



**UNAP**



**FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN  
AMBIENTAL**

**TESIS**

**“MOMENTOS DE PROTECCIÓN DE LUZ SOLAR EN EL  
RENDIMIENTO EN *Lactuca sativa* L. EN UN SISTEMA  
HIDROPÓNICO. LORETO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:  
ANTHONY JOHAU PEÑA ARAUJO**

**ASESOR:  
Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ, Dr.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2024**



**UNAP**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
GESTIÓN AMBIENTAL**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS No. 045-CGYT-FA-UNA-2024.**

En Iquitos, a los 31 días del mes de mayo del 2024, a horas 07:00pm, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **“MOMENTOS DE PROTECCIÓN DE LUZ SOLAR EN EL RENDIMIENTO EN *Lactuca sativa* L. EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO. LORETO**”, aprobado con Resolución Decanal No. 0137-CGYT-FA-UNAP-2022, presentado por el Bachiller: **ANTHONY JOHAU PEÑA ARAUJO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**, que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal No.028-CGYT-FA-UNAP-2024, está integrado por:

Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.	<b>Presidente</b>
Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.	<b>Miembro</b>
Ing. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS, M.Sc.	<b>Miembro</b>

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas:

..... *A Satisfacción* .....

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la Tesis han sido: ..... *A. PROBADA* ..... con la calificación ..... *MUY BUENA* .....

Estando el Bachiller ..... *DPTO* ..... para obtener el Título Profesional de  
..... *INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL* .....

Siendo las ..... *08:30 pm* ....., se dio por terminado el acto **ACADÉMICO**.

Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.  
**Presidente**

Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.  
**Miembro**

Ing. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS, M.Sc.  
**Miembro**

Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ, Dr.  
**Asesor**

**JURADO Y ASESOR**

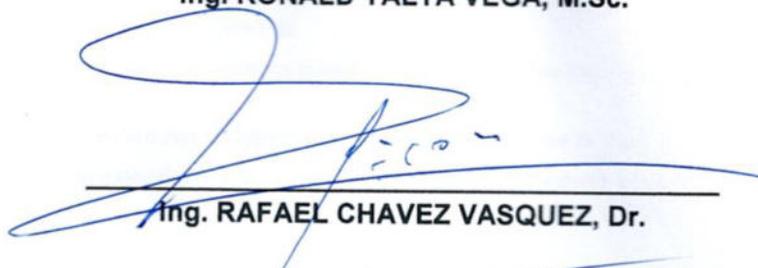
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Tesis aprobada en sustentación pública el día 31 de mayo del 2024, por el jurado Ad-Hoc nombrado por el Comité de Grados y Títulos de la Facultad de Agronomía, para optar el título profesional de:

**INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**



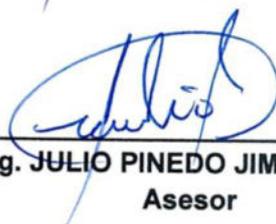
**Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.**



**Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.**



**Ing. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS, M.Sc.**



**Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ, Dr.**  
**Asesor**



**Ing. FIDEL ASPAÑO VARELA, Dr.**  
**Decano**



## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

FA\_TESIS\_PEÑA ARAUJO (2da rev).pdf

AUTOR

ANTHONY JOHAU PEÑA ARAUJO

RECuento DE PALABRAS

**8307 Words**

RECuento DE CARACTERES

**40204 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**31 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**234.6KB**

FECHA DE ENTREGA

**May 10, 2024 12:52 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 10, 2024 12:53 PM GMT-5**

### ● 20% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Resumen

## DEDICATORIA

Ante todo, a **Dios**, por ser el hacedor de que las cosas  
sucedan.

A mi **madre**, con infinita bondad y agradecimiento por  
colaborar en mi formación profesional.

A mi pareja **Jheidy Karol Lopez Angulo**, que es  
inspiración y motivo de cada esfuerzo.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por el enorme amor y protección que nos brinda diariamente.

Al ingeniero Julio Pinedo Jiménez, por su acertada orientación en la ejecución y desarrollo del presente trabajo.

A los docentes de la Facultad de Agronomía por sus sabías enseñanzas que redundarán en mi vida profesional.

A mi Familia que siempre me apoyó en todo momento para el desarrollo de la tesis.

A todas aquellas personas que desinteresadamente colaboraron para desarrollar la presente investigación. Gracias a todos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
PORTADA .....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	ii
JURADO Y ASESOR.....	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas .....	7
1.3. Definición de términos básicos.....	9
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	11
2.1. Formulación de la hipótesis .....	11
2.1.1. Hipótesis general.....	11
2.2. Variables y su operacionalización .....	11
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	12
3.1. Tipo y diseño .....	12
3.1.1. Tipo de investigación.....	12
3.1.2. Diseño de la investigación .....	12
3.1.3. El diseño estadístico.....	12
3.2. Diseño muestral.....	13
3.2.1. Población.....	13
3.2.2. Muestra .....	13
3.2.3. Muestreo .....	13
3.3. Procedimientos de recolección de datos.....	14
3.3.1. Instrumentos de recolección de datos .....	14
3.3.2. Características del área experimental.....	14
3.3.3. Manejo hidropónico del cultivo.....	15
3.3.4. Instrumento y evaluación.....	15

3.4. Procesamiento y análisis de datos .....	16
3.5. Aspectos éticos.....	16
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	17
4.1. Caracteres agronómicos .....	17
4.1.1. Altura de planta (cm) .....	17
4.1.2. Longitud de raíces (cm).....	18
4.1.3. Ancho de planta (cm).....	20
4.1.4. Número de hojas .....	21
4.1.5. Peso de raíz (g).....	23
4.2. Rendimiento.....	25
4.2.1. Peso de hojas (g) .....	25
4.2.2. Peso total de planta (g).....	26
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	29
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES .....	31
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES .....	32
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN.....	33
ANEXOS .....	36
1. Datos originales y pruebas de Homocedasticidad.....	37
2. Fotos del experimento .....	38

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Tratamientos en estudio .....	13
Cuadro 2. Prueba de Kruskal Wallis de Altura de planta (cm) .....	17
Cuadro 3. Prueba de comparaciones múltiples de los promedios máxima de altura de planta (cm).....	17
Cuadro 4. Análisis de variancia para largo de raíces (cm) .....	19
Cuadro 5. Promedios del largo de raíces en cm.....	19
Cuadro 6. Análisis de variancia para ancho de planta (cm).....	20
Cuadro 7. Prueba de Tukey del promedio máxima de ancho de planta (cm) .....	20
Cuadro 8. Análisis de variancia para número de hojas.....	22
Cuadro 9. Prueba de Tukey para el número de hojas .....	22
Cuadro 10. Análisis de variancia para peso de raíz en g. ....	23
Cuadro 11. Prueba de Tukey para peso de raíz .....	23
Cuadro 12. Análisis de variancia para peso de hojas.....	25
Cuadro 13. Prueba de Tukey para peso de hojas. ....	25
Cuadro 14. Análisis de variancia para peso total de planta en g. ....	27
Cuadro 15. Prueba de Tukey para peso de planta en g .....	27

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de altura de planta en cm. ....	18
Gráfico 2. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de longitud de raíces en cm.....	19
Gráfico 3. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de ancho en cm. ....	21
Gráfico 4. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de cantidad de hojas. ....	22
Gráfico 5. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de raíz en g. ....	24
Gráfico 6. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de hojas en g. ....	26
Gráfico 7. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de planta en g.....	27

## RESUMEN

Este estudio investigó el efecto de diferentes momentos de protección de luz solar en las características agronómicas y el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L. Lechuga, en un sistema hidropónico en la región de Loreto. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones, empleando cajas hidropónicas de raíz flotante. Los tratamientos incluyeron diferentes momentos de protección a la luz solar: en la mañana (6.0 am - 12.0 pm), en la tarde (12.0 pm - 6.0 pm), Todo el día (6.0 am - 6.0 pm), y sin protección (cultivo en limpio), para la protección se utilizó mallas sombra Rachel de 50% de tejido para cada tratamiento con protección. Todas las variables analizadas, como la altura de las plantas, la longitud de raíces, el ancho de la planta, el número de hojas, el peso de raíz, el peso total de hojas y el peso total de la planta, mostraron significancia estadística en función del momento de protección la luz solar.

Particularmente, se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) en el tratamiento de sombreado todo el día, donde el peso total de hojas alcanzó 85.92 g y el peso total de la planta llegó a 94.40 g, mientras que el sombreado de la mañana 12 pm mostró los valores más bajos con 45.55 g y 53.90 g, respectivamente. Estos resultados resaltan la importancia del adecuado manejo de la luz solar para optimizar el crecimiento y rendimiento del cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos en la región de Loreto.

**Palabras clave:** Luz solar, lechuga, sistema hidropónico, rendimiento, sombreadores.

## ABSTRACT

This study investigated the effect of exposure to different moments of sunlight on the agronomic characteristics and yield of *Lactuca sativa* L. (lettuce) cultivation in a hydroponic system in the Loreto region. A completely randomized experimental design with ten repetitions was employed, using floating root hydroponic boxes. Treatments included different moments of sunlight exposure: 6.0 am - 12.0 pm (6 h), ----(6 h), (0 h), and 6.0 am - 6.0 pm (12 h), using 50% shade mesh for each treatment. All analyzed variables, such as plant height, root length, plant width, number of leaves, root weight, total leaf weight, and total plant weight, showed statistical significance based on the moment of sunlight exposure.

