	4	10.2
T2R2P9	3.79	4.37	0.18	6	7.8
T2R2P10	6.74	5.42	0.22	4	7.8
T2R2P11	4.62	5.02	0.24	4	7.4
T2R2P12	6.87	4.61	0.21	4	10.6
T5R2P1	5.08	5.79	0.21	6	8.1
T5R2P2	5.31	6.6	0.24	7	11.9
T5R2P4	5.54	5.94	0.23	6	6.9
T5R2P5	4.98	4.38	0.18	6	6.8
T5R2P6	5.2	3.64	0.28	6	13.3
T5R2P7	4.83	5.21	0.19	4	8.1
T5R2P8	4.83	4.36	0.19	6	11.1

T5R2P9	5.76	3.75	0.31	6	9.2
T5R2P10	5.25	4.32	0.29	6	8.4
T5R2P11	5.2	5.92	0.29	7	11.4
T5R2P12	4.75	4.24	0.23	5	7.2
T4R3P12	5.74	5.25	0.28	5	9.2
T4R3P1	5.83	4.37	0.26	6	9.1
T4R3P5	6.46	5.67	0.28	6	10.1
T4R3P6	6.04	5.06	0.29	6	9.8
T4R3P7	6.76	6.58	0.31	6	8.3
T4R3P8	7.34	5.43	0.31	5	9.4
T4R3P9	5.89	5.79	0.28	6	6.9
T4R3P10	4.35	6.78	0.31	5	7.8
T4R3P11	6.25	4.96	0.28	5	7.1
T2R3P1	5.04	4.77	0.18	4	9.5
T2R3P2	6.17	5.86	0.18	4	6.6
T2R3P3	6.94	3.84	0.17	4	6.6
T2R3P5	5.36	5.27	0.18	5	9.8
T2R3P6	5.79	6.45	0.19	5	6.1
T2R3P7	5.48	3.8	0.21	5	8.9
T2R3P8	5.77	4.76	0.21	5	7.1
T2R3P9	5.19	3.96	0.21	4	8.3
T2R3P10	5.84	5.28	0.26	4	7.1

T2R3P11	5.64	6.74	0.22	4	6.6
T2R3P12	5.82	4.69	0.2	4	7.9
T5R3P1	5.54	4.43	0.2	6	8.8
T5R3P2	5.67	5.48	0.24	5	6.6
T5R3P3	7.16	5.32	0.22	6	12.3
T5R3P5	5.32	5.12	0.18	6	9.8
T5R3P6	5.14	6.45	0.2	5	8.6
T5R3P7	4.34	4.63	0.19	6	8.2
T5R3P8	6.43	4.24	0.25	6	11.6
T5R3P9	5.51	4.4	0.22	6	10.1
T5R3P10	5.97	6.27	0.23	5	9.2
T5R3P11	4.49	5.65	0.2	6	9.1
T5R3P12	5.18	5.48	0.28	5	9.2
T1R3P1	6.29	4.34	0.25	4	8.4
T1R3P2	6.2	6.18	0.2	5	7.1
T1R3P3	6.8	4.01	0.25	5	7.6
T1R3P4	7.47	3.51	0.22	4	6.6
T1R3P5	6.98	5.61	0.29	5	7.8
T1R3P6	7.62	5.14	0.21	5	7.8
T1R3P7	6.68	5.03	0.24	5	6.1
T1R3P9	6.38	4.2	0.26	5	6.1
T1R3P10	6.86	6.12	0.24	5	9.1

