



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ, PhD.
CARRERA AGRONOMÍA

**APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN
EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.), BAJO UN
SISTEMA HIDROPÓNICO NFT, GUAYAQUIL, GUAYAS.**

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR

MORA FOLLECO BRYAN WAGNER

TUTOR

ING. CALLE ROMERO KLEBER, Msc.

GUAYAQUIL – ECUADOR
2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ, PhD.
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **CALLE ROMERO KLEBER MANUEL** docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO NFT, GUAYAQUIL, GUAYAS”** por el estudiante; **MORA FOLLECO BRYAN WAGNER** con cédula de identidad **N° 0931246649** de la carrera AGRONOMÍA, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Kléber Calle Romero MSc.

Guayaquil, 15 de diciembre del 2023



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ, PhD.
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.), BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO NFT, GUAYAQUIL, GUAYAS”, realizado por el estudiante MORA FOLLECO BRYAN WAGNER el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Tany Burgos Herrería.
PRESIDENTE

PhD. Daniel Mancero Castillo

EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Fanny Rodríguez Jarama.

EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Kléber Calle Romero, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 15 de diciembre del 2023

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Wagner Mora y Mireya Folleco, quienes me han apoyado incondicionalmente y me enseñaron que no hay que rendirse pese a las adversidades que se presentan.

A mi gran amiga la Ing. Agr. Pamela Cabrera quien fue un apoyo a lo largo de la carrera y en el desarrollo de esta tesis.

Dedico también este logro al Ing. Joaquin Decker y Ing. Katherine Zamora en reconocimiento al apoyo incondicional en la preparación académica.

Al Ing. Daniel Adolfo Decker Villegas quien depositó toda la confianza en mí, ayudándome a elegir la opción correcta en seguir mis estudios universitarios.

Agradecimiento

Al terminar esta etapa de mi vida deseo extender un profundo agradecimiento, a todas las personas que con su esfuerzo, apoyo y dedicación lograron motivarme a luchar día a día por cumplir una de mis metas. Agradecimiento infinito a mis padres, hermanos y demás familiares que tuvieron pendiente en mi proceso académico.

Mi gratitud también es para la Universidad Agraria del Ecuador, para mi tutor de tesis Ing. Kleber Calle Romero y para cada uno de los docentes que guiaron y formaron la base fundamental para mi desempeño profesional.

Autorización de auditoría intelectual

Yo **MORA FOLLECO BRYAN WAGNER**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “**APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*), BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO NFT, GUAYAQUIL, GUAYAS**”, para optar el título de **INGENIERO AGRÓNOMO**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 04 de octubre del 2023

Bryan Wagner Mora Folleco

C.I. 0931246649

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de auditoría intelectual.....	6
Índice general	7
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	13
Resumen.....	14
Abstract.....	15
1. Introducción.....	16
1.1 Antecedentes del problema.....	16
1.2 Planteamiento y formulación del problema	17
1.2.1 Planteamiento del problema.	17
1.2.2 Formulación del problema.	18
1.3 Justificación de la investigación	18
1.4 Delimitación de la investigación	18
1.5 Objetivo general	19
1.6 Objetivos específicos.....	19
2. Marco teórico.....	20
2.1 Estado del arte.....	20
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1 Hidroponía	23

2.2.2 Ventas y desventajas de la hidroponía	26
2.2.3 Sistema NFT	27
2.2.4 Medición de parámetros en el Sistema NFT	27
2.2.4.1. PH	27
2.2.4.2. Temperatura	28
2.2.4.3. Conductividad eléctrica.....	29
2.2.4.4. Aireación.....	29
2.2.5 Solución nutritiva.....	30
2.2.6 Origen de la lechuga	33
2.2.7 Taxonomía y morfología de la lechuga	35
2.2.7.1. Taxonomía de la lechuga.....	35
2.2.7.2. Morfología de la lechuga	35
2.2.7.2.1. <i>Raíz</i>	35
2.2.7.2.2. <i>Tallo</i>	35
2.2.7.2.3. <i>Hojas</i>	35
2.2.7.2.4. <i>Inflorescencia</i>	35
2.2.7.2.5. <i>Semilla</i>	36
2.2.8 Requerimientos nutricionales de la lechuga	36
2.2.9 Plagas y enfermedades de la lechuga.....	36
2.2.10 Microorganismos eficientes.....	37
2.3 Marco legal.....	39
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.....	39

2.3.2 Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria	40
2.3.3 Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable	41
2.3.4 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	41
3. Materiales y métodos	43
3.1 Enfoque de la investigación	43
3.1.1 Tipo de investigación.....	43
3.1.2 Diseño de investigación	43
3.2 Metodología	43
3.2.1 Variables	43
3.2.1.1. Variable independiente	43
3.2.1.2. Variable dependiente	43
3.2.2 Tratamientos.....	44
3.2.3 Diseño experimental	44
3.2.4 Recolección de datos	45
3.2.4.1. Recursos.....	45
3.2.4.1.1. <i>Materiales y equipos</i>	45
3.2.4.1.2. <i>Estructura del sistema NFT</i>	46
3.2.4.1.3. <i>Recursos humanos</i>	46
3.2.4.1.4. <i>Recursos económicos</i>	47
3.2.4.2. Proceso de medición de variables dependientes	47

3.2.4.2.1. <i>Altura de la planta (cm)</i>	47
3.2.4.2.2. <i>Número de hojas por planta (n)</i>	47
3.2.1.2.3. <i>Porcentaje de sobrevivencia por tratamiento</i>	48
3.2.4.2.4. <i>Peso fresco aéreo (g)</i>	48
3.2.4.2.5. <i>Peso fresco de raíz (g)</i>	48
3.2.4.2.6. <i>Días a cosecha (d)</i>	48
3.2.4.2.7. <i>Incidencia de enfermedades (%)</i>	48
3.2.4.2.8. <i>Rendimiento / producción (g)</i>	48
3.2.4.3. <i>Métodos y técnicas</i>	49
3.2.5 <i>Análisis estadístico</i>	49
3.2.5.1. <i>Hipótesis estadística</i>	49
4. <i>Resultados</i>	51
4.1 <i>Describir el comportamiento agronómico del cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>) bajo la influencia de microorganismos eficientes en el sistema NFT</i>	51
4.2 <i>Determinar el tratamiento que genere mayor producción y protección de enfermedades en el cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>) en sistema NFT</i> . 52	
4.3 <i>Realizar el análisis económico según el rendimiento productivo del cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>) con la influencia de los microorganismos eficientes</i>	54
4.3.1 <i>Evaluación financiera</i>	56
5. <i>Discusión</i>	58
6. <i>Conclusiones</i>	62

7. Recomendaciones.....	63
8. Bibliografía.....	64
9. Anexos.....	70

Índice de tablas

Tabla 1. Soluciones nutritivas y sus concentraciones en ppm para la lechuga	31
Tabla 2. Requerimientos nutricionales de la lechuga.....	36
Tabla 3. Bioinsecticidas para control de insectos plagas	37
Tabla 4. Descripción de los tratamientos en estudio.....	44
Tabla 5. Delimitación experimental	45
Tabla 6. Recursos económicos de la investigación.....	47
Tabla 7. Esquema de análisis de varianza (ANDEVA).....	49
Tabla 8. Altura de la planta	51
Tabla 9. Número de hojas por planta	52
Tabla 10. Peso fresco aéreo	53
Tabla 11. Peso fresco de raíz	53
Tabla 12. Rendimiento	54
Tabla 13. Costos fijos en el cultivo de lechuga hidropónica	54
Tabla 14. Costos variables en el cultivo de lechuga hidropónica	54
Tabla 15. Costos variables en el cultivo de lechuga hidropónica	55
Tabla 16. Financiamiento	55
Tabla 17. Punto de equilibrio.....	55
Tabla 18. Flujo de caja	57

Índice de figuras

Figura 1. Zona de estudio	70
Figura 2. Modulo hidropónico NFT	70
Figura 3. Semillas de Lechuga.....	71
Figura 4. Microorganismo eficiente <i>Trichoderma harzianum</i>	71
Figura 5. Microorganismo eficiente <i>Bacillus subtilis</i>	72
Figura 6. Croquis del ensayo	72
Figura 7. Altura de la planta 15 días	73
Figura 8. Altura de la planta 30 días	74
Figura 9. Altura de la planta 45 días	75
Figura 10. Número de hojas 15 días.....	76
Figura 11. Número de hojas 30 días.....	77
Figura 12. Número de hojas 45 días.....	78
Figura 13. Peso fresco aéreo	79
Figura 14. Peso fresco de raíz	80
Figura 15. Rendimiento.....	81
Figura 16. Preparación de plántulas de <i>Lactuca sativa</i> L. para trasplante en sistema hidropónico	82
Figura 17. Colocación de plántulas en canastillas para sistema hidropónico ..	82
Figura 18. Implementación de plántulas de <i>Lactuca sativa</i> L. en sistema hidropónico.....	83
Figura 19. Medición de Ph en solución nutritiva.....	83
Figura 20. Medición de altura de la planta	84
Figura 21. Conteo de numero de hojas de la planta	84
Figura 22. Visita del tutor de tesis	85

Resumen

El presente ensayo se lo realizó al norte de la ciudad de Guayaquil en la ciudadela alborada 13 etapa en la manzana 7 villa 15 entre la Avenida 1B NE y 6º Callejon 1 9B. En busca de nuevas tecnologías en la producción de frutas y hortalizas en zonas urbanas donde se comparó tres sistemas hidropónicos NFT en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en Guayaquil donde cada tratamiento tuvo su infraestructura independiente. Los tratamientos fueron; sistema hidropónico NFT con solución nutritiva más *Trichoderma harzianum* (T1), solución nutritiva más *Bacillus subtilis* (T2) y el testigo absoluto el cual solo se usó solo solución nutritiva (T3), cada tratamiento contó con un número de 80 plantas de lechuga. Se tomó datos a los 15, 35 y 45 días después del trasplante dependiendo de la variable, el sistema hidropónico NFT con solución nutritiva más *Bacillus subtilis* (T2) predominó en la mayoría de los resultados, mayor altura de planta, número de hojas, porcentaje de supervivencia, peso fresco aéreo y peso fresco de la raíz. El rendimiento total de lechugas cosechados en los tres tratamientos fue de 1.173,75 g en 240 plantas en estudio. El sistema hidropónico NFT con solución nutritiva más *Bacillus subtilis* (T2) predominó con 567.50 g en las 80 plantas.

Palabras clave: Hidroponía, lechuga, NFT, microorganismos y rendimiento.

Abstract

This experiment was carried out in the north of Guayaquil in Alborada 13 stage in block 7 villa 15 between Avenida 1B NE and 6° Callejon 1 9B. In search of new technologies in the production of fruits and vegetables in urban areas where three NFT hydroponic systems were compared in the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Guayaquil where each treatment had its independent infrastructure. The treatments were; hydroponic NFT system with nutritive solution plus *Trichoderma harzianum* (T1), nutritive solution plus *Bacillus subtilis* (T2) and the absolute reference in which only nutritive solution was used (T3), each treatment had a number of 80 lettuce plants. Data were taken at 15, 35 and 45 days after transplanting depending on the variable, the NFT hydroponic system with nutritive solution plus *Bacillus subtilis* (T2) predominated in most of the results, greater plant height, number of leaves, survival percentage, aerial fresh weight and root fresh weight. The total harvested lettuce yield in the three treatments was 1,173.75 g in 240 plants under study. The NFT hydroponic system with nutrient solution plus *Bacillus subtilis* (T2) predominated with 567.50 g in the 80 plants.

Keywords: Hydroponics, lettuce, NFT, microorganisms and performance.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

En la actualidad la mayoría de las zonas agrícolas se encuentran con suelos erosionados, suelos pobres en nutrientes y con índices cada vez mayores de contaminación lo cual los limita para lograr obtener cultivos sanos para el consumidor y la reducción de las zonas verdes en las zonas urbanas lo que conlleva a buscar alternativas para establecer cultivos para suplir la demanda alimentaria siendo la hidroponía una prometedora alternativa.

Guerrero, Revel, Benavides, Chaves y Moncayo (2014) explican que, en comparación con los cultivos convencionales, los cultivos hidropónicos tienen varias ventajas, como un mejor control de factores externos como el clima, malezas, plagas y enfermedades, deficiencia o exceso de nutrientes, mejor calidad de los productos cosechados, disponibilidad más temprana de productos, mayor productividad y mejor utilización de la superficie, ya que con este sistema podemos sembrar en varias zonas, sin depender del factor suelo, mayor densidad de plantas por superficie y mejor rendimiento .

Chavez (2017) comenta que, por su cantidad y consumo, la lechuga es una de las hortalizas más importantes que se cultivan en el mundo. Cultivado por encima de los 2600 metros sobre el nivel del mar, con fuerte adaptabilidad. Tiene una enorme diversidad genética, con diferentes tipos de especies que tienen diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. En Ecuador se dedican aproximadamente 1145 hectáreas de tierra al cultivo de esta hortaliza, con un rendimiento promedio de 7928 kg al año. Las principales zonas productoras de lechuga son: Provincia de Tungurahua, Izamba, Cunchibamba, Samanga, Píllaro y otras zonas; Azuay en el condado de San

Joaquín; Chimborazo, Distrito de Chambo; Pichincha Puenbo; Distrito de Machachi es la más importante.

Mitma (2021) indica que los microorganismos eficientes ayudan a la absorción de los nutrientes, aumenta la capacidad fotosintética de los cultivos y una mejoría en el desarrollo de las plantas. Con el uso de microorganismo eficientes en el cultivo hidropónico es factible cambiar la producción en un sistema sostenible para mejorar la productividad y la calidad de la producción. Estas son las bondades que se observó por los microorganismos eficientes, mejora del 70% de en rendimiento en la cosecha, 50% en el crecimiento de las raíces y se observaron sanas y blancas, la vida útil de los productos en el mostrador del supermercado tuvo una duración entre tres a siete días.

La siguiente investigación tiene como objetivo el desarrollo e implementación de tres módulos hidropónicos con diferentes microorganismos eficientes al norte de Guayaquil, con el objetivo de lograr determinar cuál modulo representa mayor beneficio costo para la producción de hortalizas de hojas en zonas urbanas.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema.

Con el pasar del tiempo la población aumenta más y para lograr satisfacer la demanda alimenticia de grandes ciudades se necesita más áreas agrícolas las cuales se han ido deteriorando por malas prácticas agrícolas y explotación por la agricultura intensiva.

En el cantón Guayaquil existen zonas donde se presenta escases de suelos agrícolas y en los pequeños predios agrícolas los suelos son pobres en nutrientes y carecen de sistemas de riegos para compensar las necesidades del cultivo. Por este motivo se intenta buscar como alternativa la hidroponía donde el cultivo se

desarrolla en láminas de agua con los nutrientes requeridos logrando obtener un mejor control tanto de plagas, enfermedades e implementar más plantas por superficie.

