

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a dos concentraciones de L-metionina en condiciones hidropónicas.**

**TESIS para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo**

**AUTOR:**

Bach. Michael Douglas Chunga Marchan

**TUMBES, 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a dos concentraciones de L-metionina en condiciones hidropónicas.**

**TESIS APROBADO EN FORMA Y ESTILO POR:**

PhD. Faustino Sanjinez Salazar (Presidente)

ORCID: 0000-0002-8542-9353

Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya (Secretario)

ORCID:0000-0002-0804-1208

Dr. Ramon García Seminario (Vocal)

ORCID: 0000-0003-0756-0935

**TUMBES, 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a dos concentraciones de L-metionina en condiciones hidropónicas.**

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma:

Bach. Michael Douglas Chunga Marchan (Autor)

Dr. Ramon García Seminario (Asesor)

ORCID: 0000-0003-0756-0935

Ing. Franco López Aponte (Co-asesor)

ORCID: 0000-0002-2060-9601

**TUMBES, 2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO  
SECRETARIA ACADÉMICA**



**ANEXO VIII**

*"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"*

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En Tumbes, a los trece días del mes de noviembre de dos mil veinticinco, siendo las once horas, con cinco minutos (mañana), de la ....., de forma presencial, se reunieron en la sede de la Facultad de Ciencias Agrarias, el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 151-2025/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Ing. Faustino Sanjinez Salazar PhD** (Presidente), **Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya** (Secretario), **Dr. Ramón García Seminario** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Ramón García Seminario**, como **Asesor**, y al **Ing. Franco López Aponte**, como **Co-asesor**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "**Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a dos concentraciones de L-metionina en condiciones hidropónicas**", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el **Bach. Chunga Marchan Michael Douglas**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. CHUNGA MARCHAN MICHAEL DOUGLAS**, por unanimidad, con el calificativo Muy bueno. Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica. En consecuencia, queda auto para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes. Siendo las doce horas y quince minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 13 de noviembre del 2025

<b>Ing. Faustino Sanjinez Salazar PhD</b> DNI N° <u>00364079</u> CODIGO ORCID <u>0000-0001-7032-8122</u> Presidente	<b>Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya</b> DNI N° <u>00236469</u> CODIGO ORCID <u>0000-0002-0804-1208</u> Secretario
<b>Dr. Ramón García Seminario</b> DNI N° CODIGO ORCID <u>0000-0003-0756-0935</u> Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)  
S.acad.

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Michael Douglas Chunga Marchan, declaro que el presente trabajo de investigación, titulado “Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a dos concentraciones de L-metionina en condiciones hidropónicas”, es original y ha sido presentada con el fin de obtener el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Así mismo, confirmo que, los resultados que se han reportado no han sido copiados de otros archivos o investigaciones. Por ello, la información que no me pertenece, es usada para complementar y discutir la tesis, está citada y referenciada debidamente por derechos del autor. Siendo así, este trabajo, producto del esfuerzo de mi persona, asesor y co-asesor, en cuanto a su ejecución y redacción para su aprobación.

Bach. Michael Douglas Chunga Marchan

# REPORTE DE TURNITIN



**autor desconocido**

**Informe de tesis Chunga Turnitin**

 Asesor Tesis

## Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::3117:529986537

Fecha de entrega  
19 nov 2025, 9:41 GMT-5

Fecha de descarga  
19 nov 2025, 9:43 GMT-5

Nombre del archivo  
Informe de tesis Chunga Turnitin.docx

Tamaño del archivo  
4.0 MB

43 páginas

7718 palabras

40.345 caracteres

Dr. Ramon Garcia Seminario  
Asesor  
Codigo ORCID: 0000-0003-0756-0935






## 10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▾ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dr. Ramon Garcia Seminario  
Asesor  
Codigo ORCID: 0000-0003-0756-0935

### Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	4%
2	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2019-11-06	1%
3	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
4	Internet	ri.ues.edu.sv	<1%
5	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-10-27	<1%
7	Internet	hdl.handle.net	<1%
8	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad de Costa Rica on 2020-06-26	<1%
10	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
11	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%

Dr. Ramon Garcia Seminario  
Asesor  
Codigo ORCID: 0000-0003-0756-0935

12	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD on 2024-05-29	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad TecMilenio on 2025-06-19	<1%
14	Trabajos del estudiante	Escuela de Posgrado Newman on 2025-03-17	<1%
15	Publicación	Urbina Bustíos, Jose Luis. "Uso de las Técnicas de Gamificación en el Aprendizaje ...	<1%
16	Internet	www.scribd.com	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-09-12	<1%
18	Trabajos del estudiante	Universidad Rey Juan Carlos on 2025-02-27	<1%
19	Trabajos del estudiante	consultoriadeserviciosformativos on 2024-12-27	<1%



Dr. Ramon Garcia Seminario  
Asesor  
Codigo ORCID: 0000-0003-0756-0935

## DEDICATORIA

*A Dios, por ser mi guía constante, por darme fuerza cuando sentía desistir y mostrarme que todo esfuerzo, cuando es puesto en sus manos, se convierte en bendición.*

*A mis queridos padres, Melquiades y Clarita, por su amor incondicional, sus sacrificios incansables y su ejemplo de perseverancia. Gracias por enseñarme que la constancia y humildad son las llaves para abrir cualquier puerta.*

*A mi amada hija Selene, motivo de mis mayores esfuerzos y mi más grande alegría. Este logro es para ti, con todo mi amor eterno.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar esta investigación.*

*A mi querida familia, padres, hija y hermanos, quienes han sido fuente de inspiración, gracias por su paciencia, sus palabras de aliento y apoyo incondicional en este largo camino.*

*A mi asesor, Dr. Ramon García Seminario y a mi co-asesor, Ing. Franco López Aponte, por su valiosa dedicación, orientación y compromiso en cada etapa de esta investigación. Sus sugerencias y enseñanzas han sido fundamentales para la calidad y el desarrollo de este trabajo.*

*A todos quienes, de una u otra forma, contribuyeron a que este sueño se haga realidad, mi más sincero agradecimiento.*

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	xi
INDICE DE TABLAS .....	viii
INDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
CAPÍTULO I .....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO II .....	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	12
2.1. Lechuga crespa y hoja de roble .....	12
2.2. Hidroponía .....	12
2.3. Ventajas de los cultivos hidropónicos.....	13
2.4. Sistema N.F.T. (Nutrient Film Technique).....	13
2.5. Bioestimulantes .....	14
2.6. Aminoácidos .....	15
2.7. L-Metionina .....	15
2.8. ANTECEDENTES.....	16
2.8.1. L-metionina en hortalizas de hoja .....	16
2.8.2. L- metionina en el cultivo de lechuga.....	17
CAPÍTULO III .....	18
3. MATERIALES Y METODOS .....	18
3.1. Lugar de ejecución.....	18
3.2. Materiales: .....	18
3.2.1. Materiales e Insumos.....	18
3.3.1. Tipo de investigación .....	19
3.3.2. Factores y tratamientos en estudio .....	19
3.3.3. Diseño experimental y análisis estadístico .....	20
3.3.4. Variables y metodología de evaluación.....	20
a. Altura de planta (cm) .....	20
b. Número de hojas por planta.....	20
c. Ancho de hoja (cm).....	20
d. Largo de hoja (cm).....	21
e. Longitud de la raíz (cm).....	21
f. Biomasa fresca y seca de la parte aérea (g).....	21

g.	Biomasa fresca y seca de la raíz (g).....	21
h.	Rendimiento (kg/ m <sup>2</sup> ).....	21
3.3.5.	Conducción del experimento.....	22
a.	Preparación de cama de germinación .....	22
b.	Siembra de semillas Lechuga “Santo Domingo” (Hoja de roble crespa) ....	22
c.	Riego de almacigo.....	22
d.	Formulación, preparación y aplicación de la solución nutritiva.....	22
e.	Preparación de camas para trasplante .....	24
f.	Primer trasplante .....	24
g.	Instalación del sistema NFT.....	24
h.	Segundo trasplante definitivo al sistema hidropónico NFT.....	24
i.	Preparación de testigo y tratamientos con L-metionina.....	25
	CAPÍTULO IV.....	26
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1.	Resultados de Evaluación de desarrollo del cultivo.....	26
4.1.1.	Normalidad y Homogeneidad.....	26
4.1.2.	ANOVA.....	27
4.1.3.	Post Hoc.....	27
4.2.	Resultados de Muestreo a Cosecha .....	34
	CAPÍTULO V.....	44
5.	CONCLUSIONES .....	44
	CAPÍTULO VI.....	45
6.	RECOMENDACIONES .....	45
	CAPÍTULO VII.....	46
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
	ANEXOS.....	53

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor y tratamiento.....	19
Tabla 2. Concentraciones óptimas de los elementos esenciales en la solución nutritiva. .....	23
Tabla 3 .Solución nutritiva “A” (pesos para preparar 5 litros de Solución concentrada). .....	23
Tabla 4. Solución nutritiva “B” (pesos para preparar 2 litros de Solución concentrada). .....	23
Tabla 5. Solución nutritiva “C” (pesos para preparar 2 litros de Solución concentrada). .....	23
Tabla 6. Solución concentrada de micronutrientes* (pesos para preparar 1 litro del cual se utilizará 400ml para la Solución concentrada B”). .....	24
Tabla 7. ANOVA para la altura de planta, semana 1 .....	27
Tabla 8. ANOVA para altura de planta, semana 2 .....	27
Tabla 9. ANOVA para altura de planta, semana 3 .....	28
Tabla 10. ANOVA para altura de planta, semana 4 .....	28
Tabla 11. ANOVA para longitud de hoja, semana 1 .....	29
Tabla 12. ANOVA para longitud de hoja, semana 2 .....	29
Tabla 13. ANOVA para longitud de hoja, semana 3 .....	29
Tabla 14. ANOVA para longitud de hoja, semana 4 .....	29
Tabla 15. ANOVA para ancho de hoja, semana 1 .....	30
Tabla 16. ANOVA para ancho de hoja, semana 2 .....	31
Tabla 17. ANOVA para ancho de hoja, semana 3 .....	31
Tabla 18. ANOVA para ancho de hoja, semana 4 .....	31
Tabla 19. HSD Tukey para ancho de hoja, semana 3 .....	31
Tabla 20. Kruskal-Wallis para número de hojas, semana 1 .....	32
Tabla 21. Kruskal-Wallis para número de hojas, semana 2 .....	33
Tabla 22. ANOVA para número de hojas, semana 3 .....	33
Tabla 23. Kruskal-Wallis para número de hojas, semana 4 .....	33
Tabla 24. ANOVA para biomasa fresca de la parte aérea a la cosecha. ....	34
Tabla 25. HSD Tukey para biomasa fresca de parte aérea a la cosecha. ....	34
Tabla 26. ANOVA para biomasa seca de la parte aérea a la cosecha.....	35
Tabla 27. HSD Tukey para biomasa seca de parte aérea a la cosecha.....	36
Tabla 28. ANOVA para biomasa fresca de raíz a la cosecha. ....	37
Tabla 29. ANOVA para biomasa seca de raíz a la cosecha. ....	38
Tabla 30. ANOVA para longitud de raíz a la cosecha.....	39
Tabla 31. ANOVA para el rendimiento del cultivo.....	40
Tabla 32. HSD Tukey para el rendimiento a la cosecha. ....	40
Tabla 33. Resumen de medias de parámetros morfológicos. ....	56
Tabla 34. Parámetros que cumplieron con normalidad y homogeneidad.....	56
Tabla 35. Resumen del análisis de varianza (ANOVA).....	57
Tabla 36. Cuadro resumen de medias de parámetros productivos.....	57
Tabla 37. Normalidad y Homogeneidad. ....	58
Tabla 38. Resumen del análisis de varianza (ANOVA).....	58

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del taller de investigación y enseñanzas de cultivos hidropónicos. ....	18
Figura 2. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la altura de plantas de lechuga. ....	28
Figura 3. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la longitud de hoja en las plantas de lechuga. ....	30
Figura 4. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre el ancho de hoja en las plantas de lechuga. ....	32
Figura 5. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre el número de hojas en las plantas de lechuga. ....	33
Figura 6. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa fresca aérea de las plantas de lechuga. ....	35
Figura 7. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa seca de la parte aérea de las plantas de lechuga. ....	36
Figura 8. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa fresca de la raíz de las plantas de lechuga. ....	37
Figura 9. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa seca de la raíz de las plantas de lechuga. ....	38
Figura 10. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la longitud de la raíz de las plantas de lechuga. ....	39
Figura 11. Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre el rendimiento en el cultivo de lechuga. ....	40
Figura 12. Preparación de cama de germinación y siembra de semillas. ....	53
Figura 13. Preparación de camas para primer trasplante. ....	53
Figura 14. Instalación del sistema NFT. ....	54
Figura 15. Evaluación de plantas. ....	54
Figura 16. Desarrollo del cultivo. ....	55
Figura 17. Toma de datos del cultivo. ....	55

