



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL  
RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VARIEDAD CRESPA,  
EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE.”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniera Agrónoma

**Autora:**

Quevedo Montaluisa Karina Elizabeth

**Tutor:**

Yauli Chicaiza Guido Euclides

**LATACUNGA – ECUADOR Febrero 2025**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quevedo Montaluisa Karina Elizabeth, con cédula de ciudadanía No.0504451873, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: **“EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VARIEDAD CRESPA, EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE.”** siendo el Ingeniero Mg. Guido Euclides Yauli Chicaiza, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 18 de febrero del 2025



Karina Elizabeth Quevedo Montaluisa

CC: 0504451873

**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **QUEVEDO MONTALUISA KARINA ELIZABETH**, identificada con cédula de ciudadanía **0504451873** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VARIEDAD CRESPA, EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE.”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Marzo 2019 - Agosto 2019

Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VARIEDAD CRESPA, EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE.”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 18 días del mes de febrero del 2025.

Karina Elizabeth Quevedo Montaluisa

**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad del Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“EVALUACION DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (LACTUCA SATIVA L.) VARIEDAD CRESPA, EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE”**, de Quevedo Montaluisa Karina Elizabeth, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 18 de febrero del 2025



Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, Mg.  
C.C: 0501604409  
**DOCENTE TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Karina Elizabeth Quevedo Montaluisa, con el título de Proyecto de Investigación, “**EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VARIEDAD CRESPA, EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE.**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 18 de febrero de 2025

  
Ing. Mercy Lucila Ilbay Yupa, Ph.D.  
C.C: 0604147900

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

  
Ing. Jorge Fabián Troya Sarzosa, Ph.D.  
C.C: 0501645568

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

  
Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuite, Mg.  
CC: 0502409725

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero y, antes que nada, gracias a Dios, por estar junto a mí en cada paso, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestras mentes y por haber puesto en el camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante mis estudios.*

*Quisiera comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, cuya experiencia, paciencia y apoyo fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Su confianza en mí me impulsó a seguir adelante y superar los desafíos.*

*Agradezco a mi hijo por ser el mejor regalo que haya podido recibir de parte de Dios. Eres mi mayor tesoro y también la fuente más pura de mi inspiración; por eso quiero agradecerte cada momento de felicidad con el que colmas mi vida. Te doy las gracias, hijo mío, por darle sentido a mi vida y permitirme ser cada día mejor madre junto a ti.*

*Eres el mayor tesoro de mi vida y mi fuente de motivación. Gracias a ti he podido cumplir con todas mis obligaciones académicas necesarias, pues de otra manera esta tesis no hubiera culminado con el mismo éxito.*

*A mi amado esposo, quiero agradecerte por ser mi compañero de vida y mi mayor apoyo durante mi tiempo en la universidad. Tu paciencia, comprensión y palabras de aliento han sido una fuente constante de motivación. Estoy eternamente agradecida por tenerte a mi lado y celebrar conmigo este logro tan importante.*

*A mi familia, especialmente a mis padres, les agradezco profundamente su amor incondicional y su apoyo constante. Su fe en mí ha sido el motor que me permitió completar este camino. A mi hermano, por sus palabras de aliento, y a mis abuelitos, por su presencia y cariño, gracias por ser mi pilar en los momentos difíciles. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.*

**Karina Elizabeth Quevedo Montaluisa**

## **DEDICATORIA**

*Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.*

*A ti mi DIOS que me diste la oportunidad de vivir y de bendecirme con una familia maravillosa.*

*Con mucho amor principalmente a mi hijo Alejandro Guamangate, él es mi razón de mi vida el tesoro más grande que Dios me regaló y el motivo de mí existir y a mi otro Bebe que está apunto de venir quiero que sepan que por ustedes nunca voy a rendir y trabajare duro y seré su ejemplo para que nunca se rindan, son mi gran bendición.*

*A mis padres Rocio Montaluisa y Xavier Quevedo que se sacrificaron en post de mi bienestar, guiaron mis pasos con mucho amor, me enseñaron a continuar luchando para vencer los obstáculos, sin perder la esperanza de conseguir las metas propuestas, a pesar de los tropiezos y dificultades que se han presentado en el difícil sendero de mi vida y a mi hermanito Andrés Quevedo él es mi compañero de alegría y motivación, mi mejor amigo que me ha brindado su compañía y su apoyo para nunca rendirme.*

*A mis abuelitos queridos Ramiro Montaluisa y Adelaida Cana mis segundos padres que siempre me apoyaron y me guiaron para seguir adelante, gracias a ellos y a sus consejos tengo presente que siempre debo ser una mujer y madre trabajadora y que nunca me tengo que rendir y que siempre debe cumplir mis metas.*

*A mi querido Joel Guamangate, hoy cierro un capítulo importante de mi vida, pero abro un nuevo camino lleno de posibilidades y aprendizajes. Y tú has sido parte fundamental de este proceso, con tu amor, con tu paciencia y con tu inagotable apoyo.*

*Gracias por haberme acompañado en este largo camino, por creer en mí cuando yo misma dudaba, y por alentarme a seguir adelante en los momentos más difíciles. Este logro es también tuyo, porque tú me has inspirado, motivado y ayudado a crecer como persona y como profesional.*

***Karina Elizabeth Quevedo Montaluisa***

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VARIEDAD CRESPA, EN SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE.”

**Autor:**

Quevedo Montaluisa Karina Elizabeth

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema hidropónico de raíz flotante, comparando el efecto de dos soluciones nutritivas, FAO y La Molina, en el crecimiento, desarrollo y rentabilidad económica del cultivo. Este estudio surge en respuesta a la necesidad de implementar sistemas agrícolas sostenibles que optimicen el uso del agua y los nutrientes, permitiendo una mayor eficiencia productiva en espacios reducidos. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con dos tratamientos y tres repeticiones, donde cada unidad experimental consistió en una parcela de 1 m<sup>2</sup> con 27 plantas, evaluando 14 plantas por parcela neta. Las variables analizadas fueron altura de la planta, longitud de raíz, número de hojas, rendimiento (Tn/ha) y relación beneficio/costo (B/C). Para el análisis estadístico, se aplicaron la prueba de KolmogorovSmirnov para evaluar la normalidad de los datos, ANOVA para las variables con distribución normal y Kruskal-Wallis para aquellas sin normalidad, complementadas con la prueba Tukey al 5% para la comparación de medias. Los resultados evidenciaron que la solución La Molina presentó valores superiores en todas las variables evaluadas. A los 45 días después del trasplante (DDT), la altura promedio de las plantas tratadas con La Molina fue de 24.64 cm, la longitud de raíz alcanzó 35.54 cm y el rendimiento fue de 42.93 Tn/ha, superando significativamente a las plantas tratadas con la solución FAO (22.60 cm, 33.04 cm y 37.39 Tn/ha, respectivamente). El análisis económico reflejó una relación beneficio/costo más favorable para La Molina (1.76) en comparación con FAO (1.50), lo que la convierte en una opción más rentable. Se concluye que la solución nutritiva La Molina es más eficiente tanto agronómica como económicamente, favoreciendo el desarrollo del cultivo y mejorando la rentabilidad de la producción hidropónica de lechuga.

**Palabras clave:** Hidroponía, soluciones nutritivas, producción de lechuga, raíz flotante, análisis económico, sostenibilidad agrícola.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

### **THEME: EVALUATION OF TWO NUTRITIONAL SOLUTIONS ON THE YIELD OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) CRESPA VARIETY, IN A FLOATING ROOT HYDROPONIC SYSTEM.”**

**Author:** Karina Elizabeth Quevedo  
Montaluisa

#### **ABSTRACT**

The present research was carried out to evaluate the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a floating root hydroponic system, comparing the effect of two nutrient solutions, FAO and La Molina, on the growth, development, and economic profitability of the crop. This study arose in response to the need to implement sustainable agricultural systems that optimize the use of water and nutrients, allowing greater productive efficiency in reduced spaces. A Completely Randomized Design (CRD) with two treatments and three replications was used, where each experimental unit consisted of a 1 m<sup>2</sup> plot with 27 plants, evaluating 14 plants per net plot. The variables analyzed were plant height, root length, number of leaves, yield (Tn/ha), and benefit/cost ratio (B/C). For statistical analysis, the Kolmogorov-Smirnov test was applied to evaluate the normality of the data, ANOVA for variables with normal distribution and KruskalWallis for those without normality, complemented with the Tukey test at 5% for the comparison of means. The results showed that the La Molina solution presented superior values in all the variables evaluated. At 45 days after transplanting (DDT), the average height of plants treated with La Molina solution was 24.64 cm, root length reached 35.54 cm and yield was 42.93 Tn/ha, significantly higher than plants treated with FAO solution (22.60 cm, 33.04 cm, and 37.39 Tn/ha, respectively). The economic analysis showed a more favorable benefit/cost ratio for La Molina (1.76) compared to FAO (1.50), making it a more profitable option. It is concluded that the La Molina nutrient solution is more agronomically and economically efficient, favoring crop development and improving the profitability of hydroponic lettuce production.

**Keywords:** Hydroponics, Nutrient solutions, Lettuce production, Floating root, Economic analysis, Agricultural sustainability.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	2
3.1 Beneficiarios Directos.....	2
3.2 Beneficiarios Indirectos .....	2
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
5. OBJETIVOS.....	3
5.1 Objetivo General .....	3
5.2 Objetivos Específicos .....	3
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREA EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	3
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	4
7.1 Hidroponía .....	4
7.2 Técnicas hidropónicas.....	7
7.3 Sustratos hidropónicos.....	8
7.4 Cultivo de Lechuga.....	9
7.4.1 Descripción morfológica de la lechuga.....	10
7.4.1.1 Tallo .....	10
7.4.1.2 Raíz .....	10
7.4.1.3 Hojas .....	10
7.4.1.4 Flores.....	11
7.4.1.5 Semillas .....	11
7.4.2 Lactuca sativa L. var. Crespa.....	11
7.4.3 Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga .....	11
7.5 Soluciones nutritivas.....	13
7.5.1 Solución hidropónica la Molina .....	13

7.5.2 Solución hidropónica de la FAO .....	14
(Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 84).....	15
7.6 CONTROL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA .....	15
7.7 LA HIDROPONÍA EN EL ECUADOR .....	16
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS .....	17
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	17
9.1 Ubicación.....	17
9.1 Materiales .....	18
9.1.1 Material biológico .....	18
9.1.2 Material en campo.....	18
9.1.3 Programas informáticos .....	18
9.1.4 Equipos.....	18
9.2 Análisis Estadístico.....	18
9.2.1 Unidad Experimental.....	18
9.2.2 Diseño Experimental .....	19
9.2.3 9.4.3 Esquema del análisis de Varianza .....	20
9.2.4 Prueba de medias .....	21
9.3 METODOLOGIA DE EVALUACION Y DATOS REGISTRADOS .....	21
9.3.1 Altura de planta (cm).....	21
9.3.2 Longitud de la raíz (cm) .....	21
9.3.3 Número de hojas por planta .....	21
9.3.4 Rendimiento (Tn/ha) .....	21
9.3.5 Relación beneficio costo.....	21
9.3.6 Labores culturales .....	22
9.3.6.1 Transplante .....	22
9.3.6.2 Aplicación de la solución nutritiva .....	22
9.3.6.3 Control de plagas y enfermedades .....	22
9.3.6.4 Control pH y conductividad eléctrica .....	22
10. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....	23
10.1 Prueba de Normalidad de los Datos .....	23
10.2 Altura de planta .....	25
10.3 Longitud de raíz.....	27
10.4 Variable Número de Hojas .....	29
10.5 Rendimiento .....	31
10.6 Relación beneficio – Costo.....	33