1.2.2 Formulación del problema.

¿La aplicación de microorganismos eficientes en sistemas hidropónicos potenciará el desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga?

1.3 Justificación de la investigación

Durante los últimos años la producción de lechuga ha incrementado debido en parte a la introducción de nuevos cultivares y el aumento de su consumo siendo así de importancia determinar la producción, rendimiento con diferentes técnicas agrícolas, bajo diferentes condiciones climáticas e implementación de microorganismos eficientes como promotores de crecimiento.

El proyecto radica en implementar una alternativa de producción hortícola en sectores urbanos donde carecen de espacios para cultivar, siendo así la hidroponía una opción favorable donde se logrará la mayor cantidad de plantas en un espacio determinado sin necesidad de suelo logrando obtener productos más sanos sin riesgos, nutritivos y plantas menos propensas a plagas y enfermedades.

Los microorganismos eficientes son una opción orgánica para potenciar el desarrollo vegetativo mejorando la productividad, calidad del cultivo e incrementado el desarrollo radicular para lograr obtener una mejor asimilación de los nutrientes.

1.4 Delimitación de la investigación

- Espacio: El proyecto se llevó a cabo en la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas, en la alborada 13ava etapa Mz 7 Villa 15. Con las siguientes coordenadas 2°07'22"S 79°54'09"W.

- Tiempo: La ejecución del proyecto se realizará el 15 de Mayo del 2023.

- Población: Este proyecto se dirigió a los pequeños o grandes productores de cultivos de lechuga que desean conocer, experimentar y utilizar nuevos métodos de establecimientos de cultivos en sistemas hidropónicos para optimización de espacio.

1.5 Objetivo general

Evaluar la aplicación de microorganismos eficientes *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo un sistema bajo un sistema hidropónico NFT en el cantón Guayaquil provincia del Guayas.

1.6 Objetivos específicos

- Describir el comportamiento agronómico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo la influencia de microorganismos eficientes en el sistema NFT.
- Determinar el tratamiento que genere mayor producción y protección de enfermedades en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema NFT.
- Realizar el análisis económico según el rendimiento productivo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con la influencia de los microorganismos eficientes.

1.7 Hipótesis

Con uno de los microorganismos eficientes *Trichoderma harzianum* o *Bacillus subtilis* potenciarán el desarrollo vegetativo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el sistema hidropónico NFT.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Lizano (2020) comenta que el uso de ambientes protegidos para la producción de hortalizas como la lechuga es una gran alternativa para cumplir los requerimientos que demanda el mercado, una de las grandes alternativas es la hidroponía donde el sistema radical se desarrolla en un sustrato inerte que proporcionara las condiciones de soporte, nutrición, agua y oxígeno necesarios generando un microambiente y medio edafoclimático controlado obteniendo condiciones óptimas de luminosidad, temperatura y humedad adecuada para poder obtener un gran desarrollo y producción. Este sistema permite la incorporación de microorganismos benéficos que sirven como promotores de crecimiento, prevención y tratamiento de fitopatologías radicales.

Pineda, Capistrán, Hernández, Vasquez, Rodríguez y Sur (2021) manifiestan que en su estudio evaluaron el efecto de diversos microorganismos bioestimulantes en el cultivo de *Lactuca sativa* L. en los meses mayo y junio de 2021 bajo cultivo hidropónico en invernadero con temperaturas que oscilaron entre 14 y 31 C° en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos donde el T1 era el testigo que solo tenía solución nutritiva mientras que el resto de tratamientos tenían solución nutritiva más microorganismos específicos indicados a continuación: T2 *Azospirillum brasilense*, T3 *Trichoderma harzianum*, T4 *Bacillus subtilis* y T5 *Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* cada uno con 4 repeticiones, las variables a evaluar fueron altura de la planta y número de hojas a los 7, 14, 21 y 28 días después del trasplante, biomasa fresca, área foliar y volumen radical a los 28 días después del trasplante. El tratamiento que dio mejores resultados

manifestando en brotes >72%, área foliar >50%, biomasa vegetal >18% fue el tratamiento T2 *Azospirillum brasilense* siendo el microorganismo más eficaz para bioestimular la fisiología y morfología del cultivo en comparación a los otros tratamientos.

Blanco y Reyes (2018) en su estudio evaluaron el potencial biofertilizante de dos microorganismos *Enterobacter cloacae* cepa BFN17 Y *Penicillium rugulosum* en un biosustrato compuesto por roca fosfórica 10%, arena 85% y sustrato orgánico compuesto de azúcar y arroz 5%. Donde se realizaron cuatro tratamientos: T1 testigo absoluto (sin fertilizante químico ni biosustrato), T2 testigo comercial (con fertilizante químico y sin biosustrato), T3 fertilización química con nitrógeno (Urea) + biosustrato y T4 fertilización química y biosustrato con cinco repeticiones cada uno. Como resultado el biosustrato inoculado actuó como un agente de transporte adecuado para la aplicación de los biofertilizantes que sería el tratamiento cuatro con mayor número de hojas, peso fresco, peso seco, y %P foliar de las lechugas, siendo una alternativa sustentable para el desarrollo de una agricultura hortícola ecológica.

Mera, Recalde, y Lema (2019) indican en su estudio que las microalgas vivas demuestran un efecto positivo como bioestimulante natural en el cultivo hidropónico de lechuga, dando el T3 como el mejor el cual está conformado por solución nutritiva más solución de algas a una concentración de 80×10^4 cél.ml⁻¹ (solución media) siendo la dosis que obtuvo mejoras significativas reduciendo el uso de fertilizantes químicos a gran escala y disminuyendo los costos de producción.

Vazquez, Quintana, Medici y Glende (2022) comentan que en su estudio se observaron un aumento significativo en el largo de la raíz principal luego del tratamiento con las suspensiones de levadura en *A. thaliana* y *E. vesicaria* crecidas

en almácigos (SN 4.28 ± 0.15 , S05 7.30 ± 0.29 ; SN 39.68 ± 2.20 , S05 57.37 ± 2.80 , respectivamente). En sistemas hidropónicos de raíz flotante, la implementación de levadura a la solución hidropónica logro incrementar un 30% el área radicular de *Lactuca sativa* en relación con el control. Se concluye que la inoculación de *S. cerevisiae* cepa J14 aislada del residuo de la elaboración de cerveza, sola o incorporada a la solución nutritiva de sistemas hidropónicos, podría ser una herramienta biotecnológica como bioestimulante y/o promotor del crecimiento vegetal.

Carranza, Scattolini, y Vexenat (2019) comentan que en su estudio se realizó la siguiente evaluación de VAN y TIR en la cual se tiene en cuenta la compra de un medio de transporte y la construcción de una sala de acondicionamiento y empaque. Con una propuesta a 10 años correspondientes, donde se calcula que el proyecto tendrá una VAN de \$6170410 con un TIR de 70.7% y también calcularon la entrada bruta anual, considerando los costos fijos, es de \$1136210 contando con el interés del préstamo solicitado el cual es de \$80245 anuales. Teniendo en cuenta las depreciaciones y otros impuestos financieros, la utilidad neta anual es de \$712308 demostrando rentabilidad. Otra observación que tuvieron fue de que a mediano y largo plazo, se debe tener en cuenta el análisis de factibilidad económica ya que se requiere de inversiones significativas que reducen la utilidad debido a la alta tasa de amortización y el bajo precio de venta del producto, por lo que se recomienda la producción de alimentos de cuarta gama, con mayor valor agregado y realizar la comercialización directamente a consumidor, evitando los intermediarios. Esto permitirá aumentar el precio de venta y, consecuentemente, la utilidad neta anual de la producción.

Pertierra y Quispe (2020) manifiestan que en su estudio los sistemas hidropónicos tienen una mejor viabilidad económica, no requieren de grandes superficies para llegar a ser rentables, cuando el suelo y el clima no cuenta con las condiciones óptimas para desarrollar un cultivo hortícola presentan excelentes resultados en la sostenibilidad, ahorro de recursos hídricos y la no contaminación ambiental por ser un sistema cerrado y la viabilidad social manifestada en la generación de empleos. Los resultados de la evaluación técnico económica se llegó a un costo de producción unitaria de \$0.49, con un precio de venta de \$ 0.70 obteniendo una ganancia de \$ 0.31 y un TIR del 40% siendo un valor mayor a la tasa de descuento.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Hidroponía

De la Rosa, Lara, Padilla, Avelar y España (2018) explican que la hidroponía es un sistema de la agricultura donde las raíces de las plantas se mantienen sumergidas en agua que contiene la solución nutritiva con los nutrientes necesarios para que la planta logre desarrollarse siendo así una de las técnicas más populares a la hora de sear cultivar plantas en interiores o exteriores, tiene alto grado de eficiencia del agua y el crecimiento radical no necesita crecer en exceso porque los nutrientes se encuentran disponible en cantidades optimas, permitiendo un producto de mejor calidad cuando se encuentra en un ambiente controlado.

Garcia, Macias, Loor y Vega (2021) comentan que una opción para los productores agrícolas es utilizar un invernadero con sistema hidropónico, que crea un ambiente con condiciones óptimas para obtener el producto deseado. Pero incluso con un invernadero, el clima y las condiciones ambientales de la zona solo permiten sembrar y cosechar en ciertas temporadas. Además, del clima

existen problemas de erosión del suelo, malas técnicas agrícolas, sobrepastoreo, quema de vegetación y contaminación, lo que provoca la pérdida de grandes hectáreas de tierra cultivable. Los cultivos hidropónicos surgen como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o reducir los factores limitantes del crecimiento de las plantas relacionados con las propiedades del suelo.

Guiraldo, Vallejo, Baquero, Rodriguez y Osorio (2015) indican que las hortalizas hidropónicas crecen y se desarrollan en diferentes ambientes o sustratos. El sustrato utilizado depende de sus propiedades físicas (retención de agua y transpirabilidad), así como del costo, la disponibilidad y el impacto ambiental. Para lograr una buena germinación se debe mantener una alta humedad en el sustrato, evitar la acumulación de agua, asegurar una buena temperatura ambiente los primeros cinco días y se recomienda cubrir con periódico húmedo. Los semilleros evitan la deformación de las plántulas, lo que es favorable para la siembra.

Arcos, Benavides, y Rodríguez (2011) manifiestan que la hidroponía produce mayores rendimientos en áreas pequeñas con menores requerimientos de mano de obra en comparación con los cultivos convencionales, haciendo de esta actividad una excelente alternativa a la producción hortícola en áreas urbanas, suburbanas y rurales, aprovechando el espacio físico subutilizado. Lo que conlleva a impulsar el desarrollo agroeconómico, en el cual los rendimientos son bajos y los costos de producción muy altos, potenciando nuevas expectativas de auto subsistencia cuando los medios económicos no alcanzan a abastecer el consumo humano y a suplir necesidades de las grandes familias de bajos recursos.

Díaz (2017) indica que en la actualidad la hidroponía como tecnología aplicada se puede considerar como una alternativa eficaz para la integración a la producción

agrícola en áreas rurales y urbanas, considerando que el uso de la hidroponía simplificada produce frutas y verduras de alta calidad sin contaminación, más frescas y nutritivas en comparación con las disponibles en las tiendas. La hidroponía juega un papel muy importante, ya que se considera un sistema de producción agrícola que tiene un gran valor en un contexto ecológico, económico y social. La base de esta importancia es la gran flexibilidad del sistema, es decir la capacidad de aplicarlo con éxito en condiciones muy diferentes y para diferentes propósitos.

Soto (2015) comenta que con un buen manejo de la solución nutritiva, que asegure una concentración suficiente de oxígeno disuelto en el agua a disposición de las raíces, es posible producir cualquier cultivo en agua. Sin embargo, por razones de poda basadas en el tamaño y el peso, la mayoría de los vegetales de hojas como la lechuga, el apio, el berro y algunas hierbas se cultivan en este sistema. Además, estos cultivos tienen la capacidad de especializar sus raíces para utilizar mejor el oxígeno disuelto en la solución nutritiva. Las técnicas de acuicultura permiten vegetales excelentes e inoctrinos sin contaminación microbiológica, residuos químicos agrícolas y los moluscos *Sarsinula plebeia* y *Limax* sp. Dado que los productos son muy limpios en la cosecha, hay un ahorro importante en mano de obra y en la mayoría de los casos se comercializan con raíces para identificarlos como acuicultura. En comparación con el cultivo en sustrato sólido, los costos de producción son menores, ya que permite un uso muy eficiente del agua y los nutrientes minerales en sistemas cerrados o de recirculación. Por otro lado, no requiere sistemas de riego altamente tecnificados que requieren trabajo profesional y equipos costosos.

Peña (2023) manifiesta que la hidroponía es tanto una estrategia tecnológica para la producción de alimentos en fincas y en suelos improductivos como un modelo de desarrollo agrícola minifundista que combina tradición y tecnología con la participación de la familia y los miembros de la comunidad. Diversificar la producción agrícola para aumentar las fuentes de ingresos y evitar la dependencia de un solo producto. Entonces, si el cultivo se daña o el precio de mercado baja, puede usar un producto diferente de esa granja. Este seguro cubre los imprevistos que puedan ocurrir en la finca. Otro aspecto positivo es el aumento de la diversidad de productos agrícolas, lo que contribuye a mejorar los medios de vida rurales y mejorar el estado nutricional, eliminando la necesidad de comprar lo que se puede producir en las fincas a través de la hidroponía y reduciendo la producción agrícola. Además de contribuir a la mejora, las familias también obtienen ingresos vendiendo productos entre vecinos y otras comunidades dentro de la misma comunidad, o asociarse con supermercados para vender productos.

2.2.2 Ventas y desventajas de la hidroponía

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina (2020) comenta las ventajas y desventajas más relevantes en los sistemas hidropónicos:

- Ventajas
 - Mayor cantidad de plantas por superficie.
 - Mejor control de plagas y enfermedades.
 - Optimización del uso de agua y reducción de fertilizantes.
 - Producción en lugares que no cuenten con tierras con los nutrientes necesarios para que el cultivo logre desarrollarse.
 - Reducción del tiempo de producción de un cultivo.

- Desventajas

- Inversión inicial alta para la implementación del sistema hidropónico.
- Dependencia de energía para su funcionamiento.
- Requerimiento de agua de buena calidad

2.2.3 Sistema NFT

Pachon (2020) explica que el sistema hidropónico NFT consiste en dar recirculación de la solución nutritiva a través de varios canales de tubos de PVC, que llegan a un contenedor en común donde se encuentra una bomba sumergible que facilita el flujo de agua en tiempos determinados a los canales así oxigenándola, esta recirculación suministra los nutrientes necesarios a las plantas por medio de una lámina de agua que es absorbida por las raíces que cuelgan desde las canastillas del contenedor. Este sistema consta de tubos de distribución, canastillas con esponja para cada planta, tanque de almacenamiento de la solución, solución nutritiva y electrobomba que contemple las necesidades del sistema.