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a dos concentraciones de L-metionina bajo condiciones hidropónicas, utilizando el sistema NFT (Nutrient Film Technique). Se trabajó con un diseño completamente al azar (DCA), conformado por tres tratamientos: T0 (0 ppm), T1 (0.2 ppm) y T2 (1.2 ppm), cada uno con tres repeticiones, obteniéndose nueve unidades experimentales. Durante cuatro semanas se evaluaron variables morfológicas y productivas, tales como altura de planta, ancho y longitud de hoja, número de hojas por planta, biomasa fresca y seca de la parte aérea, biomasa fresca y seca de raíz, longitud radicular y rendimiento. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Tukey para la comparación de medias. Los resultados evidenciaron que el tratamiento intermedio (0.2 ppm) obtuvo los valores más altos en variables clave como el ancho de hoja en la semana 3, la biomasa fresca y seca de la parte aérea y el rendimiento total, mostrando un efecto estimulante en la expansión foliar y en la acumulación de biomasa. En contraste, la concentración más alta (1.2 ppm) no generó mejoras significativas frente al control y presentó respuestas inferiores en varias variables. En conjunto, los resultados indican que la aplicación de L-metionina a bajas concentraciones favorece el crecimiento y desempeño productivo de la lechuga en sistemas hidropónicos, mientras que niveles superiores no mejoran la respuesta fisiológica del cultivo.

**Palabras clave:** L-metionina, lechuga, hidroponía, crecimiento vegetal, rendimiento, biomasa.

## **ABSTRACT**

The present research aimed to evaluate the response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to two concentrations of L-methionine under hydroponic conditions using the NFT (Nutrient Film Technique) system. A completely randomized design (CRD) was employed, consisting of three treatments: T0 (0 ppm), T1 (0.2 ppm), and T2 (1.2 ppm), each with three replications, resulting in a total of nine experimental units. Over a four-week period, morphological and productive variables were assessed, including plant height, leaf width and length, number of leaves per plant, fresh and dry biomass of the aerial part, fresh and dry root biomass, root length, and yield. Data were analyzed through analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's test for mean comparison. The results showed that the intermediate treatment (0.2 ppm) achieved the highest values in key variables such as leaf width in week 3, fresh and dry aerial biomass, and total yield, demonstrating a stimulatory effect on leaf expansion and biomass accumulation. In contrast, the highest concentration (1.2 ppm) did not produce significant improvements compared to the control and presented lower responses in several variables. Overall, the findings indicate that the application of L-methionine at low concentrations favors the growth and productive performance of lettuce grown in hydroponic systems, whereas higher levels do not improve the crop's physiological response.

**Keywords:** L-methionine, lettuce, hydroponics, plant growth, yield, biomass.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas en sistemas hidropónicos, ha emergido como una alternativa sostenible frente a los desafíos de la agricultura convencional, especialmente, en zonas con limitaciones de suelo o agua. Entre las hortalizas de mayor importancia comercial se encuentra la lechuga (*Lactuca sativa* L.), un cultivo ampliamente valorado por su aporte nutricional y su rápida adaptación a sistemas sin suelo. Sin embargo, optimizar su rendimiento y calidad requiere una comprensión detallada de las necesidades nutricionales específicas y el impacto de los bioestimulantes en su desarrollo.

La producción de lechuga es una de las labores agronómicas más extendidas a nivel global, especialmente en China, Estados Unidos y la India, donde se cultiva en grandes superficies para satisfacer una demanda creciente de la población mundial. Esta hortaliza es consumida por su alto valor nutricional, al ser una excelente fuente de minerales, vitaminas y folato; componentes esenciales para una dieta saludable (Shumaila, Khan et al., 2019). Sin embargo, a pesar de su simplicidad, el cultivo enfrenta grandes desafíos en términos de nutrición y sostenibilidad. La necesidad de producir amplias áreas e incrementar los rendimientos han llevado a los agricultores a utilizar ingentes cantidades de fertilizantes químicos, lo cual acarrea problemas de salud para la población que consume este producto y a los componentes de ecosistemas agrícolas (Gonzales, 2019).

Por otro lado, el estrés que puede presentar los cultivos por las limitaciones de agua, constituye uno de los principales factores que afecta negativamente su crecimiento, alterando diversos procesos fisiológicos, principalmente la fotosíntesis y equilibrio nutricional, causando una disminución significativa en los rendimientos (Maqsood, et al., 2022). En ese contexto, la hidroponía se ha afianzado como un sistema de producción innovador, al racionar adecuadamente los nutrientes minerales y agua para un óptimo crecimiento de la planta (Beltrano & Giménez, 2015).

Diversos estudios, sugieren que las aplicaciones exógenas de aminoácidos influyen positivamente en el desarrollo de las plantas, mejorando su vigor, tolerancia al estrés y productividad (Ramírez et al., 2022, Querevalú, 2022). L-metionina es un aminoácido

esencial en el metabolismo celular de las plantas, ya que su derivado principal es la S-adenosilmetionina (SAM), compuesto que nivela la concentración de etileno y biotina. Además, la metionina desempeña un papel crucial en la formación de poliaminas, compuestos que son clave para controlar el crecimiento celular, las respuestas frente al estrés y la estabilización de las membranas celulares. Por otra parte, se menciona que los compuestos derivados de la metionina son pieza fundamental para el metabolismo y desarrollo de la planta, sin embargo, existe un conocimiento limitado de como el metabolismo de la metionina influye en otras redes metabólicas, las cuales controlan varios procesos dentro de las plantas. Yael (2008).

Sin embargo, el uso del aminoácido L-metionina en cultivos hidropónicos sigue siendo un área de investigación poco explorada, con escasa información en lo que respecta a los ensayos con diversas concentraciones para maximizar el rendimiento y la calidad de la lechuga cultivada, incorporando este aminoácido a las soluciones hidropónicas.

En ese contexto, los resultados que se presentan en este manuscrito permiten una mejor comprensión de algunos aspectos fisiológicos importantes en el crecimiento y producción de las plantas de lechuga, bajo el sistema de producción hidropónica.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Lechuga crespa y hoja de roble

Las lechugas crespas son resaltantes entre las otras variedades de lechugas por sus características; no desarrollan cabeza, su textura es ligera y tiene hojas anchas, grandes y dispersas, estas hojas presenta bordes ondulados, pero son separadas en la parte externa y se van juntando en la parte interior; también puede ser de color verde o según su variedad pueden ser moradas (Choez, 2019).

Carrasco y Sandoval (2016) detallan que, la lechuga de roble, se diferencia por no formar cogollo, tener un aspecto visual atractivo y además presenta un rápido crecimiento.

#### 2.2. Hidroponía

El término “hidroponía” proviene del griego, combinando las palabras hidro (agua) y ponos (trabajo), lo que en conjunto significa “trabajo del agua” haciendo uso de soluciones nutritivas con sales minerales (Aguilera, 2020). En esta misma línea, Arias et al. (2024), establece que, la hidroponía se ha solidificado como una técnica eficaz y moderna, este método de cultivo sin suelo ha ganado reconocimiento.

Asimismo, Albuja et al. (2020) confirma que el cultivo de plantas en sistemas hidropónicos brinda beneficios semejantes e inclusive superiores a los del método del cultivo tradicional, señalando que el componente principal del sistema hidropónico es el agua, que forma soluciones con la incorporación de nutrientes y minerales que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

### 2.3. Ventajas de los cultivos hidropónicos

Verdegen (2017) da a conocer las ventajas más importantes que tiene el uso de sistemas hidropónicos, entre las cuales se encuentran:

- Se trabaja con el 70 a 90 % menos de la cantidad de agua utilizada en la agricultura tradicional, es por ello que se vuelve una alternativa factible ante una crisis de agua.
- Beneficia en el ahorro de plaguicidas y fertilizantes, motivo por el cual se cultivan en espacios donde se pueda controlar su crecimiento y el ataque de bacterias, parásitos, hongos fitopatógenos y toxinas.
- Desde una mirada económica, el emplear la hidroponía como un método de cultivo, aporta en la reducción de costos en la producción, dado que se ahorra agua, pesticidas, fertilizantes y maquinaria agrícola.

Defacque (2024), menciona otras ventajas que nos proporciona la hidroponía en el campo de la agricultura, tales como:

- El alto rendimiento y el crecimiento rápido.
- Mayor dominio de los nutrientes.
- Poco consumo de agua.
- Reducción de enfermedades y plagas.
- Mejor rentabilidad de cultivo durante el año.

### 2.4. Sistema N.F.T. (Nutrient Film Technique)

El sistema hidropónico conocido como *Nutrient Film Technique* (NFT) o técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes, fue diseñada con el objetivo de incrementar la producción. Este nuevo método fue ratificado por la Universidad Nacional agraria La Molina, corrigiendo su modelo estructural y la formulación de la solución nutritiva (Brenes & Jiménez, 2016).

Querembas (2024), menciona que el sistema de NFT es una estrategia común en la agricultura sostenible, la cual consiste en hacer circular de forma intermitente o continua una delgada capa de solución nutritiva a lo largo de las raíces del cultivo a instalar. Por otro lado, Ríos et al., (2021) menciona que, uno de los puntos clave es que, no necesita adicionar oxígeno, dado que, es adquirido por el mismo proceso que se ejecuta dentro del canal; asimismo, la raíz de la

planta solo se tiene que sumergir en la solución, de este modo el extremo superior de la planta genera humedad lo que hace que se produzca el oxígeno, el cual, al estar más disponible para la planta, permite su mayor absorción favoreciendo su rápido crecimiento. Asimismo, Chávez (2021) hace mención sobre otras ventajas de este sistema, lo cual es el control de nutrición bien preciso, ya que este, elimina la esterilización del suelo; además, sus rendimientos superan al sistema tradicional y la rapidez en las labores para un cambio de cosecha.

## **2.5. Bioestimulantes**

Los bioestimulantes son compuestos diseñados a partir de sustancias activas y microorganismos beneficiosos que, al momento de interactuar con las plantas, optimizan sus procesos fisiológicos. También favorecen el metabolismo de las plantas al estimular la producción de hormonas naturales, promueven el desarrollo de las raíces y mejoran la absorción de nutrientes del suelo (Cedeño & Sarango, 2024).

Murillo (2022), estos bioestimulantes son compuestos químicos que promueven el crecimiento de las plantas, no aportan nutrientes de forma directa, sino, que ayudan a estimular los procesos fisiológicos de la planta para una mejor asimilación de los nutrientes, mientras que los fertilizantes brindan los nutrientes para que la planta se desarrolle adecuadamente.

Barreto y Pinos (2023) menciona que, existen diversos tipos de bioestimulantes, entre los cuales destacan los ácidos húmicos y fúlvicos, los aminoácidos que son obtenidos mediante hidrólisis, el extracto de algas que al inicio fue usado como fertilizante, pero con el pasar el tiempo se reconoció como bioestimulantes, los quitosanos que se obtienen de manera industrial o natural, los compuestos inorgánicos y finalmente están algunas especies determinadas de bacterias y hongos.

Cedeño y Sarango (2024) indican que, de todos los bioestimulantes señalados, los aminoácidos son los más empleados por sus diversos beneficios, como equilibrar el microbiota del suelo, estimular la producción de clorofila y vitaminas, entre otros.

## **2.6. Aminoácidos**

Vadequímica (2022). Los aminoácidos son compuestos orgánicos importantes para la vida, debido a que actúan como bloques para la construcción de proteínas, mantenimiento de las funciones biológicas y la generación de energía; ya que este metabolito constituye un importante rol en el metabolismo de las plantas.

Certis Belchim (2022), establece que los aminoácidos desempeñan un papel crucial en el desarrollo y regulación del crecimiento, favoreciendo una correcta absorción de nutrientes. Por otra parte, Castillo (2022) sostiene que, estos actúan en diversos aspectos como la fotosíntesis, resistencia al estrés, síntesis de hormonas y proteínas, también contribuyen a la formación de enzimas con funciones desintoxicantes y antioxidantes en las plantas Alanina y la Glicina, cada uno con un rol primordial en las plantas. La metionina tiene un papel importante en la biosíntesis de proteínas; además se considera un antioxidante y participa en la síntesis de citoquininas en plantas, auxinas y brasinoesteroides.