11. IMPACTOS .....	35
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	36
12.1 Conclusiones .....	36
12.2 Recomendaciones .....	36
13. BIBLIOGRAFÍA.....	37

14. ANEXOS .....	40
------------------	----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados. ....	4
Tabla 2 Sustratos usados en cultivos hidropónicos .....	9
Tabla 3 Clasificación taxonómica del cultivo de lechuga .....	9
Tabla 4 Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga .....	11
Tabla 5 Ubicación del sitio experimental .....	17
Tabla 6 Análisis de Varianza .....	21
Tabla 7 Prueba de normalidad de los resultados de variables obtenidas .....	25
Tabla 8 Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta en diferentes intervalos de tiempo. ....	26
Tabla 9 Altura promedio de plantas (cm) en diferentes intervalos de tiempo según las soluciones nutritivas. ....	27
Tabla 10 Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable Longitud de raíz.....	28
Tabla 11 Prueba de Tukey para la variable Longitud de raíz .....	28
Tabla 12 ANOVA no paramétrico Kruskal-Wallis, p-valor, para la variable Número de hojas. ....	29
Tabla 13 Prueba comparaciones de a pares entre las medias de los estratos, para la variable Número de Hojas. ....	30
Tabla 14 Resultados del ANOVA para el rendimiento (kg/m <sup>2</sup> ) a los 45 DDT. ....	31
Tabla 15 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para el rendimiento (kg/m <sup>2</sup> ) a los 45 DDT .....	32
Tabla 16 Costos de producción por tratamiento .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Solución hidropónica la Molina .....	14
Figura 2 Ubicación geográfica de la investigación .....	17
Figura 3. Croquis del Experimento, Diseño Completamente al Azar (DCA) .....	20
Figura 4 Resumen de metodología .....	23



## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del proyecto:**

Evaluación de dos soluciones nutritivas en el rendimiento de lechuga (lactuca sativa l.) Variedad crespa, en sistema hidropónico de raíz flotante.” **Fecha de inicio:**

Marzo 2019

**Fecha de finalización:**

Febrero 2025

**Lugar de ejecución:**

Pichincha, Quito, parroquia Calderón, barrio Llano Grande

**Facultad que auspicia:** Ingeniería

en Agronomía

**Equipo de trabajo:**

**Tutor:** Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, Mg.

**Lector 1:** Mercy Lucila Ilbay Yupa, Ph.D.

**Lector 2:** Jorge Fabián Troya Sarzosa, Ph.D.

**Lector 3:** Wilman Paolo Chasi Vizuite, Mg.

**Coordinador del Proyecto:**

**Nombre:** Quevedo Montaluisa Karina Elizabeth

**Teléfono:** 0958646298

**Correo electrónico:** karina.quevedo1873@utc.edu.ec

**Área de conocimiento:**

Agricultura, Horticultura

**Línea de investigación:** Desarrollo y Seguimiento Alimentario

**Línea de vinculación de la carrera:** Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano social.

## **2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La siguiente investigación se enfoca en la producción hidropónica pues genera gran preocupación el crecimiento poblacional que según las Naciones Unidas para el año 2050 estima una población mundial de 9700 millones de personas, que es tres veces mayor que a mediados del siglo XX y por ende habrá una mayor reducción de tierras agrícolas por varios factores como el uso desmedido de agroquímicos, reducción de suelos fértiles, abandono de los campos y el uso de suelos. Como la tecnología a nivel agrícola también avanza para mejorar la productividad y la sostenibilidad a través de métodos de mejoramiento genético, que incluyen técnicas de alto impacto en el rendimiento y la calidad de los productos, agricultura de precisión, y avances en sistemas de riego y nutrición, entre otros. Los cultivos protegidos sin suelo están alineados con este objetivo, permitiendo obtener altos rendimientos en menos espacio y a lo largo de todo el año. Dentro de estos, la hidroponía con recirculación (un sistema cerrado) destaca por su alta eficiencia técnica, económica y ambiental, debido a su notable ahorro de agua y fertilizantes, así como a la reducción mínima de desechos de soluciones nutrientes al entorno (Urrestarazu,2015).

Ángel Sandoval, subsecretario de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, manifestó que actualmente existen más de 2 millones seiscientas mil hectáreas de suelos degradados en el Ecuador (CONDESAN, 2024). La hidroponía presenta una opción innovadora, ya que permite utilizar terrenos no productivos, ofreciendo la posibilidad de aumentar el número de cosechas anuales, pudiendo incluso duplicarse o triplicarse. Esto resulta especialmente relevante ante la escasez de tierras disponibles para cultivar de manera más efectiva, convirtiéndose así en una excelente alternativa (Cárdenas et al., 2004).

## **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

### **3.1 Beneficiarios Directos**

Como beneficiarios directos en la investigación tenemos a 435 estudiantes de la carrera de Agronomía de la UTC que se puedan interesar en el tema y así tengan más fuentes de investigación.

### **3.2 Beneficiarios Indirectos**

Como beneficiarios indirectos en la investigación consideramos a los agricultores principalmente ya que se detalla otra manera de producción.

#### 4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La agricultura tradicional convencional se caracteriza por el uso de maquinaria, semillas mejoradas y de un sin fin de productos fertilizantes para el control de plagas, su principal objetivo es cumplir la demanda de alimentos para el consumidor (Agricultura ecológica vs agricultura tradicional, 2018). La agricultura moderna se caracteriza por la tecnología que ahora tenemos para ser mucho más eficiente y productiva tanto en cantidad como calidad, tenemos al cultivo hidropónico de raíz flotante que es una técnica de producción mucho más eficiente. Mediante esta tecnología es posible cultivar una amplia variedad de productos en espacios reducidos, maximizando la eficiencia en el uso del agua a través de un sistema de recirculación continua. Este proceso se lleva a cabo mediante un sistema de bombeo, en el cual la fertilización se ajusta dinámicamente con base en la información proporcionada por instrumentos de monitoreo que registran parámetros clave como el pH, la conductividad eléctrica y la humedad. Esta medida de adaptación al cambio climático, atiende la necesidad de optimizar el uso del agua y la conservación del suelo (Jiffy Group, 2024). La solución nutritiva es el factor importante para el crecimiento del cultivo, existen varias diversas formulaciones de soluciones, pero no se ha determinado cual es la más eficiente para algunos cultivos y condiciones ambientales.

#### 5. OBJETIVOS

##### 5.1 Objetivo General

Evaluar la producción del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema de raíz flotante bajo el efecto de dos soluciones nutritivas.

##### 5.2 Objetivos Específicos

- Identificar la mejor solución nutritiva hidropónica para la producción de lechuga ●
- Realizar análisis económico de los tratamientos evaluados.

#### 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREA EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

**Tabla 1.**

*Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados.*

<b>OBJETIVO</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>RESULTADOS</b>
Identificar la mejor solución nutritiva hidropónica para la producción de lechuga.	Realización de cajas de 1x1, aplicación de dos soluciones de la FAO y la Molina (de las dos soluciones se colocan 5 ml x litro), toma de datos de las variables planteadas en 15, 30 y 45 días.	Para evaluar la normalidad de datos se utiliza la prueba Kolmogorov-Smirnov. En caso de no tener normalidad se opta por la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis Análisis de datos mediante ANOVA.	Cuantificación de altura de planta, longitud de raíz, número de hojas a los 15, 30 y 45 días. A los 45 días se cuantifica el rendimiento.
Realizar análisis económico de los tratamientos evaluados	Consideración costos directos, insumos, mano de obra, beneficios del rendimiento del cultivo.	Análisis beneficio costo (B/C)	Un índice B/C superior a 1 indica que los beneficios superan a los costos.

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1 Hidroponía**

La palabra hidroponía deriva del griego hydro “agua” y ponos “labor o trabajo” que significa trabajar en el agua. La hidroponía no es una técnica moderna más bien es ancestral ya que los Aztecas cultivaban maíz en barcos o barcazas con entramado de pajas, también los Jardines Colgantes de Babilonia su nutrición era a base del agua que fluía en sus canales. Esta técnica también existía en la antigua China, India y Egipto (Barbado, J.,2005).

Esta técnica se define como la ciencia que permite el cultivo de plantas sin la necesidad de utilizar suelo, empleando en su lugar un medio inerte como arena gruesa, turba, vermiculita, aserrín o agua. A este sustrato se le incorpora una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales para el desarrollo óptimo de la planta. La sustitución del suelo por un medio estéril contribuye a la reducción de plagas y enfermedades asociadas al sustrato tradicional, lo que favorece la obtención de un producto más limpio y de mejor calidad (Barbado, J.,2005).

Para la producción hidropónica se deben tomar en cuenta los siguientes factores: luminosidad, potencia de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, distancia de siembra, vida útil de solución

nutritiva y oxigenación de la solución nutritiva, el manejo adecuado de estos factores garantiza el éxito en la producción (Barbado, J.,2005).

Esta técnica de cultivo se adapta tanto a entornos urbanos como rurales. En áreas urbanas, es común su implementación en jardines verticales y fachadas de edificios, no solo con fines productivos sino también decorativos. Por ejemplo, los jardines verticales hidropónicos permiten optimizar el espacio disponible y embellecer las construcciones urbanas. Asimismo, se han diseñado sistemas hidropónicos adaptados para su implementación en viviendas y jardines urbanos, permitiendo el cultivo de diversas especies en espacios reducidos. No obstante, su aplicación no se restringe únicamente a entornos urbanos, ya que también se emplea en zonas rurales y terrenos agrícolas, donde constituye una alternativa productiva en suelos de baja fertilidad o en regiones con disponibilidad limitada de agua (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

De acuerdo con Saavedra et al. (2024), diversas hortalizas pueden ser cultivadas de manera eficiente mediante hidroponía, entre ellas la acelga, espinaca, alcachofa, ajo, berenjena, cebolla, pepino, tomate y zanahoria. Estas especies son utilizadas principalmente en la industria alimentaria por su elevado contenido de vitaminas, minerales, fibras y otros compuestos esenciales que contribuyen a la nutrición humana. Características de las verduras hidropónicas (Saavedra et al. 2024)

- ✓ En los sistemas hidropónicos, las plantas desarrollan raíces delgadas y de tonalidad blanco lechoso, cuya función principal es facilitar la absorción de agua y nutrientes, garantizando un crecimiento óptimo en ausencia de suelo.
- ✓ Las hortalizas cultivadas en sistemas hidropónicos se consideran una alternativa más saludable, ya que su producción no requiere el uso de fertilizantes sintéticos ni pesticidas químicos, lo que reduce la presencia de residuos potencialmente dañinos.
- ✓ El ciclo de crecimiento se acorta en comparación a la producción en suelo y el rendimiento es mayor por superficie de terreno.
- Las condiciones controladas dentro de los invernaderos permiten optimizar los factores ambientales esenciales para el crecimiento de los vegetales, garantizando un suministro adecuado y oportuno de nutrientes. Esto favorece la fotosíntesis y la síntesis de compuestos esenciales para el desarrollo de la planta, lo que, a su vez, contribuye a mejorar la calidad y el sabor de los productos obtenidos en comparación con aquellos cultivados en suelo.