Particularly, a statistically significant difference ( $p < 0.01$ ) was observed in the treatment of shading all day, where the total leaf weight reached 85.92 g and the total plant weight reached 94.40 g, while shading from 6.0 am to 12 pm showed the lowest values with 45.55 g and 53.90 g, respectively. These results highlight the importance of proper sunlight management to optimize the growth and yield of lettuce cultivation in hydroponic systems in the Loreto region.

**Keywords:** Sunlight, lettuce, hydroponic system, yield, shading.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de la lechuga en sistemas hidropónicos ha ganado popularidad en muchos otros lugares, debido a su eficiencia y capacidad para producir alimentos de alta calidad en entornos controlados. Sin embargo, uno de los factores clave que influyen en el éxito de estos sistemas es la cantidad de luz solar, como también el momento de protección de la exposición de luz solar durante el día, considerando así mismo que la fotosíntesis es fundamental para la producción de nutrientes y el crecimiento adecuado. Las actividades de innovación y desarrollo están vinculadas al desarrollo social. La universidad, como institución autónoma, podría llevar a cabo esta tarea de forma independiente. Sin embargo, el impacto es aún más significativo cuando existe una relación entre la universidad, las empresas y el estado **(1)**. Para tratar el desafío de mejorar la horticultura en las regiones del bosque húmedo tropical, caracterizadas por fuertes lluvias y altas temperaturas, en todo el mundo, los bosques húmedos tropicales se encuentran en la región que abarca desde el Trópico de Capricornio hasta el Trópico de Cáncer, en la zona conocida como la convergencia intertropical. Estas áreas experimentan un clima cálido a lo largo de todo el año, caracterizado por temperaturas elevadas que oscilan entre 22 y 34 °C, y reciben abundantes lluvias que pueden llegar hasta los 4.000 mm al año, con una estación seca muy breve que dura solo dos o tres meses. es-ciencia **(2)**, es esencial llevar a cabo la simulación, diseño, construcción y validación de modelos de infraestructuras, como casas malla-invernadero, adaptados a las condiciones agroclimáticas específicas de cada país o región. Estos modelos tienen el potencial de impulsar la producción de hortalizas en condiciones protegidas de manera técnica, económicamente viable y respetuosa con el medio ambiente, permitiendo así un avance significativo en la agricultura de estas áreas **(3)**. El problema de esta investigación se centra en evaluar cómo el momento de protección de exposición a la luz solar afecta el rendimiento de la lechuga en un sistema hidropónico en la región Loreto, Perú, que se caracteriza por ser un bosque húmedo tropical.

A pesar del rápido avance en el conocimiento, la informática y la tecnología, la sociedad todavía se enfrenta a graves desafíos tanto ambientales como socioeconómicos, los cuales solo han sido abordados de manera parcial **(4)**. El concepto de sistemas de innovación ha ganado un reconocimiento significativo a nivel mundial y se considera una estructura conceptual adecuada para comprender los procesos de innovación en diversos entornos. Además, se ve como una herramienta prometedora para orientar y reforzar la formulación y ejecución de políticas relacionadas con la ciencia, la tecnología y la innovación Herrera **(5)**. La intensidad de la luz solar puede variar a lo largo del día, y se pretende comprender cómo esta variación influye en el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas. Se sugiere realizar investigaciones sobre mejoras específicas en soluciones nutritivas, sustratos, fuentes de agua, iluminación artificial, organismos y automatización, el objetivo es lograr una producción sostenible y aumentar la biomasa en cultivos hidropónicos de hortalizas **(6)**. El propósito de esta investigación es determinar cuál es el momento óptimo de protección o nombramiento a la exposición de luz solar directa para maximizar el rendimiento de la lechuga en el contexto específico de esta región, donde las condiciones climáticas particulares pueden influir en el suministro de luz disponible para los cultivos. Para este propósito de evaluar el momento de protección de la exposición de luz solar directa, se instaló una malla sombra Rachell de 50% de tejido a fin de proteger en determinados momentos a periodos de horas totales de la luz solar directa, de tal modo que la exposición en horas sea en un tiempo de 6 y 12 horas al día. De aquí es que se permitió formular la siguiente interrogante ¿Cómo afecta el momento de protección de la exposición a la luz solar en el rendimiento de *Lactuca sativa* L. cultivada en un sistema hidropónico en la región de Loreto, Perú?, planteándose el objetivo de determinar el momento óptimo de protección de la exposición a la luz solar directa para maximizar el rendimiento de *Lactuca sativa* L. en un sistema hidropónico en la región Loreto.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

En el 2019, se investigó la Influencia de la intensidad y calidad de luz en el crecimiento y propiedades antioxidantes en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo sistema fábrica de plantas. El t2, que incluía luz roja y azul, mostró un mayor crecimiento tanto en peso seco como en peso fresco de las plantas. La eficiencia en la producción de peso seco en relación con la cantidad de luz acumulada disminuyó en el t3, que incluía luz blanca, en comparación con los tratamientos t1 y t2, lo que indicó que la luz blanca menos eficiente en los procesos fotosintéticos. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de compuestos antioxidantes entre los tratamientos y las fechas de muestreo. El t2, que incluía luz roja y azul, mostró la concentración más alta de compuestos antioxidantes en comparación con los otros tratamientos. La concentración de compuestos antioxidantes en los t1 y t3 fue estadísticamente similar (7).

En el 2023, se evaluó el rendimiento agronómico de cultivares de lechuga en diferentes estaciones y condiciones de sombra. En el estudio realizado, cuyo objetivo se centró en la evaluación agronómica de nueve cultivares de lechuga (Gloriosa, Pira Verde, Stella, Ceres, Grandes Lagos, Rubinella, Crocantela, Elisa y Vera) a lo largo de tres estaciones del año (otoño-invierno, primavera y verano), así como en la consideración del efecto de la malla de sombreado en las estaciones de primavera y verano, se llevaron a cabo diez experimentos utilizando la técnica de cultivo sin suelo en un ambiente protegido. En la temporada de otoño-invierno, se empleó un diseño experimental completamente al azar en seis mesas, mientras que en primavera y verano se realizaron experimentos en cuatro mesas. Cada mesa albergaba 44 macetas con una capacidad de 3 litros, llenas de arena para el trasplante de las plántulas de

lechuga. Durante la primavera y el verano, se llevaron a cabo experimentos tanto con malla de sombreado como sin ella. La malla utilizada, de color negro y con un 18% de sombra, se colocó a una altura de 1.5 metros sobre el cultivo. Los resultados más destacados del estudio revelaron que. En la estación de otoño-invierno, el cultivar Gloriosa mostró un rendimiento superior. En la estación primavera, los cultivares Grandes Lagos y Gloriosa destacaron por su producción. En la estación de verano, los cultivares Crocantela y Vera demostraron ser los más adecuados para el cultivo en estas condiciones. Además, se observó que el uso de malla de sombreado en el ambiente protegido no condujo a una mejora significativa en el rendimiento de los cultivares, concluyendo que su implementación no es necesaria durante las estaciones de primavera y verano **(8)**.

En el 2022, se investigó el Comparativo de variedades de *Lactuca sativa* L. en el comportamiento en hidroponía, El objetivo principal de este estudio fue investigar el comportamiento de tres variedades de *Lactuca sativa* en el sistema hidropónico. El proceso comenzó con la germinación de las semillas en una lámina humedecida en papel toalla. Después de cinco días, cada plántula se trasladó a un cubo de esponja ubicado en un flotador de Tecnopor y se suministró una solución nutritiva. Luego, a los diez días, se realizaron trasplantes a tubos de PVC de 3 pulgadas colocados a 1.0 metro de altura del suelo. Cada tubo se alimentó mediante una lámina de flujo circular de nutrientes. La cosecha se llevó a cabo a los 35 días. Los resultados del estudio revelaron que las tres variedades de lechuga mostraron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en diversas características agronómicas, incluyendo altura, ancho de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, cantidad de hojas y peso de raíz. Específicamente, en el contexto de las condiciones climáticas tropicales, la variedad Tropicana destacó con un mayor peso de planta, alcanzando los 100.63 gramos **(9)**.

En el 2019, se investigó sobre el Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.), tiene como objetivo principal proporcionar información relevante a los agricultores y personas interesadas en el área de acción sobre el proceso y desarrollo de un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique). En este estudio, se llevó a cabo la implementación de un sistema hidropónico NFT en un invernadero de 70 metros cuadrados, con una capacidad de producción de 1440 plantas y una densidad de siembra de 20.5 plantas por metro cuadrado. Se centró en la producción de tres variedades de lechuga: White Boston, Grand Rapids y Waldmann Green, durante la época de invierno. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Peso comercial a los 49 días de producción: Variedad White Boston: 1.97 kg/m<sup>2</sup>. Variedad Grand Rapids: 1.62 kg/m<sup>2</sup>. Variedad Waldmann Green: 1.33 kg/m<sup>2</sup> **(10)**.