Scaturro (2019) comenta que el sistema hidropónico tipo NFT se usa comúnmente en la plantaciones donde el interés a cosechar serían las hojas, ya que es económico y fácil de instalar y tiene un bajo impacto ambiental, ya que es un sistema cerrado que conserva agua y nutrientes.

2.2.4 Medición de parámetros en el Sistema NFT

2.2.4.1. PH

Lizano (2020) comenta que medir el pH sirve para determinar si una solución nutritiva que recircula por todo el sistema es acida o básica lo que afecta directamente a las raíces de la planta a la hora de la absorción de nutrientes donde varios estudios arrojan como resultado un rango óptimo de 5.5 y 6.5 de acidez para el desarrollo de hortalizas de hoja.

2.2.4.2. Temperatura

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina (2020) explica que la temperatura juega un rol de suma importancia a la hora de desarrollar un sistema hidropónico lo cual depende del cultivo que se implementara, la ubicación, sus estaciones y la hora, aquí es donde es de suma importancia la implementación de invernaderos que mantiene las condiciones climáticas controladas con sensores que permite controlar todas las variaciones con sistemas de calefacción y ventilación.

Choez (2019) comenta que la lechuga es un cultivo que se implementa en zonas altas, donde su mejor desarrollo y calidad se logra por encima de los 1100 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media ronda los 18°C. Es muy resistente a bajas temperaturas, pero a altas temperaturas su calidad se deteriora y su vida útil es limitada. Para que la planta se desarrolle correctamente, la temperatura durante la fase de crecimiento debe mantenerse entre 20 y 24°C.

Carmona (2022) manifiesta que la temperatura de la solución nutritiva inhibe la capacidad de las raíces de las plantas para absorber agua y nutrientes y puede causar un crecimiento lento de las raíces si está fuera del rango óptimo de 12-29°C, considerando 22°C. mas adecuado. Cuando baja la temperatura, la absorción y asimilación de nutrientes también se deteriora. A temperaturas por debajo de los 15 °C, se produce una falta de calcio, fósforo y hierro debido principalmente a la suberización de la endodermis de la raíz. Algunos estudios sugieren que aumentar la temperatura de la zona de la raíz de tomates y lechugas en climas fríos aumenta el crecimiento de las plantas.

Aplicación de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidropónico bajo el sistema NFT.

2.2.4.3. Conductividad eléctrica

López, Vera, Gunzha, Freire y Pujos (2022) indican que la conductividad eléctrica es proporcional al contenido de iones en la solución nutritiva para su absorción por las raíces, dándonos a conocer la cantidad de sales disueltas en el agua susceptibles de ser medidas en micro Siemens por centímetro o en partes por millón con una variación en valores en el rango de 1400 a 2000 ppm. Es así que para cada formulación habrá una función lineal relacionada de conductividad eléctrica e iones disueltos totales.

Calsina (2015) comenta que es de suma importancia la calidad del agua en hidroponía la cual debe de ser potable de buena calidad y con bajos contenidos de cloro, en concentraciones altas causa toxicidad a la planta. Se debe evitar el uso de aguas duras, ya que estas contienen de calcio y magnesio.

2.2.4.4. Aireación

Cevallos (2019) explica que el oxígeno es un factor importante en la solución nutritiva porque es esencial para el desarrollo normal de la planta y las raíces. Por tanto los valores mínimos que se suelen exigir son 8-9 mg O₂/l SN. Esto se puede lograr y/o aumentar mediante varios mecanismos, como mezcladores, reciclaje de la solución de alimentación, adición de oxígeno puro al sistema. Tanto la temperatura de la solución como el tamaño del recipiente afectan directamente la concentración de O₂ de la solución nutritiva. A temperaturas más altas, los valores expresados en miligramos de O₂/l de solución disminuyen. La temperatura óptima debe rondar los 10-15 °C. En tanques pequeños, la difusión de oxígeno se debilita,

por lo que cuando el tamaño del tanque disminuye, se debe prestar más atención a la oxigenación.

2.2.5 Solución nutritiva

Ramírez (2019) indica que los nutrientes se pueden proporcionar a las plantas durante su ciclo de crecimiento a través de la hidroponía, ya que proporciona un suministro continuo de nutrientes a través de un sistema de riego. Para lograr suplir la demanda de nutrientes de cada cultivo se necesita conocer la composición nutricional la cual ayudara a la formulación de la solución nutritiva para así lograr optimizar el uso de fuentes de nutrientes en sistemas de cultivos sin suelos y con uso de sustratos inertes.

Lara (2019) comenta que la solución nutritiva consiste en agua con oxígeno y nutrientes esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos, como los quelatos de hierro, forman parte de la solución nutritiva. Para que una solución nutritiva tenga los nutrientes que contiene, debe ser una solución verdadera, todos los iones deben estar disueltos. La pérdida de una o más formas de nutrientes iónicos debido a la precipitación puede causar deficiencias en las plantas. Además, este problema provoca un desequilibrio en la relación entre los iones. En la acuicultura, las necesidades nutricionales de las plantas se satisfacen con los nutrientes suministrados en la solución nutritiva. La cantidad de nutrientes requerida por las plantas depende de la especie, variedad, estado fenológico y condiciones ambientales.

Lizano (2020) detalla que una solución nutritiva está conformada por sales minerales en agua, que contienen los macros y micros nutrientes necesarios en forma iónica (aniones y cationes) los que son absorbidos por el sistema radicular de las plantas para lograr su óptimo desarrollo. Los cultivos pueden desarrollarse y

crecer perfectamente cuando se realiza un correcto balance entre cationes y aniones. Mostrando un ejemplo donde presenta diferentes concentraciones de cationes (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) y aniones (NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-}) logrando una relación iónica mutua de los principales nutrientes que requieren las plantas, una solución universal con las características de 60% NO_3^- , 5% $H_2PO_4^-$, 35% SO_4^{2-} , 35% K^+ , 45% Ca^{+2} y 20% Mg^{+2} en el caso de los micronutrientes se recomienda una formulación con concentraciones de 1.3, 0.6, 0.13, 0.02, 0.05 y 0.44 ppm de Fe, Mn, Zn, Cu, Mo y B.

Tabla 1. Soluciones nutritivas y sus concentraciones en ppm para la lechuga

Autor	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Furiana (1998)	198	39	183	142	38	52	2	0.4	0.02	0.06	0.3	0.06
La Molina (2001)	154	36	260	150	45	70	1	0.5	0.15	0.15	0.5	0.01
Morgan (1999)	141	25	96	0	151	25	33	2.5	0.6	0.45	1	0.05
Resh (2001)	190	50	210	200	40	113	2.5	0.5	0.1	0.1	0.5	0.05
Lizano, 2020												

Sánchez, Cabañas, Pineda, González y Moreno (2021) comenta que la planta consume nutrientes en función de sus fases de crecimiento y desarrollo, condiciones climáticas y características de la solución nutritiva como la conductividad eléctrica, pH, temperatura y oxígeno disuelto, una conductividad eléctrica mayor a 5 dS m⁻¹ puede afectar de manera negativa la absorción de agua y nutrientes lo que como resultado disminuye el rendimiento final. Para la preparación de la solución nutritiva se utiliza fertilizantes altamente solubles.

Robredo, Quiroga, y Echazú (2017) indican que en las soluciones nutritivas es de suma importancia considerar en su formulación aniones y cationes en sus formas absorbibles por la planta que son Nitrógeno como Nitrato NO_3^- y como Amonio NH_4^+ , Fósforo como Fosfato diácido $H_2PO_4^-$, Azufre como Sulfato, SO_4^{2-}

2-, Potasio como catión K^{1+} , Calcio como catión Ca^{2+} , Magnesio como catión Mg^{2+} , para lograr buena absorción de nutrientes y para obtener un buen crecimiento de la planta; debe existir una adecuada relación proporcional entre los iones integrantes de la solución nutritiva. Constituye en sí un aspecto de muy delicado equilibrio, ya que la abundancia de un determinado catión o anión, puede constituirse por competencia en un elemento determinante de la deficiencia de otro.

Luna y Can Chulim (2021) indican que para elaborar una solución nutritiva debe llevar una formulación que incluya elementos esenciales para crecimiento y desarrollo óptimo de la planta. La absorción de nutrientes depende del genotipo de la planta, del entorno en la raíz y en la parte aérea, y la edad de la planta. Para cada zona es necesario evaluar las formulaciones de soluciones nutritivas con el objetivo de lograr el potencial máximo de producción.

Urbina, Cuevas, Reyez, Alejo, Valdez y Vásquez (2020) explican que la absorción de nitrógenos por las plantas es en forma de NO_3^- y NH_4^+ las cuales ambas pueden estar presentes en la solución nutritiva, la concentración adecuada de estos iones incrementa el crecimiento en relación con la altura de la planta, biomasa y el rendimiento de los cultivos. Las características químicas de la solución nutritiva generan respuesta de las plantas a las condiciones ambientales, especialmente las relaciones mutuas de aniones y cationes, el potencial osmótico y el pH.

Manzano (2018) comenta que la recirculación recomendada de la solución nutritiva es de aproximadamente 2 L/min, aunque el rango reportado por productores varía de 1 a 4 L/min, dicho caudal permite que las raíces tengan una adecuada de oxigenación, con agua y nutrientes. La lámina no debería tener una altura mayor a 0.5 cm para favorecer la aireación de la solución y de las raíces, en

algunas ocasiones dependiendo de las condiciones de instalación del sistema NFT, la altura de la solución puede ser hasta de 2 cm.

2.2.6 Origen de la lechuga

Moro (2018) comenta que el origen de la lechuga surgió en la zona del Mar mediterráneo y sus primeros indicios fueron en Egipto hace 2500 años. Sin embargo, su origen sea probablemente del sudoeste asiático, del área alrededor de los ríos Éufrates y Tigris, donde proviene la mayor cantidad de variedades silvestres emparentadas. Con el pasar de los tiempos la lechuga ha generado que posea caracteres distintos a su antecesor silvestre, disminución en el contenido de látex, sabor amargo, pérdida de espinas del tallo, hojas y el aumento del tamaño de la semilla. Los fitomejoramientos realizados fueron en la estructura y formas de las hojas, pero en lo que más se lograron centrar fue en la resistencia a enfermedades o patógenos.

Medrano et al. (2019) explica que debido al corto ciclo de crecimiento, la lechuga se adapta a las condiciones de invernadero, donde se utiliza una solución nutritiva para su crecimiento, y es amada por los consumidores, ya que tiene hojas abiertas de tamaño mediano y color depende a la variedad que se cultiva, con épocas de siembra durante prácticamente todo el año, siendo su siembra ya sea directa o en almácigo.

Ramirez y Contreras (2020) indican que la lechuga es una hortaliza que es cultivada en casi todo el mundo siendo los tres mayores productores China, Estados Unidos e India. Siendo su producción anual supera los 26 millones de toneladas. Es rica en nutrientes a nivel de sales, minerales, vitaminas A, B1, B2, C, calcio y hierro permitiendo así aumentar su consumo.

Ayala, Huanca, y Fernández (2019) manifiestan que la producción de lechuga es importante en el entorno, de manera fundamental para alimentar a las familias y equilibrar la nutrición con otros alimentos. Esta hortaliza suele consumirse como ensalada fresca, y su venta permite generar ingresos a la cadena productiva debido a la mayor demanda en el mercado. La hidroponía es un método basado en sistemas equilibrados en los que las plantas reciben los nutrientes suficientes para su crecimiento y desarrollo manteniendo sus raíces de manera sumergidas fija o periódica, en una solución acuosa que contiene los minerales necesarios para el crecimiento, lo que mejora su desarrollo y reduce su tiempo a cosecha.

Martinez, Alvarado, y Chable (2017) comentan que la producción de lechuga de manera convencional requiere de mucha agua, pero su escasez obliga a ofrecer alternativas de producción con menos agua, para lo cual se ha propuesto la producción bajo invernadero y en sistemas hidropónicos. Los nuevos sistemas de cultivo no necesitan tierra, las plantas se alimentan de un medio de cultivo líquido que circula entre las raíces. Los invernaderos rústicos son simples y fáciles de construir, no requieren equipos avanzados y la implementación de sistemas hidropónicos ayudan en la automatización a la hora de implementar cultivos llevando un mejor manejo y obteniendo un mejor desarrollo cuando se tiene escasez de recursos hídricos y mayor cantidad de plantas por metro cuadrado.

Moreno, Aguilar, Castillo y García (2021) indican que conocer la fenología de un determinado cultivo es importante para su adecuado manejo. Desde una perspectiva climatológica, estos fenómenos brindan una base para interpretar los cambios causados por factores bioclimáticos y agronómicos, el resultado de un determinado microclima posibilita la reacción esperada de la planta, las etapas fenológicas permiten la implementación óptima de varias prácticas agrícolas, como

la polinización manual, para predecir la probable presencia de plagas, la necesidad de fertilización específica o el uso de ciertas sustancias hormonales, el control de malezas.

2.2.7 Taxonomía y morfología de la lechuga

2.2.7.1. Taxonomía de la lechuga

La lechuga pertenece al Reino Plantae, con su división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, con orden Asterales, perteneciente a la familia Asteraceae, su género *Lactuca* y especie *Lactuca sativa* L. (Mitma, 2021).

2.2.7.2. Morfología de la lechuga

2.2.7.2.1. Raíz

El sistema radicular es pivotante alcanzando una profundidad aproximada de 60 cm con numerosas raíces laterales en los primeros 30 cm (Chavez, 2017).

2.2.7.2.2. Tallo

El tallo de la lechuga es pequeño muy corte de forma cilíndrica y no se ramifica cuando está en el estado óptimo de cosecha, cuando finaliza la etapa comercial el tallo se alarga hasta 1.2 m de longitud con ramificación del extremo y presencia en cada punta de las ramillas terminales de una inflorescencia (Pachon, 2020).

2.2.7.2.3. Hojas

Tienen una forma lanceoladas, oblongas o redondas, depende a su variedad el borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, purpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar (Mitma, 2021).

2.2.7.2.4. Inflorescencia

Presenta inflorescencia en capítulos florales dispuestos en racimos o corimbos. Compuestos por 10 a 25 floretes. El florete tiene pétalos periféricos ligulados,

amarillos o blancos. Presenta corola tubular de borde dentado. El androceo está formado por cinco anteras soldadas que forman un tubo polínico, que rodea el estilo. El cáliz es filamentosos y al madurar la semilla forma el vilano, que actúa como órgano de diseminación anemófila (Chavez, 2017).

2.2.7.2.5. Semilla

Tabla 2. Requerimientos nutricionales de la lechuga

Elementos	Rendimiento (kg/ha)
Nitrogeno	150
Fósforo	22
Potasio	157.4
Magnesio	15

Kirschbaum y Funes, 2022

Es exalbuminosa, picuda y plana, es un fruto, tiene forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara de color blanca, amarilla, marrón o negro. Mide de dos a cinco mm. En su base se encuentra el vilano o papus plumoseo, que facilita la diseminación por el viento (Pachon, 2020).