El estudio de Saavedra et al. (2024) sugiere que las plantas cultivadas mediante hidroponía podrían presentar beneficios adicionales en términos de salud y seguridad alimentaria. En particular, se ha observado que las plantas medicinales desarrolladas en estos sistemas contienen concentraciones elevadas de flavonoides, compuestos con propiedades antioxidantes. Diversas investigaciones han evidenciado que la albahaca cultivada en sistemas hidropónicos presenta un perfil nutricional superior en comparación con la producida mediante métodos convencionales. En el análisis de la actividad antioxidante de sus extractos acuosos y lipídicos, se observó un mayor contenido de vitamina C, vitamina E, fenoles, ácido rosmarínico y ácido lipoico, lo que sugiere una mayor capacidad antioxidante de la planta.

Asimismo, otro estudio evaluó la calidad de frijoles rojos y lechuga de hoja de roble rojo cultivados en hidroponía. Tras el almacenamiento, la lechuga cortada mostró un aumento en la concentración de vitamina C y, al finalizar su vida útil, presentó una menor proliferación de lactobacilos y coliformes. Estos resultados indican que los sistemas de producción sin suelo pueden generar alimentos de mayor calidad y con un menor riesgo microbiológico, consolidándolos como una alternativa más segura para el consumo humano (Saavedra et al., 2024).

Los sistemas hidropónicos hortícolas ofrecen diversas ventajas, entre las cuales se destaca su contribución a la seguridad alimentaria de las familias campesinas. Además, permiten la producción de alimentos saludables y competitivos en mercados con altos estándares de calidad. Estos sistemas favorecen la conservación y el uso eficiente de los recursos naturales, optimizando el consumo de fertilizantes, agua y pesticidas. Asimismo, su implementación puede fortalecer la autoestima de los pequeños productores al impulsar la organización comunitaria y la gestión de microempresas, promoviendo así el desarrollo personal y contribuyendo a la reducción de la pobreza (Aguilera, s.f.).

La agricultura tradicional está influenciada por diversos factores que afectan el medio ambiente y generan impactos a nivel social, económico y ecológico. En algunas regiones, estas limitaciones restringen la producción agrícola a una sola cosecha por año. Frente a este desafío, la hidroponía se ha consolidado como una alternativa eficiente para la producción de alimentos, especialmente en zonas donde el acceso a tierras fértiles es limitado, pero se dispone de fuentes hídricas suficientes para el desarrollo de los cultivos (Saavedra et al., 2010).

## 7.2 Técnicas hidropónicas

En la actualidad, se emplean diversas técnicas hidropónicas ampliamente utilizadas en la producción de una variedad de cultivos agrícolas, entre las cuales se destacan:

**1. Cultivo en Sustrato:** Este sistema permite el cultivo de diversas hortalizas mediante el uso de sustratos inertes, los cuales no aportan nutrientes de forma directa, pero favorecen una adecuada oxigenación y retención de humedad, condiciones esenciales para el desarrollo radicular de las plantas. Dentro de los materiales más empleados destacan la perlita, roca fosfórica, arena, aserrín, tezontle, grava y vermiculita, ya que promueven un crecimiento óptimo de las raíces y facilitan la absorción eficiente de los nutrientes presentes en la solución nutritiva (García, 2007).

**2. Raíz flotante:** Este sistema de cultivo se basa en la flotación de las raíces de las plantas sobre una solución nutritiva concentrada disuelta en agua, la cual es sostenida mediante materiales como espuma Flex o láminas de termopor. Su implementación permite optimizar el espacio disponible y acelerar el crecimiento de los cultivos. No obstante, para garantizar su eficiencia, es fundamental monitorear y regular parámetros clave como el pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva (García, 2007).

**3. Sistema NGS:** Esta tecnología, originaria de Europa, se basa en la oxigenación constante de las raíces y en la recirculación de la solución nutritiva, lo que favorece un crecimiento óptimo de las plantas al mejorar la absorción de nutrientes y optimizar su desarrollo. Su aplicación permite el cultivo de diversas especies, incluyendo hierbas aromáticas, tomate cherry, lechugas, acelgas, perejil, geranios y plantas ornamentales, entre otras (Cajo, 2016).

**4 Sistema NFT (Nutrient Film Technique):** Este método de cultivo se caracteriza por el desarrollo de las plantas sobre una fina película de agua en constante movimiento, la cual es enriquecida con una solución nutritiva. Este flujo continuo de nutrientes permite una absorción eficiente, favoreciendo un crecimiento óptimo de las plantas y reduciendo el desperdicio de agua y fertilizantes. La recirculación del agua se lleva a cabo mediante una bomba sumergible, que distribuye el flujo de manera uniforme a lo largo de tubos de PVC. Es fundamental mantener un flujo constante, especialmente en condiciones de alta temperatura, para evitar la deshidratación de las plantas y sus raíces (Cajo, 2016).

### 7.3 Sustratos hidropónicos

En diversas regiones del mundo, se dispone de una amplia variedad de materiales accesibles y abundantes que pueden emplearse como sustratos en sistemas hidropónicos. Sin embargo, su selección debe basarse en características específicas que aseguren su eficacia en el cultivo. Entre los aspectos fundamentales a considerar, se encuentra la capacidad del sustrato para retener la humedad de manera adecuada, permitiendo al mismo tiempo el drenaje del exceso de agua ocasionado por lluvias o riegos excesivos, es esencial que el material posea una alta resistencia a la degradación y no contenga elementos nutritivos que puedan modificar la composición de la solución nutritiva utilizada en el sistema. Además, debe estar libre de contaminantes de origen industrial o biológico y presentar propiedades que faciliten su manipulación y transporte, como un peso ligero y una estructura manejable (Aguilera, s.f.).

Entre los sustratos más utilizados en sistemas semi-hidropónicos, tanto en ambientes abiertos como en invernaderos, destacan el humus de lombriz y la fibra de coco. Estos materiales han demostrado ser eficaces en la provisión de nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos, al tiempo que contribuyen a reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, promoviendo una producción agrícola más sostenible (Valenzuela, 2014).

Diversos estudios han evaluado la funcionalidad de distintos sustratos en sistemas hidropónicos implementados en múltiples países, así como en fincas productoras en Ecuador. La selección de estos materiales se ha realizado en función de su origen y su capacidad para cumplir con las exigencias del cultivo, garantizando así un rendimiento óptimo y sostenible en la producción agrícola (Monje et al., 2022).

*Sustratos usados en cultivos hidropónicos*

Sustratos de origen orgánico	Sustratos de origen inorgánico.	Sustratos líquidos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cascarilla de arroz</li> <li>• Estopa de coco</li> <li>• Aserrín o viruta preferible de maderas amarillas.</li> <li>• Cascarilla de cacao o de café.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de pomina (piedra pómez)</li> <li>• Escorias de carbón mineral quemado</li> <li>• Arena de río</li> <li>• Grava fina</li> <li>• Cascajo fino.</li> </ul>	<p>En el sistema de siembra de raíz flotante el sustrato es el agua que sirve de soporte, en esta modalidad los nutrientes son absorbidos directamente del agua que contiene los nutrientes.</p>

Fuente: Máster y Peña (2024)

#### 7.4 Cultivo de Lechuga

El cultivo de la lechuga se originó en la civilización egipcia, donde inicialmente se empleaba por sus semillas oleaginosas. Con el tiempo, esta planta fue domesticada y aprovechada como un alimento de importancia debido a la calidad y textura de sus hojas, así como al contenido de aceite en sus semillas. Posteriormente, su cultivo se expandió a los griegos y romanos, siendo estos últimos quienes la denominaron "Lactuca", término del cual deriva la palabra "lechuga" en español. (Natusfera, 2020).

#### Tabla 3

*Clasificación taxonómica del cultivo de lechuga*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Subfamilia	Cichorioideae
Género	Lactuca
Especie	Lactuca sativa L.

Fuente: INFOAGRO, (2010)

#### **7.4.1 Descripción morfológica de la lechuga**

La lechuga se caracteriza por presentar un sistema radicular pivotante y ramificado, con una profundidad aproximada de 25 cm. Su crecimiento se organiza en una estructura de roseta, donde las hojas emergen alrededor de un tallo central, el cual es de forma cilíndrica y de tamaño reducido. Dependiendo de la variedad, los bordes de las hojas pueden presentar una morfología lisa, ondulada o aserrada. Esta especie es una hierba anual, con savia lechosa y tallos erectos que pueden ser solitarios o escasos, de superficie glabra y con alturas que oscilan entre 0.3 y 1 metro. Además, desarrolla hojas basales y caulinares a lo largo de su crecimiento (Missouri Botanical Garden, 2015).

Las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo se encuentran entre 1800 y 2800 msnm, en suelos de textura franco arenoso o franco arcilloso con un pH entre 5.2 y 6.7. Durante su ciclo de cultivo, requiere un suministro hídrico bien distribuido en un rango de 250 a 350 mm. La temperatura ideal para su crecimiento varía entre 15 y 18 °C durante el día, con valores máximos de 21 °C y mínimos de 7 °C. No obstante, cuando se expone a condiciones de temperatura extremas, la planta puede inducir la floración de manera prematura, afectando su productividad (Cacarin, 2013).

##### **7.4.1.1 Tallo**

El tallo es de tamaño reducido, con una forma cilíndrica y permanece sin ramificaciones durante la fase óptima de cosecha. No obstante, una vez que la planta supera su etapa comercial, el tallo experimenta un crecimiento significativo, alcanzando una longitud de hasta 1.2 metros (Gaviola & Granval, 2011).

##### **7.4.1.2 Raíz**

La lechuga es una planta anual autógena, que presenta una raíz pivotante, individualmente gruesa en la corona que se reduce paulatinamente en profundidad, tiende a conseguir más de 60 cm de profundidad (Saavedra, 2017).

##### **7.4.1.3 Hojas**

Según su morfología, las hojas pueden presentar formas lanceoladas, oblongas o redondeadas. El margen del limbo varía según la variedad, pudiendo ser liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado. En cuanto a su coloración, esta abarca desde tonos verde amarillento, claro u oscuro, hasta matices rojizos, púrpuras o casi morados, dependiendo del tipo y el cultivar (Gaviola & Granval, 2011).

#### 7.4.1.4 Flores

Las flores de la lechuga presentan una tonalidad amarilla y se agrupan en capítulos compuestos por 10 a 20 floretes, los cuales poseen un receptáculo plano cubierto por brácteas imbricadas. La autopolinización ocurre antes de la apertura de las flores, lo que favorece la reproducción de la especie. Además, el cáliz tiene una estructura filamentososa que, al desarrollarse la semilla, forma el vilano, un órgano especializado en la dispersión anemófila, facilitando su propagación a través del viento (Simbaña, 2015).

#### 7.4.1.5 Semillas

Las semillas de la lechuga pueden presentar una forma alargada, con un tamaño aproximado de 4 a 5 mm. Su coloración varía según la variedad, pudiendo ser blancas, pardas o castañas. (Cacarín-Pínan, 2013).

#### 7.4.2 *Lactuca sativa* L. var. *Crespa*

Variedad de hojas finas encrespadas grandes, abiertas, buen vigor, alta uniformidad, buen rizado, de color verde claro, su tallo es aéreo y herbáceo, su ciclo es de 86 días (30 días en el semillero + 56 días desde el trasplante a cosecha), la siembra se la puede realizar en campo abierto, invernadero, convencional o hidropónico (Montesdeoca, 2009).