En el 2020, se estudió el Efecto de la luz solar en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.), bajo un sistema hidropónico El diseño experimental utilizado consistió en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para analizar estadísticamente los datos recopilados, se aplicó el análisis de varianza y se llevaron a cabo comparaciones de medias utilizando el test de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los resultados estadísticos más relevantes fueron los siguientes: La mayor longitud de hoja se observó en el tratamiento T4 (65% de sombra), con un valor de 13.65 cm. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en el ancho de hoja entre los tratamientos. En cuanto a la longitud de las raíces, el tratamiento T3 (50% de sombra) registró el valor más alto, con 9.7 cm. El número de hojas fue mayor en el tratamiento T1 (0% de sombra), con un valor de 22 hojas. El peso de la lechuga fue máximo en el tratamiento T2 (35% de sombra), alcanzando los 63.13 gramos. En términos de costo unitario, se observaron diferencias entre los tratamientos,

siendo el costo más bajo en el tratamiento T1 (\$0.28) y el más alto en el tratamiento T4 (\$0.45) **(11)**.

En el año 2022, se llevó a cabo un estudio titulado "Diseño de un Sistema Hidropónico Automatizado para el Control de Parámetros de Solución Nutritiva en Huertos Urbanos". Esta investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, específicamente en el diseño no experimental, con el objetivo principal de la investigación fue determinar las dimensiones de un sistema hidropónico automatizado, centrándose en el monitoreo de valores y la evaluación de los parámetros de solución nutritiva. Para ello, se utilizó una matriz de selección para elegir la estructura modular más adecuada entre las alternativas propuestas. Una vez seleccionada la estructura, se procedió al modelamiento del sistema. En la siguiente etapa, se desarrolló el sistema de control de parámetros de solución nutritiva. Como resultado, se pudo concluir que este sistema cumplió con la programación propuesta. Sin embargo, se identificó que la implementación del proyecto tendría un costo considerablemente elevado, según el presupuesto elaborado **(12)**.

En el 2023, se estudió el "Efecto de la Iluminación LED en la Producción Hidropónica de Lechuga Bajo Invernadero", se llevó a cabo con el propósito de evaluar el impacto de la iluminación LED en el cultivo hidropónico de lechuga en condiciones de invernadero. El diseño experimental adoptado fue el de completamente al azar (DCA), y se implementaron tres tratamientos: T1 (iluminación LED roja), T2 (iluminación LED azul) y T3 (grupo de control o testigo), cada uno con cuatro repeticiones. Los resultados obtenidos indicaron que el tratamiento más efectivo fue el T1 (Iluminación LED roja) para todas las variables analizadas. A los 30 días después del trasplante (DDT), este tratamiento produjo la mayor altura de planta (27 cm), el mayor número de hojas (20.75 unidades), la mayor longitud de hoja (30.52 cm), el mayor ancho de hoja

(20.83 cm), la mayor longitud de raíz (22.83 cm), así como el mayor peso fresco (228 g) y peso seco (22.48 g) **(13)**.

## **1.2. Bases teóricas**

### **Taxonomía y diversidad de variedades de lechuga.**

La lechuga, de acuerdo con la taxonomía clásica, se clasifica de la siguiente manera: Familia: Compositae (Asteraceae). Tribu: Cichoreae. Género: Lactuca. Especie: sativa L. Número de cromosomas:  $2n = 18$ . Esta planta está estrechamente relacionada con la lechuga silvestre, conocida como *Lactuca serriola* L., y menos relacionada con otras especies como *Lactuca saligna* L. y *Lactuca virosa* L. La lechuga es una planta anual que pertenece a la familia de las Compuestas (Asteraceae). Se caracteriza por su diversidad genética, lo que ha llevado a la existencia de diferentes tipos de lechuga, cada uno con sus propias características en cuanto a tipos de hojas y hábitos de crecimiento **(14)**.

### **Adaptación a preferencias culinarias y condiciones de cultivo.**

Estos tipos se clasifican en diferentes variedades, entre las que se incluyen las lechugas de hoja suelta, conocidas como *Lactuca sativa* cv. Crispa, que se caracterizan por tener hojas numerosas con bordes irregulares y crespos, y las lechugas de cabeza, denominadas *Lactuca sativa* cv. capitata Janchen, que tienen hojas lisas, redondas y de textura suave o mantecosa. En las lechugas de cabeza, las hojas internas se agrupan formando un cogollo amarillento al envolver a las hojas más nuevas, creando así una cabeza compacta. Esta diversidad en las variedades de lechuga permite adaptarse a diferentes preferencias culinarias y condiciones de cultivo **(14)**.

### **Efectos de las temperaturas extremas en el cultivo de lechuga.**

Las temperaturas extremadamente altas pueden provocar la aparición de "tipburn" o quemaduras en los extremos de las hojas de la lechuga. Además, esta condición puede dar lugar a un sabor amargo en las hojas debido a la acumulación de látex y a la formación de cabezas poco compactas. Por otro lado, las temperaturas muy bajas y las heladas de baja intensidad no suelen causar daños significativos en las plantas jóvenes de lechuga. Sin embargo, a medida que las plantas avanzan en su desarrollo y comienzan a formar cogollos, se vuelven mucho más sensibles a las bajas temperaturas, lo que puede resultar en daños en las hojas tanto externas como internas. Estos daños, a su vez, pueden favorecer la aparición de enfermedades en el cultivo de lechuga (14).

### **Importancia de la radiación solar en la producción de plantas en sistemas agroproductivos.**

La radiación solar desempeña un papel fundamental en la producción de plantas en sistemas agroproductivos, y su influencia abarca diversos aspectos relacionados con el entorno, los fenómenos químicos y físicos. Este estudio tiene como propósito enfatizar esta relación crítica y su relevancia en la producción de hortalizas, particularmente en invernaderos. En el contexto de la Tierra, el impacto de la radiación solar en la producción vegetal es evidente. La luz solar, junto con el dióxido de carbono y el agua, son elementos esenciales en el proceso de fotosíntesis, que permite a las plantas convertir la energía solar en energía química y, finalmente, en biomasa. Esta transformación es de suma importancia en la producción de plantas y tiene un papel crucial en la cadena alimentaria. La ubicación geográfica de la Tierra en términos de latitud y longitud desempeña un papel significativo en la disponibilidad y la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones. Además, los efectos del cambio climático

global y las variaciones climáticas tienen un impacto directo en la cantidad y la calidad de la radiación solar recibida por las plantas, lo que puede influir en su crecimiento y desarrollo. Un aspecto relevante es la variabilidad en la tasa de fotosíntesis, que está estrechamente relacionada con la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Esta variabilidad es esencial para la producción de plantas y, por lo tanto, para la producción de alimentos **(15)**.

### **Potencial de los sistemas de cultivo sin suelo para la intensificación sostenible de la producción hortícola bajo invernadero.**

Los sistemas de cultivos sin suelo (SCS) se han popularizado para intensificar la producción hortícola globalmente. Generan beneficios productivos, sociales y ambientales, características cada vez más valoradas dada la crisis ambiental y crecimiento poblacional. Sin embargo, en Latinoamérica su adopción no es masiva por limitantes económicos y sociales. No obstante, la agricultura en suelo bajo invernadero tiene problemas de degradación edáfica y mayor incidencia de plagas/enfermedades provenientes del suelo. Por ello, los SCS son una alternativa tecnológica por explorar local y regionalmente, ya que permitirían una producción más limpia, eficiente y sostenible **(16)**.

### **1.3. Definición de términos básicos**

**Agricultura ecológica.** Conjunto de métodos de producción que se centran en la generación de alimentos que carecen de sustancias químicas sintéticas y poseen un alto valor nutricional y cualidades organolépticas destacadas. Estos sistemas desempeñan un papel crucial en la preservación del entorno natural, la disminución de los gastos de producción y la garantía de ingresos justos para los agricultores **(17)**.

**Hidroponía.** La hidroponía (del griego "hydro" - agua y "ponos" - trabajo) es como llaman los sistemas modernos de cultivo sin suelo. La investigación demuestra que el suelo mismo no es esencial para el crecimiento vegetal. De manera natural, las plantas sembradas en suelo lo usan para anclarse y extraer de él los minerales que son esenciales en su crecimiento vertical hacia la luz. En hidroponía se proveen artificialmente el anclaje y los minerales, mediante soluciones nutritivas con nutrientes equilibrados que sustituyen al suelo. Esto permite que las plantas tengan crecimiento y desarrollo óptimo orientado hacia la luz, sin necesidad del suelo **(18)**.

**Malla sombra agrícola.** Consiste en una tela de poliéster transpirable y resistente que se utiliza para cubrir invernaderos. Su función es reducir la radiación solar tanto para mejorar las condiciones de trabajo de los agricultores como para <sup>optimizar</sup> el crecimiento de los cultivos. Estas mallas tienen una densidad de entre 20% y 60%, lo que permite el paso filtrante de la luz. De esta manera se genera sombra en el invernadero al tiempo que se mantiene la entrada de luz solar necesaria para las plantas **(19)**.