## **2.7. L-Metionina**

Hilfe (2020) reporta a la L- Metionina es un aminoácido que forma parte de aquellas proteínas estructurales necesarias de la planta y desempeña un papel esencial en la defensa de la planta. Una de las funciones más resaltantes en que participa, es la biosíntesis de etileno, la cual es una hormona vegetal clave para su crecimiento.

Universitam (2017) establece, que la metionina también cumple una función fundamental en la regulación de procesos fisiológicos en las plantas, ya que, activa un canal de calcio el cual es responsable de controlar el cierre y la apertura de las estomas, los cuales son importantes para la fotosíntesis y la respiración, además de equilibrar la pérdida de agua a través de la transpiración.

## 2.8. ANTECEDENTES

### 2.8.1. L-metionina en hortalizas de hoja

Akram et al. (2020) nos dice que la aplicación de metionina en calabaza (*Momordica charantia* L.) mejora significativamente características anatómicas, indicadores de crecimiento y compuestos antioxidantes. De las dos dosis que menciona la de 10 mg/L fue más eficaz en regular ciertas estructuras epidérmicas y mejorar biomasa, mientras que la de 20 mg/L implicó más efectiva en mejorar contenido de clorofila y biomasa.

Alfonsea (2022), detalla la aplicación foliar de aminoácidos como la metionina (a 15 mM) beneficia el crecimiento vegetativo del tomate al mejorar su nutrición y metabolismo, lo que mejora tanto la asimilación de CO<sub>2</sub> como el uso del agua. Además, la metionina, sola o mezclada con triptófano, aumenta la tolerancia a la salinidad al realzar los niveles de azúcares solubles totales.

Akram et al. (2024) menciona en su estudio que la aplicación de metionina redujo los efectos negativos del estrés, optimizando tanto los mecanismos antioxidantes en hojas y cabezas como el desarrollo vegetativo, en condiciones sin y con estrés. Sus resultados destacan el papel positivo de la metionina en potenciar la productividad, la resistencia al estrés hídrico y el crecimiento en brócoli.

Rui et al. (2024) También menciona que la aplicación de los aminoácidos como la metionina y triptófano en el cultivo de brócoli aumentan significativamente los niveles de glucosinolatos y glucobrasicina, mejora también el crecimiento vegetal y la concentración de aminoácidos y flavonoides, dicha aplicación aporta beneficios tanto para la agricultura como para la salud del consumidor.

El - Bauome et al. (2022) en su estudio resalta la eficacia de las aplicaciones foliares de prolina, metionina y melatonina para reducir los efectos negativos del estrés por sequía. El efecto de estos tres aminoácidos combinados favorece la acumulación de azúcares solubles, tanto no reductores como reductores, lo cual contribuye a mejorar el rendimiento y el crecimiento en plantas de coliflor en condiciones hídricas limitadas.

Saddique et al. (2022) En su estudio menciona que la salinidad en el cultivo de espinaca reduce el desarrollo y crecimiento de las plantas, sin embargo, el uso

de aminoácidos individuales o combinados como la metionina, prolina, fenilalanina y tirosina, mejoran significativamente diversos parámetros de rendimiento y fisiológicos, aumenta el peso de la planta, crecimiento foliar y radicular y la producción, sin embargo el uso de aminoácidos combinados es la alternativa más eficaz para mitigar los efectos negativos de la salinidad.

### **2.8.2. L- metionina en el cultivo de lechuga**

Khan et al. (2019) detalla que la L-metionina cumple un papel fundamental en la productividad y desarrollo de las plantas, debido a que favorece en el aumento del contenido de clorofila, lo cual contribuye al ahorro energético y optimiza el proceso de la fotosíntesis en las plantas, por lo tanto, hay un incremento en el rendimiento del cultivo. Se han realizado estudios demostrando que la L-metionina, aplicada en menores concentraciones, tiene efectos positivos en los factores fisiológicos de las hojas como la lechuga. Por ejemplo, una dosis de 0.2 mg/L tuvo mejores resultados, causando un crecimiento vigoroso y saludable en el cultivo. Sin embargo, la L-metionina en mayores concentraciones puede obstruir con la absorción de auxinas, hormonas fundamentales para el desarrollo vegetal, lo que tendría consecuencias perjudiciales e incluso letales para las plantas.

Abdelkader et al. (2023) menciona que la aplicación de aminoácidos como bioestimulantes, favorece las funciones bioquímicas, fisiológicas y el desarrollo de la lechuga, especialmente bajo condiciones de estrés salino, consecuencia del cambio climático. En su investigación demuestra el potencial de los aminoácidos para disminuir el impacto perjudicial del estrés salino, recomendando el uso de metionina o prolina a una concentración de 0,5 g/L.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

Se llevo a cabo en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, el cual se encuentra ubicado en el distrito Corrales, departamento y provincia de Tumbes en las coordenadas UTM 9603026.53 mS. 555 137.77 mE. y una altitud de 5 m.s.n.m.



Figura 1. Localización del taller de investigación y enseñanzas de cultivos hidropónicos.

#### 3.2. Materiales:

##### 3.2.1. Materiales e Insumos

###### a) Insumos:

- Semillas de lechuga variedad crespa
- L-Metionina
- Superfosfato triple
- Nitrato de amonio
- Nitrato de potasio
- Sulfato de magnesio

- Quelato de hierro
- Nitrato de calcio
- Sulfato de manganeso
- Ácido bórico
- Sulfato de zinc
- Sulfato de cobre
- Molibdato de amonio

**b) Materiales de campo:**

- Cama de madera
- Plástico de polietileno color blanco de 8 micras de grosor
- Aspersor manual
- Libreta de campo
- Tanques de plástico de 250 litros de capacidad

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo experimental que implica la manipulación cuantitativa de una variable independiente que generará datos estadísticos analizables de una variable dependiente.

#### 3.3.2. Factores y tratamientos en estudio

El factor de estudio estuvo constituido por las concentraciones de L-metionina, las cuales fueron incorporadas a la solución nutritiva contribuyendo en los parámetros agronómicos de la lechuga.

**Tabla 1. Factor y tratamiento**

<b>Factor</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Clave</b>
Dosis de L-metionina	Testigo	T0
	0,20 ppm	T1
	1,20 ppm	T2

### **3.3.3. Diseño experimental y análisis estadístico**

El diseño experimental que se utilizó fue el de Diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. El factor que se estudió fueron 2 concentraciones de L-metionina, la unidad experimental estuvo constituida por un tubo de PVC teniendo un total de 9 Unidades experimentales. Para validar los datos obtenidos de las variables que se estudiaron, se utilizó el software IBM SPSS Statistics 26 con el cual se realizó un análisis de varianza (ANVA) y para el comparativo de medias se utilizó la prueba estadística de HSD Tukey.

### **3.3.4. Variables y metodología de evaluación**

La evaluación se realizó durante cuatro semanas y al momento de la cosecha, seleccionando doce plantas al azar de cada tratamiento, registrando las siguientes variables:

#### **a. Altura de planta (cm)**

Se escogieron 12 plantas de cada tratamiento, las cuales fueron evaluadas usando un vernier y una cinta métrica. La medición se ejecutó desde la base del cuello de la planta hasta el ápice del tallo, expresando los resultados en centímetros

#### **b. Número de hojas por planta**

Asimismo, a partir de la muestra seleccionada para este estudio, se realizó el conteo individual de hojas por planta, obteniendo así el número total de hojas por unidad vegetal. Seguidamente, con los valores obtenidos, se calculó el promedio correspondiente para las plantas evaluadas.

#### **c. Ancho de hoja (cm)**

De las mismas plantas seleccionadas, se procedió a medir el ancho de hoja, utilizando una cinta métrica. Para ello, se niveló previamente la zona de mayor expansión lateral de la hoja y se colocó la cinta de borde a borde en dicho punto, registrando el valor obtenido en centímetros.

**d. Largo de hoja (cm)**

Para obtener el largo de la hoja se utilizó la cinta métrica, ubicando la parte donde la hoja se une al tallo y, desde ese origen, se extendió la cinta hasta el extremo final de la hoja. El valor obtenido se registró en centímetros.

**e. Longitud de la raíz (cm)**

En la última semana de evaluación, las plantas seleccionadas en cada repetición fueron medidas utilizando una wincha, registrando la longitud total desde la base del cuello de la planta hasta el ápice de la raíz.

**f. Biomasa fresca y seca de la parte aérea (g)**

A cada una de las plantas elegidas por repetición se le realizó un corte transversal. Consecutivamente, las muestras fueron pesadas en una balanza gramera para registrar el peso fresco. Luego, cada muestra se envolvió individualmente en papel y se colocó en una estufa a 80 °C durante 3 días. Pasado este tiempo, las muestras se retiraron y se pesaron nuevamente, esta vez en una balanza analítica, registrando el peso seco en gramos.

**g. Biomasa fresca y seca de la raíz (g)**

A partir de las plantas evaluadas en el punto anterior, se determinó la biomasa fresca y seca de la raíz siguiendo el mismo procedimiento explicado para la parte aérea.

**h. Rendimiento (kg/ m<sup>2</sup>)**

Para calcular el rendimiento por unidad de superficie, se consideró exclusivamente el peso de la cabeza de lechuga como parte aérea en cada tratamiento. Este valor promedio se convirtió a kilogramos y se relacionó con el área efectiva cultivada. Finalmente, la producción obtenida se dividió entre el área correspondiente, expresando el rendimiento en kg por metro cuadrado.

### **3.3.5. Conducción del experimento**

Se realizaron las siguientes labores agronómicas:

#### **a. Preparación de cama de germinación**

Se preparo una cama de madera con dimensiones de 1.00 m x 1.00 m x 0.15 m, forrada internamente con lamina de plástico blanco de 8 micras de grosor. Asimismo, se colocó el sustrato inerte, el cual estuvo constituido en arena fina de cantera previamente lavada y desinfectada con una solución de hipoclorito de sodio al 1% y luego se procedió al nivelado.

#### **b. Siembra de semillas Lechuga “Santo Domingo” (Hoja de roble crespa)**

Con el sustrato una vez lavado, desinfectado y nivelado, se sembró las semillas de variedad crespa. Dicha siembra se realizó a una distancia entre líneas de 5 cm y a una profundidad de 0.2 cm, después las semillas se cubrieron ligeramente con una capa de la misma arena.

#### **c. Riego de almacigo**

Se aplicaron riegos suaves diariamente con agua potable los primeros días, utilizando un pulverizador manual, con la finalidad de garantizar la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas. Después de que aparecieron las primeras hojas, se aplicó una solución nutritiva comercial de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **d. Formulación, preparación y aplicación de la solución nutritiva**

Se tomó como base la solución nutritiva comercial, tal y como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Concentraciones óptimas de los elementos esenciales en la solución nutritiva.

<b>Peso atómico</b>	<b>Elemento</b>	<b>Rango (ppm)</b>	<b>UNALM (ppm)</b>
14	N	150 – 250	190,00
31	P	30 – 50	35,00
39	K	200 – 300	210,00
40	Ca	120 – 200	150,00
24	Mg	20 – 50	45,00
32	S	50 – 100	70,00
56	Fe	0,5 – 2,0	1,00
55	Mn	0,5 – 0,8	0,50
11	B	0,3 – 0,6	0,50
65,5	Zn	0,1 – 0,3	0,15
63,5	Cu	0,05 – 0,15	0,10
96	Mo	0,01 – 0,05	0,05

**Tabla 3 .**Solución nutritiva “A” (pesos para preparar 5 litros de Solución concentrada).

<b>Tipo de fertilizante</b>	<b>Peso (g)</b>
Superfosfato triple (45 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 20 % CaO)	180,00
Nitrato de amonio (33 % N)	125,00
Nitrato de potasio (13.5 % N, 45 % K <sub>2</sub> O)	557,00

**Tabla 4.** Solución nutritiva “B” (pesos para preparar 2 litros de Solución concentrada).

<b>Tipo de fertilizante</b>	<b>Peso</b>
Solución de micronutrientes* (0.5 ppm Mn, 0.5 ppm B, 0.15 ppm Zn, 0.10 ppm Cu, 0.005 ppm Mo) (Ver Tabla 6)	400 ml
Sulfato de magnesio (16 % MgO, 13 % S)	448,00 g
Quelato de hierro (6 % Fe)	17,00 g

**Tabla 5.** Solución nutritiva “C” (pesos para preparar 2 litros de Solución concentrada).

<b>Tipo de fertilizante</b>	<b>Peso (g)</b>
Nitrato de calcio	737,00

**Tabla 6.** Solución concentrada de micronutrientes\* (pesos para preparar 1 litro del cual se utilizará 400ml para la Solución concentrada B”).