#### 7.4.3 Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga

##### Tabla 4

##### *Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga*

<b>Gusano gris</b> ( <i>Agrotis sp.</i> )	Este organismo es atraído por ambientes húmedos y frescos, como los que ofrece el cultivo de la lechuga. Su actividad alimenticia se desarrolla principalmente durante la noche, cuando consume las hojas de la planta, mientras que durante el día busca refugio bajo el suelo para protegerse de la luz y las condiciones ambientales adversas.
<b>Minadores</b> ( <i>Liriomyza trifolii</i> )	La larva perfora galerías en las hojas para alimentarse del tejido parenquimático, causando daños que pueden afectar el desarrollo de la planta. Esta plaga es especialmente crítica en las primeras etapas del cultivo, ya que su presencia puede ralentizar el crecimiento, retrasar la maduración e incluso comprometer la calidad del producto, lo que podría impedir su comercialización
<b>Mosca blanca</b> ( <i>Trialeurodes vaporariorum</i> )	Esta plaga presenta un comportamiento polífago. u principal daño radica en la extracción de savia de las plantas, lo que provoca un debilitamiento progresivo y el amarillamiento del follaje. Adicionalmente, la secreción de melaza generada durante su alimentación crea un ambiente propicio para la proliferación del hongo fumagina, lo que agrava el deterioro del

---

	cultivo al reducir la capacidad fotosintética de las hojas y afectar su desarrollo.
<b>Trips</b> <i>(Frankliniella occidentalis)</i>	En la lechuga, los síntomas ocasionados se manifiestan tras la alimentación del trips sobre las hojas. La magnitud del daño en el cultivo está directamente relacionada con la densidad poblacional de la plaga y la cantidad de picaduras que sufre la planta. No obstante, el principal riesgo asociado a esta especie radica en su capacidad para actuar como vector de diversos virus, lo que representa una amenaza significativa para la producción agrícola.
<b>Alternaria</b> <i>(Alternaria dauci)</i>	El síntoma más característico de esta afección es la aparición de pequeñas manchas oscuras en las hojas de la lechuga. Su desarrollo es favorecido por condiciones de alta humedad, por lo cual se hace necesario la implementación de estrategias preventivas, especialmente durante las temporadas de lluvia, con el objetivo de reducir su impacto en la producción agrícola.
<b>Antracnosis</b> <i>(Microdochium panattoniana)</i>	Esta enfermedad se presenta inicialmente en las hojas más envejecidas, con una mayor afectación en el nervio central, el pecíolo y el limbo foliar. En estas zonas, aparecen pequeñas lesiones hundidas de color amarillento, delimitadas por un borde rojizo o necrótico. Conforme la infección avanza, la coloración rojiza se extiende progresivamente hacia el centro de la lesión, provocando la necrosis completa del tejido afectado.
<b>Oídio</b> <i>(Erysiphe cichoracearum)</i>	Esta enfermedad se desarrolla en el haz como en el envés de la hoja, formando una capa de micelio blanquecino con apariencia pulverulenta que cubre principalmente las hojas externas de la planta.
<b>Podredumbre gris</b> <i>(Botrytis cinerea)</i>	Suele manifestarse en todas las etapas del desarrollo de la lechuga. Su aparición está estrechamente relacionada con niveles elevados de humedad, por lo que el manejo adecuado del riego es fundamental para su control. Además, la implementación de estrategias que favorezcan una adecuada aireación del cultivo contribuye a reducir su propagación y mitigar su impacto en la producción.
<b>Septoria</b> <i>(Septoria lactucae)</i>	La enfermedad se caracteriza por la aparición de pequeñas manchas cloróticas irregulares en las hojas. A medida que avanza la infección, estas manchas evolucionan a lesiones necróticas, desarrollando un anillo clorótico a su alrededor, lo que indica la progresión del patógeno en el tejido vegetal.
<b>Mildiu</b> <i>(Bremia lactucae)</i>	Esta enfermedad puede presentarse en cualquier etapa del cultivo, aunque su incidencia es más evidente en fases avanzadas, afectando principalmente las hojas externas y las de mayor edad. Además de la presencia de manchas cloróticas en el haz foliar, uno de los síntomas más característicos es la formación de un recubrimiento blanquecino y de textura harinosa en el envés de las hojas.

<b>Esclerotinia</b> ( <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> )	Su principal sintoma es la aparición sobre las hojas de lechuga de manchas blancas que presentan pudrición, esta infección se inicia en la parte baja de la planta y se extiende hacia la parte superior.
--	---

---

Fuente: Manual fotográfico: Plagas y enfermedades de la lechuga (2018)

## 7.5 Soluciones nutritivas

Según el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (2024), el éxito en la producción de cultivos hidropónicos depende en gran medida de una correcta disponibilidad de nutrientes esenciales. Para asegurar un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas, es imprescindible mantener un balance en el suministro de macronutrientes, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, así como de micronutrientes, entre los que se incluyen hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, molibdeno y cloro.

### 7.5.1 Solución hidropónica la Molina

La solución hidropónica La Molina fue desarrollada tras varios años de investigación durante la década de 1990 en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Su formulación tuvo como principal objetivo fomentar el uso de la hidroponía con un enfoque social, en el marco del proyecto “Huerta Hidropónica Popular”, impulsado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en distintos países de América Latina, incluido Perú (UNALM, 2005).

La solución hidropónica de la Molina esta dividida en dos (solución A y solución B), la solución A contiene nitrato de potasio, nitrato de amonio y superfosfato triple de calcio y la solución B segunda bolsa contiene sulfato de magnesio, quelato de hierro y una mezcla de micronutrientes (manganeso, boro, zinc cobre y molibdeno) (UNALM, 2005).

Según UNALM (2005):

Para preparar 3 litros de solución A :

1. Disolver el nitrato de potasio, agitar y disolver.
2. Agregar nitrato de amonio, agitar y disolver.
3. Remojar el superfosfato triple en 250 ml de agua, agitar y verter en la mezcla anterior.
4. Repetir cinco veces, agregando 50 ml de agua hasta ver el fondo claro.
5. Cuando los tres fertilizantes están disueltos, agregar agua hasta completar 5 litros.

Para preparar la solución B:

1. Disolver el sulfato de magnesio en un litro de agua.
2. En otro recipiente, en 200 o 300 ml de agua, mezclar los micronutrientes. Colocar sobre la solución de sulfato de magnesio.
3. Colocar el quelato de hierro, agitar y disolver.
4. Cuando los tres compuestos estén mezclados, completar el volumen hasta dos litros de agua.

(UNALM, 2005).

**Figura 1**

Solución hidropónica la Molina



Fuente: Universidad Agraria la Molina, 2005

### ***7.5.2 Solución hidropónica de la FAO***

La solución nutritiva hidropónica de la FAO fue desarrollada con el propósito de suministrar los nutrientes esenciales requeridos para el crecimiento óptimo de las plantas en sistemas sin suelo. Su formulación permite la preparación de soluciones madre, las cuales posteriormente se diluyen en agua para obtener la mezcla final utilizada en el riego. Debido a su equilibrio nutricional y eficacia en la promoción del desarrollo vegetal, esta solución es ampliamente empleada en la agricultura hidropónica y adaptada a una diversidad de cultivos (Corpoica, 2013).

Según Marulanda e Izquierdo (2003):

Solución concentrada A (macronutrientes): Para su elaboración, se disuelven 340 gramos de fosfato monoamónico en agua, utilizando un utensilio no metálico para la mezcla.

Posteriormente, se incorpora 2080 gramos de nitrato de calcio, seguido de 110 gramos de nitrato de potasio. Finalmente, se completa el volumen a 10 litros de agua, asegurándose de mezclar hasta la total disolución de los fertilizantes, evitando la presencia de residuos sólidos.

Solución concentrada B (micronutrientes): para su elaboración se utilizan 4 litros de agua en los cuales se ira agregando los siguientes fertilizantes: 0.02 gramos de molibdato de amonio, 8.46 gramos de quelato de hierro, 6.2 gramos de ácido bórico, 1.2 gramos de sulfato de zinc, 2.5 gramos de sulfato de manganeso, 0.5 gramos de sulfato de cobre y 492 gramos de sulfato de magnesio.

(Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 84).

## **7.6 CONTROL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA**

- La temperatura óptima de la solución nutritiva en sistemas hidropónicos debe mantenerse cercana a 22 °C para garantizar un adecuado desarrollo radicular. Cuando la temperatura desciende por debajo de 12 °C o supera los 30 °C, el crecimiento de las raíces se ve afectado, lo que compromete la absorción y asimilación de nutrientes, impactando negativamente en el desarrollo de la planta (Hydroenvironment, s.f.).
- La solubilidad hace referencia a la capacidad de las sales para disolverse en agua dentro de un tiempo determinado. Cuando una sal posee baja solubilidad, únicamente una fracción limitada de esta logrará disolverse en el agua. En la formulación de fertilizantes líquidos, es fundamental que las sales empleadas presenten una alta solubilidad, ya que deben permanecer en solución para facilitar su absorción por parte de las plantas (Arcos, 2013).
- El pH es un parámetro que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución nutritiva y juega un papel clave en la solubilidad y disponibilidad de los iones. Para la mayoría de las especies vegetales, el rango óptimo de pH se sitúa entre 5 y 7, ya que en este intervalo los procesos fisiológicos se desarrollan de manera más eficiente. En sistemas hidropónicos, se recomienda mantener un pH entre 5.5 y 5.8, dado que en este rango se optimiza la disolución y absorción de nutrientes esenciales, especialmente el fósforo y los micronutrientes (Aguilar, 2002).
- La concentración de una solución nutritiva puede determinarse a través de la medición de su conductividad eléctrica (CE), la cual está directamente relacionada con la cantidad

de sales disueltas en el medio. A mayor concentración de sales, mayor será la conductividad eléctrica de la solución. En el cultivo de lechuga, se recomienda que la CE no supere los 1.5 dS/m, ya que valores superiores a 3.0 dS/m pueden afectar la absorción de agua y nutrientes, comprometiendo el desarrollo de la planta debido al incremento de la concentración de minerales en la solución (Carrasco, 2007).

- El uso de agua dura en la preparación de soluciones nutritivas puede generar desequilibrios nutricionales debido a su alto contenido de calcio y magnesio, lo que podría afectar el desarrollo de las plantas. Si se emplea una formulación estándar de nutrientes con agua de alta dureza, la concentración de estos elementos puede superar los niveles óptimos, alterando la composición de la solución. Cuando la dureza del agua excede los 150 ppm, es fundamental asegurarse de que la relación entre calcio y magnesio se mantenga en un rango de 3 a 5 ppm de calcio por cada 1 ppm de magnesio para evitar deficiencias o toxicidades en el cultivo (Arcos, 2013).

## **7.7 LA HIDROPONÍA EN EL ECUADOR**

Pertierra-Lazo y Quispe-Gonzabay (2020) sostienen que la lechuga, considerada una especie adaptada a climas fríos, es el cultivo más representativo dentro de los sistemas hidropónicos. En Ecuador, la producción de lechuga mediante sistemas hidropónicos ha experimentado un notable crecimiento, consolidándose en los mercados locales e internacionales debido a su alta calidad nutricional. Este prestigio ha incentivado a un número creciente de agricultores a adoptar este modelo productivo. Además, la hidroponía contribuye significativamente a la reducción de la incidencia y severidad de plagas y enfermedades en un rango del 50 % al 80 %, lo que permite disminuir el uso excesivo de plaguicidas y favorecer prácticas agrícolas más sostenibles (Yance-Muños, 2012). Por ende, Pertierra et al. (2019) destacan que el cultivo sin suelo se perfila como una alternativa productiva prometedora. Barbosa et al. (2015) determinaron que los cultivos hidropónicos, como la lechuga, pueden generar rendimientos hasta 11 veces superiores en comparación con los métodos convencionales, con un margen de variabilidad de  $\pm 7$ .