2.2.8 Requerimientos nutricionales de la lechuga

Kirschbaum y Funes (2022) mencionan que la lechuga requiere de suelos ligeros, con materia orgánica, retención de agua, buen drenaje suelos con buena estructura evitando suelos compactos que impidan el desarrollo de su sistema radicular, un pH ideal para su desarrollo se encuentra en el rango de 6.6 y 7.8, no tolera suelos ácidos y logra adaptarse a suelos ligeramente alcalinos.

2.2.9 Plagas y enfermedades de la lechuga

Godoy, Zolezzi, Sepúlveda, Estay y Chacón (2018) comentan que los insectos con mayor incidencia en el cultivo de lechuga son los crisélidos, la *Empoasca* sp. y el *Myzus persicae*, estos dos últimos transmisores del virus del amarillamiento de

la lechuga. Sus enfermedades más comunes son la pudrición por *Rhizoctonia solani*, Kuhn y Cercosporiasis siendo una forma de llevar su control mediante un manejo integral partiendo de semillas sanas y control de malezas en semillero.

Carvajal (2021) explica que al determinar cómo se comporta la plaga en el sistema de producción y si las estrategias utilizadas para controlar el organismo dañino son efectivas, se puede tomar mejores decisiones para crear un manejo integrado de plagas efectivo donde también se pueden reducir los costos. continuo Es muy importante saber qué organismos benéficos, como polinizadores y agentes de control biológico, pueden introducirse en el sistema de producción y construir programas integrados de plagas basados en este conocimiento.

Zárate (2014) comenta que para evitar el uso de pesticidas químicos es recomendable usar bioinsecticidas que actúan como repelentes o productos orgánicos que son efectivos tanto para el control de enfermedades como para combatir plagas.

Tabla 3. Bioinsecticidas para control de insectos plagas

Plaga	Ingredientes	Dosis/Ha
<i>Aleyrodidae</i>	Aceite vegetal	500 ml
	Jabón de barra	400 g
	Agua	100 l
<i>Aphididae</i>	Vinagre	500 ml
	Jabón de barra	200 g
	Agua	100 l
<i>Caelifera</i>	Aceite vegetal	70 ml
	Cebolla	1
	Ajo	1
	Jabón de barra	400 g
	Agua	20 l

Zárate, 2014

2.2.10 Microorganismos eficientes

Velasco, Aguirre y Ortuño (2016) detalla que los microorganismos eficientes son una alternativa para la producción limpia de cultivos y mejoran la productividad y

calidad de los cultivos, promueven el crecimiento o movilizan nutrientes hacia la planta, ayudan en la absorción de agua, nutrientes y protegen las raíces contra algunas enfermedades radiculares. Uno de los microorganismos de vida libre y de alta compatibilidad con las plantas es el *Bacillus subtilis*, el que es utilizado como bioinoculante en polvo, esta bacteria vive en simbiosis con las plantas, protege a las raíces contra patógenos y es promotor de crecimiento, ella obtiene carbohidratos de la planta para su reproducción y crecimiento. Este microorganismo podría mejorar la eficiencia en la producción hidropónica.

Morocho y Leiva (2019) indican que los microorganismos eficientes están conformados por productos formulados líquidos que contienen más de 80 especies de microorganismos (aeróbicas, anaeróbicos y fotosintéticas), surgieron desde la década de los años 60 y sirven para el tratamiento de aguas negras, reducción de malos olores, producción libres de agroquímicos, manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria, industria de procesamiento de alimentos, fábricas de papel, mataderos y municipalidades, entre otros.

Feijoo y Reinaldo (2016) comentan que los beneficios más relevantes de los microorganismos eficientes en la hidroponía son los siguientes:

- Impulsan la germinación, la floración, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas.
- Suprimir patógenos que promuevan enfermedades.
- Aumentar la capacidad fotosintética.
- Reincorpora aguas residuales como aguas de riego.
- Incrementan el desarrollo radicular mejorando la adsorción de los nutrientes.
- Asegura una mejor germinación y desarrollo de las plantas.

- Generan un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos.

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Según la Constitución de la República del Ecuador del 2008 en su capítulo segundo y tercero mencionan lo siguiente:

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 13.- Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional (Constitución de la República del Ecuador, 2008 (p. 13-14).

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente. Para ello, será responsabilidad del Estado (Constitución de la República del Ecuador, 2008 (p. 123).

1. Impulsar la producción, transformación agroalimentaria y pesquera de las pequeñas y medianas unidades de producción, comunitarias y de la economía social y solidaria.

2. Adoptar políticas fiscales, tributarias y arancelarias que protejan al sector agroalimentario y pesquero nacional, para evitar la dependencia de importaciones de alimentos.

3. Fortalecer la diversificación y la introducción de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria.

4. Promover políticas redistributivas que permitan el acceso del campesinado a la tierra, al agua y otros recursos productivos.

5. Establecer mecanismos preferenciales de financiamiento para los pequeños y medianos productores y productoras, facilitándoles la adquisición de medios de producción.

6. Promover la preservación y recuperación de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella; así como el uso, la conservación e intercambio libre de semillas.

7. Precautelar que los animales destinados a la alimentación humana estén sanos y sean criados en un entorno saludable.

8. Asegurar el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica apropiadas para garantizar la soberanía alimentaria.

9. Regular bajo normas de bioseguridad el uso y desarrollo de biotecnología, así como su experimentación, uso y comercialización.

10. Fortalecer el desarrollo de organizaciones y redes de productores y de consumidores, así como las de comercialización y distribución de alimentos que promueva la equidad entre espacios rurales y urbanos.

11. Generar sistemas justos y solidarios de distribución y comercialización de alimentos. Impedir prácticas monopólicas y cualquier tipo de especulación con productos alimenticios.

12. Dotar de alimentos a las poblaciones víctimas de desastres naturales o antrópicos que pongan en riesgo el acceso a la alimentación. Los alimentos recibidos de ayuda internacional no deberán afectar la salud ni el futuro de la producción de alimentos producidos localmente.

13. Prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos.

14. Adquirir alimentos y materias primas para programas sociales y alimenticios, prioritariamente a redes asociativas de pequeños productores y productoras. (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p. 123-124).

2.3.2 Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria

Según la Asamblea Nacional en su capítulo tercero menciona lo siguiente:

Art. 9.- El Estado asegurará y desarrollará la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agrobiodiversidad. Además, asegurará la investigación aplicada y participativa y la creación de un sistema de extensión, que transferirá la tecnología generada en la investigación, a fin de proporcionar una asistencia técnica, sustentada en un diálogo e intercambio de saberes con los pequeños y medianos productores, valorando el conocimiento de mujeres y hombres. El Estado velará por el respeto al derecho de las comunidades, pueblos y nacionalidades de conservar y promover sus prácticas de manejo de biodiversidad y su entorno natural, garantizando las condiciones necesarias para que puedan mantener, proteger y desarrollar sus conocimientos colectivos, ciencias, tecnologías, saberes ancestrales y recursos genéticos que contienen

la diversidad biológica y la agrobiodiversidad. Se prohíbe cualquier forma de apropiación del conocimiento colectivo y saberes ancestrales asociados a la biodiversidad nacional.

Art. 12.- Principios generales del fomento.- Los incentivos estatales estarán dirigidos a los pequeños y medianos productores, responderán a los principios de inclusión económica, social y territorial, solidaridad, equidad, interculturalidad, protección de los saberes ancestrales, imparcialidad, rendición de cuentas, equidad de género, no discriminación, sustentabilidad, temporalidad, justificación técnica, razonabilidad, definición de metas, evaluación periódica de sus resultados y viabilidad social, técnica y económica (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010, p. 6).

2.3.3 Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable

Según la Asamblea Nacional en el título preliminar objeto, ámbito y fines menciona lo siguiente:

Art. 1.- Objeto. La presente Ley tiene por objeto proteger, revitalizar, multiplicar y dinamizar la agrobiodiversidad en lo relativo a los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura; asegurar la producción, acceso libre y permanente a semillas de calidad y variedad, mediante el fomento e investigación científica y la regulación de modelos de agricultura sustentable; respetando las diversas identidades, saberes y tradiciones a fin de garantizar la autosuficiencia de alimentos sanos, diversos, nutritivos y culturalmente apropiados para alcanzar la soberanía alimentaria y contribuir al Buen Vivir o Sumak Kawsay. Garantiza el uso, producción, fomento, conservación e intercambio libre de la semilla campesina que comprende las semillas nativa y tradicional; y la producción, certificación, comercialización, importación, exportación y acceso a la semilla certificada, mediante la investigación y el fomento de la agricultura sustentable. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, p. 3)

2.3.4 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Según la Asamblea Nacional en el capítulo tercero menciona lo siguiente:

Art. 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares.
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico.
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación.
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014, p. 19).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Para la realización de esta investigación se llevó a cabo un trabajo experimental, debido a que se estudió el comportamiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema hidropónico N.F.T. (Nutrition Film Technique) con tres infraestructuras (Sistema NFT tradicional con tubos PVC) implementando microorganismos eficientes *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* para poder determinar si su combinación con la solución nutritiva logre mejorar la productividad del cultivo en la ciudad de Guayaquil.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño que se realizó en esta investigación es experimental, de campo, en donde se evaluó el cultivo de lechuga en tres tratamientos diferentes aplicando microorganismos eficientes donde en el primer tratamiento se aplicó con solución nutritiva más *Trichoderma harzianum*, segundo tratamiento se aplicó solución nutritiva más *Bacillus subtilis* y en el tercer tratamiento solo se aplicó solución nutritiva para así lograr determinar cuáles son los efectos de estos microorganismos sobre el cultivo y la producción.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

Para la realización de esta investigación se midió las siguientes variables:

3.2.1.1. Variable independiente

- Microorganismos eficientes, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*.

3.2.1.2. Variable dependiente

- Altura de la planta(cm)

- Número de hojas por planta(n)
- Porcentaje de supervivencia (%)
- Peso fresco aéreo(g)
- Peso fresco de raíz(g)
- Días a cosecha(d)
- Incidencia de enfermedades (%)
- Rendimiento/ producción (kg/m²)

3.2.2 Tratamientos

Los tratamientos fueron tres, determinados por la combinación de dos microorganismos eficientes más solución nutritiva y un testigo absoluto el que solo se le aplicó la solución nutritiva. La aplicación de los tratamientos que se evaluaron se detalla en la tabla 3, en donde se especifica la composición de cada tratamiento con su respectiva dosificación.

Tabla 4. Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamientos	Productos aplicar	Dosis	Concentración	Frecuencia de aplicación
T1	Solución nutritiva más <i>Trichoderma harzianum</i>	5cc	1X 10 ⁹ UFC	15 días
T2	Solución nutritiva más <i>Bacillus subtilis</i>	5cc	1 X 10 ⁸ UFC	15 días
T3	Testigo			15 días

Mora, 2023

3.2.3 Diseño experimental

Para el análisis de esta investigación se utilizó el diseño completo al azar (DCA), el cual estuvo conformado por tres tratamientos y ocho repeticiones (tabla 4). De acuerdo a como se planteó este estudio, el cual se desarrolló bajo un sistema NFT, la unidad experimental estará representada por un tramo de tubería de 1

metro de longitud, en donde se ubicarán 10 plantas. El esquema de la estructura NFT puede observarse en el anexo 2.

Tabla 5. Delimitación experimental

Tipo de diseño	DCA
Número de tratamientos	3
Número de repeticiones	8
Número de plantas/repeticion	10
Número de plantas/ tratamiento	80
Distancia entre repeticion	15 cm
Distancia entre tratamiento	50 cm
Área de cada tratamiento	3 m ²
Área total del ensayo	10 m ²

Mora, 2023

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

Se procedió a realizar esta investigación donde se obtuvo información bibliográfica de páginas webs confiables, libros, revistas científicas, tesis especializadas en la implementación de sistemas hidropónicos en cultivos de hojas, aplicación de microorganismos eficientes y centro de información de la Universidad Agraria del Ecuador.

3.2.4.1.1. Materiales y equipos

Los materiales que se utilizaron para la investigación en el cultivo de lechuga son los siguientes:

- Sistema hidropónico NFT
- Semillas de lechuga de la variedad Lactuca Sativa L.

- Solución nutritiva
- Semillero plástico T-500
- Vaso hidropónico 8x8 cm negro
- Esponjas de sujeción
- Tanque de almacenamiento 20 litros
- Bomba de agua sumergible 25W 1800 LPH- 2 mts
- Temporizador de riego automático
- Medidor de pH y conductividad eléctrica
- Sustrato de turba y perlita
- Microorganismos eficientes

3.2.4.1.2. Estructura del sistema NFT

La estructura consta con ocho tubos de PVC de 75 mm, cada canal tiene la capacidad de diez plantas siendo la capacidad máxima de producción por cada ciclo de 80 plantas por tratamiento, la longitud de los tubos es de un metro cada uno, con perforaciones cada 0.09 cm donde reposaran las canastillas con la esponja de sujeción y posteriormente la planta de lechuga. Las medidas de cada módulo son 150 cm de longitud X 100 cm de ancho X 100 cm de alto. La solución nutritiva será impulsada por una bomba de agua sumergible 25W 1800 LPH- 2 metros desde el tanque de almacenamiento hacia el módulo hidropónico para luego retornar así logrando mantener una lámina de agua y mantener la recirculación.

3.2.4.1.3. Recursos humanos

- Tutor de tesis de la Universidad Agraria del Ecuador
- Tesista

3.2.4.1.4. Recursos económicos

Los recursos económicos que se utilizaron en esta investigación serán financiados por el propio tesista que se detalla a continuación, tabla 5.

Tabla 6. Recursos económicos de la investigación

Materiales	Cantidad	Valor \$
Sistema hidropónico NFT	3	330
Semillas de lechuga de la variedad Lactuca Sativa L.	1	10
Solución nutritiva	3	18
Semillero plástico T-500	1	7
Vaso hidropónico 8x8 cm negro	80	14
Espojas de sujeción	80	8
Tanque de almacenamiento 20 litros	3	60
Bomba de agua sumergible 25W 1800 LPH- 2 mts	3	57
Temporizador de riego automático	3	75
Medidor de pH y conductividad eléctrica	1	30
Sustrato de turba y perlita	1	12
<i>Trichoderma harzianum</i>	1	0
<i>Bacillus subtilis</i>	1	0
Total		621

Mora, 2023

3.2.4.2. Proceso de medición de variables dependientes

Las variables agronómicas que fueron evaluadas durante la investigación están asociadas al crecimiento, rendimiento y calidad, las mismas que se describen a continuación:

3.2.4.2.1. Altura de la planta (cm)

Se midió desde la base de la planta hasta la altura máxima de la planta (hojas más altas) a los 15, 30 y 45 días.

3.2.4.2.2. Número de hojas por planta (n)

Se contó el número total de hojas abiertas por planta a los 15,30 y 45 días.

3.2.1.2.3. *Porcentaje de sobrevivencia por tratamiento*

Se contaron las plantas vivas en cada repetición al realizar la cosecha de cada tratamiento.