<b>Tipo de fertilizante</b>	<b>Peso (g)</b>
Sulfato de manganeso ( $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ )	5,00
Ácido bórico ( $H_3BO_3$ )	6,70
Sulfato de zinc ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ )	1,70
Sulfato de cobre ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )	1,00
Molibdato de amonio $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0,20

#### **e. Preparación de camas para trasplante**

Se preparo cajas de madera con dimensiones 1.00 m x 1.00 m x 0.15 m, las cuales fueron forradas con láminas de plástico negro y blanco de 8 micras. Luego se colocó 80 litros de agua potable y se agregó 400 ml de la solución “A”, 160 ml de la solución “B” y 160 ml de la solución “C”.

#### **f. Primer trasplante**

Se realizo a los 19 días después de la siembra, para facilitar la extracción de las plántulas a raíz desnuda se inundó el almacigo con agua potable y luego las plantas se colocaron en las planchas de poliestireno con una tira de espuma de poliuretano a la altura del cuello y se procedió a colocar en las cajas que contienen la solución nutritiva.

#### **g. Instalación del sistema NFT**

Se instalaron 3 tanques con una capacidad de 250 litros, las unidades experimentales las cuales fueron 9 tubos de PVC y las conducciones a cada unidad experimental.

#### **h. Segundo trasplante definitivo al sistema hidropónico NFT**

Este se realizó a los 9 días después del primer trasplante. Las plantas seleccionadas se colocaron en canastillas y pasaron a cada unidad experimental correspondiente.

**i. Preparación de testigo y tratamientos con L-metionina**

El tratamiento testigo consistió en 210 litros de solución nutritiva sin adición de L-metionina. El tratamiento 1 se preparó con 210 litros de solución nutritiva, adicionándole 0,20 ppm de L-metionina, mientras que el tratamiento 2 empleó la misma cantidad de solución nutritiva con la adición de 1,20 ppm de L-metionina.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de Evaluación de desarrollo del cultivo

En esta se tomaron datos durante un mes, agrupando los datos en semana 1, 2, 3 y 4. Para lo cual se realizaron las pruebas estadísticas correspondientes.

##### 4.1.1. Normalidad y Homogeneidad

###### Prueba de normalidad

Para verificar si los datos presentan una distribución normal, se propusieron las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>**: los datos tienen una distribución normal.

**H<sub>a</sub>**: los datos no tienen una distribución normal.

La prueba estadística empleada fue Shapiro-Wilk, recomendada cuando el tamaño de la muestra es menor o igual a 50 ( $n \leq 50$ ).

El criterio de decisión fue el siguiente: si  $p < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ); mientras que si  $p \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

###### Prueba de homogeneidad de varianzas

**H<sub>0</sub>**: las varianzas son iguales, entonces los grupos son homogéneos.

**H<sub>a</sub>**: las varianzas no son iguales, entonces los grupos no son homogéneos.

La prueba estadística que se utilizó fue *Levene*.

El criterio de decisión se estableció de la siguiente manera: si  $p < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y si  $p \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula.

#### 4.1.2. ANOVA

Para determinar si existen diferencias significativas entre los grupos, se plantearon las siguientes hipótesis:

$$H_0: T_1 = T_2 = T_3$$

$$H_1: T_1 \neq T_2 \neq T_3$$

El criterio de decisión fue el siguiente: si  $p < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, existe diferencia significativa entre los grupos. Si  $p \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, no existe diferencia significativa entre los grupos.

#### 4.1.3. Post Hoc

$H_0: T_1=T_2=T_3$  Las medias son iguales.

$H_1: T_1 \neq T_2 \neq T_3$  Las medias son diferentes.

El criterio de decisión fue el siguiente: si  $p < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, existen diferencias significativas entre las medias de los grupos. En cambio, si  $p \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, no existen diferencias significativas entre las medias.

**Tabla 7.** ANOVA para la altura de planta, semana 1

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	0.078	2	0.039	0.483	<b>0.639</b>
Error experimental	0.487	6	0.081		
Total	0.566	8			
CV = 6.41%					

**Tabla 8.** ANOVA para altura de planta, semana 2

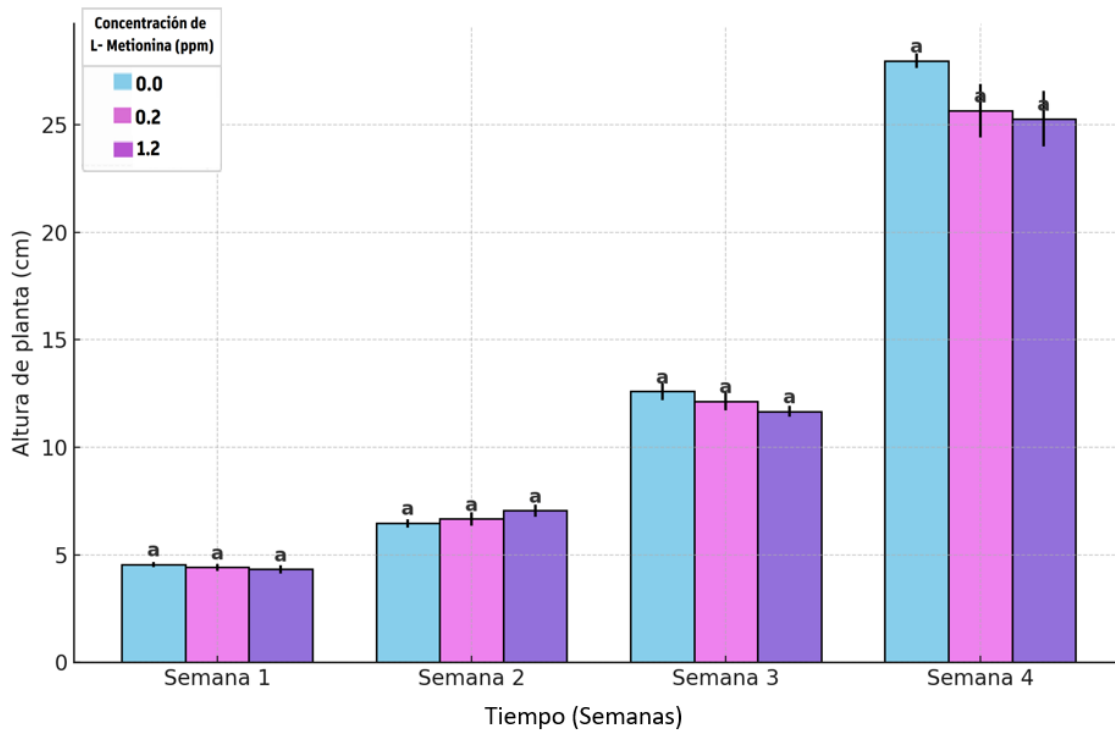
Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	0.540	2	0.270	1.231	<b>0.357</b>
Error experimental	1.317	6	0.219		
Total	1.857	8			
CV = 6.92%					

**Tabla 9.** ANOVA para altura de planta, semana 3

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	1.297	2	0.649	1.624	<b>0.273</b>
Error experimental	2.397	6	0.399		
Total	3.694	8			
<b>CV = 5.21%</b>					

**Tabla 10.** ANOVA para altura de planta, semana 4

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	13.142	2	6.571	2.049	<b>0.210</b>
Error experimental	19.238	6	3.206		
Total	32.381	8			
<b>CV = 6.81%</b>					



**Figura 2.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la altura de plantas de lechuga.

Durante las cuatro semanas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Esto indica que el tratamiento evaluado no tuvo un efecto significativo sobre la altura de la planta.

**Tabla 11.** ANOVA para longitud de hoja, semana 1

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tratamientos</b>	0.375	2	0.188	0.480	<b>0.641</b>
<b>Error experimental</b>	2.347	6	0.391		
<b>Total</b>	2.722	8			
<b>CV = 6.82%</b>					

**Tabla 12.** ANOVA para longitud de hoja, semana 2

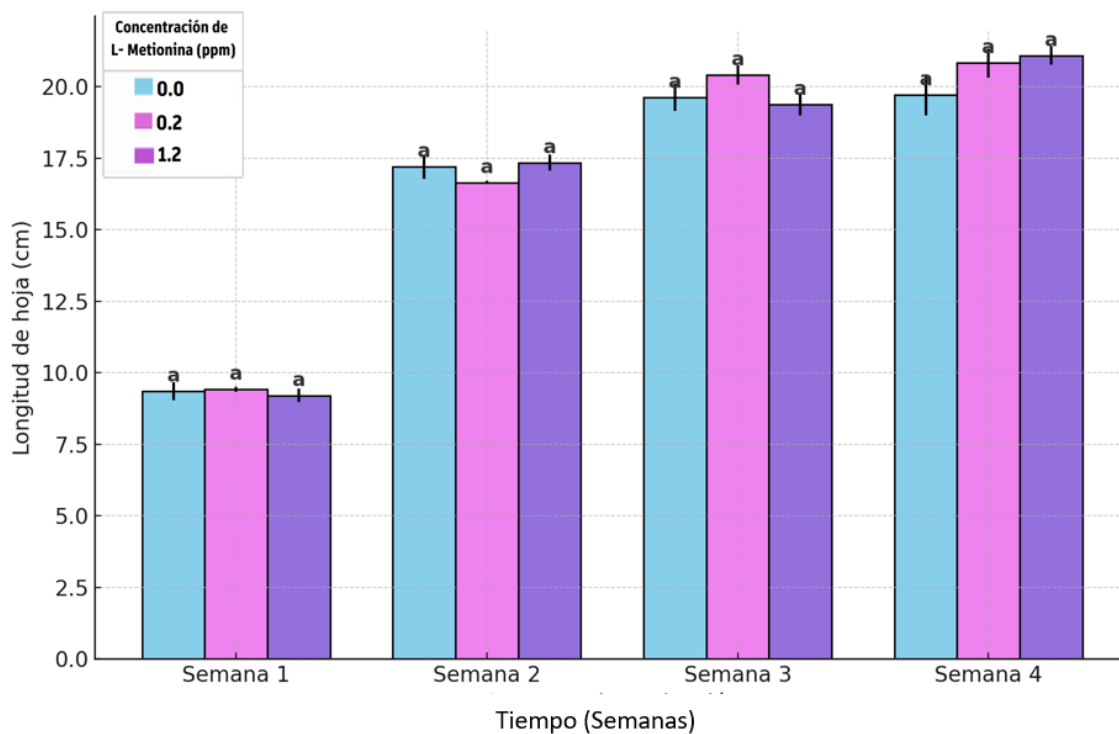
<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tratamientos</b>	0.938	2	0.469	3.308	<b>0.108</b>
<b>Error experimental</b>	0.851	6	0.142		
<b>Total</b>	1.789	8			
<b>CV = 2.18%</b>					

**Tabla 13.** ANOVA para longitud de hoja, semana 3

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tratamientos</b>	1.708	2	0.854	1.765	<b>0.250</b>
<b>Error experimental</b>	2.902	6	0.484		
<b>Total</b>	4.610	8			
<b>CV = 3.51%</b>					

**Tabla 14.** ANOVA para longitud de hoja, semana 4

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tratamientos</b>	5.423	2	2.712	2.477	<b>0.164</b>
<b>Error experimental</b>	6.569	6	1.095		
<b>Total</b>	11.992	8			
<b>CV = 5.04%</b>					



**Figura 3.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la longitud de hoja en las plantas de lechuga.

En todos los tratamientos se observa un aumento continuo de la longitud foliar a lo largo del tiempo. Si bien los tratamientos con 0.2 ppm y 1.2 ppm presentan valores ligeramente superiores en las semanas 3 y 4, las letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones evaluadas. Por lo tanto, la variación observada en la longitud de hoja se debe especialmente al avance del ciclo de desarrollo y no a la aplicación de L-metionina.