## 8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

**Ho:** las soluciones nutritivas no influyen en el rendimiento de producción de la lechuga

**Ha:** las soluciones nutritivas influyen en el rendimiento de producción de la lechuga

## 9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### 9.1 Ubicación

La presente investigación se realizó en la comuna de Llano Grande ubicado en la parroquia de Calderón al noreste de Quito, Provincia de Pichincha.

**Tabla 5**

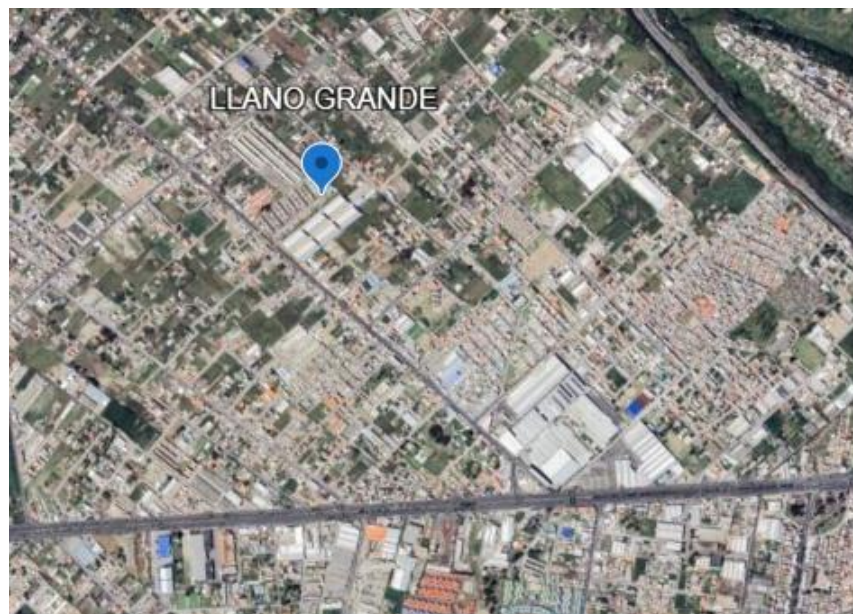
*Ubicación del sitio experimental*

UBICACIÓN	LOCALIDAD
Provincia	Pichincha
Cantón	Quito
Altitud	2650 msnm
Latitud	S 0° 7.095189'
Longitud	W 78° 26.163284'

Fuente: INAMHI; 2017

**Figura 2**

*Ubicación geográfica de la investigación, Llano Grande*



Fuente: Google Earth (2024)

## 9.1 Materiales

### 9.1.1 Material biológico

Plántulas de lechuga crespa

### 9.1.2 Material en campo

- Libreta
- Cinta métrica
- Esponja
- Soluciones nutritivas
- Tablas
- Flexómetros
- SERRUCHO
- Manguera de oxigenación
- Planchas de espuma Flex

### 9.1.3 Programas informáticos

- Infostat
- Excel
- Word

### 9.1.4 Equipos

- Balanza de precisión
- Medidor de pH
- Medidor de Conductividad Eléctrica
- Compresor de Oxígeno
- Cámara fotográfica

## 9.2 Análisis Estadístico

### 9.2.1 Unidad Experimental

#### Especificaciones de la parcela experimental

- Número de tratamientos: 2
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 6 **Parcela**
- Forma de la parcela: Cuadrado

• Distancia entre parcelas:	0.80 m
• Ancho de la parcela:	1.00 m
• Largo de la Parcela:	1.00 m
• Área de cada parcela:	1.00 m <sup>2</sup>
• Efecto borde:	0.44 m <sup>2</sup>
• Área neta de cada parcela:	0.56 m <sup>2</sup>

### **Distancia de plantación**

• Entre hileras:	0.20 m
• Entre plantas:	0.20 m
• Número total de plantas en el ensayo:	162
• Número total de plantas a evaluarse:	84
• Número de plantas por parcela:	27
• Número de plantas a evaluarse por parcela neta:	14
• Área total de ensayo:	15 m <sup>2</sup>

### **9.2.2 Diseño Experimental**

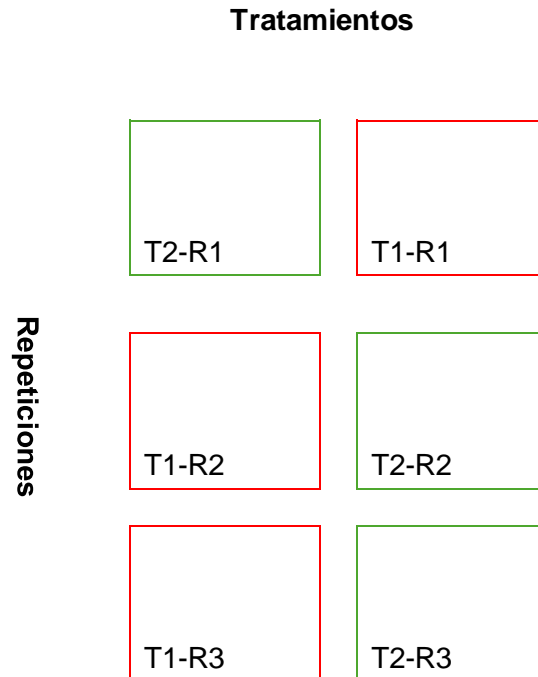
Para la ejecución del experimento, se empleó un **Diseño Completamente al Azar (DCA)**, lo cual permite minimizar la influencia de variables externas y garantizar la equidad en la comparación de tratamientos. Se establecieron dos tratamientos con tres repeticiones cada uno:

- **Tratamiento 1:** Aplicación de la solución nutritiva FAO.
- **Tratamiento 2:** Aplicación de la solución nutritiva La Molina.

Cada unidad experimental estuvo conformada por 14 plantas de lechuga crespa dispuestas en condiciones controladas dentro del sistema hidropónico. Se asignó de forma aleatoria los tratamientos a las unidades experimentales para evitar sesgos y garantizar la confiabilidad de los resultados.

### **Figura 3.**

*Croquis del Experimento, Diseño Completamente al Azar (DCA)*



*Nota:* T1: tratamiento 1 (FAO); T2: tratamiento 2 (la Molina); R: repetición

Se determinó la normalidad de los residuos mediante la prueba de **Kolmogorov-Smirnov**. Los resultados de esta prueba indicaron que:

- Las variables **Altura de planta, Longitud de raíz y Rendimiento** mostraron una distribución normal ( $p > 0.05$ ), por lo que se aplicó un **análisis de varianza (ANOVA)** para evaluar las diferencias entre tratamientos.
- La variable **Número de hojas** no presentó una distribución normal ( $p < 0.05$ ), por lo que se optó por utilizar la **prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis**, que permite comparar medianas entre grupos sin necesidad de asumir normalidad en los datos.

#### **9.2.3 9.4.3 Esquema del análisis de Varianza**

En la tabla 6, se presenta el esquema del ANOVA

**Tabla 6**

*Análisis de Varianza*

FUENTE DE VARIACIÓN	FÓRMULA
---------------------	---------

		<u>GRADOS LIBERTAD</u>
Total	(S*R)-1	5
Tratamiento	S-1	1
Repetición	R-1	2
Error	(S-1)(R-1)	2

---

#### ***9.2.4 Prueba de medias***

Se utilizó la prueba de significancia Tukey al 5% para las variables altura de planta, longitud de raíz y rendimiento, en cambio, para la variable número de hojas se utilizó la prueba de comparación de a pares al 5%

### **9.3 METODOLOGIA DE EVALUACION Y DATOS REGISTRADOS**

#### ***9.3.1 Altura de planta (cm)***

Se midió con un flexómetro la altura de 14 plantas tomadas al azar de la parcela neta en centímetros, desde la base del tallo hasta la parte más alta del ápice a los 15, 30, 45 días después del trasplante.

#### ***9.3.2 Longitud de la raíz (cm)***

Se seleccionaron 14 plantas al azar de la parcela neta, se midió con un flexómetro en centímetros desde el inicio de las raíces hasta la parte más larga a los 15, 30 y 45 días después del trasplante.

#### ***9.3.3 Número de hojas por planta***

Se contabilizaron el número de hojas de 14 plantas al azar de la parcela neta, a los 15, 30 y 45 días después del trasplante.

#### ***9.3.4 Rendimiento (Tn/ha)***

Se pesó con una balanza de precisión las lechugas encontradas en la parcela neta, se expresó en Tn/ha.

#### ***9.3.5 Relación beneficio costo***

Se llevó a cabo un análisis económico de cada tratamiento mediante la aplicación de la relación beneficio-costos (B/C). Este indicador permitió evaluar la rentabilidad de cada alternativa considerando los costos incurridos y los beneficios obtenidos.

### **9.6 MANEJO DEL ENSAYO**

#### **9.6.1 Labores pre-culturales**

## **Elaboración de camas**

Las camas de cultivo fueron construidas con madera, cada una con dimensiones de 100 cm de largo, 100 cm de ancho y 10 cm de alto. Posteriormente, se recubrieron con plástico negro para impermeabilizar la estructura.

Las láminas de espuma flex fueron cortadas con las mismas dimensiones que las camas de cultivo. Para la siembra, se realizaron orificios utilizando un tubo caliente, manteniendo una distancia de 20 cm entre plantas y 20 cm entre hileras, siguiendo un diseño de siembra a tres bolillos, lo que permite una mejor distribución y aprovechamiento del espacio.

### **9.3.6 Labores culturales**

#### **9.3.6.1 Transplante**

Las plantas de lechuga fueron trasplantadas cuando tenían 8 centímetros de altura y de 3 a 5 hojas verdaderas.

#### **9.3.6.2 Aplicación de la solución nutritiva**

Las camas de cultivo fueron llenadas con agua potable hasta alcanzar una altura de 10 cm, lo que equivale a un volumen total de 100 litros de agua por cada unidad experimental.

La solución nutritiva FAO se aplicó según el protocolo establecido, utilizando 5 ml de la solución A y 2 ml de la solución B por litro de agua, lo que representó un total de 500 ml de la solución A y 200 ml de la solución B por unidad experimental.

Por su parte, la solución nutritiva La Molina se aplicó en proporciones de 5 ml por litro de agua de cada una de las soluciones A, B y C, alcanzando un total de 500 ml de cada solución por unidad experimental.

#### **9.3.6.3 Control de plagas y enfermedades**

Se realizaron monitoreos continuos a lo largo del experimento, durante los cuales no se detectó la presencia de plagas, lo que indica que las condiciones de cultivo fueron óptimas y no se presentaron afectaciones fitosanitarias en esta investigación.

#### **9.3.6.4 Control pH y conductividad eléctrica**

El control del pH y la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva se realizó de manera estricta, con monitoreo diario para garantizar condiciones óptimas de crecimiento. Se utilizaron medidores digitales calibrados para registrar ambos parámetros y realizar ajustes cuando fue necesario.

- **pH:** Se mantuvo dentro del rango óptimo de 5.5 a 6.5, realizando ajustes con ácido fosfórico para disminuir el pH o hidróxido de potasio para incrementarlo, asegurando una adecuada absorción de nutrientes.
- **Conductividad eléctrica (CE):** Se mantuvo dentro de un intervalo de 1.5 a 1.8 mS/cm, ajustándose mediante la adición de soluciones concentradas o diluyendo con agua en caso de que la CE superara los niveles recomendados.