## **CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **2.1. Formulación de la hipótesis**

#### **2.1.1. Hipótesis general**

Existe un momento óptimo de protección de la exposición a la luz solar directa que maximiza el rendimiento de Lactuca sativa L. en un sistema hidropónico en la región Loreto.

### **2.2. Variables y su operacionalización**

#### **Variable independiente**

X. Momento de protección de luz solar

X1. Protección en la tarde (6.0 am - 12.0 pm)

X2. Protección en la mañana 12.0 pm - 6.0 pm)

X3. Protegido todo el día (6.0 am – 6.0 pm)

X4. Sin protección todo el día

#### **Variable dependiente**

Y1. Características vegetativas

Y1.1. Altura de planta

Y1.2. Ancho de planta

Y1.3. Cantidad de hojas

Y1.4. Largo de raíz

Y1.5. Peso de raíz

Y2. Rendimiento

Y2.1. Peso de hojas

Y2.2. Peso de planta

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño

#### 3.1.1. Tipo de investigación

Enfoque de la investigación Cuantitativo, analítico. Tipo de investigación transversal, prospectivo. Nivel de la investigación explicativo. Diseño de la investigación experimental verdadero. Método de investigación hipotético.

#### 3.1.2. Diseño de la investigación

Se empleó el Diseño Completamente al Azar con diez repeticiones, donde las unidades experimentales son cajas hidropónicas a raíz flotante, se le conoce técnica hidropónica de la Raíz Flotante.

#### 3.1.3. El diseño estadístico

El modelo aditivo lineal en función del diseño muestral es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Valor observado de la variable de interés en la  $i$ -ésima unidad muestral y el  $j$ -ésimo momento de protección de la exposición a la luz solar.

$\mu$  = Efecto de la media general de la variable de interés en la población objetivo.

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento o momento específico de protección de la exposición a la luz solar.

$\epsilon_{ij}$  = Efecto del error de la observación experimental, que representa las fluctuaciones aleatorias y no controladas en los datos.

En este modelo, se considera que el valor observado de la variable dependiente ( $Y_{ij}$ ) en cada unidad muestral está compuesto por la media general  $\mu$ , el efecto específico del tratamiento o momento de protección de la exposición a la luz solar ( $T_i$ ) y el error experimental ( $\epsilon_{ij}$ ).

**Cuadro 1. Tratamientos en estudio**

<b>Trat.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Momentos de protección</b>
T1	Protección en la tarde	12.0 pm - 6.0 pm
T2	Protección en la mañana	6.0 am - 12.0 pm
T3	Protección todo el día	6.0 am - 6.0 pm
T4	Sin protección todo el día	0 horas

### **3.2. Diseño muestral**

#### **3.2.1. Población**

La población son todas las plantas de lechuga del área experimental dispuestas en los cajones crecidas a raíz flotante.

#### **3.2.2. Muestra**

De cada unidad experimental se obtuvo diez promedios a partir de la observación de tres plantas.

#### **3.2.3. Muestreo**

##### **Criterio de selección**

Se considera todas las plantas debido a que reciben las mismas condiciones de manejo, cada unidad experimental es uniforme a las condiciones ambientales y de manejo hidropónico.

##### **Inclusión**

Se elige al azar cualquier de las tres plantas de cada unidad experimental para el registro de 10 repeticiones por tratamiento.

## **Exclusión**

Se excluyeron las plantas de los contornos por la posible disponibilidad de espacio en condición favorable para su desarrollo.

### **3.3. Procedimientos de recolección de datos**

#### **3.3.1. Instrumentos de recolección de datos**

El estudio de investigación se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, específicamente en el fundo Zungarococha, Ubicado aproximadamente 45 minutos de la ciudad de Iquitos.

El campo experimental se encuentra en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, en la región de Loreto. Esta región, situada en la selva amazónica de Perú, es conocida por su biodiversidad y sus características climática que incluyen un clima tropical y una alta humedad. Las coordenadas UTM del área experimental son 704220 metros al este y 9557313 metros al norte. La altitud en esta ubicación es de aproximadamente 109 metros sobre el nivel del mar

Para la recolección de datos se utilizó una balanza digital, vernier, regla milimétrica.

#### **3.3.2. Características del área experimental**

##### **De las cajas hidropónicas**

Cantidad por experimento 4

Largo 4.0 m

Ancho 1.0 m

Alto 0.15 m

Base del suelo 1.0 m

Separación entre cajas 0.60 m

### **3.3.3. Manejo hidropónico del cultivo**

El almácigado de las semillas se realiza en un fuente de germinación colocando una capa de papel toalla y cubriendo con otra capa, se dispersa uniforme la semilla humedecida a los tres días se observa el inicio de la germinación y a los siete días se pasa a la fuente de crecimiento sujetadas cada plántula en cubitos de esponja colocadas en una plancha de ternopor en distanciamiento de 0.05 x 0.05 m. después de 7 días cuando las plantas tienen 3 a 4 hojas y 5 cm de altura son transportadas a las cajas de crecimiento con un distanciamiento de 0.25 x 0.25 con una densidad de 25 planta por metro cuadrado, aquí las planta crecen bajo el suministro de la solución nutritiva, que es aireada de tres a seis veces al día según las condiciones de temperatura.

El manejo de la malla sombra Rachel se realizó de acuerdo a la naturaleza de cada tratamiento a fin de proteger de la exposición de luz solar en los determinados momentos asignados por cada tratamiento, la altura del sombreamiento para los tratamientos que así los requerían fue dos metros de altura del cultivo.

### **3.3.4. Instrumento y evaluación**

- Altura de planta. Se mide la altura de las plantas desde el suelo hasta el punto más alto de la planta.
- Ancho de planta. Esta medida permite evaluar la expansión horizontal de las plantas y su desarrollo en términos de amplitud.
- Número de hojas. Se contó incluyendo las hojas basales, intermedias y apicales, lo que nos permitirá evaluar la cantidad y el desarrollo foliar de las plantas.

- Longitud de raíces. Esta medida proporciona información sobre el desarrollo y la expansión de las raíces en el sistema hidropónico.
- Diámetro de tallo. Esta medida permite evaluar el grosor y la fortaleza del tallo de las plantas.
- Peso de raíces. Este registro proporciona información sobre la biomasa y el desarrollo de las raíces en el sistema hidropónico.
- Peso total de planta. Este dato permite evaluar el rendimiento final de las plantas en términos de biomasa total.

#### **3.4. Procesamiento y análisis de datos**

Los datos fueron procesados a través del análisis de variancia (ANOVA) y de la prueba Kruskal-Wallis, según cual fue el comportamiento y naturaleza de las variables. El software estadístico para realizar el análisis de los datos fue el SPSS y el Infostat permitiendo realizar análisis descriptivos, pruebas de hipótesis, pruebas de comparaciones múltiples u otros análisis relevantes para los objetivos de la investigación.

#### **3.5. Aspectos éticos**

Durante la investigación del cultivo de lechuga en un sistema hidropónico, se garantizó el cumplimiento de aspectos éticos.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Caracteres agronómicos

#### 4.1.1. Altura de planta (cm)

En el Cuadro 2, la prueba de Kruskal Wallis expresa que hay una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) en la altura de las plantas (en centímetros) según el momento de exposición a la luz solar, según lo indicado por la prueba de Kruskal-Wallis.

**Cuadro 2. Prueba de Kruskal Wallis de Altura de planta (cm)**

Momento de luz solar	Medias	D.E.	Medianas	Rangos	H	p-valor
Protección en la mañana (T2)	28.80	2.15	29.00	25.90	13.31	<0.0037
Sin protección todo el día (T4)	24.80	4.16	23.50	15.45		
Protección en la tarde (T1)	24.18	5.06	22.00	12.35		
Protección todo el día (T3)	29.60	1.26	29.50	28.30		

26.85

\* Significativo, Alfa=0.01

**Cuadro 3. Prueba de comparaciones múltiples de los promedios máxima de altura de planta (cm).**

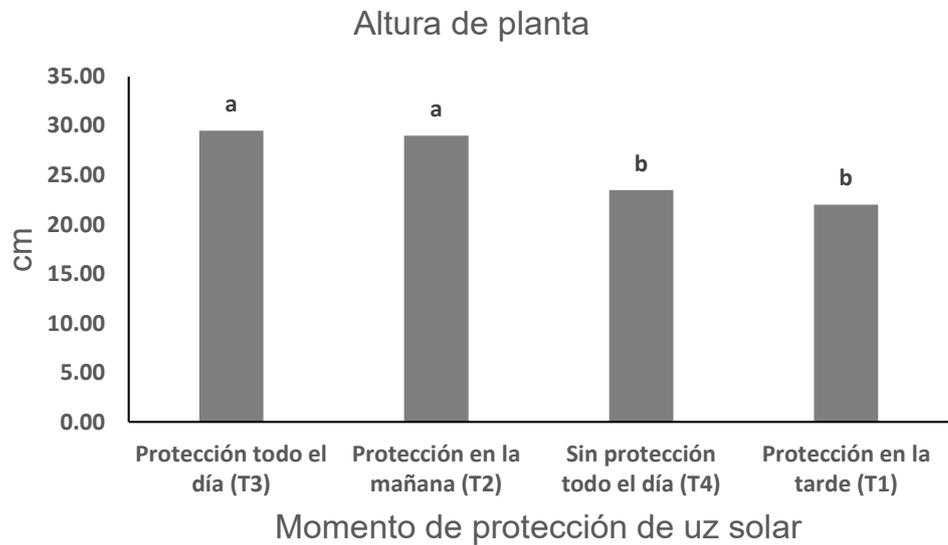
Momento de protección de luz solar	Medias (cm)	Rango	Sig
Protección todo el día (T3)	29.50	12.35	a
Protección en la mañana (T2)	29.00	15.45	a
Sin protección todo el día (T4)	23.50	25.90	b
Protección en la tarde (T1)	22.00	28.30	b

El cuadro 3, la prueba de Kruskal-Wallis para la altura de las plantas de lechuga en hidroponía utilizando la técnica del flujo laminar revela diferencias significativas entre los diferentes momentos de exposición a la luz solar protegido todo el día todo el día y protegido en la mañana.