**Tabla 15.** ANOVA para ancho de hoja, semana 1

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
<b>Tratamientos</b>	0.195	2	0.097	0.426	<b>0.671</b>
<b>Error experimental</b>	1.369	6	0.228		
<b>Total</b>	1.564	8			
<b>CV = 9.55%</b>					

**Tabla 16.** ANOVA para ancho de hoja, semana 2

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	0.321	2	0.161	0.257	<b>0.781</b>
Error experimental	3.747	6	0.624		
Total	4.068	8			
<b>CV = 7.03%</b>					

**Tabla 17.** ANOVA para ancho de hoja, semana 3

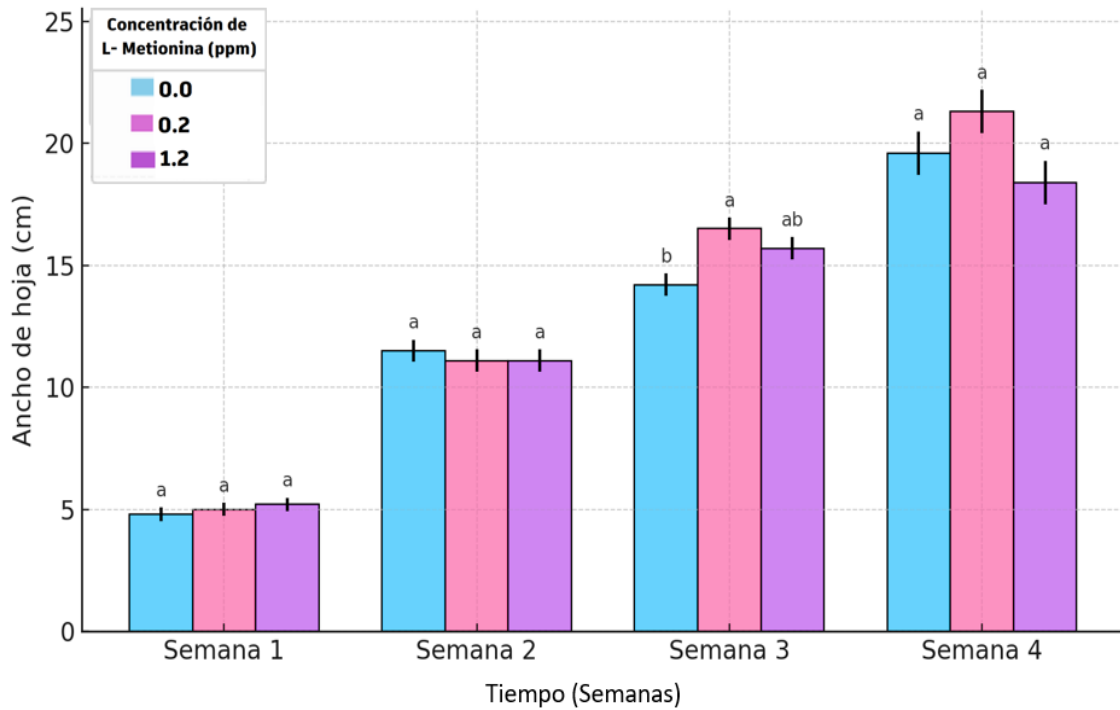
Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	8.322	2	4.161	6.594	<b>0.031</b>
Error experimental	3.786	6	0.631		
Total	12.108	8			
<b>CV = 5.13%</b>					

**Tabla 18.** ANOVA para ancho de hoja, semana 4

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	13.513	2	6.756	2.821	<b>0.137</b>
Error experimental	14.373	6	2.395		
Total	27.885	8			
<b>CV = 7.82%</b>					

**Tabla 19.** HSD Tukey para ancho de hoja, semana 3

Tratamientos	Diferencias de medias	p
T0 (0 ppm) - T1 (0,2 ppm)	-2.31667*	<b>0.027</b>
T0 (0 ppm) - T2 (1,2 ppm)	-1.52667	0.123
T1 (0,2 ppm) - T2 (1,2 ppm)	0.79000	0.486



**Figura 4.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre el ancho de hoja en las plantas de lechuga.

El ancho de hoja acrecentó de manera progresiva durante las cuatro semanas en todos los tratamientos evaluados. En las semanas 1 y 2 no se observaron diferencias estadísticas. En la Semana 3, el tratamiento con 0.2 ppm manifestó un incremento significativo respecto al control, mientras que 1.2 ppm mostró un valor intermedio. Para la Semana 4, aunque 0.2 ppm registró el mayor promedio, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

**Tabla 20.** Kruskal-Wallis para número de hojas, semana 1

<b>Resultados de contraste</b>	
H de Kruskal-Wallis	3.111
Gl	2
<b>Sig. Asintótica</b>	<b>0.211</b>

**Tabla 21.** Kruskal-Wallis para número de hojas, semana 2

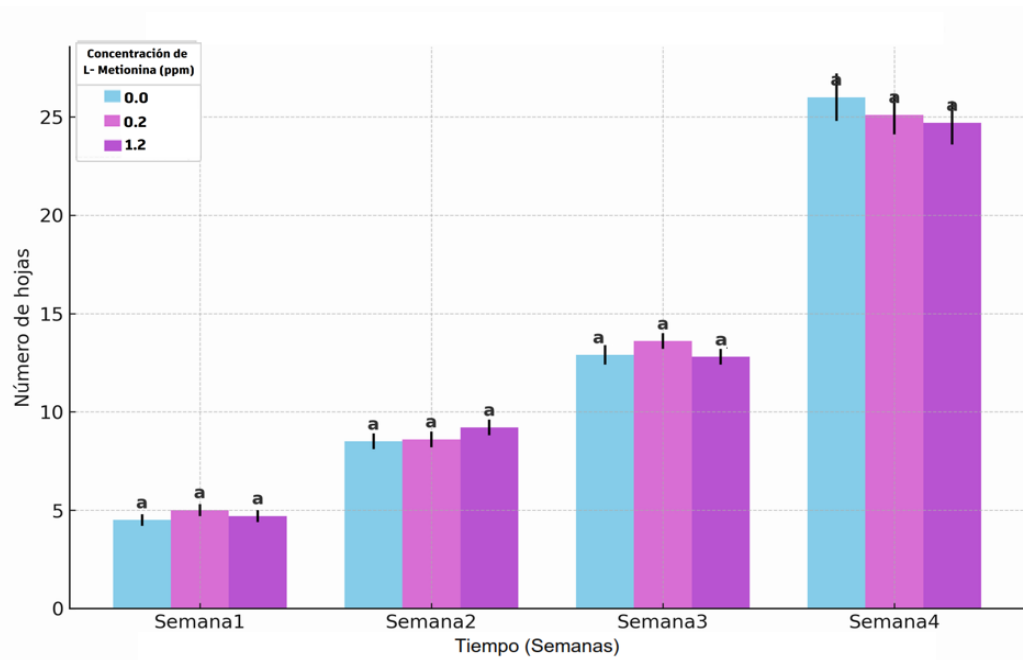
<b>Resultados de contraste</b>	
H de Kruskal-Wallis	5.934
Gl	2
<b>Sig. Asintótica</b>	<b>0.051</b>

**Tabla 22.** ANOVA para número de hojas, semana 3

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
<b>Tratamientos</b>	1.792	2	0.896	1.675	<b>0.264</b>
<b>Error experimental</b>	3.208	6	0.535		
<b>Total</b>	5.000	8			
<b>CV = 5.59%</b>					

**Tabla 23.** Kruskal-Wallis para número de hojas, semana 4

<b>Resultados de contraste</b>	
H de Kruskal-Wallis	0.874
Gl	2
<b>Sig. Asintótica</b>	<b>0.646</b>



**Figura 5.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre el número de hojas en las plantas de lechuga.

En el gráfico se observa que el número de hojas crece de forma constante desde la Semana 1 hasta la Semana 4 en todos los tratamientos. En las semanas 1, 2 y 3, las plantas progresaron de manera pareja, sin diferencias significativas entre las concentraciones de L-metionina. En resumen, el aumento en el número de hojas se debe especialmente al avance del tiempo, y la L-metionina no produjo un cambio considerable en esta característica.

#### 4.2. Resultados de Muestreo a Cosecha

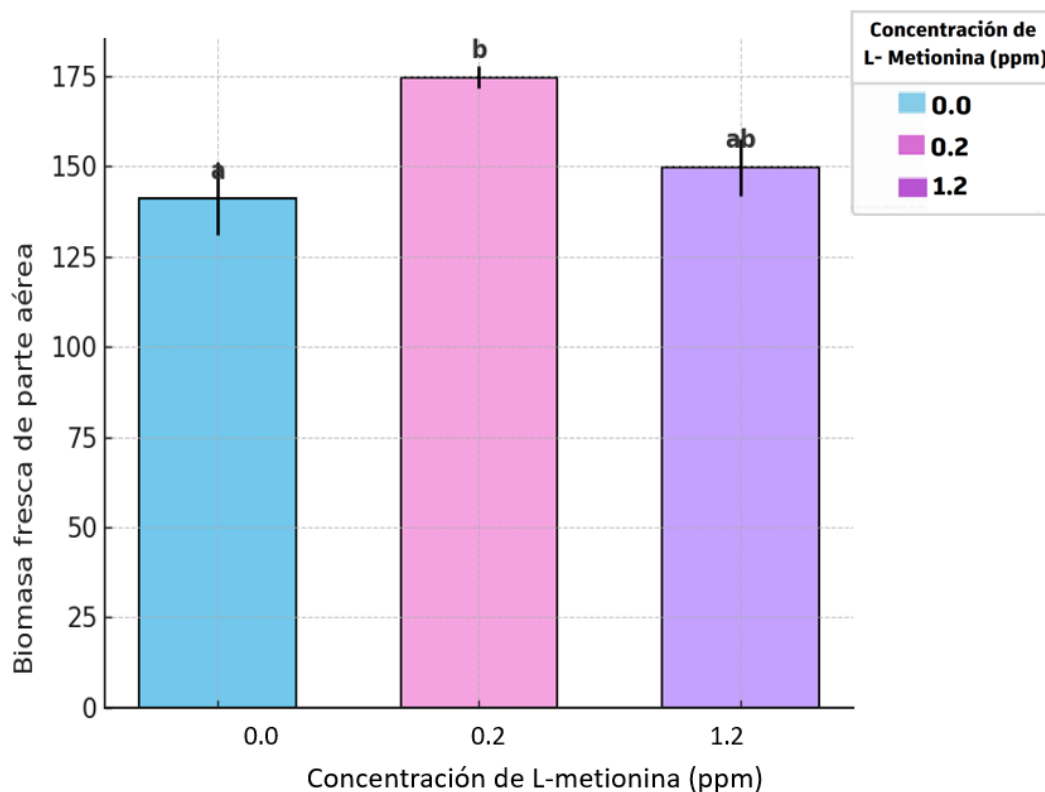
En esta etapa se tomaron datos de la evaluación destructiva durante la cosecha y luego se realizaron las pruebas estadísticas correspondientes.