3.2.4.2.4. *Peso fresco aéreo (g)*

La planta se cortó en la base para realizar la toma del peso aéreo con la ayuda de una balanza digital portátil luego de ser cosechada.

3.2.4.2.5. *Peso fresco de raíz (g)*

La planta se cortó en la base para realizar la toma del peso de la parte radical con la ayuda de una balanza digital portátil luego de ser cosechada.

3.2.4.2.6. *Días a cosecha (d)*

Se procedió a contabilizar los días desde el momento de trasplante hasta cosecha para si determinar cuál tratamiento será más pronto a cosechar.

3.2.4.2.7. *Incidencia de enfermedades (%)*

Se tomo datos de cinco repeticiones al azar por cada tratamiento, lo cual se realizó cada diez días después del trasplante en el sistema NFT y se utilizó la siguiente formula:

$$\%I = \frac{\text{No. de plantas enfermas}}{\text{Total de muestras de plantas por tratamiento}} \times 100$$

3.2.4.2.8. *Rendimiento / producción (g)*

Se procedió a realizar la sumatoria de todas las plantas por tratamiento y luego se realizó la toma del peso con la ayuda de una balanza digital luego se ser cosechadas.

3.2.4.3. Métodos y técnicas

Se procedió a comprar plántulas de lechuga que tenían 20 días desde su germinación luego se procedió a armar los sistemas hidropónicos con la solución nutritiva en sus respectivos tratamientos y aplicación de los microorganismos eficientes, se procedió a trasplantar las plántulas en el sistema hidropónico para llevar su debido control donde la solución nutritiva con microorganismos ya sea el caso del tratamiento se renovó cada 2 semanas y llevo su respectivo control del pH y conductividad eléctrica hasta completar el lapso de 45 días donde fueron cosechadas.

3.2.5 Análisis estadístico

Los análisis se efectuaron a través del software Infostat, con valoración de las variables mediante el análisis de varianza (ANDEVA), con un nivel de significancia de 5% de error tipo I, cuyo modelo de ANDEVA se detalla en la tabla 6. Para la comparación de medias se utilizará la prueba de Tuckey.

Tabla 7. Esquema de análisis de varianza (ANDEVA)

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamientos	T-1	2
Error experimental	(T(r-1))	21
Total	(T*r)-1	23

Mora, 2023

3.2.5.1. Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H₀): Los tratamientos evaluados con diferentes microorganismos eficientes *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* no presentaran relevancia sobre el cultivo de lechuga hidropónico en comparación del testigo absoluto.

Hipótesis alternativa (H_a): La implementación de uno de los dos tratamientos evaluados con diferentes microorganismos eficientes *Trichoderma harzianum* y

Bacillus subtilis presentaran relevancia sobre el cultivo de lechuga hidropónico en comparación del testigo absoluto.

4. Resultados

4.1 Comportamiento agronómico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo la influencia de microorganismos eficientes en el sistema NFT.

En la tabla 8 se detalló la variable de altura de planta, donde hubo diferencia significativa en los tratamientos, el análisis de varianza con datos tomados a los 15, 30 y 45 días después del trasplante muestra p-valor de $0.0001 < 0.05$ donde estadísticamente hay significancia entre los tratamientos, por lo que se acude a la prueba de tukey con nivel de significancia al 5% donde la media para T1 (Solución nutritiva + *Trichoderma harzianum*) a los 15, 30 y 45 días es de 9.50 cm, 25.38cm y 35.00 cm, T3 (Solución nutritiva) es de 8.38 cm, 9.50 cm, y 25.88 cm, mientras que para el T2 (Solución nutritiva + *Bacillus subtilis*) es de 11.75 cm, 32.38 cm y 44.88cm, donde se logró observar que el T2 presentó mayor crecimiento a los 15, 30 y 45 días después del trasplante.

Tabla 8. Altura de la planta (cm)

Tratamiento	N	AP		AP		AP	
		15 días		30 días		45 días	
T3 SN	8	8.38	a	18.88	a	25.88	a
T1 SN-TH	8	9.50	a	25.38	b	35.00	b
T2 SN-BS	8	11.75	b	32.38	c	44.88	c
CV %		11.13		9.54		8.16	
P valor		0.0001		0.0001		0.0001	

Mora, 2023

En la tabla 9 se especificó la variable de número de hojas, donde se observó que el mayor número de hojas fue en el T2 (Solución nutritiva + *Bacillus subtilis*) con un valor de 12.63 n, seguido del T1 (Solución nutritiva + *Trichoderma harzianum*) con un valor de 8.88 n y el T3 (Solución nutritiva) con 8.13 n el cual fue el valor menor de los tratamientos. El coeficiente fue de 16.77% y si hubo diferencia significativa.

En la tabla 9 se definió la variable de número de hojas, donde hubo diferencia significativa en los tratamientos, el análisis de varianza con datos tomados a los 15, 30 y 45 días después del trasplante muestra p-valor de $0.0001 < 0.05$ en base a los datos estadísticos hay significancia entre los tratamientos, por lo que se acude a la prueba de tukey con nivel de significancia al 5% donde la media para T1 (Solución nutritiva + *Trichoderma harzianum*) a los 15, 30 y 45 días es de 2.50 cm, 4.75 cm y 8.88 cm, T3 (Solución nutritiva) es de 2.50 cm, 4.50 cm, y 8.13 cm, mientras que para el T2 (Solución nutritiva + *Bacillus subtilis*) es de 3.25 cm, 7.25 cm y 12.63 cm, donde se logró observar que el T2 presentó mayor número de hojas a los 15, 30 y 45 días después del trasplante.

Tabla 9. Número de hojas por planta (n)

Tratamiento	N	NH		NH			
		15 días	30 días	45 días			
T3 SN	8	2.50	a	4.50	a	8.13	a
T1 SN-TH	8	2.50	a	4.75	a	8.88	a
T2 SN-BS	8	3.25	a	7.25	b	12.63	b
CV %		24.46		10.5		16.77	
P valor		0.0560		0.0001		0.0001	

Mora, 2023

4.2 Tratamiento que generó mayor producción y protección de enfermedades en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema NFT.

En la tabla 10 se detalló la variable de peso fresco aéreo, donde hubo diferencia significativa en los tratamientos, donde se observó que el mayor peso fresco aéreo fue en el T2 (Solución nutritiva + *Bacillus subtilis*) con un valor de 53.51 g, seguido del T1 (Solución nutritiva + *Trichoderma harzianum*) con un valor de 37.47 g y T3 (Solución nutritiva) con 16.46 g el cual fue el valor menor de los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 10.35 % y si hubo diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 10. Peso fresco aéreo (g)

Tratamientos	n	Peso fresco aéreo (g)	E.E.
T3 (Solución nutritiva)	8	16.46	1.31 a
T1 (Solución nutritiva + <i>Trichoderma harzianum</i>)	8	37.47	1.31 b
T2 (Solución nutritiva + <i>Bacillus subtilis</i>)	8	53.51	1.31 c
CV%		10.35	
P valor		0.0001	

Mora, 2023

En la tabla 11 se especificó la variable de peso fresco de raíz, donde hubo diferencia significativa en los tratamientos, donde se observó que el mayor peso fresco raíz fue en el T2 (Solución nutritiva + *Bacillus subtilis*) con un valor de 24.81 g, seguido del T1 (Solución nutritiva + *Trichoderma harzianum*) con un valor de 19.86 g y T3 (Solución nutritiva) con 8.13 g el cual fue el valor menor de los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 16.69 % y si hubo diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 11. Peso fresco de raíz (g)

Tratamientos	n	Peso fresco raíz (g)	E.E.
T3 (Solución nutritiva)	8	8.13	1.03 a
T1 (Solución nutritiva + <i>Trichoderma harzianum</i>)	8	19.86	1.03 b
T2 (Solución nutritiva + <i>Bacillus subtilis</i>)	8	24.81	1.03 c
CV%		16.69	
P valor		0.0001	

Mora, 2023

En la tabla 12 se definió la variable de rendimiento, donde hubo diferencia significativa en los tratamientos, donde se observó que el mayor rendimiento fue en el T2 (Solución nutritiva + *Bacillus subtilis*) con un valor de 567.5 g, seguido del T1 (Solución nutritiva + *Trichoderma harzianum*) con un valor de 425.00 g y T3 (Solución nutritiva) con 181.25 g el cual fue el valor menor de los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 6.74 % y si hubo diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 12. Rendimiento (g)

Tratamientos	n	Rendimiento (g)	E.E.
T3 (Solución nutritiva)	8	181.25	9.33 a
T1 (Solución nutritiva + <i>Trichoderma harzianum</i>)	8	425.00	9.33 b
T2 (Solución nutritiva + <i>Bacillus subtilis</i>)	8	567.5	9.33 c
CV%		6.74	
P valor		0.0001	

Mora, 2023

4.3 Análisis económico según el rendimiento productivo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con la influencia de los microorganismos eficientes.

Tabla 13. Costos fijos en el cultivo de lechuga hidropónica (\$)

Costos fijos en USD del sistema hidropónico NFT			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
3	Sistema hidropónico NFT	110.00	330.00
240	Vaso hidropónico 8x8 cm negro	0.06	14.00
240	Esponjas de sujeción	0.03	8.00
3	Tanque de almacenamiento 20 litros	20.00	60.00
3	Bomba de agua sumergible 25W 1800 LPH- 2 mts	19.00	57.00
3	Temporizador de riego automático	25.00	75.00
1	Medidor de pH	15.00	15.00
1	Medidor de conductividad eléctrica	15.00	15.00
Total			574.00

Mora, 2023

Tabla 14. Costos variables en el cultivo de lechuga hidropónica (\$)

Costos variables en USD del sistema hidropónico NFT			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
1	<i>Trichoderma harzianum</i>	45	45
1	<i>Bacillus subtilis</i>	45	45
3 (Kit)	Solución nutritiva	3	18
250	Plántulas de lechuga	0.125	30
2	Fletes	5	10
Total			148

Mora, 2023

Tabla 15. Costos variables en el cultivo de lechuga hidropónica (\$)

Resumen de costos en USD de la inversión del proyecto	
Rubros	Total USD
Costos fijos	574.00
Costos variables	148
Préstamo	1000
Total	1722.00

Mora, 2023

Tabla 16. Financiamiento (\$)

Financiamiento del proyecto en dólares		
Fuente	Monto en \$	Porcentaje %
Préstamo	1000.00	100
Total	1000.00	100

Mora, 2023

Tabla 17. Punto de equilibrio (\$)

Cantidad	Costos fijos	Costos variables Unitario	Costos totales	Ingresos
(q)	(CF)	(CVU)	(CT)	I
0	574	0	574	0
300	574	183	757	255
600	574	366	940	510
900	574	549	1123	765
1200	574	732	1306	1020
1500	574	915	1489	1275
1800	574	1098	1672	1530
2100	574	1281	1855	1785
2391	574	1458	2032	2032
2700	574	1647	2221	2295
3000	574	1830	2404	2550
3300	574	2013	2587	2805

Mora, 2023

El punto de equilibrio es donde no existe pérdida ni ganancia, es decir, los ingresos que tiene la empresa lograr cubrir los egresos. Se lo puede hallar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{PV} - \text{CVU}}$$

$$q=240$$

$$\text{PVU}=\$0.85$$

$$\text{CVU}=\text{CV}/q$$

$$\text{CVU}=148/240$$

$$\text{CVU}=\$0.61$$

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{574}{0.85 - 0.61}$$

$$\text{Punto de equilibrio} = 2391.66 \text{ (unidades producidas)}$$

$$\text{Monto anual} = 1920 * 0.85 = \$1.632$$

4.3.1 Evaluación financiera

En la evaluación financiera se determinó que el proyecto no es viable, para esto se halló el valor actual neto la tasa interna de retorno, relación costo/beneficio.

INVERSIÓN		TASA DE	
INICIAL:	722	DESCUENTO	15%
PRODUCCIÓN:	1920 unidades	VAN	\$-3489.62
PRECIO	0.85	TIR	0%
COSTO:	574 cf	B/C	\$0.00
PERÍODO EN AÑOS:	5		

Tabla 18. Flujo de caja

Ingresos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas		0	0	0	0	0
Préstamo		1000				
Total de ingresos		1000	0	0	0	0
costos		574	574	574	574	574
Pago de deuda		526.98	509.48			
Total Egresos		1100.98	1083.48	574.00	574.00	574.00
Inversión	-722					
Flujo caja económico	-722	-100,98	-1083.48	-574.00	-574.00	-574.00

Mora, 2023

5. Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos de manera estadística, el mejor tratamiento fue el sistema hidropónico con solución nutritiva + *Bacillus subtilis* (T2). En cuanto a la variable altura de guía (cm) a los 15, 30 y 45 días después del trasplante predominó el sistema hidropónico con Solución nutritiva + *Bacillus subtilis* con una altura media de 11.75, 32.38 y 44.88 cm mientras que los sistemas hidropónicos manejados con solución nutritiva + *Trichoderma harzianum* con una altura media de 9.50, 25.38 y 35.00 cm y el solución nutritiva obtuvo una altura media de 8.38, 18.88 y 25.88 cm. Los valores obtenidos demuestran que si hay diferencia con respecto a la aplicación de microorganismos eficientes en sistemas hidropónicos como se logra observar en el trabajo de investigación de Lizano (2020) donde se realizó la incorporación de microorganismo benéfico *Trichoderma harzianum* en la solución nutritiva para el cultivo de *Lactuca sativa* L. generando una altura media de $25.00 \pm$ cm siendo el mejor tratamiento a diferencia del testigo donde solo uso solución nutritiva.

En la variable número de hojas a los 15, 30 y 45 días después del trasplante el sistema hidropónico NFT con solución nutritiva + *Bacillus subtilis* (T2) también superó al sistema hidropónico NFT de solución nutritiva + *Trichoderma harzianum* y el tradicional solo con solución nutritiva. En la actual investigación dio como resultado que a los 15,30 y 45 días después del trasplante el número de hojas promedio del experimento fue de 3.25 ,7.25 y 12.63 para el T2 como mejor resultado al igual que el trabajo de investigación de Pineda et al. (2021) donde realizaron la implementación de microorganismos bioestimulantes en el cultivo de *Lactuca sativa* L. bajo un sistema hidropónico de raíz flotante obteniendo como mejor resultado el T2 (*Azospirillum brasilense*) con número de hojas promedio 18.60 seguido de los

siguientes tratamientos , T4 (*Bacillus subtilis*) con número de hojas promedio 13.00 , T5 (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum* + *Azospirillum brasilense*) con número de hojas promedio 12.60 y T3 (*Trichoderma harzianum*) con número de hojas promedio 12.00, los cuales presentaron diferencias significativas en comparación con el T1 (testigo absoluto, solución nutritiva) donde el valor promedio de número de hojas fue de 10.80 siendo el valor relativamente más bajo frente a la investigación actual.