Al observar las medianas de altura de planta en centímetros, se puede notar una tendencia ascendente en función del aumento del tiempo de

exposición a la luz solar. Los promedios para los momentos de exposición de luz en la tarde y todo el día la altura de planta fue menor.

**Gráfico 1. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de altura de planta en cm.**



Según el gráfico 1, podemos concluir que hay diferencias significativas en la altura de las plantas de lechuga en hidroponía según el momento de exposición a la luz solar, con un aumento en la altura de la planta cuando es protegido todo el día y en la mañana.

#### **4.1.2. Longitud de raíces (cm)**

En el Cuadro 4, se observa que el Análisis de Varianza para la longitud de las raíces en centímetros muestra una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ) en función del momento de protección a la exposición de luz solar. El coeficiente en este caso, sugiere que los valores de la longitud de las raíces están relativamente cerca de su media, con una variabilidad del 8.58%.

**Cuadro 4. Análisis de variancia para largo de raíces (cm)**

Fuente de Var.	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Momento de protección de luz solar	3	38.28	12.76	14.13415385	0.0000
Error	36	32.5	0.90		
Total	39	70.78			

CV= 8.58%

\* p-valor > 0.05. Significativo, Alfa=0.05

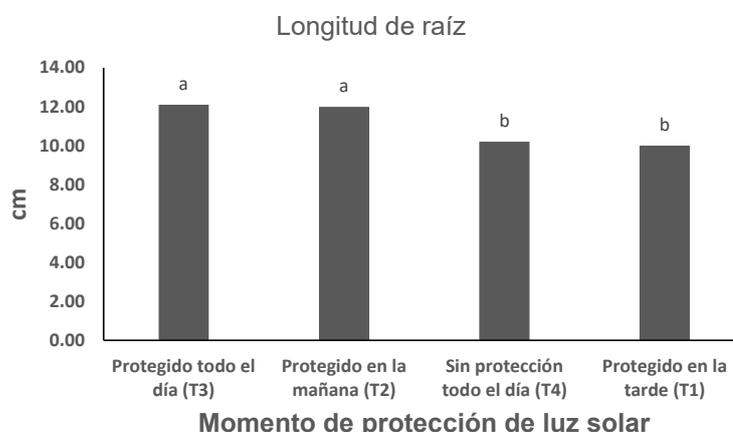
**Cuadro 5. Promedios del largo de raíces en cm.**

Momento de protección de luz solar	Medias (cm)	E.E	Sig
Protegido todo el día (T3)	12.10	0.44	a
Protegido en la mañana (T2)	12.00	0.44	a
Sin protección todo el día (T4)	10.20	0.44	b
Protegido en la tarde (T1)	10.00	0.44	b

11.08

El cuadro 5, la prueba de Tukey para la longitud de las raíces en centímetros de lechuga en la técnica de hidroponía utilizando el flujo laminar muestra diferencias significativas entre los diferentes momentos de exposición a la luz solar. Según las medias de longitud de las raíces, se puede observar que con protección prolongada a la exposición de luz solar y protegido en la mañana tienen medias más altas en comparación con los momentos de exposición más largos y expuestos en la mañana.

**Gráfico 2. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de longitud de raíces en cm.**



Según el gráfico 2, podemos concluir que hay diferencias significativas en la longitud de las raíces de la lechuga en hidroponía según el momento de protección a exposición de la luz solar, con una mayor longitud de raíz en los momentos de protección todo el día y en la mañana. Se podría atribuir que las plantas expuestas a la luz solar todo el día y en la mañana la longitud de las raíces es menores.

#### 4.1.3. Ancho de planta (cm)

En el Cuadro 6, El Análisis de variancia confirma que el momento de exposición a la luz solar tiene un efecto significativo en el ancho de planta de la lechuga en hidroponía utilizando la técnica del flujo laminar, con diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes momentos de exposición. El CV es del 6.56%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas del ancho de planta en relación con su media.

**Cuadro 6. Análisis de variancia para ancho de planta (cm)**

Fuente de Variabilidad	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Momento de protección de luz solar	3	322.87	107.62	55.89209463	0.0000
Error	36	69.32	1.93		
Total	39	392.19			
CV=		6.56%			

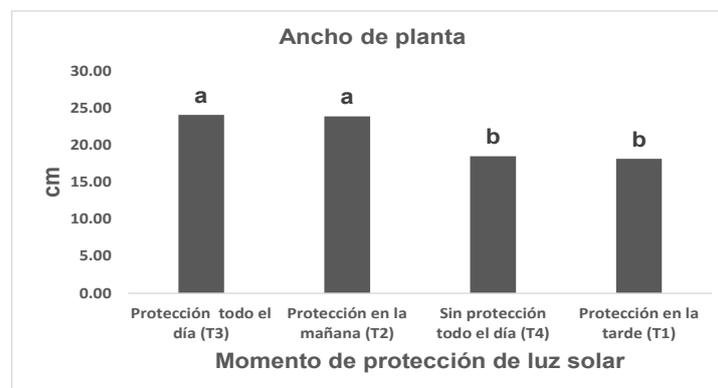
\* p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 7. Prueba de Tukey del promedio máxima de ancho de planta (cm)**

Momento de protección de luz solar	Medias (cm)	E.E	Sig
Protección todo el día (T3)	24.10	0.44	a
Protección en la mañana (T2)	23.90	0.44	a
Sin protección todo el día (T4)	18.50	0.44	b
Protección en la tarde (T1)	18.15	0.44	b
		21.16	

El Cuadro 7, indica que el ancho de la planta en centímetros, según el momento de exposición a la luz solar, muestra diferencias significativas. Las medias del ancho de la planta muestran que los momentos de protección a la luz solar (protección todo el día y en la mañana) tienen anchos de planta más grandes en comparación con los momentos de exposición todo el día y con protección en la tarde.

**Gráfico 3. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de ancho en cm.**



Según el gráfico 3, se puede concluir que hay diferencias significativas en el ancho de la planta en función del momento de exposición a la luz solar, con un mejor comportamiento cuando reciben protección a exposición de la luz solar durante todo el día, pero también cuando es protegido en la mañana.

#### 4.1.4. Número de hojas

En el Cuadro 8, el Análisis de variancia confirma que el momento de exposición a la luz solar tiene un efecto significativo en el número de hojas por planta, con diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes momentos de exposición. El coeficiente de variación es del 5.54%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas de ancho de planta en relación con su media.

**Cuadro 8. Análisis de variancia para número de hojas.**

Fuente de Var.	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Momento de exposición a luz solar	3	12.2	4.07	6.049586777	0.0019
Error	36	24.2	0.67		
Total	39	36.4			

CV= 5.54%

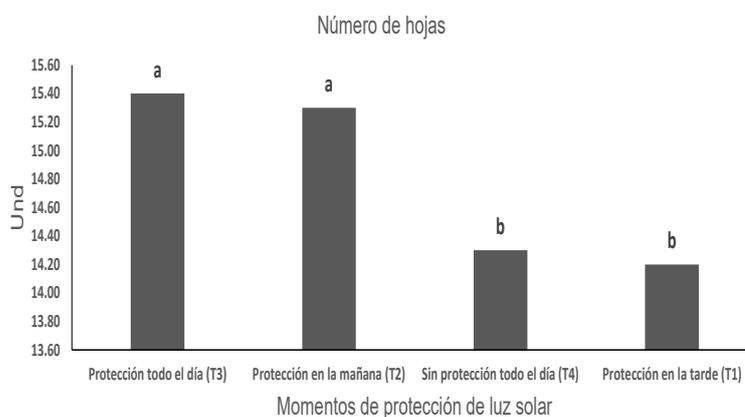
\* p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 9. Prueba de Tukey para el número de hojas**

Momento de protección de luz solar	Medias (cm)	E.E	Sig
Protección todo el día (T3)	15.40	0.26	a
Protección en la mañana (T2)	15.30	0.26	a
Sin protección todo el día (T4)	14.30	0.26	b
Protección en la tarde (T1)	14.20	0.26	b
	14.80		

El cuadro 9, el análisis de Tukey para el número de hojas de la lechuga en hidroponía utilizando la técnica del flujo laminar muestra diferencias significativas de la protección todo el día y en la mañana frente a sin protección todo el día y para con protección en la tarde. Según las medias del número de hojas, se puede observar que los momentos de protección a la exposición de luz solar tiene una media ligeramente más alta en comparación con los tiempos de mayor exposición.