**Figura 4**

*Resumen de metodología*



## 10. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 10.1 Prueba de Normalidad de los Datos

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se utilizó para evaluar la normalidad de los datos de todas las variables en estudio en los diferentes días después del trasplante (DDT) evaluados en la presente investigación. Los resultados mostraron que las variables Altura de planta, Longitud de Raíz y Rendimiento presentaron un ajuste normal de datos como se observa en la tabla 8 en

todos los intervalos de tiempo evaluados (15, 30 y 45 DDT) ya que los valores de p fueron mayores al nivel de significancia de 0.05, esto valida el supuesto de normalidad requerido para la aplicación del análisis de varianza (ANOVA). Estos resultados son coherentes con lo reportado por López et al. (2021), quienes mencionan que la distribución normal de los datos es un indicador clave para garantizar la calidad de los análisis estadísticos en cultivos hidropónicos.

La variable "Número de hojas" no presentó un ajuste normal, lo que se determinó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, en la que los valores de p indicaron una distribución no normal. Ante esta condición, se optó por realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, ya que este método no requiere asumir la normalidad de los datos, lo que lo hace especialmente adecuado para analizar variables que no cumplen con este supuesto.

La prueba de Kruskal-Wallis permite comparar medianas entre grupos independientes y es robusta frente a datos con distribuciones sesgadas o presencia de valores atípicos. Su elección garantiza la validez de los resultados estadísticos en contextos donde los métodos paramétricos, como el ANOVA, no son apropiados (Meyer,2023). Este enfoque asegura que las diferencias observadas entre los tratamientos sean evaluadas de manera adecuada y que las conclusiones sean consistentes con las características de los datos analizados. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad de los datos de las variables en estudio.

**Tabla 7**

*Prueba de normalidad de los resultados de variables obtenidas*

<b>Variab</b>		<b>p-valor</b>
Altura de planta	15DDT	0.0717
	30DDT	0.9250
	45DDT	0.9744
Longitud de Raíz	15DDT	0.8167
	30DDT	0.8167

	45DDT	0.8167
Número de hojas	15DDT	<0,0001
	30DDT	<0,0001
	45DDT	<0,0001
Rendimiento	45DDT	0.4941

p-valor > 0,05 indican normalidad de datos

---

## 10.2 Altura de planta

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de las soluciones nutritivas (FAO y La Molina) sobre la altura de las plantas en los diferentes intervalos de tiempo (15, 30 y 45 DDT). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos para todos los intervalos evaluados ( $p < 0.05$ ; Tabla 9). Este hallazgo indica que las soluciones nutritivas utilizadas tienen un efecto significativo sobre la altura de las plantas. La solución La Molina, en particular, destaca por su impacto positivo, lo cual coincide con estudios previos que resaltan su efectividad en cultivos de hoja (Pérez et al., 2020).

En la presente investigación, los cuadrados medios más elevados para el tratamiento se observaron a los 15 días después del trasplante (DDT), con un valor de 338.02, siendo la etapa crítica para el desarrollo inicial de las plantas. Este resultado concuerda con lo descrito por Martínez, González y Silva (2019), quienes señalaron que el crecimiento temprano de la lechuga está estrechamente relacionado con la absorción eficiente de nutrientes, especialmente nitrógeno y potasio, durante las dos primeras semanas después del trasplante. En las etapas posteriores (30DDT y 45DDT), los cuadrados medios del tratamiento disminuyeron a 150.98 y 124.93, respectivamente, aunque su efecto continuó siendo significativo. Esto es consistente con lo encontrado por López y Rodríguez (2018), quienes indicaron que la capacidad de absorción de nutrientes en cultivos hidropónicos tiende a estabilizarse conforme la planta alcanza su madurez.

Por otro lado, el efecto de la repetición no fue significativo ( $p > 0.05$ ), lo que sugiere que las diferencias observadas entre tratamientos no se deben al azar. Además, el bajo coeficiente de variación (CV) obtenido en este estudio (5.34%, 3.9% y 4.52% para 15, 30 y 45 DDT, respectivamente) respalda la precisión y confiabilidad del experimento, lo que es fundamental para interpretar de manera robusta los resultados obtenidos.

### Tabla 8

*Análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta en diferentes intervalos de tiempo.*

		<b>Cuadrados Medios "Altura de Planta"</b>		
		<b>DDT</b>	<b>30DDT</b>	<b>45DDT</b>
Total	83			
Tratamiento	1	338.02*	150.98 *	124.93*
Repetición	2	0.65 NS	1.12 NS	0.83 NS
Error	80	0.73	0.6	1.14
(%)		5.34	3.9	4.52
<b>Fuente Variabilidad</b>	<b>GL</b>			

ns= no significativo; \*=significativo al 5%

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% identificó diferencias significativas entre las soluciones nutritivas para cada intervalo de tiempo (Tabla 10). La solución nutritiva La Molina produjo plantas con mayor altura en comparación con la solución FAO en los tres intervalos evaluados. Específicamente, las alturas promedio observadas para La Molina fueron de 17.66 cm (15 DDT), 20.91 cm (30 DDT) y 24.64 cm (45 DDT), mientras que para FAO fueron de 14.31 cm, 18.66 cm y 22.60 cm, respectivamente.

La eficacia de la solución La Molina para promover un mayor crecimiento en la altura de las plantas podría atribuirse a una formulación más equilibrada y adaptada a las necesidades del cultivo de lechuga crespa, como lo han señalado Rodríguez y Gómez (2019). Este efecto se debe a la composición y proporción optimizada de nutrientes. En primer lugar, la solución La Molina presenta una mayor concentración de nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), lo que estimula el crecimiento vegetativo, favoreciendo la elongación celular y el desarrollo de la parte aérea de la planta (Milton, 2018). Además, el balance entre calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) en esta formulación permite una mejor estructura celular y regulación osmótica, promoviendo una mayor asimilación de carbohidratos y un crecimiento más uniforme (Universidad Nacional Agraria La Molina, 2005).

Asimismo, la solución La Molina optimiza la disponibilidad de micronutrientes esenciales como hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn), los cuales son fundamentales para la producción de clorofila y la eficiencia fotosintética, impactando directamente en el desarrollo de la biomasa foliar (Pilco Quispe, 2018). Finalmente, el adecuado suministro de fósforo (P) favorece un

desarrollo radicular robusto, permitiendo una mayor absorción de agua y nutrientes, lo que se traduce en un crecimiento superior en altura en comparación con la solución FAO (Silva Roldán, 2019).

**Tabla 9**

*Altura promedio de plantas (cm) en diferentes intervalos de tiempo según las soluciones nutritivas.*

Solución Nutritiva	Altura de Planta (cm)		
	15 DDT	30DDT	45DDT
La Molina	17.66 <b>A</b>	20.91 <b>A</b>	24.64 <b>A</b>
FAO	14.31 <b>B</b>	18.66 <b>B</b>	22.60 <b>B</b>

Letras distintas indican diferencias estadísticas según Tukey al 5 %.

Estos resultados demuestran de manera consistente que la solución nutritiva La Molina supera en rendimiento a la solución FAO en términos de crecimiento en altura de las plantas de lechuga crespa. Esto podría explicarse por una mejor disponibilidad y equilibrio de nutrientes esenciales en La Molina, tal como se ha documentado en investigaciones previas (Pérez et al., 2020). Además, el hecho de que las diferencias entre tratamientos fueron significativas en todos los intervalos evaluados subraya la consistencia del efecto positivo de la solución La Molina, esto podría estar asociada a una mayor disponibilidad de macro y micronutrientes lo cual es crucial para la optimización de sistemas hidropónicos (López & Rodríguez, 2018)

### 10.3 Longitud de raíz

El análisis estadístico realizado a través de un ANOVA para la variable "Longitud de Raíz" en tres periodos de evaluación (15, 30 y 45 días después del trasplante, DDT) evidencia diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. Los valores de cuadrados medios obtenidos para el factor "Tratamiento" fueron de 288.92, 457.08 y 67.80 para 15, 30 y 45 DDT, El análisis estadístico realizado a través de un ANOVA para la variable " Longitud de Raíz " en tres periodos de evaluación (15, 30 y 45 días después del trasplante, DDT) evidencia diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. Los valores de cuadrados medios obtenidos para el factor "Tratamiento" fueron de 288.92, 457.08 y 67.80 para 15, 30 y 45 DDT, respectivamente, lo que refleja que la solución nutritiva tiene un efecto significativo en la longitud de raíz en todos los periodos de evaluación. Este resultado coincide con investigaciones previas que destacan la influencia de las soluciones nutritivas balanceadas en el desarrollo de cultivos hidropónicos, particularmente en cultivos de hoja como la lechuga (Resh, 2021).

Por otro lado, las repeticiones no mostraron un efecto significativo en ningún periodo evaluado, con valores de cuadrados medios de 1.40, 1.40 y 0.94 para 15, 30 y 45 DDT, respectivamente, lo cual respalda la consistencia y precisión del diseño experimental. Asimismo, los coeficientes de variación (CV) registrados fueron bajos (5.20 %, 4.00 % y 3.61 %), indicando un alto nivel de control en las condiciones experimentales (Tabla 11). Según Gómez y Gómez (1984), un CV menor al 10 % es indicador de precisión adecuada en experimentos agrícolas.

**Tabla 10**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable Longitud de raíz.*

		Cuadrados Medios "Longitud de		
		15 DDT	30DDT	45DDT
Total	83			
Tratamiento	1	288.92*	457.08 *	67.80*
Repetición	2	1.40 NS	1.40 NS	0.94 NS
Error	80	1.49	1.50	1.49
CV (%)		5.20	4.00	3.61

Fuente Variabilidad	GL	Raiz"	ns=	no
---------------------	----	-------	-----	----

significativo; \*=significativo al 5%

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey mostró diferencias significativas en la longitud de raíz entre las dos soluciones nutritivas evaluadas, siendo la solución "Molina" superior en todos los periodos de evaluación (Tabla 12). A los 15 DDT, la solución "Molina" registró una altura promedio de 25.04 cm, mientras que la solución "FAO" alcanzó un promedio de 21.94 cm. De manera similar, a los 30 y 45 DDT, la solución "Molina" presentó mayores alturas promedio (32.44 cm y 35.54 cm, respectivamente) en comparación con la solución

"FAO" (28.54 cm y 33.04 cm). Este resultado refleja una respuesta diferenciada de la planta a las formulaciones de las soluciones nutritivas.

**Tabla 11**

*Prueba de Tukey para la variable Longitud de raíz*

Solución Nutritiva	Longitud de Raíz		
	15 DDT	30DDT	45DDT
La Molina	25.04 <b>A</b>	32.44 <b>A</b>	35.04 <b>A</b>
FAO	21.94 <b>B</b>	28.54 <b>B</b>	33.04 <b>B</b>

Letras distintas indican diferencias estadísticas según Tukey al 5 %.

El desempeño superior de la solución "Molina" puede explicarse por una mayor disponibilidad y balance de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales son determinantes en el crecimiento y desarrollo vegetativo de la lechuga (Sonneveld & Voogt, 2009). Además, el mayor aporte de micronutrientes podría haber contribuido a un metabolismo fotosintético más eficiente, lo cual favoreció la producción de biomasa y altura.