En cuanto al porcentaje de sobrevivencia fue de 88.75 % para el T2 (solución nutritiva + *Bacillus subtilis*), 81.25 % para el T1 (*Trichoderma harzianum*) y un 70.00 % para el T3 (solución nutritiva) , presentando como mejor tratamiento el T2, el experimento se realizó en la garaje de un domicilio planta baja, los días a cosecha de los tres tratamientos fueron a los 45 días y el ataque de plagas y enfermedades fue de 0 %.

En la variable peso fresco aéreo el sistema hidropónico NFT con solución nutritiva + *Bacillus subtilis* (T2) también superó al sistema hidropónico NFT de solución nutritiva + *Trichoderma harzianum* y el tradicional solo con solución nutritiva. En la actual investigación dio como resultado peso fresco aéreo promedio del experimento fue de 53.51 para el T2 como mejor resultado al igual que el trabajo de investigación de Velasco et al. (2016) donde realizaron la aplicación de 6L de humus líquido más micorrizas en 36L de solución nutritiva del sistema hidropónico obteniendo un 40.7 % mayor peso respecto al testigo de la investigación actual demostrando así que los microorganismos en la hidroponía mejora la productividad del cultivo .

En la variable peso fresco de raíz el sistema hidropónico NFT con solución nutritiva + *Bacillus subtilis* (T2) también superó al sistema hidropónico NFT de

solución nutritiva + *Trichoderma harzianum* y el tradicional solo con solución nutritiva. En la actual investigación dio como resultado peso fresco raíz promedio del experimento fue de 24.81 para el T2 como mejor resultado al igual que el trabajo de investigación de Mitma (2021) donde realizaron la evaluación del efecto de tres concentraciones de microorganismos eficientes (EM-1) en cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* L. determinando que en la concentración 0.0342 % de EM-1 presento mayor peso de raíz 18.13 en comparación con el testigo absoluto 0.00 % EM-1.

En la variable de rendimiento el sistema hidropónico NFT con solución nutritiva + *Bacillus subtilis* (T2) también superó al sistema hidropónico NFT de solución nutritiva + *Trichoderma harzianum* y el tradicional solo con solución nutritiva. En la actual investigación dio como resultado rendimiento promedio del experimento fue de 567.50 para el T2 como mejor resultado al igual que el trabajo de investigación de Calsina (2015) donde realizaron la evaluación de caldo de humus de lombriz en dos sistemas hidropónicos para la producción de *Lactuca sativa* L. obteniendo como mejor resultado el sistema en tubo PVC con una dosis de 2 (1:4) con un peso de 3629 kg/m² y maximizando el uso de suelo 30 plantas/m² a diferencia de raíz flotante el cual presento 20 plantas/m².

En cuanto al estudio económico se concluye que el proyecto no es rentable por lo que se realizó un análisis financiero tomando en cuenta resultados como la tasa de rendimiento interno (TIR) que fue de 0 % y la tasa de actualización para la que se obtiene un VAN nulo fue de -3489.62 correspondientes aun propuesta de 5 años. En la parte de beneficio costo (B/C) resultó un valor de \$0.00 demostrando así que no es rentable a diferencia de Carranza et al. (2019) en su trabajo de investigación

donde se calculó que el proyecto tendrá una VAN de 6.170.410 con una TIR de 70.7 % correspondientes a una propuesta de 10 años.

En lo que respecta a la hipótesis planteada se rechaza ya que ambos microorganismos eficientes no presentaron relevancia en el cultivo de lechuga, donde no obtuvieron mejor desarrollo y productividad frente al sistema hidropónico NFT tradicional solo con solución nutritiva.

6. Conclusiones

De acuerdo con los datos obtenidos en la presente investigación se concluye lo siguiente:

El comportamiento agronómico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo la influencia de microorganismos eficientes en el sistema NFT en el tratamiento que obtuvo mejor respuestas fue T2 SN-BS (solución nutritiva más *Bacillus subtilis*) y el, los resultados obtenidos estadísticamente demostraron que en las variables altura de la planta y número de hojas presentaron significancia estadística pero sin embargo se tuvo problemas de etiolación, aireación obteniendo un desarrollo no deseado.

La mayor producción en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) el mejor tratamiento fue el T2 SN-BS (solución nutritiva más *Bacillus subtilis*) con un valor de 567.5 gramos, si hubo diferencia significativa, lo cual superó al T1 SN-TH (solución nutritiva más *Trichoderma harzianum*) y al tradicional solo con solución nutritiva.

Con el trabajo experimental se demostró que el cultivo de lechuga bajo la influencia de microorganismos eficientes en el sistema NFT en la ciudad de Guayaquil no logra ser rentable presentando problemas de etiolación y estrés térmico por las altas temperaturas afectando en el crecimiento y desarrollo obteniendo un cultivo no deseado para el consumidor.

7. Recomendaciones

Una vez culminado el experimento en la ciudad de Guayaquil se recomienda lo siguiente:

Cambiar con otras variedades de lechuga bajo condiciones hidropónicas NFT con microorganismos eficientes que sean resistentes a las altas temperaturas que presenta la ciudad de Guayaquil.

El cambio de tubos PVC a una medida mayor para que la planta cuente con mayor aireación y tenga más espacio para lograr el desarrollo de sus raíces en las infraestructuras hidropónicas.

La aplicación de agua en la parte vegetativa de la lechuga cuando se presenten temperaturas altas y contar con temporizadores de riego para activar la bomba sumergible de agua que recircula la solución nutritiva durante 15 minutos pasando 1 hora a partir de las 12 pm hasta las 19:00 pm que es donde se presentan mayores temperaturas en la ciudad de Guayaquil y por las noches 15 minutos pasando 2 horas para así llevar un control adecuado al cultivo y logre desarrollarse de la forma deseada.

Monitoreos de manera constante para determinar la presencia de plagas o enfermedades, para control preventivo se recomienda el uso de trampas amarillas con aceite vegetal.

Otro tipo de investigación reduciendo los costos de producción con materiales baratos, para que las personas opten por este tipo de cultivos hidropónicos.

8. Bibliografía

- Arcos, B., O. Benavides, y M. Rodríguez (2011). Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. *Revista de Ciencias Agrícolas* 28(2):95-108.
- Asamblea Nacional del Ecuador (2010). Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria. Recuperado de <https://www.soberaniaalimentaria.gob.ec>.
- Asamblea Nacional del Ecuador (2014). Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento Agua. Recuperado de <http://www.regulacionagua.gob.ec>.
- Asamblea Nacional del Ecuador (2017). Ley Orgánica de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec>.
- Ayala, B., C. Huanca, y C. Fernández (2019). Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*) en sistema hidropónico bajo dos niveles de cloruro de potasio. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 6(2):66-71.
- Blanco, E., y I. Reyes (2018). Aplicación de un biosustrato compuesto por microorganismos y roca fosfórica sobre el cultivo de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. Semana (35), 408-434.
- Calsina, M. (2015). Evaluación de dosis de caldo de humus de lombriz en dos sistemas hidropónicos para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en ambiente protegido (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Carmona, J. (2022). Mejora en la producción y calidad de lechuga mediante la optimización de las condiciones de cultivo en sistemas hidropónicos bajo

- invernadero (tesis doctoral). Universidad de Murcia, Cartagena, Colombia.
- Carranza, T., A. Scattolini, y L. Vexenat (2019). Aplicación de BPA y BPM para la obtención de un producto de calidad.
- Carvajal, W. (2021). Análisis del comportamiento poblacional de las plagas en un cultivo hidropónico de tomate bajo un manejo integrado de plagas con productos biorracionales. 6-13.
- Cevallos, M. (2019). Aplicación de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidropónico bajo el sistema NFT (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.
- Chavez, K. (2017). Evaluación de tres niveles de nitrato de potasio en la lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivado bajo sistema de producción hidropónico (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Choez, V. (2019). Cultivando lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero (tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Recuperado de <https://www.cosede.gob.ec>.
- Díaz, L. (2017). Producción de Cultivo Hidropónico Lechuga (*Lactuca Sativa* L.) para la Promoción de la Autogestión en la Escuela Básica Bolivariana “Los Naranjos”. *Revista Científica* 2(4):204-22. doi: 10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.4.12.204-222.
- Feijoo, M., y J. Reinaldo (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista científica Agroecosistemas*, 4(2), 31-40. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu>.

- García, A., E. Macías, J. Lóor, y M. Vega (2021). Evaluación de efectos de soluciones nutritivas como alternativa de insumo en la producción de rábano (*Raphanus sativus*) con sistema hidropónico bajo ambiente protegido. *Ecuadorian Science Journal* 5(3):320-40. doi: 10.46480/esj.5.3.163.
- Godoy, P., M. Zolezzi, P. Sepúlveda, P. Estay, y G. Chacón (2018). Principales plagas y enfermedades en lechuga, tomate y cebolla. La Pintana, Chile: La Platina.
- Guerrero, E., C. Revelo, O. Benavides, G. Chaves, y C. Moncayo (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1), 3-16.
- Guiraldo, O., L. Vallejo, C. Baquero, J. Rodríguez, y O. Osorio (2015). Huertos hidropónicos caseros como alternativa para la producción de alimentos. (6).
- Kirschbaum, D., y C. Funes (2022). *Lechuga. Fichas técnicas regionales. Tucumán. Recuperado de <https://www.researchgate.net>.*
- De la Rosa, R. , Lara. H, Padilla, L. , Avelar, J. y España, M. (2018). Proporción de drenaje de la solución nutritiva en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, 20(1), 4343-4353. doi:10.29312/remexca.v0i20.1003.
- Lara, A. (2019). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 17(3):221-29.
- Lizano, D. (2020). Cultivo hidropónico NFT de lechuga (*Lactuca sativa* L.: Asteraceae) con diferentes cultivares, soluciones nutritivas y microorganismos benéficos en ambiente protegido en Santa Clara, San Carlos (tesis de pregrado). Instituto tecnológico de Costa Rica campus, San Carlos, Costa Rica.
- López, S., J. Vera, F. Gunzha, E. Freire, y M. Pujos (2022). Automatización del

- control de nutrientes en hidroponía mediante el uso de un sistema embebido. Polo del Conocimiento, 7(7), 814-826. doi:10.23857/pc.v7i7
- Luna, J., E. Cruz, y Á. Can (2021). Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry. Terra latinoamericana, 39, 1-12. doi:10.28940/terra.v39i0.781.
- Manzano, J. (2018). Evaluación de tres dosis de potasio en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. crispa bajo el sistema hidropónico en invernadero (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Martinez, G., E. Alvarado, y F. Chable (2017). Invernadero rustico para el cultivo de lechuga hidroponica. *Jóvenes en la Ciencia*. Recuperado de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx>.
- Medrano, P., R. Chipana, M. Moreno, y J. Roldán (2019). Riego capilar por mecha en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema combinado de solución hidropónica y suelo, como alternativa en la agricultura urbana de Bolivia. *Ingeniería del agua* 23(1):53. doi: 10.4995/ia.2019.10602.
- Mera, M., E. Recalde, y K. Lema (2019). Evaluación De Soluciones De Microalgas (*Scenedesmus* Sp) Como Bioestimulante Natural En El Cultivo Hidropónico De Lechuga (*Lactuca Sativa*). *Axioma* 1(21):53-60. doi: 10.26621/xv21.2019.12.a06.pucesi.2550.6684.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca Argentina (2020). Informe científico de ABC de la hidroponía. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar>.
- Mitma, M (2021). Efecto de tres concentraciones de microorganismos eficientes (EM-1) en el cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* L. "lechuga" var. Crespa, Ayacucho 2020 (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de

Huamanga, Ayacucho, Perú.

- Moreno, E., R. Aguilar, F. Castillo, y V. García (2021). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 17(2 SPL):5-18.
- Moro, J. (2018). Efectos de la presencia del ibuprofeno en el agua de riego para el cultivo de lechuga (tesis de pregrado). Universidad de Coruña, A Coruña, España.
- Morocho, M., y M. Leiva. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Cagrícola*, 46(2), 93-103.
- Pachon, J. (2020). Produccion y comercializacion de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa* L.), como una alternativa economica para pequeños productores de Viota, Cundinamarca (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Yopal, Colombia.
- Peña, R. (2023). Hidroponía una oportunidad para la seguridad alimentaria de las comunidades rurales. *DELOS Desarrollo Local Sostenible*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es>.
- Pertierra, R., y J. Quispe (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *Ciencias de la Vida*, 31(1), 118-130.
- Pineda, A., L. Capistrán, L. Hernández, G. Vásquez, R. Rodríguez, y R. Sur (2021). Efecto de microorganismos bioestimulantes en la morfometría de *Lactuca sativa* L. bajo un sistema hidropónico de raíz flotante. *RINDERESU*, 6(1-2), 27-37.
- Ramírez, C. (2019). Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de Pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Revista Tecnología en Marcha* 32:107-17. doi: 10.18845/tm.v32i1.4122.

- Ramirez, M., y J. Contreras. (2020). Efectos de la aplicación de productos biológicos en el rendimiento de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Manglar*, 17(4), 295-300.
- Robredo, P., M. Quiroga, y R. Echazú (2017). Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero. 1(08):117-25.
- Sánchez, F., A. Cabañas, J. Pineda P, L. González, y E. Moreno (2021). Evaluación de métodos de recirculación de solución nutritiva para la producción de jitomate en ciclos cortos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12 (3), 433-445. doi:10.29312/remexca.v12i3.2419.
- Scaturro, N. (2019). Evaluación de dos sistemas de producción de lechuga en hidroponía y un cultivo tradicional bajo cubierta (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina.
- Soto, F. (2015). Hidroponía: Sistemas de cultivo en agua. *Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno*. Recuperado de <https://www.kerwa.ucr.ac.cr>.
- Urbina, E., A. Cuevas, J. Reyes, G. Alejo, L. Valdez, y L. Vásquez (2020). Solución nutritiva adicionada con NH₄ + para producción hidropónica de chile huacle (*Capsicum annuum* L.). *Fitotec*, 43(3), 291-298.
- Vazquez, M., S. Quintana, S. Medici, y L. Gende (2022). Evaluar la efectividad de la levadura de cerveza subproducto de la industria cervecera como bioestimulante en hidroponía. *Innotec* 24:1-16. doi: 10.26461/24.05.
- Velasco, J., G. Aguirre, y N. Ortuño (2016). Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en cultivo de hidroponía. *Selva Andina Biosphere*, 4(2), 71-83. doi:10.36610/j.jsab.2016.040200071.
- Zárate, A. (2014). Manual de hidroponía. Recuperado de <https://www.gob.mx>.