**Gráfico 4. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de cantidad de hojas.**



Según el gráfico 4, podemos afirmar que hay diferencias significativas en el número de hojas de la lechuga en hidroponía según el momento de protección a la exposición de luz solar, aunque estas diferencias pueden no ser muy pronunciadas, así las plantas con protección todo el día y en la mañana muestran significancia estadística para la planta que fueron protegidas en la tarde y sin protección todo el día.

#### 4.1.5. Peso de raíz (g)

En el Cuadro 10, el Análisis de variancia indica que no hay una relación significativa entre el momento de protección a exposición a la luz solar y el peso de la raíz de la lechuga en hidroponía utilizando la técnica del flujo laminar. En el contexto de este análisis, un CV del 14.04% sugiere que las mediciones del peso de la raíz pueden variar significativamente entre las muestras o entre los momentos de exposición a la luz solar.

**Cuadro 10. Análisis de variancia para peso de raíz en g.**

Fuente de Var.	GI	SC	CM	Ft	p-value
Momento de proteccion de luz solar	3	0.15	0.05	0.036231884	0.9906
Error	36	49.68	1.38		
Total	39	49.83			

CV= 14.04%

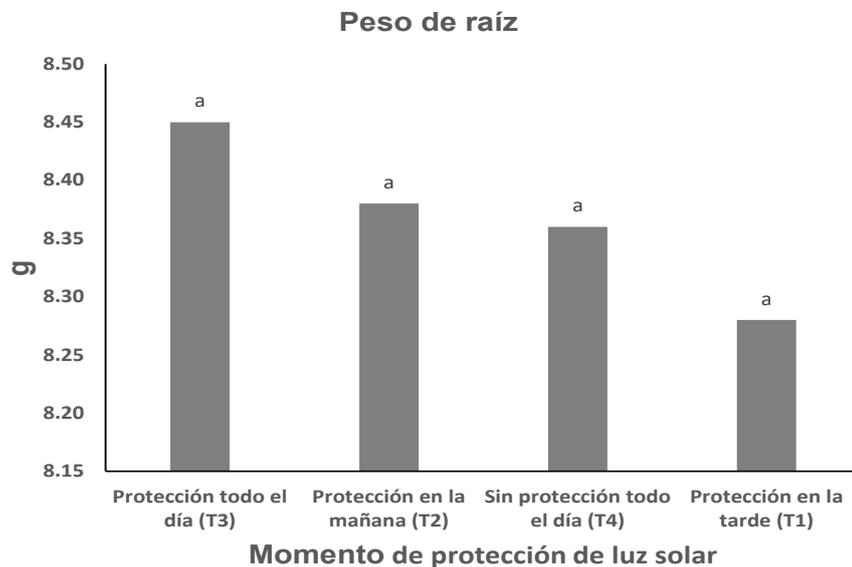
\* p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 11. Prueba de Tukey para peso de raíz**

Momento de protección de luz solar	Medias (g)	E.E	Sig
Protección todo el día (T3)	8.45	0.44	a
Protección en la mañana (T2)	8.38	0.44	a
Sin protección todo el día (T4)	8.36	0.44	a
Protección en la tarde (T1)	8.28	0.44	a
	8.37		

El cuadro 11, muestra las medias del peso de la raíz de la lechuga en diferentes momentos de protección a exposición de luz solar, el orden de mérito, es decir, la clasificación de los momentos de protección según sus medias de peso de la raíz, se puede establecer observando las medias de mayor a menor. También se proporciona una letra (a) para cada grupo, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre las medias según la prueba de Tukey.

**Gráfico 5. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de raíz en g.**



El gráfico 5, expresa que la media más alta corresponde al momento de protección a la exposición de luz solar en protección todo el día seguido en protección en la mañana. Aunque las diferencias numéricas entre las medias son pequeñas, la clasificación indica que el momento de protección a la exposición de 6.0 am a 6.0 pm tiene la mayor media de peso de raíz, mientras que las protegidas en la tarde de 12.0 pm - 6.0 pm tiene la menor media. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, según la prueba de Tukey, estas diferencias numéricas no son estadísticamente significativas.

## 4.2. Rendimiento

### 4.2.1. Peso de hojas (g)

En el Cuadro 12, el Análisis de Varianza realizado para el peso foliar de la lechuga en función del momento de protección a exposición de luz solar muestra que es altamente significativa, con un valor de p muy pequeño ( $p < 0.0001$ ). El CV es del 15.10%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas del peso de la raíz en relación con su media.

**Cuadro 12. Análisis de variancia para peso de hojas**

Fuente de Variabilidad	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Momento de protección de luz solar	3	13921.47	4640.49	45.30106407	0.0000
Error	36	3687.72	102.44		
Total	39	17609.19			

CV= 15.10%

\* p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 13. Prueba de Tukey para peso de hojas.**

Momento de protección de luz solar	Medias (cm)	E.E	Sig
Protección todo el día (T3)	85.92	0.44	a
Protección en la mañana (T2)	85.12	0.44	a
Sin protección todo el día (T4)	51.44	0.44	b
Protección en la tarde (T1)	45.55	0.44	b
	67.01		

El cuadro 13, muestra que la media más alta corresponde al momento de protección todo el día (T3), seguido con protección en la mañana (T2), mostrando diferencia estadística significativa para las plantas con medias de peso foliar expuestas todo el día y en la mañana.

**Gráfico 6. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de hojas en g.**



El gráfico 6, muestra que hay diferencias significativas en el peso total de las hojas de la lechuga del momento de protección a exposición a la luz solar todo el día junto con protección en la mañana en comparación las plantas con exposición prolongada a exposición de luz solar que resultan en un menor de peso de hojas así las expuestas a luz solar directa en horas de la mañana.

#### **4.2.2. Peso total de planta (g)**

En el Cuadro 14, el Análisis de Varianza realizado para el peso total de la planta de lechuga en función del momento de exposición a la luz solar muestra altamente significativa, con un valor de p muy pequeño ( $p < 0.0001$ ). el CV es del 14.57%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas del peso total de la planta en relación con su media.

**Cuadro 14. Análisis de variancia para peso total de planta en g.**

Fuente de Var.	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Momento de protección de luz solar	3	13618.48	4539.49	37.88260275	0.0000
Error	36	4313.9	119.83		
Total	39	17932.38			

CV= 14.57%

\* p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

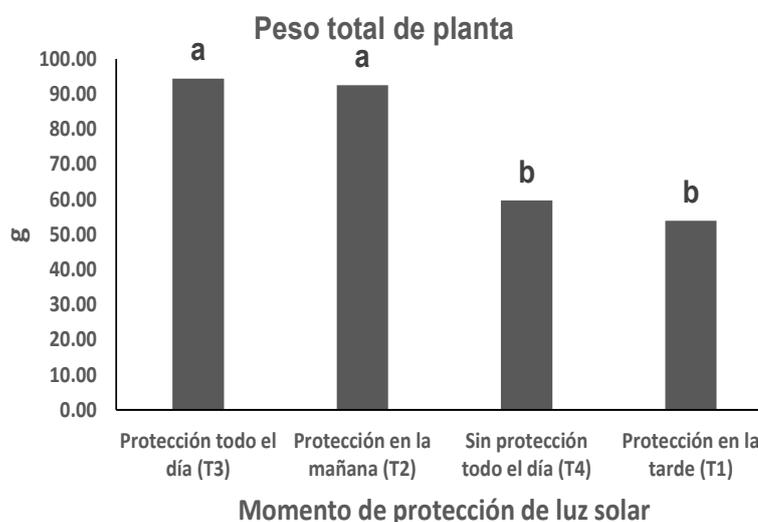
**Cuadro 15. Prueba de Tukey para peso de planta en g.**

Momento de protección de luz solar	Medias (g)	E.E	Sig
Protección todo el día (T3)	94.40	3.46	a
Protección en la mañana (T2)	92.50	3.46	a
Sin protección todo el día (T4)	59.70	3.46	b
Protección en la tarde (T1)	53.90	3.46	b

75.13

El cuadro 15, muestra las medias del peso total de la planta de lechuga en diferentes momentos de exposición a la luz solar, los pesos de plantas en protección todo el día y en la mañana muestran diferencias estadísticas significativas en comparación para los pesos de plantas expuestas a luz solar todo el día y en la mañana.