T1R3P11	6.19	4.76	0.24	5	7.8
T1R3P12	5.6	6.2	0.24	5	7.6
T2R4P1	5.28	5.14	0.26	4	7.9
T2R4P2	6.8	6.2	0.18	4	6.1
T2R4P3	5.6	6.32	0.2	4	7.3
T2R4P4	4.83	4.22	0.2	4	8.9
T2R4P5	6.17	5.13	0.2	4	9.3
T2R4P6	6.5	5.6	0.22	4	7.8
T2R4P7	6.02	5.13	0.19	4	8.6
T2R4P8	6.2	5.32	0.18	3	6.6
T2R4P9	5.48	4.42	0.15	5	6.7
T2R4P10	5.81	5.26	0.21	4	6.7
T2R4P11	5.67	4.63	0.2	4	10.5
T2R4P12	6.58	5.14	0.2	4	7.8
T1R4P1	6.67	5.47	0.18	4	6.7
T1R4P2	6.17	5.2	0.2	5	7.8
T1R4P3	5.75	4.6	0.2	4	9.8
T1R4P4	6.2	4.7	0.2	5	6.6
T1R4P5	6.65	5.2	0.21	5	5.6
T1R4P6	5.51	5.2	0.18	5	6.9
T1R4P7	7.33	4.05	0.21	5	7.6
T1R4P8	6.92	4.26	0.2	5	7.1

T1R4P9	6.12	5.8	0.3	5	9.9
T1R4P10	5.9	5.2	0.2	5	8.4
T1R4P11	5.7	5.1	0.2	5	9.3
T1R4P12	6.3	4.8	0.2	5	6.8
T5R4P1	6.3	5.7	0.3	6	7.9
T5R4P2	6	5.6	0.2	7	6.5
T5R4P3	6.2	4.2	0.2	6	8.6
T5R4P4	5.8	4.9	0.2	5	7.1
T5R4P5	5.9	4.9	0.2	5	9.1
T5R4P6	5.7	5.2	0.2	5	8.8
T5R4P7	5.9	4.9	0.2	6	8.1
T5R4P8	5.4	4.8	0.2	6	8.2
T5R4P9	5.8	5.2	0.2	5	9.1
T5R4P10	6.2	5.1	0.2	7	9.5
T5R4P11	6.1	4.7	0.2	6	8.2
T5R4P12	6.2	5.1	0.2	7	19.6
T4R4P1	6.3	5.2	0.3	6	7.1
T4R4P2	6.4	4.7	0.2	5	7.1
T4R4P3	6.3	5.2	0.2	6	8.5
T4R4P4	7.3	5.3	0.3	6	9.6
T4R4P5	7.5	7.1	0.3	6	5.8
T4R4P6	6.9	5.9	0.3	6	9.2

T4R4P8	6.2	5.4	0.3	5	6.1
T4R4P9	7.5	6.2	0.3	6	8.8
T4R4P10	7.1	6.2	0.3	6	6.6
T4R4P11	6.4	5.1	0.3	6	7.5
T4R4P12	8.1	8.4	0.3	6	7.7
T3R3P10	3.5	2.7	0.13	3	4.3
T3R3P11	3.6	2.6	0.12	3	4.4
T3R3P12	3.24	2.18	0.13	3	4.6
T3R4P10	3.15	2.24	0.14	3	4.5
T3R4P11	3.52	2.16	0.13	3	4.5
T3R4P12	3.25	2.42	0.14	4	4.13

Anexo H

Registro de datos 3 (9/3/2024)

HOJA DE REGISTRO DE DATOS					
Fecha:	09/03/2024		Nº de registro:	3	
Id	Altura	Diámetro planta	Diámetro tallo	Nº hojas	Longitud raíz
T5R1P4	6.74	4.9	0.5	9	11.4
T5R3P6	5.89	5.1	0.3	6	9.6
T5R3P9	7.25	6.7	0.5	9	12.1
T5R4P7	6.35	5.5	0.5	8	12.1

T4R2P2	7.38	6.4	0.5	9	11.4
T4R3P10	7.85	6.7	0.5	7	11.2
T4R4P7	6.7	7.5	0.6	9	11.4
T1R1P5	7.8	4.8	0.4	7	12.1
T1R2P4	5.6	5.2	0.5	8	12.4
T1R4P2	6.7	4.7	0.5	7	10.9
T2R1P4	6.9	5.2	0.4	8	11.1
T2R2P5	7.4	6.6	0.4	7	9.8
T2R2P1	6.3	5.2	0.4	7	11.4
T2R3P12	5.4	5.6	0.4	8	10.3
T2R4P3	7.6	5.4	0.4	8	11.4