**Tabla 24.** ANOVA para biomasa fresca de la parte aérea a la cosecha.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	1,925.54	2	962.77	5.539	<b>0.043</b>
Error experimental	1,042.83	6	173.81		
Total	2,968.38	8			
CV = 8.48%					

**Tabla 25.** HSD Tukey para biomasa fresca de parte aérea a la cosecha.

Tratamientos	Diferencias de medias	p
T0 (0 ppm) - T1 (0,2 ppm)	-34.41667*	<b>0.043</b>
T0 (0 ppm) - T2 (1,2 ppm)	-8.58333	0.718
T1 (0,2 ppm) - T2 (1,2 ppm)	25.83333	0.116



**Figura 6.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa fresca aérea de las plantas de lechuga.

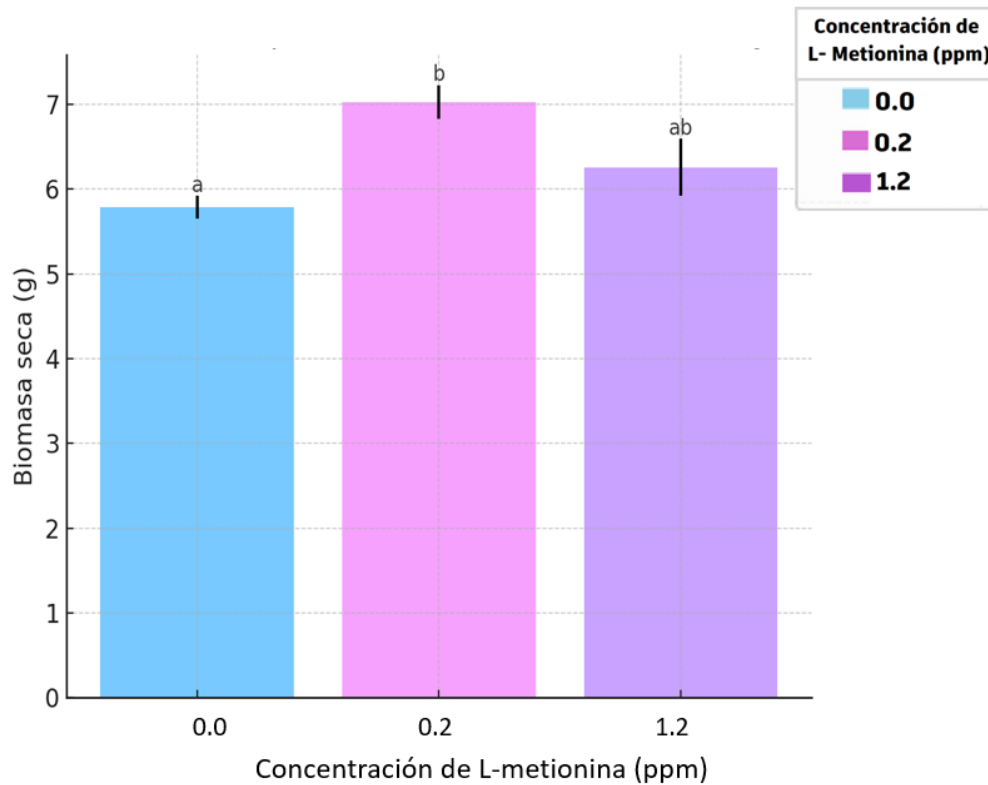
El gráfico muestra que la biomasa fresca de la parte aérea varía según la concentración de L-metionina. El tratamiento con 0.2 ppm consigue el mayor peso fresco y muestra una diferencia significativa respecto al control (0.0 ppm), lo que indica una mejor respuesta del cultivo. El tratamiento con 1.2 ppm alcanza un valor intermedio y no difiere estadísticamente de los otros dos. Entonces, la concentración de 0.2 ppm es la que beneficia en mayor medida la producción de biomasa fresca.

**Tabla 26.** ANOVA para biomasa seca de la parte aérea a la cosecha.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Tratamientos</b>	2.020	2	1.010	6.961	<b>0.027</b>
<b>Error experimental</b>	0.870	6	0.145		
<b>Total</b>	2.890	8			
<b>CV = 6.05%</b>					

**Tabla 27.** HSD Tukey para biomasa seca de parte aérea a la cosecha.

Tratamientos	Diferencias de medias	p
T0 (0 ppm) - T1 (0,2 ppm)	-1.14333*	<b>0.024</b>
T0 (0 ppm) - T2 (1,2 ppm)	-0.40000	0.452
T1 (0,2 ppm) - T2 (1,2 ppm)	0.74333	0.117



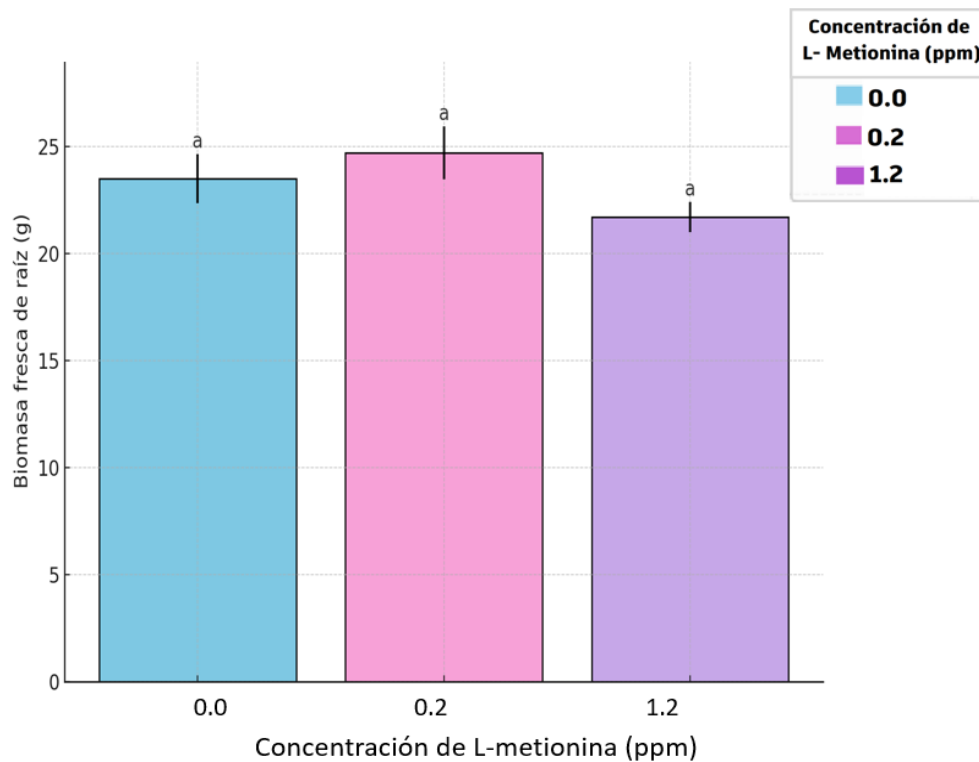
**Figura 7.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa seca de la parte aérea de las plantas de lechuga.

Se observa que la biomasa seca de la parte aérea progresa con la aplicación de L-metionina. El tratamiento con 0.2 ppm presenta el valor más alto y muestra una diferencia significativa respecto al control (0.0 ppm). El tratamiento con 1.2 ppm alcanza un valor intermedio, sin diferenciarse estadísticamente de los otros dos. En general, la concentración de 0.2 ppm es la que progresa en mayor medida la acumulación de biomasa seca.

**Tabla 28.** ANOVA para biomasa fresca de raíz a la cosecha.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Tratamientos</b>	13.722	2	6.861	2.037	<b>0.211</b>
<b>Error experimental</b>	20.208	6	3.368		
<b>Total</b>	33.931	8			

**CV = 7.88%**



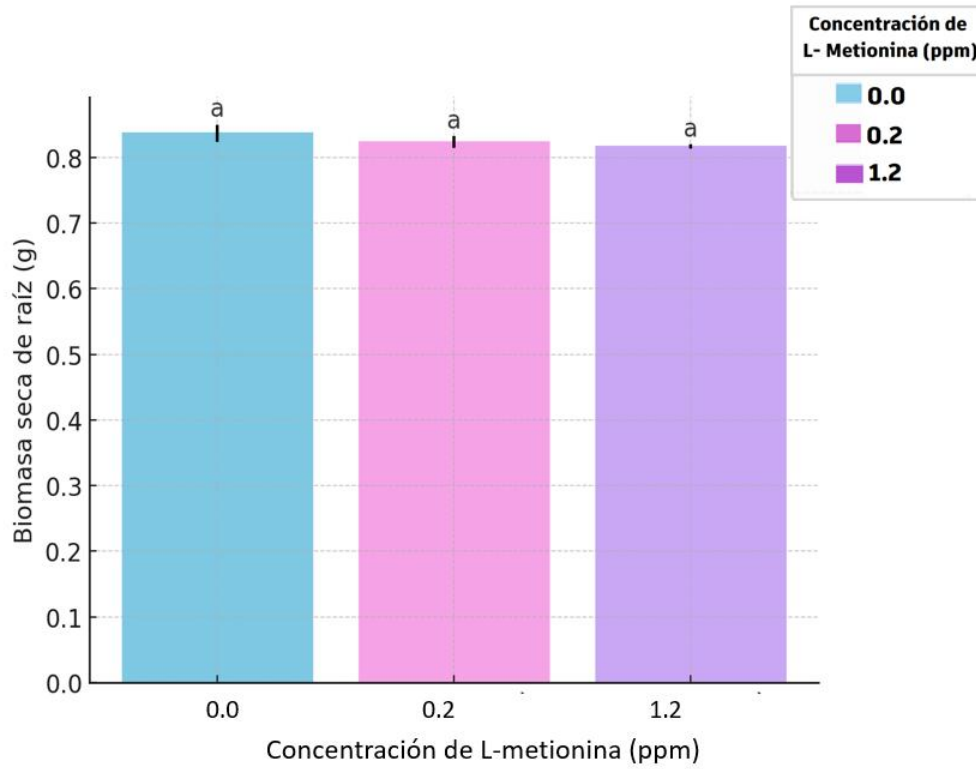
**Figura 8.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa fresca de la raíz de las plantas de lechuga.

No se mostró diferencias significativas entre los tratamientos, lo que indica que no hay evidencia suficiente para concluir que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la biomasa fresca de la raíz. Es decir, los resultados indican que, a pesar de las variaciones entre los tratamientos, estas no son lo adecuadamente grandes como para ser consideradas significativas.

**Tabla 29.** ANOVA para biomasa seca de raíz a la cosecha.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	0.001	2	0.000	1,167.000	<b>0.373</b>
Error experimental	0.002	6	0.000		
Total	0.002	8			

CV = 0.01%



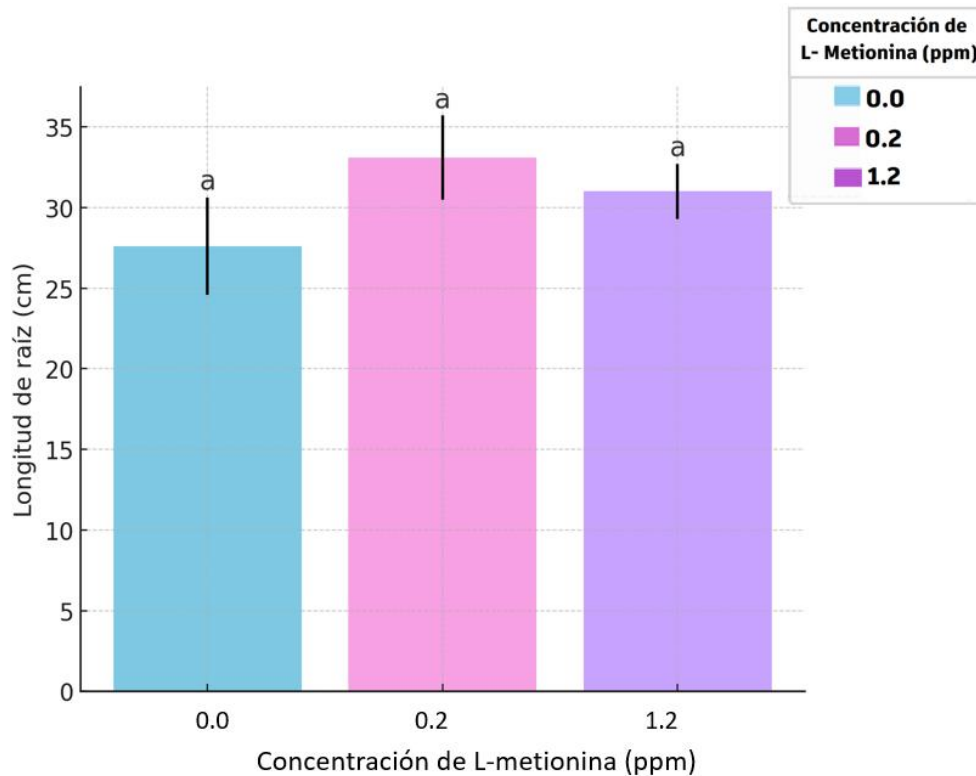
**Figura 9.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la biomasa seca de la raíz de las plantas de lechuga.

No se mostró diferencias significativas entre los tratamientos, lo que indica que no existe certeza suficiente para concluir que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto sobre la biomasa seca de la raíz. Este resultado sugiere que las variaciones observadas entre los grupos son mínimas. En otras palabras, los tratamientos no parecen tener un impacto significativo en este parámetro.

**Tabla 30.** ANOVA para longitud de raíz a la cosecha.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Tratamientos</b>	46.236	2	23.118	1.252	<b>0.351</b>
<b>Error experimental</b>	110.794	6	18.466		
<b>Total</b>	157.030	8			

**CV = 14.06%**



**Figura 10.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre la longitud de la raíz de las plantas de lechuga.

La longitud de las raíces fue muy pareja en todos los tratamientos, incluso cuando se aplicaron diferentes concentraciones de L-metionina. Aunque hay pequeñas diferencias en los valores, las letras “a” indican que no hubo cambios significativos. En resumen, la L-metionina no alteró de manera clara la longitud de la raíz.