Por su parte, la solución "FAO", si bien mostró resultados inferiores, logró un desarrollo adecuado del cultivo, evidenciando su funcionalidad como solución hidropónica. Sin embargo, su formulación podría ser menos específica para las necesidades nutricionales de la lechuga crespa, lo cual explica su desempeño inferior respecto a la solución "Molina".

Estos resultados son consistentes con estudios previos realizados por Trejo-Téllez y GómezMerino (2012), quienes destacaron que las formulaciones específicas de soluciones nutritivas tienen un impacto significativo en el rendimiento y calidad de cultivos hortícolas. Asimismo, Resh (2021) enfatiza que los ajustes en las concentraciones de macro y micronutrientes pueden optimizar el crecimiento en sistemas hidropónicos.

#### 10.4 Variable Número de Hojas

El análisis estadístico realizado a través de un ANOVA no paramétrico (Prueba de KruskalWallis) para la variable "Número de Hojas" en los tres periodos de evaluación (15, 30 y 45 días después del trasplante, DDT) muestra diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados solución nutritiva influye significativamente en el número de hojas producidas por las plantas en todos los periodos evaluados (tabla 13).

**Tabla 12**

*ANOVA no paramétrico Kruskal-Wallis, p-valor, para la variable Número de hojas.*

Variable	N	p-valor
----------	---	---------

	15 DDT	84	<0,0001*
Número de hojas	30 DDT	84	0,0008*
	45 DDT	84	<0,0001*

ns= no significativo; \*=significativo al 5%

La prueba de comparación en pares de Kruskal-Wallis muestra diferencias significativas en el número de hojas entre las soluciones nutritivas evaluadas, en el primer rango estadístico se posicionaron los resultados obtenidos por la solución La Molina en todos los días de evaluación como se observa en la tabla 14.

**Tabla 13**

*Prueba comparaciones de a pares entre las medias de los estratos, para la variable Número de Hojas.*

Solución Nutritiva	Número de Hojas		
	15 DDT	30DDT	45DDT
La Molina	8.97 <b>A</b>	13.70 <b>A</b>	15.10 <b>A</b>
FAO	7.03 <b>B</b>	13.32 <b>B</b>	14.05 <b>B</b>

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

La solución La Molina ha demostrado ser más eficaz en la promoción del crecimiento y desarrollo de la lechuga crespa en sistemas hidropónicos en comparación con la solución propuesta por la FAO. Su formulación más equilibrada y adaptada a las necesidades del cultivo favorece tanto el aumento en la altura de las plantas como un mayor número de hojas, aspectos fundamentales para optimizar el rendimiento del cultivo.

El mejor desempeño de la solución La Molina en términos del número de hojas puede deberse a su balance nutricional, el cual probablemente favorece una mayor división celular y desarrollo foliar en comparación con la solución FAO. Según Resh (2021), las formulaciones de soluciones nutritivas deben ser ajustadas cuidadosamente para satisfacer las necesidades específicas de cada cultivo, especialmente en sistemas hidropónicos, donde los nutrientes están en una forma altamente disponible para las plantas. Estudios previos han demostrado que el ajuste de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio en las soluciones hidropónicas tiene un efecto significativo en el crecimiento y desarrollo de cultivos de hoja como la lechuga (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

En particular, la solución La Molina presenta una mayor concentración de nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), lo que estimula el crecimiento vegetativo, favoreciendo la elongación celular

y el desarrollo de la parte aérea de la planta (Milton, 2018). La diferencia en el número de hojas entre las soluciones evaluadas podría estar relacionada con la cantidad de nitrógeno disponible, ya que este macronutriente juega un rol fundamental en la síntesis de proteínas y la formación de tejidos vegetativos, incluyendo hojas (Sonneveld & Voogt, 2009). Además, el balance entre calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) en esta formulación permite una mejor estructura celular y regulación osmótica, promoviendo una mayor asimilación de carbohidratos y un crecimiento más uniforme (Universidad Nacional Agraria La Molina, 2005).

Asimismo, la solución La Molina optimiza la disponibilidad de micronutrientes esenciales como hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn), los cuales son fundamentales para la producción de clorofila y la eficiencia fotosintética, impactando directamente en el desarrollo de la biomasa foliar (Pilco Quispe, 2018). El adecuado suministro de fósforo (P) favorece un desarrollo radicular robusto, permitiendo una mayor absorción de agua y nutrientes, lo que se traduce en un crecimiento superior en altura en comparación con la solución FAO (Roldán, 2019).

### 10.5 Rendimiento

Rendimiento ( $\text{kg/m}^2$ ) a los 45 DDT

El análisis de varianza (ANOVA) indicó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el rendimiento ( $\text{kg/m}^2$ ) entre las soluciones nutritivas evaluadas (Tabla 15). La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% reveló que la solución La Molina ( $42.93 \text{ Tn/ha}$ ) superó significativamente a la solución FAO ( $37.39 \text{ Tn/ha}$ ) en términos de rendimiento. Estas diferencias estadísticamente significativas pueden explicarse por la composición balanceada de nutrientes presentes en la solución La Molina, que favorecen un mayor desarrollo fisiológico y fotosintético en las plantas.

**Tabla 14**

*Resultados del ANOVA para el rendimiento ( $\text{Tn/ha}$ ) a los 45 DDT.*

		<b>ddt</b>
Total	83	
Tratamiento	1	<b>919.09*</b>
Repetición	2	<b>1.86 NS</b>
Error	80	2.36
(%)		3.83

**Cuadrados Medios "Rendimiento kg/m<sup>2</sup>"**

**Fuente Variabilidad GL**

ns= no significativo; \*=significativo al 5%

La superioridad de la solución La Molina podría estar relacionada con una mayor disponibilidad de macronutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que son determinantes para el rendimiento del cultivo. Según Marschner (2012), estos nutrientes son fundamentales para procesos clave como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la división celular. La solución La Molina también podría haber optimizado la absorción de micronutrientes como el hierro (Fe) y el zinc (Zn), elementos que intervienen directamente en la actividad enzimática y la eficiencia fotosintética (Epstein & Bloom, 2005).

**Tabla 15**

*Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para el rendimiento (Tn/ha) a los 45 DDT.*

	<b>Rendimiento Tn/ha Solución 45DDT</b>
La Molina	42.93 <b>A</b>
FAO	37.39 <b>B</b>

**Nutritiva**

Letras distintas indican diferencias estadísticas según Tukey al 5 %.

El rendimiento más alto obtenido con La Molina también podría atribuirse a su capacidad para promover una mejor eficiencia en el uso del agua y los nutrientes. Esto coincide con estudios recientes que señalan que soluciones nutritivas balanceadas optimizan la translocación de asimilados hacia los órganos de mayor importancia económica, incrementando el rendimiento final (Pérez et al., 2020). Además, la presencia equilibrada de nutrientes en La Molina podría haber reducido los efectos de estrés osmótico, permitiendo un desarrollo más homogéneo del cultivo, como sugieren López et al. (2021).

El bajo coeficiente de variación (CV) del 3.83% refleja la alta precisión del experimento, lo que respalda la confiabilidad de los resultados. Este nivel de precisión es fundamental en sistemas

hidropónicos, donde las pequeñas variaciones en los nutrientes disponibles pueden tener un impacto significativo en la productividad (Rodríguez & Gómez, 2019).

Además, es importante considerar que las condiciones controladas en sistemas hidropónicos pueden haber favorecido la expresión máxima del potencial de las soluciones nutritivas. Sin embargo, para garantizar una aplicabilidad más amplia de estos resultados, sería necesario realizar estudios adicionales en diferentes entornos y con variaciones en la calidad del agua utilizada. Esto permitiría evaluar la adaptabilidad de las soluciones nutritivas y su sostenibilidad en diferentes contextos agro productivos.

### 10.6 Relación beneficio – Costo

El análisis económico de los tratamientos evaluados, FAO y La Molina, mostró diferencias significativas en términos de precio de venta, beneficio bruto y la relación beneficio/costo (B/C), a pesar de mantener una misma densidad de plantas por metro cuadrado (27 plantas/m<sup>2</sup>).

La solución "FAO" presentó un precio de venta promedio de 0.65 USD por planta, generando un beneficio bruto de 17.55 USD con un costo total de 11.55 USD, lo que resultó en una relación B/C de 1.52. Por otro lado, la solución "La Molina" alcanzó un precio de venta más alto (0.7 USD por planta), generando un beneficio bruto de 20.25 USD con un costo total de 11.48 USD, lo que se tradujo en una relación B/C de 1.76.

Esta mayor rentabilidad de la solución La Molina se debe a que las lechugas obtenidas con este tratamiento alcanzaron un mayor tamaño, lo que permitió un mejor posicionamiento en el mercado y una valoración superior por parte de los consumidores. Además, como se muestra en la tabla 16 desglosado por tratamiento, el costo de adquisición de la solución La Molina fue menor en comparación con la solución FAO, lo que contribuyó a la optimización de los costos de producción y a un margen de ganancia más alto. Estos factores evidencian que el tratamiento con la solución La Molina fue más eficiente económicamente, proporcionando un mayor retorno por cada dólar invertido.

**Tabla 16**

*Costos de producción por tratamiento*

#### Tratamiento “Solución FAO”

##### Costos fijos /m<sup>2</sup>

Ítem	Costo inicial (USD)	Vida Util (años)	Depreciación anual (USD)	Depreciación por ciclo (USD)
------	---------------------	------------------	--------------------------	------------------------------

Estructura de camas de cultivo	45	4	11.25	1.41
Planchas de espuma Flex	4	2	2.00	0.25
Compresor de oxígeno	30	4	7.50	0.94
Medidor de Ph	13	2	6.50	0.81
Mangueras de oxigenación	1	2	0.50	0.06
Medidor de CE	12	2	6.00	0.75
Balanza de precisión	10	4	2.50	0.31
Plástico	0.6	2	0.30	0.04
<b>Total 1</b>				<b>4.57</b>

**Costos Variables/m2**

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Plántulas de lechuga	27	0.03	0.81
Solución FAO	1	1.12	1.12
Agua	1	0.03	0.03
Electricidad	1	0.02	0.02
Mano de obra	1	5	5
<b>Total 2</b>			<b>6.98</b>

**Total = Costo Total =11.55**

**Ingresos**

Ítem	Cantidad	Precio unitario	Total
Lechuga	27	0.65	<b>17.55</b>

**Tratamiento Solución Universidad la Molina**

**Costos fijos /m2**

Ítem	Costo inicial (USD)	Vida Útil (años)	Depreciación anual (USD)	Depreciación por ciclo (USD)
Estructura de camas de cultivo	45	4	11.25	1.41
Planchas de espuma Flex	4	2	2.00	0.25
Compresor de oxígeno	30	4	7.50	0.94
Medidor de Ph	13	2	6.50	0.81
Mangueras de oxigenación	1	2	0.50	0.06
Medidor de CE	12	2	6.00	0.75

Balanza de precisión	10	4	2.50	0.31
Plástico	0.6	2	0.30	0.04
Total 1				4.57

**Costos Variables/m2**

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Plántulas de lechuga	27	0.03	0.81
Solución la molina	1	1.05	1.05
Agua	1	0.03	0.03
Electricidad	1	0.02	0.02
Mano de obra	1	5	5
Total 2			6.91

**Costo Total = 11.48**

**Ingresos /m2**

Ítem	Cantidad	Precio unitario	Total
Lechuga	27	0.75	<b>20.25</b>

Tratamientos	Plantas / m2	Precio de venta	Beneficio Bruto	Costo Total	Relación
	N	USD	USD	USD	B/C
FAO	27	0.65	17.55	11.55	<b>1.52</b>
La Molina	27	0.75	20.25	11.48	<b>1.76</b>

## 11. IMPACTOS

**Ambientales.** – El cultivo hidropónico no es estrictamente una agricultura orgánica, pero es altamente beneficioso para el ambiente y nos brinda productos de excelente calidad. Algunos beneficios que se pueden señalar son

Reducción del consumo de agua ya que la planta toma solo lo que necesita y la misma agua se puede reutilizar, solo se debe reajustar la solución al desgaste normal de cada cultivo y mantener el pH.