9. Anexos

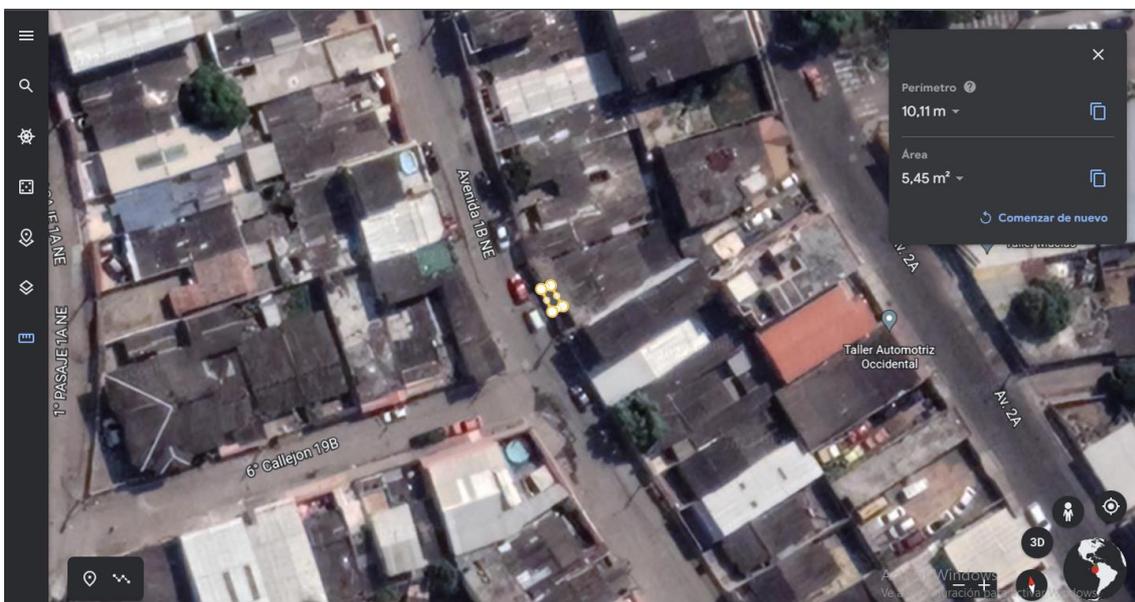


Figura 1. Zona de estudio
Mora, 2022



Figura 2. Modulo hidropónico NFT
Tarpui, 2022



BERGAM'S GREEN
Grande, atractiva y crocante



Lechuga tipo Batavia de excelentes cualidades.

El rizado característico de sus hojas verde oscuro y los tamaños grandes la hacen muy atractiva para comercializar con éxito.

Metodo de cultivo: Suelo / Hidroponia.

Resistencias

Alta Resistencia a TBSV

Resistencia intermedia a Bacteria Corky Root (Ss)

Figura 3. Semillas de Lechuga
Bioagro, 2022



Figura 4. Microorganismo eficiente *Trichoderma harzianum*
Trichogenesis, 2022



Figura 5. Microorganismo eficiente *Bacillus subtilis*
Agrofarm, 2022



Figura 6. Croquis del ensayo
Mora, 2022

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de la planta 15 día..	24	0,65	0,62	11,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	47,25	2	23,63	19,55	<0,0001
Tratamientos	47,25	2	23,63	19,55	<0,0001
Error	25,38	21	1,21		
Total	72,63	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,38536

Error: 1,2083 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3 (Solución nutritiva)	8,38	8	0,39 A
T1 (Solución nutritiva + T..)	9,50	8	0,39 A
T2 (Solución nutritiva + B..)	11,75	8	0,39 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

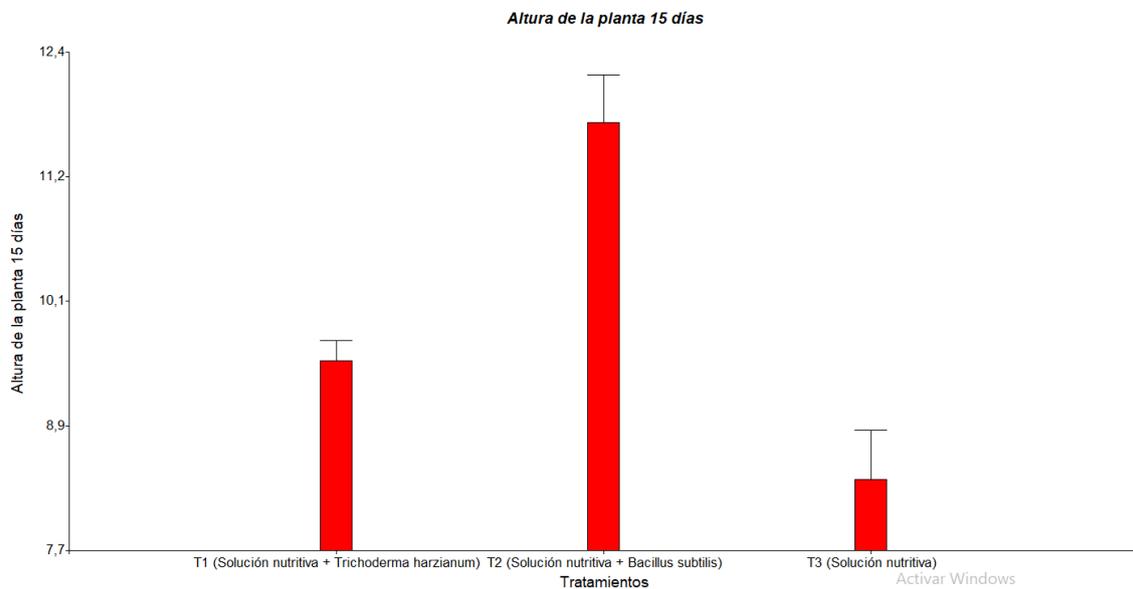


Figura 7. Altura de la planta 15 días
Mora ,2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de la planta 30 día..	24	0,85	0,84	9,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	729,33	2	364,67	61,45	<0,0001
Tratamientos	729,33	2	364,67	61,45	<0,0001
Error	124,63	21	5,93		
Total	853,96	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,07017

Error: 5,9345 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3 (Solución nutritiva)	18,88	8	0,86	A
T1 (Solución nutritiva + T..)	25,38	8	0,86	B
T2 (Solución nutritiva + B..)	32,38	8	0,86	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

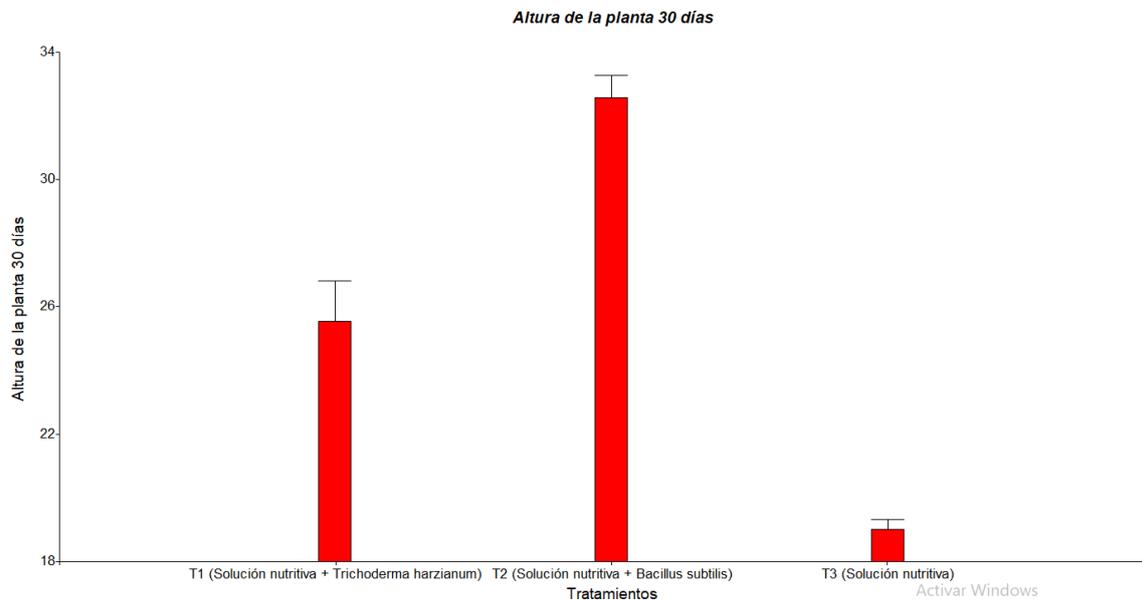


Figura 8. Altura de la planta 30 días
Mora, 2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura de la planta 45 día..	24	0,89	0,88	8,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1444,75	2	722,38	87,31	<0,0001
Tratamientos	1444,75	2	722,38	87,31	<0,0001
Error	173,75	21	8,27		
Total	1618,50	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,62511

Error: 8,2738 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3 (Solución nutritiva)	25,88	8	1,02	A
T1 (Solución nutritiva + T..)	35,00	8	1,02	B
T2 (Solución nutritiva + B..)	44,88	8	1,02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

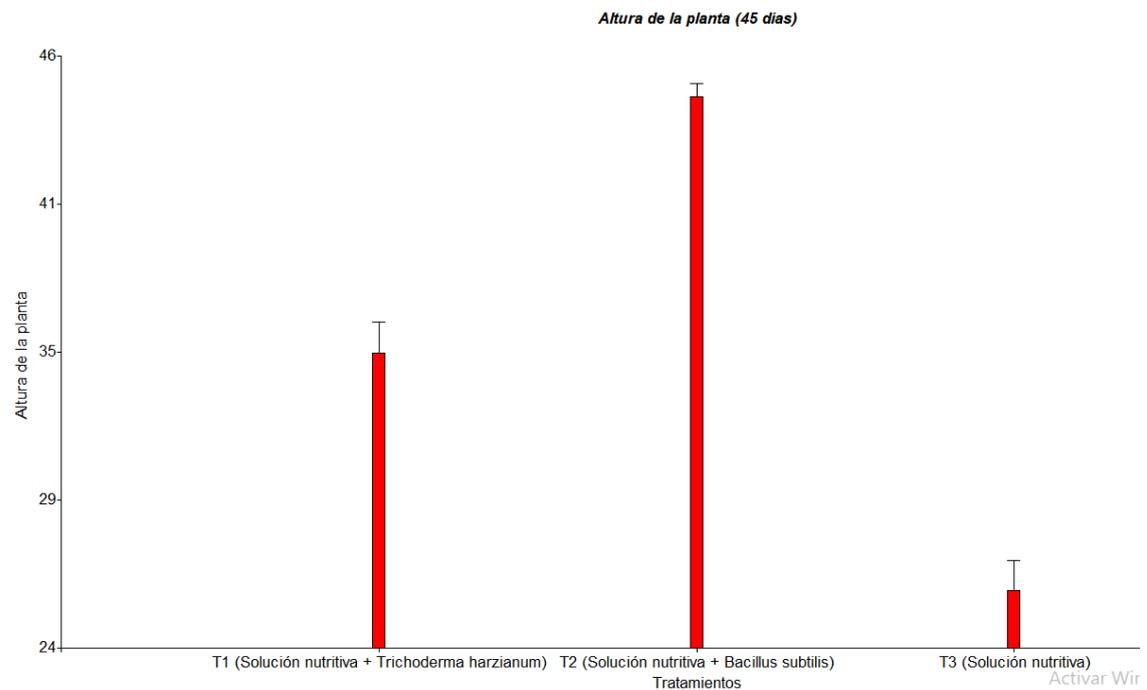


Figura 9. Altura de la planta 45 días
Mora, 2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hojas 15 días	24	0,24	0,17	24,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,00	2	1,50	3,32	0,0560
Tratamientos	3,00	2	1,50	3,32	0,0560
Error	9,50	21	0,45		
Total	12,50	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,84766

Error: 0,4524 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T1 (Solución nutritiva + T..)	2,50	8	0,24 A
T3 (Solución nutritiva)	2,50	8	0,24 A
T2 (Solución nutritiva + B..)	3,25	8	0,24 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

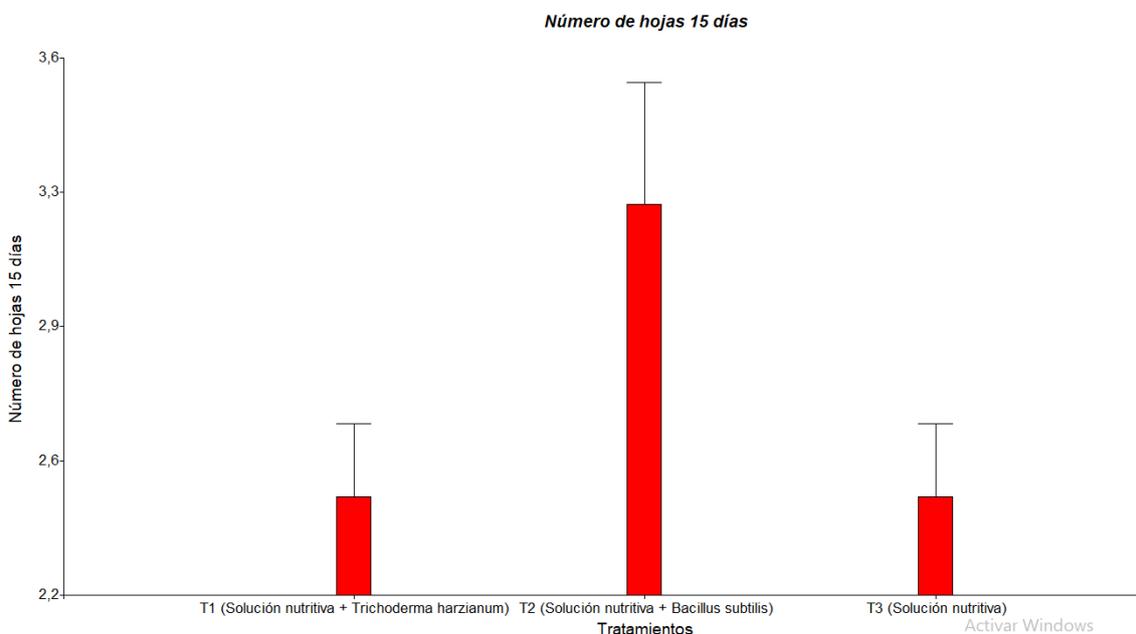


Figura 10. Número de hojas 15 días
Mora ,2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hojas 30 días	24	0,84	0,83	10,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37,00	2	18,50	55,50	<0,0001
Tratamientos	37,00	2	18,50	55,50	<0,0001
Error	7,00	21	0,33		
Total	44,00	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,72763

Error: 0,3333 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3 (Solución nutritiva)	4,50	8	0,20 A
T1 (Solución nutritiva + T..)	4,75	8	0,20 A
T2 (Solución nutritiva + B..)	7,25	8	0,20 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