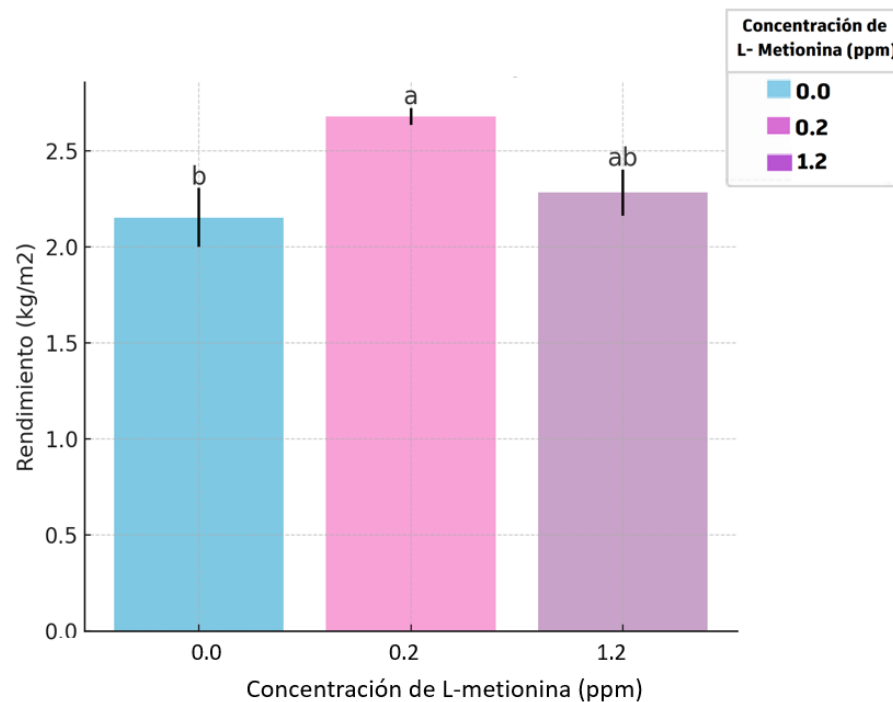
**Tabla 31.** ANOVA para el rendimiento del cultivo.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos	0.452	2	0.226	5.637	<b>0.042</b>
Error experimental	0.240	6	0.040		
Total	0.692	8			

CV = 8.33%

**Tabla 32.** HSD Tukey para el rendimiento a la cosecha.

Tratamientos	Diferencias de medias	p
T0 (0 ppm) - T1 (0,2 ppm)	-0.52667*	<b>0.041</b>
T0 (0 ppm) - T2 (1,2 ppm)	-0.13000	0.719
T1 (0,2 ppm) - T2 (1,2 ppm)	0.39667	0.112



**Figura 11.** Efecto de dos concentraciones de L-metionina sobre el rendimiento en el cultivo de lechuga.

El rendimiento aumenta con 0.2 ppm de L-metionina, que presenta el valor más alto. El testigo tiene el rendimiento más bajo, mientras que 1.2 ppm queda en un punto intermedio. Las letras muestran que 0.2 ppm sí muestra una diferencia significativa frente a 0.0 ppm, pero 1.2 ppm no se diferencia visiblemente de ninguno de los dos. En resumen, la dosis de 0.2 ppm fue la más efectiva para aumentar el rendimiento

Entonces, según lo visto en las tablas, los resultados del análisis estadístico evidencian que la mayoría de los parámetros morfo-productivos evaluados, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ ), lo que indica que la aplicación de los niveles evaluados no tuvo un efecto significativo en las fases iniciales de desarrollo del cultivo. Este comportamiento sugiere que, durante las primeras semanas, el crecimiento se encuentra más influenciado por factores intrínsecos de la especie y condiciones ambientales homogéneas en el invernadero, antes que por el factor de tratamiento aplicado.

No obstante, algunos parámetros sí mostraron diferencias estadísticas relevantes. En particular, el ancho de hoja en semana 3 ( $p = 0.031$ ) y, en la etapa de cosecha, la biomasa fresca de la parte aérea ( $p = 0.043$ ), la biomasa seca de la parte aérea ( $p = 0.027$ ) y el rendimiento ( $p=0.042$ ), presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

El análisis post hoc (Tukey) permitió identificar que estas diferencias se dieron principalmente entre el tratamiento control (T0) y el tratamiento intermedio (T1: 0,2 ppm), así como entre T1 y el tratamiento de mayor concentración (T2: 1,2 ppm). Por ejemplo:

- En ancho de hoja (semana 3), T0 fue inferior a T1 ( $p = 0.027$ ), lo que evidencia un efecto positivo del tratamiento intermedio en la expansión foliar.
- En la biomasa fresca de la parte aérea, T0 fue inferior a T1 ( $p = 0.043$ ), mientras que T2 mostró un desempeño similar a T1, aunque con tendencia inferior.
- En la biomasa seca de la parte aérea, T0 fue inferior a T1 ( $p = 0.024$ ), mientras que T2 mostró un desempeño similar a T1, aunque con tendencia inferior.
- En el rendimiento, T0 presentó valores significativamente menores que T1 ( $p = 0.041$ ), evidenciando un mejor rendimiento con la dosis intermedia.

Estos hallazgos permiten interpretar que la aplicación intermedia del tratamiento (0,2 ppm) estimuló variables claves relacionadas con la superficie fotosintética y con la eficiencia en la acumulación de biomasa. Por el contrario, dosis más elevadas (1,2 ppm) no incrementaron significativamente la respuesta productiva y, en algunos casos, mostraron un efecto limitante.

Este patrón de respuesta coincide con lo descrito en la literatura sobre bioestimulantes y micronutrientes, donde la relación dosis–respuesta no siempre es lineal, y las dosis excesivas pueden generar efectos de toxicidad o desbalance fisiológico (ej. estrés oxidativo, reducción en la expansión celular).

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de L-metionina influyó diferencialmente en el crecimiento y rendimiento de la lechuga cultivada en condiciones hidropónicas, dependiendo de la concentración utilizada. En particular, la dosis intermedia (0,2 ppm) promovió una mayor expansión foliar, mientras que concentraciones más elevadas (1,2 ppm) mostraron una tendencia a limitar el crecimiento, lo que sugiere la existencia de un umbral fisiológico a partir del cual los efectos dejan de ser beneficiosos. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Khan et al. (2019), quienes observaron que en lechuga hidropónica dosis bajas de L-metionina incrementaron la biomasa total en un 23.6 % y mejoraron la absorción de nutrientes en un 18–25 %, mientras que concentraciones superiores redujeron el crecimiento entre un 12 y 18 %. Estos autores destacaron que la metionina actúa como modulador metabólico de procesos fotosintéticos y de asimilación de nutrientes, pero su efecto positivo depende estrechamente del rango de concentración aplicada.

De manera similar, en girasol, Mehak et al. (2021) demostraron que la L-metionina puede estimular la biomasa de brotes y raíces (20–28 %) y aumentar el contenido de clorofila (18–22 %), además de fortalecer los mecanismos antioxidantes (25–30 %) frente al estrés hídrico. Este comportamiento sugiere que la metionina cumple un rol dual: promueve el crecimiento vegetativo y, al mismo tiempo, potencia la capacidad antioxidante del cultivo, reduciendo el daño oxidativo asociado al estrés ambiental. En el presente estudio, los valores superiores obtenidos en la longitud foliar y biomasa aérea en la dosis intermedia coinciden con esta función bioestimulantes, evidenciando una mejora en la eficiencia fotosintética y en la acumulación de materia seca.

Por otro lado, Maqsood et al. (2022) reportaron en trigo un incremento de la fotosíntesis y la conductancia estomática (20–24 %) tras la aplicación de L-metionina, junto con un aumento en la absorción de potasio, calcio y fósforo (15–20 %). Estos efectos reflejan que la metionina no solo interviene como fuente de azufre orgánico, sino también como regulador fisiológico que optimiza el metabolismo y la eficiencia del uso de nutrientes. Tales mecanismos podrían explicar la mejora observada en la biomasa foliar y radicular de la lechuga bajo dosis moderadas, al favorecer una mayor captación de nutrientes y un balance metabólico más eficiente en el sistema hidropónico.

Asimismo, Mishra et al. (2021) encontraron que la aplicación combinada de L-metionina y zinc en trigo produjo efectos sinérgicos, incrementando el rendimiento en 22–26 %, la biomasa en 20 % y el área foliar en 18 %. Esto sugiere que la metionina puede actuar como cofactor biológico que potencia la acción de micronutrientes. En concordancia, en el presente estudio la dosis intermedia mostró una mejor respuesta en variables morfológicas asociadas a la fotosíntesis (ancho y longitud foliar), lo que respalda la hipótesis de que pequeñas concentraciones de L-metionina estimulan la fisiología del cultivo sin generar toxicidad o desbalances iónicos.

En conjunto, los resultados confirman que la relación dosis–respuesta de la L-metionina en lechuga hidropónica no es lineal, sino que sigue un patrón cuadrático típico de los bioestimulantes. Dosis bajas promueven la expansión foliar, la biomasa y la eficiencia fotosintética, mientras que dosis altas tienden a limitar el crecimiento, posiblemente por efectos de estrés oxidativo o reducción de la expansión celular. Estos hallazgos coinciden con lo descrito por Khan et al. (2019) y Mishra et al. (2021), reafirmando que la L-metionina, al igual que otros aminoácidos bioactivos, puede mejorar la productividad de cultivos hidropónicos siempre que se emplee dentro de rangos fisiológicamente adecuados.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES

1. La mayoría de los parámetros morfo-productivos evaluados en las primeras semanas no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, lo que indica que en la fase inicial el factor evaluado no influyó de manera determinante en el crecimiento del cultivo.
2. Se observaron diferencias significativas en variables relacionadas con el desarrollo foliar: ancho de hoja (semanas 3), biomasa fresca y seca de la parte aérea y rendimiento del cultivo.
3. El tratamiento intermedio (0,2 ppm) tuvo efectos estimulantes en el crecimiento de las plantas de lechuga (expansión foliar, acumulación de biomasa y rendimiento) en comparación con el control y la concentración más alta.
4. La concentración 1,2 ppm, en términos generales tuvo efectos negativos en los parámetros de crecimiento y producción, evidenciando un posible umbral fisiológico en la respuesta del cultivo de lechuga.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. RECOMENDACIONES**

En base a las conclusiones obtenidas se recomienda lo siguiente:

- 1.** Priorizar los parámetros evaluados en futuros estudios, incorporando mediciones fisiológicas complementarias (como tasa fotosintética o contenido de pigmentos, concentración de metabolitos) que permitan explicar con mayor detalle los mecanismos de respuesta del cultivo.
- 2.** Realizar estudios con concentraciones en rangos menores a los ensayados, con el fin de prevenir posibles efectos negativos.
- 3.** Considerar la dosis intermedia de 0,2 ppm como referencia técnica, ya que favorece el crecimiento radicular, el incremento de biomasa y el desarrollo foliar.
- 4.** Validar los resultados obtenidos con diferentes variedades de lechuga y controlando las condiciones ambientales, para confirmar y fortalecer los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO VII

### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelkader, M., Voronina, L., Baratova, L., Shelepova, O., Zargar, M., Puchkov, M., Loktionova, E., Amantayev, B., Kipshakbaeva, A., & Arinov, B. (2023). Los aminoácidos a base de bioestimulantes aumentan las respuestas físico-bioquímicas y promueven la tolerancia a la salinidad de las plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Horticulturae*, 9(7), 807. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070807>
- Aguilera, M. (2020). La hidroponía, una oportunidad para la seguridad alimentaria de las comunidades rurales. *Revista Delos*, 13(36). <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/657/646>
- Akram, N., Hussain, M., Ashraf, M., Ahmad, M., & Shahbaz, M. (2020). Exogenous application of L-methionine mitigates the drought-induced oddities in biochemical and anatomical responses of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Scientia Horticulturae*, 272, 109581. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109581>
- Akram, N. A., Kaneez, F., Hamed, A., Ashraf, M., Shahbaz, M., & Ali, A. (2024). Interactive effect of drought stress and L-methionine on the growth and physio-biochemical changes in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*): Leaf and head. *Journal of Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11233-x>
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C., & Rodríguez, M. (2020). Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. *Revista Minerva de Investigación Científica*, 1(1). <https://minerva.autanabooks.com/index.php/Minerva/article/view/26/140>