**Gráfico 7. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de planta en g.**



El gráfico 7, expresa la supremacía del promedio del peso total de planta con una diferencia estadística significativa en función del momento de protección a la exposición de la luz solar, con protección todo el día y en la mañana en comparación con los momentos de exposición prolongada a la luz solar en este caso todo el día y expuestos en la mañana.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Basado en los resultados de esta investigación, se observa que el momento de protección exposición a diferentes momentos de luz solar tiene un efecto significativo en el rendimiento agronómico de la lechuga en sistemas hidropónicos en la región de Loreto. Al respecto **Avendaño et al. (7)**, quienes encontraron que la luz roja y azul promovieron un mayor crecimiento de la lechuga, nuestros resultados indican que los momentos de protección a exposición de la luz solar, como la protección todo el día y el período de 6.0 am a 12.0 pm, fomentan un mayor crecimiento en términos de altura de la planta, longitud de raíces, peso foliar y peso total de la planta. Sin embargo, **Carini et al.(8)**, sugirieron que el uso de mallas de sombreado no mejoró significativamente el rendimiento de la lechuga en diferentes estaciones del año, lo que contrasta con nuestros resultados que muestran que la protección todo el día resulta en un mayor crecimiento y rendimiento de la planta. Estos valores encontrados resaltan la importancia de adaptar las estrategias de manejo de luz solar a las condiciones ambientales específicas de cada región para optimizar el rendimiento del cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos. Además, nuestros resultados apoyan la idea de que el manejo adecuado de la luz solar puede conducir a un aumento significativo en el rendimiento del cultivo, lo que respalda la afirmación de **Rocha et al.(16)**, sobre el potencial de los sistemas de cultivo sin suelo para la intensificación sostenible de la producción hortícola.

La investigación, liderada por **Medina (1)**, contextualiza la importancia del momento de protección de la exposición a la luz solar en el cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos. Destaca la necesidad de innovación agrícola y adaptación de infraestructuras a las condiciones agroclimáticas locales, según lo mencionado por **Fontagro (3)**. Además, señala la relevancia de comprender cómo la luz solar influye en el rendimiento de las plantas, como lo sugieren Poma y es-ciencia **(6,2)**. La

investigación resalta el papel clave de la universidad en el desarrollo social y la innovación en la agricultura, en consonancia con los planteamientos de **Medina (1)**.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

La protección a la exposición de luz solar en las características agronómicas del cultivo de lechuga en sistema hidropónico en la región de Loreto es relevante debido que se observa que los momentos de protección, como protección todo el día y el período de 6.0 am a 12.0 pm, promueven un mayor crecimiento en términos de altura de la planta, longitud de raíces, peso foliar y peso total de la planta. Estos resultados nos muestran la importancia de manejar adecuadamente la luz solar para optimizar el desarrollo vegetativo de las plantas y mejorar su adaptación a las condiciones ambientales específicas de la región.

El adecuado manejo de la luz solar puede conducir a un aumento significativo en el rendimiento del cultivo de lechuga en sistema hidropónico. Los momentos de protección de exposición de luz solar, particularmente la protección todo el día y el período de 6.0 am a 12.0 pm, muestran un mayor peso total de la planta y peso total de las hojas. Estos resultados sugieren que estrategias como el uso de sombreadores pueden ser efectivas para mejorar el rendimiento del cultivo y aumentar la producción en condiciones similares a las de Loreto.

El adecuado manejo de la luz solar, mediante el uso de sombreadores u otras estrategias, puede ser una práctica efectiva para optimizar el crecimiento y el rendimiento del cultivo.

## **CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES**

Se recomienda implementar estrategias para optimizar el manejo lumínico en los invernaderos o áreas de cultivo. Esto puede incluir la instalación de sombreadores ajustables o el uso de materiales de cobertura que permitan regular la cantidad de luz solar que alcanza las plantas, con el fin de proporcionar condiciones óptimas para su desarrollo.

Dado que las características agronómicas y el rendimiento del cultivo pueden variar significativamente según el momento de exposición a la luz solar, se sugiere establecer un sistema de monitoreo regular para evaluar el crecimiento de las plantas y realizar ajustes en la gestión lumínica según sea necesario. Esto puede implicar la implementación de sistemas de control automatizados o la asignación de personal capacitado para realizar inspecciones periódicas y tomar decisiones informadas sobre el manejo de la luz solar.

La relevancia de esta investigación destaca la importancia de continuar explorando el efecto de factores ambientales en el cultivo de lechuga y otros cultivos en sistemas hidropónicos en diversas regiones. Se recomienda fomentar la colaboración entre investigadores, agrónomos y agricultores para desarrollar investigaciones interdisciplinarias que traten no solo la influencia de la luz solar, sino también otros aspectos como la temperatura, la humedad y la calidad del agua.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. **Medina Coronado D.** El rol de las universidades peruanas frente a la investigación y el desarrollo tecnológico. Propósitos Represent. julio de 2018;6(2):703-20.
2. es\_ciencia\_13\_b\_bosque\_humedo.pdf [Internet]. [citado 27 de junio de 2023]. Disponible en: [https://bibliofep.fundacionempresaspolarglobal.org/media/1280492/es\\_ciencia\\_13\\_b\\_bosque\\_humedo.pdf](https://bibliofep.fundacionempresaspolarglobal.org/media/1280492/es_ciencia_13_b_bosque_humedo.pdf)
3. **FONTAGRO.** Horticultura protegida, una alternativa para enfrentar el cambio climático en regiones de alta temperatura [Internet]. [citado 27 de junio de 2023]. Disponible en: <http://webstories.fontagro.org/horticultura-protegida-frente-al-cambio-climatico>
4. **Rizo-Mustelier M, Vuelta-Lorenzo DR, Lorenzo-García AM.** Agricultura, Desarrollo Sostenible, Medioambiente, Saber Campesino Y Universidad. Cienc En Su PC. 2017;(2):106-20.
5. **Herrera Tapia F, Suárez Rincón JV.** Rol de las universidades en el Sistema Nacional de Innovación mexicano. Rev Venez Gerenc. 2021;26(93):139-57.
6. **Poma A. W.** Revisión bibliográfica de uso de sistemas hidropónicos en el cultivo de hortalizas. 2020; Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54960>
7. **Avendaño Abarca VH.** Influencia de la intensidad y calidad de luz en el crecimiento y propiedades antioxidantes en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo sistema fábrica de plantas. [Internet]. 2019. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/17002/1/1080240106.pdf>
8. **Carini F, Cargnelutti F A, Andiara KI. J, Marcio N. IM, Lixinski S. D.** Rendimiento agronómico de cultivares de lechuga en diferentes estaciones y condiciones de sombra [Internet]. [citado 12 de junio de 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292020000100047&script=sci\\_arttext&lng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292020000100047&script=sci_arttext&lng=pt)
9. **Soria Malaverry JO.** Comparativo de variedades de *Lactuca sativa* L. en el comportamiento en hidroponía, Loreto. 2022 [citado 12 de junio de 2023]; Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3345803>

10. **Jaimes T. M, Blanco V. W.** Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Patacamaya, La Paz. Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA. 2019;
11. **Vera Leon R.** Efecto de la luz solar en la producción de lechugas (*Lactuca sativa* L.), bajo un sistema hidropónico [Internet] [Tesis]. [Mllagro - Ecuador]: Universidad Agraria del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrarias; 2020. Disponible en: [file:///D:/Desktop/Documents/A1%20ACADEMICO%202023%20\(22\)/A1%20INVESTIGACION%202023/A%20jpi%20PDFs%20referencias%20bibliogr%C3%A1ficas/lechuga/efecto%20de%20la%20luz%20solar%20en%20la%20produccion%20de%20lechugas%20bajo%20un%20sistema%20hidroponico.pdf](file:///D:/Desktop/Documents/A1%20ACADEMICO%202023%20(22)/A1%20INVESTIGACION%202023/A%20jpi%20PDFs%20referencias%20bibliogr%C3%A1ficas/lechuga/efecto%20de%20la%20luz%20solar%20en%20la%20produccion%20de%20lechugas%20bajo%20un%20sistema%20hidroponico.pdf)
12. **Portilla Inga ME.** Sistema hidropónico automatizado para el control de parámetros de solución nutritiva en huertos urbanos. Repos Inst - UCV [Internet]. 2022 [citado 23 de noviembre de 2023]; Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101135>
13. **Huamani JM, Aguilar SV, Acuña HER, Sánchez JM, Gomez RL, Pareja AC,** et al. Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo invernadero. Cienc Lat Rev Científica Multidiscip. 13 de julio de 2023;7(3):8147-63.
14. **Barrera Alarcón CM.** Evaluación del efecto de la intensidad de mallas fotoselectivas en cultivo sin suelo. 2020 [citado 22 de noviembre de 2023]; Disponible en: <https://repositorio.ual.es/handle/10835/9748>
15. **Montero Torres J.** Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas. Rev Investig E Innov Agropecu Recur Nat. abril de 2022;9(1):48-62.
16. **Rocha GAO, Vergel SJN, Arias LG, Giraldo YR, Villagran E.** La técnica del cultivo sin suelo y su contribución al mejoramiento tecnológico de la agricultura bajo cubierta: Un análisis bibliométrico. Cienc Lat Rev Científica Multidiscip. 13 de diciembre de 2022;6(6):7053-74.
17. Valero\_36.pdf [Internet]. [citado 23 de noviembre de 2023]. Disponible en: [https://oa.upm.es/6291/1/Valero\\_36.pdf](https://oa.upm.es/6291/1/Valero_36.pdf)