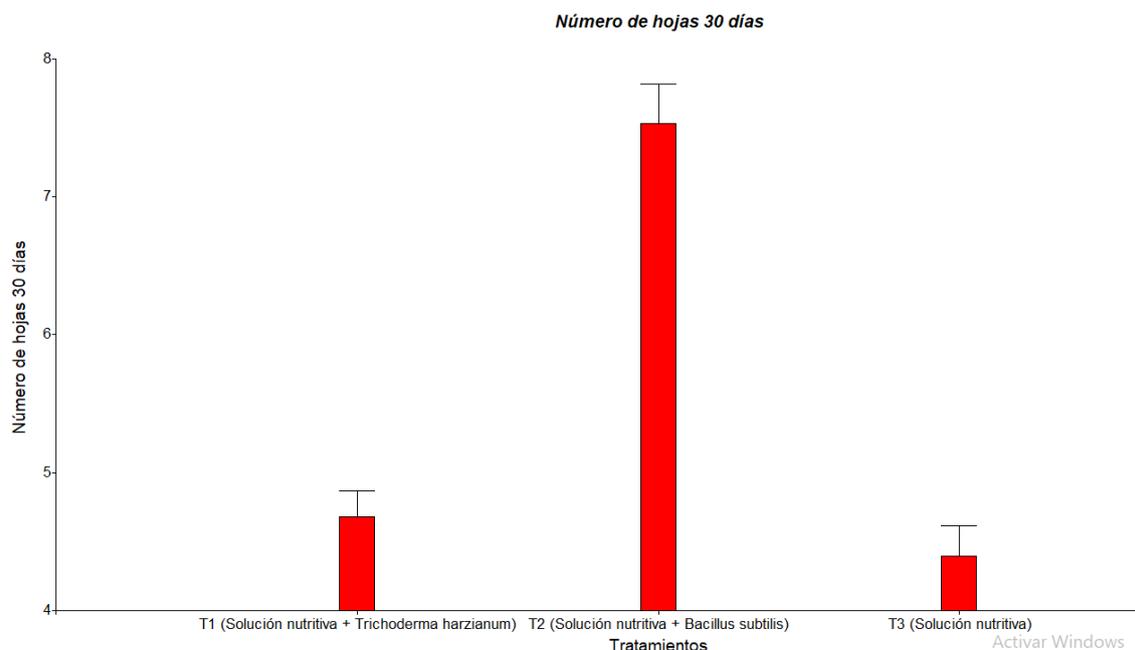


Figura 11. Número de hojas 30 días
Mora ,2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de hojas 45 días	24	0,62	0,58	16,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	93,00	2	46,50	16,95	<0,0001
Tratamientos	93,00	2	46,50	16,95	<0,0001
Error	57,63	21	2,74		
Total	150,63	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,08768

Error: 2,7440 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3 (Solución nutritiva)	8,13	8	0,59 A
T1 (Solución nutritiva + T..)	8,88	8	0,59 A
T2 (Solución nutritiva + B..)	12,63	8	0,59 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

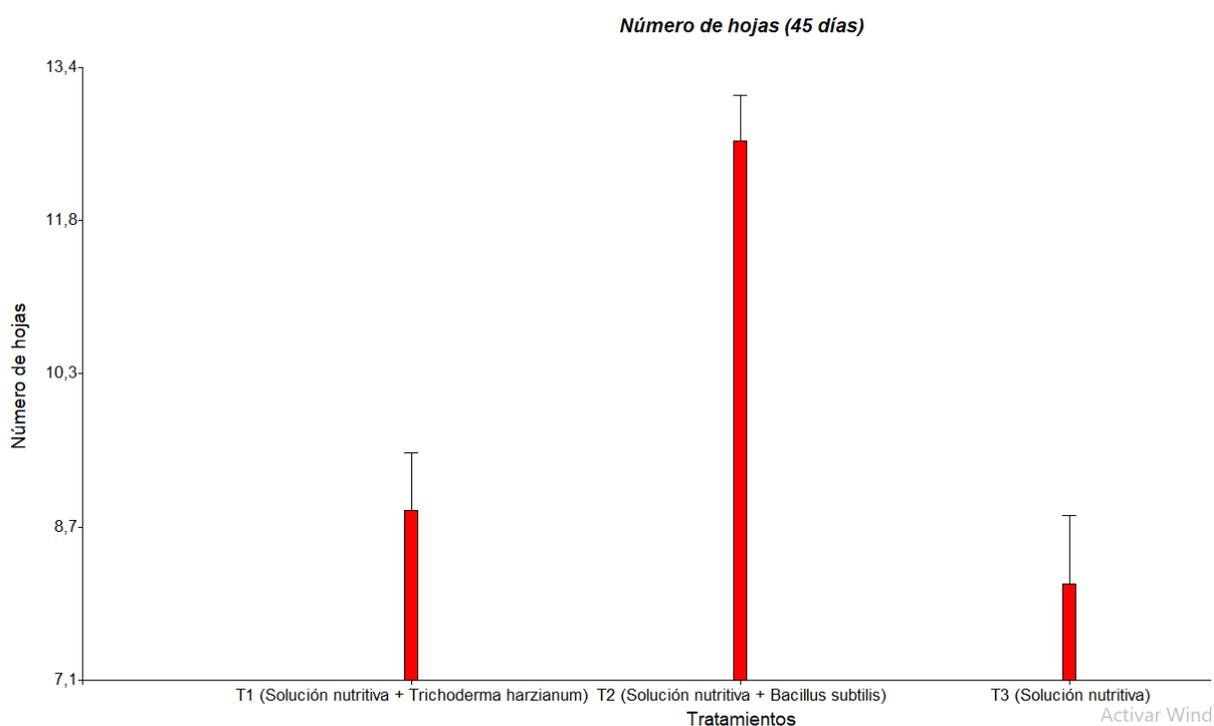


Figura 12. Número de hojas 45 días
Mora, 2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fresco aéreo	24	0,95	0,95	10,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5524,30	2	2762,15	201,16	<0,0001
Tratamientos	5524,30	2	2762,15	201,16	<0,0001
Error	288,35	21	13,73		
Total	5812,65	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,67004

Error: 13,7311 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3 (Solución nutritiva)	16,46	8	1,31	A
T1 (Solución nutritiva + T..)	37,47	8	1,31	B
T2 (Solución nutritiva + B..)	53,51	8	1,31	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso fresco aéreo (45 días)

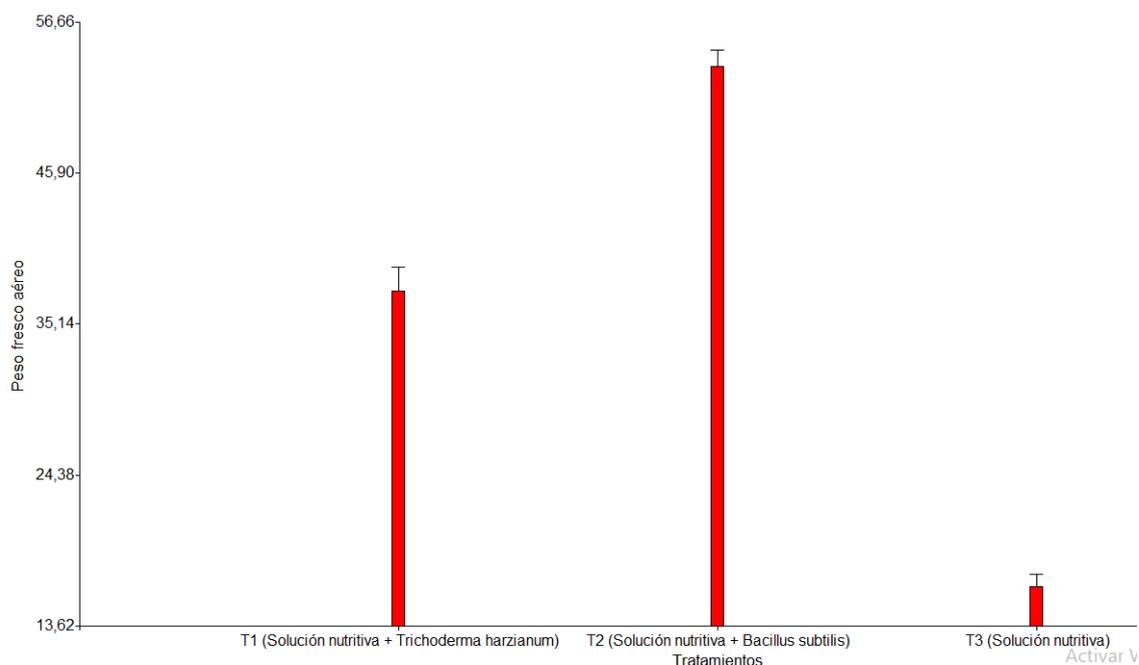


Figura 13. Peso fresco aéreo
Mora, 2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fresco de raíz	24	0,86	0,85	16,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1129,12	2	564,56	66,45	<0,0001
Tratamientos	1129,12	2	564,56	66,45	<0,0001
Error	178,41	21	8,50		
Total	1307,53	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,67340

Error: 8,4957 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3 (Solución nutritiva)	8,13	8	1,03	A
T1 (Solución nutritiva + T..)	19,86	8	1,03	B
T2 (Solución nutritiva + B..)	24,41	8	1,03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso fresco de raíz (45 días)

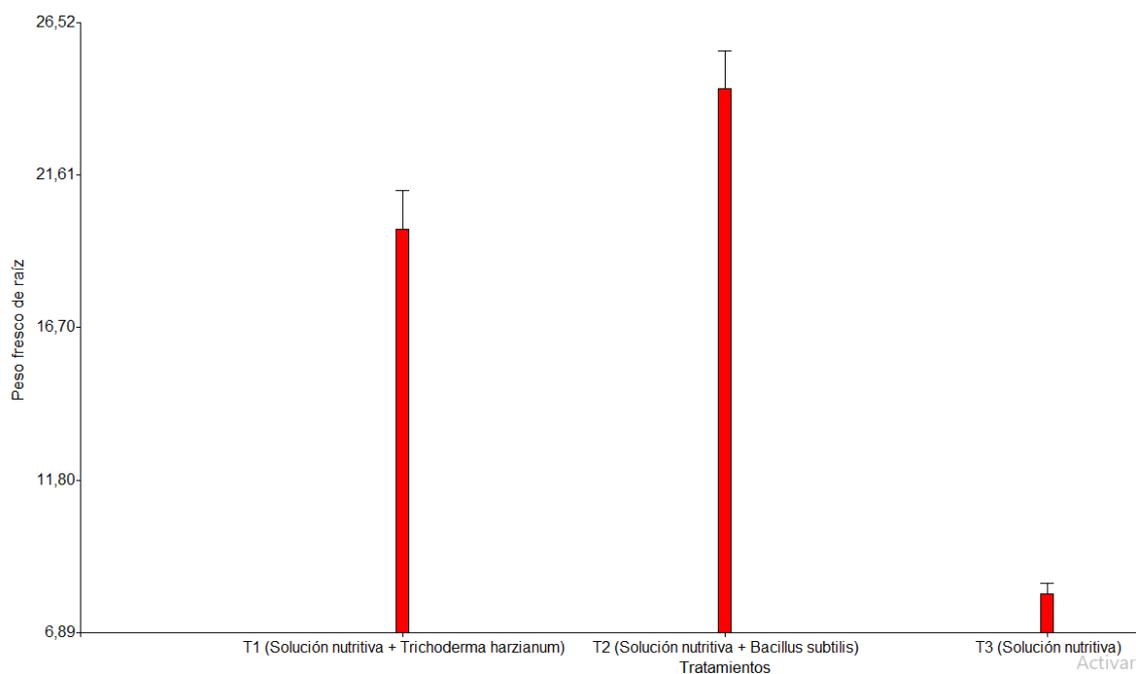


Figura 14. Peso fresco de raíz
Mora, 2023

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	24	0,98	0,97	6,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	610425,00	2	305212,50	438,37	<0,0001
Tratamientos	610425,00	2	305212,50	438,37	<0,0001
Error	14621,00	21	696,24		
Total	625046,00	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=33,25429

Error: 696,2380 gl: 21

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T3 (Solución nutritiva)	181,25	8	9,33	A
T1 (Solución nutritiva + T..)	425,00	8	9,33	B
T2 (Solución nutritiva + B..)	567,50	8	9,33	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

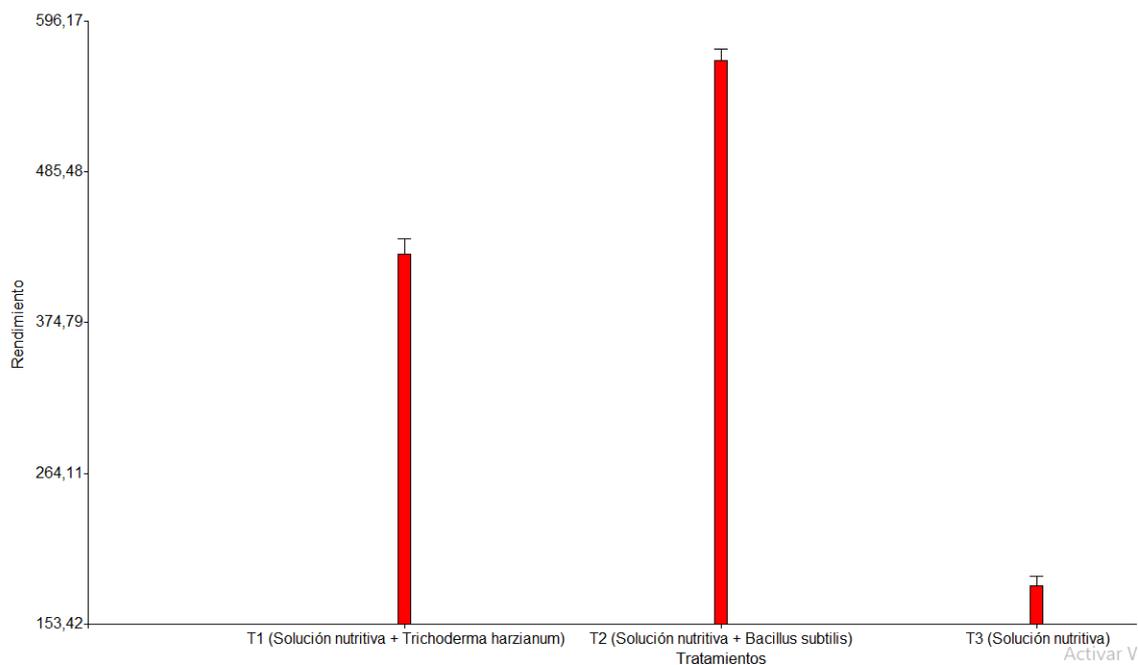


Figura 15. Rendimiento
Mora, 2023



Figura 16. Preparación de plántulas de *Lactuca sativa* L. para trasplante en sistema hidropónico

Mora, 2023



Figura 17. Colocación de plántulas en canastillas para sistema hidropónico
Mora, 2023



Figura 18. Implementación de plántulas de *Lactuca sativa* L. en sistema hidropónico
Mora, 2023



Figura 19. Medición de Ph en solución nutritiva
Mora, 2023



Figura 20. Medición de altura de la planta
Mora, 2023



Figura 21. Conteo de numero de hojas de la planta
Mora, 2023



Figura 22. Visita del tutor de tesis
Mora, 2023