Menos emisión de gases de efecto invernadero ya que al tener concentradas a las plantas en un área menor las labores culturales se reducen y, por lo tanto, el uso de maquinaria agrícola como el tractor que consume mucho combustible ya no es necesaria.

**Económico.** – En la agricultura hidropónica se reduce mucho el uso de pesticidas agrícolas para el control de plagas y enfermedades lo que significa una reducción de gastos para el agricultor.

**Sociales.** – Dando a los agricultores charla a los agricultores de una manera más sana de producción.

## **12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **12.1 Conclusiones**

La comparación entre las soluciones evaluadas determinó que la solución La Molina fue la más eficiente, promoviendo un mayor desarrollo de la planta en todos los periodos de evaluación. A los 45 días después del trasplante (DDT), las plantas tratadas con La Molina presentaron una mayor altura (24.64 cm), longitud de raíz (35.54 cm) y número de hojas (15.10) en comparación con las tratadas con la solución FAO. Esto evidencia que la formulación de La Molina proporciona un balance adecuado de macronutrientes y micronutrientes esenciales para el crecimiento óptimo del cultivo de lechuga en hidroponía.

El análisis de rentabilidad indicó que la solución La Molina es más rentable en comparación con la solución FAO. La relación beneficio/costo (B/C) obtenida con La Molina fue de **1.76**, mientras que con la solución FAO fue de **1.50**, lo que demuestra que la formulación de La Molina no solo mejora el rendimiento del cultivo, sino que también incrementa la rentabilidad en sistemas hidropónicos, asegurando una mayor eficiencia en el uso de insumos y una mejor recuperación de la inversión. En función de los resultados obtenidos, se concluye que la solución nutritiva La Molina representa la mejor alternativa para la producción hidropónica de lechuga en sistema de raíz flotante, ya que optimiza el crecimiento de la planta, maximiza la productividad y mejora la rentabilidad económica del sistema productivo. Su aplicación en cultivos comerciales puede contribuir a la eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola en ambientes controlados.

### **12.2 Recomendaciones**

Se sugiere ajustar las concentraciones a menores ya que se trabajó con la recomendación general de foliares, tal vez a dosis menores va a mejorar los costos. Considerar la inclusión de variables como la calidad nutricional de las hojas y la eficiencia en el uso del agua para complementar la evaluación de las soluciones nutritivas.

Realizar investigaciones adicionales en diferentes condiciones agroclimáticas y con variaciones en la calidad del agua utilizada, para evaluar la adaptabilidad y sostenibilidad de las soluciones nutritivas evaluadas.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- Agricultura ecológica vs agricultura tradicional. (2018). Agricultura Ecológica Agricultura Tradicional Alltech. <https://www.alltech.com/es-es/blog/agricultura-ecologica-vs-agriculturatradicional>
- Aguilar, O. et al. Cultivo sin Suelo de hortalizas. (España) Aspectos Prácticos y Experiencias. Generalitat Valenciana
- Aguilera, R (s,f), Hidroponía tecnología para la seguridad alimentaria y oportunidad de negocio para las comunidades campesinas. Recuperado el 24 de junio de 2024, de [http://chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/08/AICCA-Ecuador-TdR-Hidroponi%CC%81aMacha%CC%81ngara\\_revCR-27.07.2020.pdf](http://chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/08/AICCA-Ecuador-TdR-Hidroponi%CC%81aMacha%CC%81ngara_revCR-27.07.2020.pdf)
- Arcos, F. “Fertilizantes Y nutrición Vegetal” Espoch 2013. “Fertilizantes Y nutrición Vegetal” Espoch 2013. (Ecuador)
- Barbado, J. L. (2005). Hidroponía. Su empresa en cultivos en agua. Disponible en [https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=hidroponia&btnq=#d=gs\\_cit&t=1717359778497&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3amufwvro\\_00IJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D1%26hl%3Des](https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=hidroponia&btnq=#d=gs_cit&t=1717359778497&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3amufwvro_00IJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D1%26hl%3Des)
- Cajo, A. (2016). “PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L), BAJO EL SISTEMA NFT, CON TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS.”
- Características y variedades en lechugas hidropónicas: (2024). Hydroenv.com.mx. [https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=293](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=293)
- Carrasco G. et al. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en nft [en línea]. 2007 (Chile) Departamento de Horticultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. 25 (2); p. 59-62. [Consulta: 15 agosto 2021]. Disponible [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292007000200007](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292007000200007)
- Centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral. (2024). Lamolina.edu.pe. [Http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol\\_cultivos.htm](Http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol_cultivos.htm)
- Córdova, D. & Soria, R, (2022); Implementación De Un Sistema Tecnificado Por Hidroponía Para Cultivos Hortícolas En La Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná. UTC. La Mana. 88 p.
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (2005). Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives (2nd ed.). Sinauer Associates.
- García, E. (2007). Efecto de 2 soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa*)
- González J, (2021). Producción de lechuga hidropónica *Lactuca sativa* L., en sistema de raíz flotante bajo el efecto de 3 bioestimulantes. La Libertad. UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Gómez, K. A., & Gómez, A. A. (1984). Statistical Procedures for Agricultural Research (2nd ed.). John Wiley & Sons.

- Hidroponía Ecuador, el arte de cultivar sin suelo – Hidroponía Ecuador. (2019, January 23). Hidroponía Ecuador - La Huerta Honfleur. <https://hidroponiaec.com/>
- Hidroponía y cultivos Hidropónicos: Di adiós a la tierra. (2024, March 14). Paisajismo Urbano. <https://paisajismourbano.com/hidroponia-y-cultivos-hidroponicos/>
- Corpoica (2013) HUERTOS HIDROPÓNICOS CASEROS COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS HUERTOS HIDROPÓNICOS CASEROS COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS. (n.d.). Retrieved February 11, 2025, from [https://repository.agrosavia.co/bitstream/20.500.12324/2358/1/Ver\\_Documento\\_2358.pdf](https://repository.agrosavia.co/bitstream/20.500.12324/2358/1/Ver_Documento_2358.pdf)  
[https://repository.agrosavia.co/bitstream/20.500.12324/2358/1/Ver\\_Documento\\_2358.pdf](https://repository.agrosavia.co/bitstream/20.500.12324/2358/1/Ver_Documento_2358.pdf)
- José Antonio Mula. (2014, August 14). Plagas y enfermedades de la lechuga - Agromática. Agromática. <https://www.agromatica.es/plagas-y-enfermedades-de-la-lechuga/>
- La Hidroponía: Cultivos sin Suelo | Intagri S.C. (2016). Intagri.com. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- Lechuga (*Lactuca sativa*). (2020). Natusfera. <https://spain.inaturalist.org/taxa/122976Lactuca-sativa>
- López, A., Pérez, J., & Gómez, R. (2021). Optimización de soluciones nutritivas en sistemas hidropónicos: Un enfoque experimental. *Revista de Agronegocios*, 35(2), 45-60.
- Manual fotográfico: Plagas y enfermedades de la lechuga - PortalFruticola.com. (2018, July 19). PortalFrutícola. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/07/19/manual-fotograficoplagas-y-enfermedades-de-la-lechuga/>
- Máster, I., & Aguilera Peña, R. (n.d.). HIDROPONÍA UNA OPORTUNIDAD PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA DE LAS COMUNIDADES RURALES. <https://www.eumed.net/rev/delos/36/hidroponia.pdf>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Meyer, M. J. (2023). Doubly ranked tests for grouped functional data. arXiv preprint arXiv:2306.14761. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2306.14761>
- Méndez, X., & Briones, E. (2007). Producción de lechuga hidropónica para la explotación al mercado Alemán. (Tesis de Ingeniería en Finanzas). ESPOL. Guayaquil.
- Mildiu en lechuga: en busca de aliados para su control. (2024). Seipasa. <https://www.seipasa.com/es/blog/mildiu-en-lechuga-en-busca-de-aliados-para-su-control/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). Guía de análisis costo-beneficio: Aplicación para medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario en Uruguay. FAO y PNUD. Recuperado de [https://openknowledge.fao.org/bitstream/handle/10568/106091/CB\\_guide\\_spa.pdf](https://openknowledge.fao.org/bitstream/handle/10568/106091/CB_guide_spa.pdf)
- Pérez, M., Rodríguez, F., & García, L. (2020). Eficiencia de fertilizantes en cultivos de hoja verde. *Agricultura Tropical*, 18(4), 98-110.
- Proyecto Adaptación a los impactos del cambio climático en recursos hídricos en los Andes (AICCA). Recuperado el 24 de junio de 2024, de <http://chrome->

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2020/08/AICCA-Ecuador-TdR-Hidroponi%CC%81aMacha%CC%81ngara\_revCR-27.07.2020.pdf

Quito Informa. (2022, 18 de mayo). Conoce la comuna de Llano Grande: un lugar de cultura, arte e innovación. Quito Informa. <https://www.quitoinforma.gob.ec/2022/05/18/conoce-lacomuna-de-llano-grande-un-lugar-de-cultura-arte-e-innovacion/>

Resh, H. M. (2021). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press.

Rogel, M (2018). Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a cuatro soluciones nutritivas, bajo condiciones hidropónicas en invernadero. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito: UCE. 76 p.

Rodríguez, C., & Gómez, J. (2019). Comparación de métodos de fertilización en lechuga hidropónica. *Ciencia y Agroindustria*, 12(3), 65-72.

Saavedra Sarango, J. A., Pardo Alejandro, D. F. P. A., Gualan Cueva, M. G., Jiménez Espinoza, J. A., Ramón Sarango, X. del C., & Cueva Salazar, A. J. (2024). El Impacto de las Verduras Hidropónicas en la Salud. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 2584-2592.

Saavedra, P., Rosel R., Ajhuacho, E., Hilarión, Y., Veizaga, N. & Bravo, J.C. (2010). Cultivos hidropónicos en frutilla. Universidad Ciencia y Sociedad. Santa Cruz de la Sierra. *Revista Bolivariana* No.3

Se promueve cultivo hidropónico de frutilla – Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). [Agricultura.gob.ec. https://www.agricultura.gob.ec/se-promueve-cultivo-hidroponico-defrutilla/](https://www.agricultura.gob.ec/se-promueve-cultivo-hidroponico-defrutilla/)

Sistemas Hidropónicos: tipos, diferencias y ventajas. (2023, October 9). Jiffy Group ES. <https://jiffygroup.com/es/noticias/sistemas-hidroponicos-tipos-diferencias-y-ventajas/>

Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer.

Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. In Asao, T. (Ed.), *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech.

UNALM, U. N. (2005). ¿Qué es Hidroponía? Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de [http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/que\\_es\\_hidropon%EDa.htm](http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/que_es_hidropon%EDa.htm)

Valenzuela, L. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato de humus de lombriz – fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*

Valle, A. (2021). Eficacia de tres soluciones nutritivas mediante Hidroponía a raíz flotante en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa en invernadero. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