18. **Sandoya G, Bosques J, Vassilaros V.** La Producción de Lechuga en Sistemas Hidropónicos a Pequeña Escala [Internet]. [citado 23 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1433>
19. La malla sombra brinda ventajas descúbrelas [Internet]. [citado 23 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://casa-sombra.com/2023/04/10/ventajas-de-la-malla-sombra-agricola/>

# **ANEXOS**

## 1. Datos originales y pruebas de Homocedasticidad

trat.	Momento de exposición a luz solar	Altura de planta (cm)	Diámetro de planta (cm)	Número de hojas	Longitud de raíz (cm)	Peso total de planta (g)	Peso de raíz (g)	Peso foliar (g)
Medio día - en la mañana	6.0 am- 12.0 pm (6h)	36.5	18.0	13.0	12.0	76.0	10.6	65.4
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	29.3	20.5	14.0	11.0	79.0	11.6	67.4
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	25.0	18.0	15.0	10.0	57.0	8.0	49.0
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	21.0	18.0	14.0	8.0	55.0	8.6	46.4
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	21.0	20.0	15.0	10.0	47.0	8.6	38.4
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	21.0	17.0	14.0	11.0	45.0	8.0	37.0
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	21.0	18.0	15.0	10.0	45.0	7.4	37.6
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	22.0	17.0	14.0	9.0	44.0	7.2	36.8
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	23.0	17.0	14.0	9.0	46.0	7.0	39.0
	6.0 am- 12.0 pm (6h)	22.0	18.0	14.0	10.0	45.0	7.5	38.5
Medio día - en la tarde	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	30.0	24.0	17.0	13.0	94.0	9.3	84.7
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	29.0	24.0	16.0	12.0	102.0	9.0	93.0
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	30.0	22.0	15.0	12.0	88.0	8.0	80.0
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	32.0	26.0	16.0	13.0	90.0	8.5	91.5
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	29.0	23.0	15.0	11.0	85.0	7.0	78.0
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	24.0	20.0	14.0	11.0	80.0	7.0	73.0
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	29.0	25.0	15.0	12.0	93.0	8.0	85.0
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	30.0	24.0	15.0	11.0	95.0	9.0	86.0
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	28.0	25.0	14.0	12.0	98.0	8.0	90.0
	12.0 pm - 6.0 pm (6h)	27.0	26.0	16.0	13.0	100.0	9.0	91.0
Protegido todo el día	Sombreado todo el día	30.0	25.0	16.0	12.0	96.0	8.5	87.5
	Sombreado todo el día	29.0	24.0	17.0	13.0	104.0	8.0	96.0
	Sombreado todo el día	31.0	23.0	15.0	12.0	86.0	9.0	77.0
	Sombreado todo el día	32.0	25.0	16.0	13.0	99.0	8.3	90.7
	Sombreado todo el día	30.0	23.0	14.0	11.0	86.0	7.0	79.0
	Sombreado todo el día	29.0	22.0	15.0	12.0	84.0	8.0	76.0
	Sombreado todo el día	28.0	25.0	15.0	13.0	92.0	9.0	83.0
	Sombreado todo el día	30.0	25.0	16.0	11.0	96.0	9.0	87.0
	Sombreado todo el día	29.0	25.0	14.0	11.0	99.0	8.0	90.0
	Sombreado todo el día	28.0	24.0	16.0	13.0	102.0	9.0	93.0
Sin protección con malla	6.0 am - 6.0 pm (12h)	34.0	19.0	14.0	11.0	78.0	10.5	67.5
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	30.0	21.0	13.0	12.0	80.0	11.4	68.6
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	26.0	19.0	15.0	10.0	82.0	7.0	75.0
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	24.0	18.0	14.0	9.0	56.0	8.4	47.6
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	22.0	20.0	15.0	10.0	54.0	7.8	46.2
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	22.0	18.0	15.0	10.0	52.0	8.0	44.0
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	21.0	17.0	14.0	10.0	53.0	8.0	45.0
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	24.0	17.0	14.0	9.0	49.0	8.0	41.0
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	22.0	18.0	15.0	11.0	48.0	7.0	41.0
	6.0 am - 6.0 pm (12h)	23.0	18.0	14.0	10.0	45.0	7.5	38.5
Shapiro-Wilks (Homogeneidad)	<0.0001	0.6935	0.0019	0.0630	0.0008	0.0005	0.0008	
Levine (Heterogeneidad de var.)	0.032	0.567	0.288	0.890	0.890	0.025	0.210	
Estadística de prueba	kruscall	Fisher	Fisher	Fisher	Fisher	Fisher	Fisher	

## 2. Fotos del experimento



Preparación de las bandejas almacigueras con una capa de papel toalla.



Sobre la capa de papel toalla se dispone a rosear con agua para humedecer la superficie.



Dispersión de las semillas de Lactuca Sativa L. en toda el área de la bandeja almaciguera.



Dispersión de la semilla de Lactuca Sativa L. en la bandeja almaciguera



Luego de dispersado las semillas colocamos otra capa de papel toalla agregado de una cantidad de agua.



15/12/2023 - 16/12/2023 Día uno y dos del almácigo bajo sombra respectivamente.



17/12/2023 Día tres del almácigo bajo sombra



18/12/2023 Día cuatro del almácigo bajo sombra



18/12/2023 Día cuatro del almácigo bajo sombra



19/12/2023 Traslado de las plántulas de lechuga, a los cajones con flotantes de ternopor en agua con una solución nutritiva.



Proceso de crecimiento de la Lactuca Sativa L. por un periodo de 7 días



Proceso de crecimiento de la Lactuca Sativa L. por un periodo de 7 días, con un trabajo de aireación del agua y sombra con malla.



Proceso de crecimiento de la Lactuca Sativa L. por un periodo de 7 días, con un trabajo de aireación del agua y sombra con malla.



Solución A: Nitrato de Potasio, Nitrato de amonio y superfosfato triple de calcio en 5 litros de agua.



Solución concentrada A



Solución B: Micronutrientes, Sulfato de magnesio y quelato de hierro en 2 litros de agua.



Micronutrientes y sulfato de magnesio.



Quelato de hierro



Solución A de color marrón claro, solución B de color morado intenso y solución C incoloro.



Presentación de las cajas de crecimiento con el respectivo traslado de plantas de 5 cm de altura.



Cajas de crecimiento con una densidad de 25 plantas por metro cuadrado.



Crecimiento bajo el suministro de la solución nutritiva complementado con el aereado tres a seis veces al día.



Crecimiento bajo el suministro de la solución nutritiva complementado con el aereado tres a seis veces al día.



Crecimiento bajo el suministro de la solución nutritiva complementado con el aereado tres a seis veces al día.



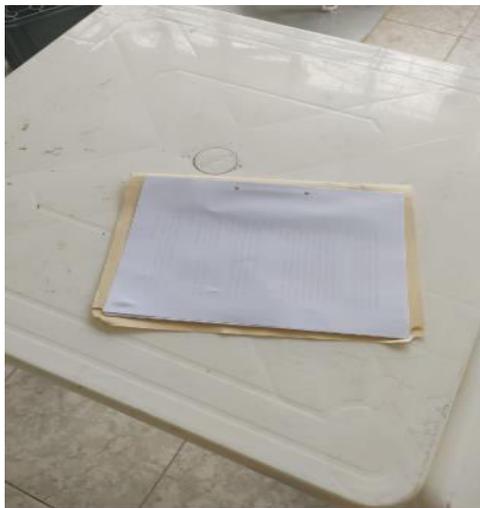
Crecimiento bajo el suministro de la solución nutritiva, aereado y manejo de tratamientos con malla.



Crecimiento bajo el suministro de la solución nutritiva, aereado y manejo de tratamientos con malla.



Lista de instrumentos y útiles para la evaluación de las plantas.



Bloc de apuntes y pesaje de una lechuga con raíz.



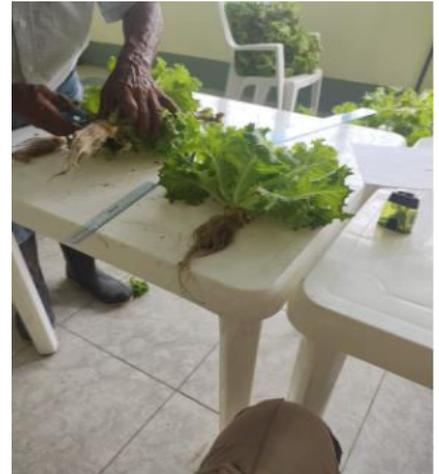
Recorte de raíz de lechuga y pesaje.



Peso total de la lechuga en repeticiones.



Muestra de pesaje de una lechuga y muestra de la tabla de apuntes.



Medición de longitud de raíz con respectivo recorte



Medición de longitud total de la lechuga con un previo conteo de hojas



Medición de diámetro de las lechugas con un respectivo conteo de hojas.



Pesaje de lechuga en balanza gramera a varias repeticiones.



Pesaje de lechuga en balanza gramera a varias repeticiones. Muestra de peso de raíces.



Muestra de lechugas con su respectiva raíz.



Pesaje de lechuga y muestra de tres raíces.



Muestra de longitud de lechugas.



Muestra de lechugas en plancha de ternopor para ser evaluados.