- Alfosea, M. (2022). *Respuestas fisiológicas y metabólicas a la aplicación foliar de aminoácidos en plantas de tomate* [Tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Repositorio RediUMH. <https://hdl.handle.net/11000/27155>
- Arias, L., Eurípides, J., & Ortigón, Y. (2024). *La hidroponía como solución sostenible para la vereda El Espinal en Sotaquirá (Boyacá)* [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio UPTC. <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c3d3ad2-6832-4b17-a4b5-c767d9d63465/content>
- Barreto, W., & Pinos, D. (2023). Evaluación del rendimiento en la producción de maíz mediante la aplicación de tres bioestimulantes en el cantón Joya de los Sachas. *Ciencia Latina Internacional*, 7(2), 1–15. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6005/9107>
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46752>
- Brenes, L., & Jiménez, M. (2016). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT*. Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf>
- Carrasco Silva, G., & Sandoval Briones, C. (2016). *Manual práctico del cultivo de la lechuga*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://books.google.com.pe/books?id=t0sPDQAAQBAJ>

- Castillo, E. (2022). *Importancia de los aminoácidos en la agricultura bajo condiciones de estrés abiótico* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo].  
<https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/11367/E-UTB-FACIAGING%20AGROP-000204.pdf>
- Cedeño, F., & Sarango, M. (2024). *Evaluación de tres bioestimulantes en el comportamiento agronómico de dos variedades de lechuga crespa (Lollo rosso y Lollo bionda) en el cantón La Maná* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].  
<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7958f07a-21ac-4220-aa0f-78701927c474/content>
- Certis Belchim. (2022). *Aminoácidos para plantas: cuándo y cómo aplicarlos*.  
<https://certisbelchim.es/aminoacidos-para-plantas-cuando-y-como-aplicarlos-2/>
- Chávez, A. (2021). *Sistema hidropónico NFT en lechuga (Lactuca sativa) con la tecnología EM™ (microorganismos eficientes), en el distrito de Chiguata* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María].  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bcbf9257-4f7b-4284-8cf3-7f52eb6b4458/content>
- Choez, V. (2019). *Cultivando lechuga (Lactuca sativa L.) bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero* [Tesis de posgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c0e0bb16-725c-431f-8f57-e6a3bf4f1e4c/content>

- Defacque, C. (2024). *Ventajas e inconvenientes de la hidroponía*. The Greenstore. <https://thegreenstore.fr/es/blog/culture-hydroponique-avantages-et-inconvenients>
- El-Bauome, H. A., Abdeldaym, E. A., Abd El-Hady, M. A. M., Darwish, D. B. E., Alsubeie, M. S., El-Mogy, M. M., & Doklega, S. M. A. (2022). Exogenous proline, methionine, and melatonin stimulate growth, quality, and drought tolerance in cauliflower plants. *Agriculture*, 12(9), 1301. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091301>
- Gonzales, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf)
- Hilfe. (2020). *¿Cuáles son las ventajas de la metionina y la cisteína en los cultivos?* <https://hilfeagrotechnical.com/descubre-ventajas-cisteina-metionina-cultivo>
- Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B. N., Wang, H., Liu, P., & Jiang, W. (2019). Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy*, 9(5), 266. <https://doi.org/10.3390/agronomy905026>
- Maqsood, M. F., Shahbaz, M., Kanwal, S., Kaleem, M., Shah, S. M. R., Luqman, M., Iftikhar, I., Zulfiqar, U., Tariq, A., Naveed, S. A., Inayat, N., Din, A. M. U., Uzair, M., Khan, M. R., & Farhat, F. (2022). Methionine promotes the growth and yield of wheat under water deficit conditions by regulating the antioxidant enzymes, reactive oxygen species, and ions. *Life*, 12(7), 969. <https://doi.org/10.3390/life12070969>

- Mehak G, Albuja NA, Ashraf M, Kaushik P, El-Sheikh MA, Ahmad P (2021) Methionine-induced regulation of growth, secondary metabolites and oxidative defense system in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants subjected to water deficit stress. PLoS ONE, 16(12), e0260989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260989>
- Mishra, S., Anjali, K., Panwar, M., Saini, P., & Guru, S. K. (2021). Enhancing Wheat Growth and Yield through Foliar Application of Zinc in Combination With Methionine, Histidine and Citric Acid as Chelators. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(7), 384-393. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i72155>
- Murillo, D. (2022). *Efecto del uso de bioestimulantes sobre el desarrollo fenológico en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/13310/E-UTB-FACIAG-AGRON-000023.pdf>
- Querembas, J. (2024). *Sistema hidropónico vertical NFT para policultivo, aplicable a zonas urbanas* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16271>
- Querevalú, S.M. P. (2022). Fuentes de nutrientes foliares en la producción del frijol caupi (*Vigna unguiculata* L. Walpi) y loctao (*Vigna radiata* (L) R. Wilczek), Miraflores, Castilla–Piura.
- Ramírez-Cruz, M. Á., Báez-Pérez, A., Bautista-Cruz, A., Morales, I., García-Sánchez, E., & Aquino-Bolaños, T., (2022). La aplicación foliar de ácido glutámico mejora el rendimiento y algunos parámetros físicos y

químicos de la calidad del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Interciencia*, 47(1/2), 31-38.

Ríos, M., García, C., & Tarazona, M. (2021). *Proyecto de emprendimiento de cultivo de lechugas hidropónicas utilizando la técnica de película nutritiva o NFT* [Tesis de pregrado, Universidad del Rosario]. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/bcf7776d-5f0b-4f5b-ad38-e4077491ad2f/content>

Rui, L., Zihuan, Z., Xiaofei, Z., & Jing, L. (2024). Application of tryptophan and methionine in broccoli seedlings enhances formation of anticancer compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(5), 1383. <https://doi.org/10.3390/ijms25051383>

Saddique, M., Kausar, A., Iqra, I., Akhter, N., Mujahid, N., Imran, M., Khan, A., Aziz, A., & Hussain, S. (2022). La aplicación de aminoácidos alivió el estrés de salinidad en la espinaca. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(6), 647–659. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol46/iss6/8/>

Universitam. (2017, 14 de septiembre). *Científicos del IBS descubren que el aminoácido L-metionina controla la respiración de las plantas*. <https://universitam.com/academicos/noticias/cientificos-del-ibs-descubren-que-el-aminoacido-l-metionina-controla-la-respiracion-de-las-plantas/>

Vadequímica. (2022). *Aminoácidos en las plantas: qué son y para qué sirven*. <https://www.vadequimica.com/blog/todos-los-articulos/aminoacidos-en-las-plantas.html>

Verdegen. (2017). *Generación verde*.  
<https://generacionverde.com/blog/hidrop%C3%ADa/ventajas-de-la-hidroponia/>

Yael, R. (2008). Metabolismo de la metionina en las plantas. En H. R. Krug (Ed.), *Physiology and biotechnology integration for plant breeding* (2.<sup>a</sup> ed., Vol. 50, cap. 16). Agronomy Monograph. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/agronmonogr50.c16>

## ANEXOS



**Figura 12.** Preparación de cama de germinación y siembra de semillas.



**Figura 13.** Preparación de camas para primer trasplante.



**Figura 14.** Instalación del sistema NFT.



**Figura 15.** Evaluación de plantas.



**Figura 16.** Desarrollo del cultivo.



**Figura 17.** Toma de datos del cultivo.

**Tabla 33.** Resumen de medias de parámetros morfológicos.

<b>Parámetros</b>		<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
<b>Altura de Planta (cm)</b>	Semana 01	4.55	4.41	4.33
	Semana 02	6.46	6.66	7.05
	Semana 03	12.60	12.13	11.67
	Semana 04	27.97	25.56	25.28
<b>Longitud de Hoja (cm)</b>	Semana 01	9.35	8.87	9.21
	Semana 02	17.59	16.82	17.35
	Semana 03	19.63	20.41	19.38
	Semana 04	19.71	21.53	21.09
<b>Ancho de Hoja (cm)</b>	Semana 01	4.82	5.01	5.18
	Semana 02	11.48	11.06	11.11
	Semana 03	14.18	16.49	15.70
	Semana 04	19.57	21.34	18.36
<b>Numero de Hojas (ud)</b>	Semana 01	4.42	5.08	4.75
	Semana 02	7.92	8.00	8.50
	Semana 03	13.67	13.00	12.58
	Semana 04	26.08	24.83	25.00

**Tabla 34.** Parámetros que cumplieron con normalidad y homogeneidad.

<b>Parámetros</b>	<b>Normalidad (Shapiro-Wilk)</b>	<b>Homogeneidad (Levene)</b>
Altura de Planta Semana 01	Si	Si
Altura de Planta Semana 02	Si	Si
Altura de Planta Semana 03	Si	Si
Altura de Planta Semana 04	Si	Si
Longitud de Hoja Semana 01	Si	Si
Longitud de Hoja Semana 02	Si	Si
Longitud de Hoja Semana 03	Si	Si
Longitud de Hoja Semana 04	Si	Si
Ancho de Hoja Semana 01	Si	Si
Ancho de Hoja Semana 02	Si	Si
Ancho de Hoja Semana 03	Si	Si
Ancho de Hoja Semana 04	Si	Si
Numero de Hojas Semana 01	No	Si
Numero de Hojas Semana 02	No	Si
Numero de Hojas Semana 03	Si	Si
Numero de Hojas Semana 04	No	Si

**Tabla 35.** Resumen del análisis de varianza (ANOVA).

<b>Parámetros</b>	<b>¿Según ANOVA o Kruskal-Wallis existe diferencia significativa entre tratamientos?</b>
<b>Altura de Planta Semana 01</b>	No
<b>Altura de Planta Semana 02</b>	No
<b>Altura de Planta Semana 03</b>	No
<b>Altura de Planta Semana 04</b>	No
<b>Longitud de Hoja Semana 01</b>	No
<b>Longitud de Hoja Semana 02</b>	No
<b>Longitud de Hoja Semana 03</b>	No
<b>Longitud de Hoja Semana 04</b>	<b>Si</b>
<b>Ancho de Hoja Semana 01</b>	No
<b>Ancho de Hoja Semana 02</b>	No
<b>Ancho de Hoja Semana 03</b>	<b>Si</b>
<b>Ancho de Hoja Semana 04</b>	<b>Si</b>
<b>Numero de Hojas Semana 01</b>	No
<b>Numero de Hojas Semana 02</b>	No
<b>Numero de Hojas Semana 03</b>	No
<b>Numero de Hojas Semana 04</b>	No

**Tabla 36.** Cuadro resumen de medias de parámetros productivos.

<b>Parámetros</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>
<b>Biomasa Fresca de Parte Aérea (g)</b>	141.17	175.58	149.75
<b>Biomasa Seca de Parte Aérea (g)</b>	5.78	6.93	6.18
<b>Biomasa Fresca de Raíz (g)</b>	23.50	24.67	21.67
<b>Biomasa Seca de Raíz (g)</b>	0.84	0.82	0.81
<b>Longitud de Raíz a la Cosecha (cm)</b>	27.58	33.07	31.02
<b>Rendimiento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	2.15	2.68	2.28

**Tabla 37.** Normalidad y Homogeneidad.

<b>Parámetro</b>	<b>Normalidad (Shapiro- Willk)</b>	<b>Homogeneidad (Levene)</b>
<b>Biomasa Fresca de Parte Aérea a la Cosecha</b>	Si	Si
<b>Biomasa Seca de Parte Aérea a la Cosecha</b>	Si	Si
<b>Biomasa Fresca de Raíz a la Cosecha</b>	Si	Si
<b>Biomasa Seca de Raíz a la Cosecha</b>	Si	Si
<b>Longitud de Raíz a la Cosecha</b>	Si	Si
<b>Rendimiento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	SI	SI

**Tabla 38.** Resumen del análisis de varianza (ANOVA).

<b>Parámetro</b>	<b>¿Según ANOVA existe diferencia significativa entre tratamientos?</b>
<b>Biomasa Fresca de Parte Aérea a la Cosecha</b>	Si
<b>Biomasa Seca de Parte Aérea a la Cosecha</b>	Si
<b>Biomasa Fresca de Raíz a la Cosecha</b>	No
<b>Biomasa Seca de Raíz a la Cosecha</b>	No
<b>Longitud de Raíz a la Cosecha</b>	Si
<b>Rendimiento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	SI