

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de  
lechuga Rizada Veneranda (*Lactuca sativa L*) en un sistema  
cerrado**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Gabriela Masa Gonzales Bach  
Daniel Julinho Quispe Huisacayna

**Asesor:**

Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra

**Juliaca, febrero de 2025**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFECTO DE LA ILUMINACIÓN LED EN LA PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE LECHUGA RIZADA VENERANDA (*LACTUCA SATIVA* L) EN UN SISTEMA CERRADO”** de los autores **Gabriela Masa Gonzales y Daniel Julinho Quispe Huisacayna** tiene un índice de similitud de **15%** verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 10 días del mes de febrero del año 2025.



Firmado digitalmente por  
ZAPANA YUCRA FRANKLYN ELARD ER  
71920356 hash  
Motivo: Soy el autor del  
documento Fecha:  
28/04/2025 12:02:52-0500

---

Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 10 día(s) del mes de febrero del año 2015 siendo las 12:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera el (la) secretario(a): Mra. Miguel Angel Salcedo Enriquez y los demás miembros: Mra. Bernardino Tapia Aguilar  
Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y el (la) asesor(a) Mg. Franklyn Elard Zapana Yuera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga Rizada Veneranda (Lactuca sativa L) en un sistema cerrado"

del(los) bachiller(es): a) Daniel Julinho Quispe Huiscayna  
 b) Gabriela Masa Gonzales  
 c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental  
 (Denominación por Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Daniel Julinho Quispe Huiscayna

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Gabriela Masa Gonzales

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente(a)  
 Secretaria/a  
 Miembro  
 Asesor/a  
 Miembro  
 Bachiller (a)  
 Bachiller (b)  
 Bachiller (c)

## Lista de Contenido

Introducción .....	7
Resultados.....	9
Discusión .....	20
Materiales y métodos.....	24
Lugar de estudio.....	24
Materiales, equipos e insumos .....	24
Metodología experimental .....	25
Diseño estadístico .....	31
Referencias .....	32
Anexos .....	36
Evidencia de sumisión de artículo .....	36
Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis.....	37

## **Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga Rizada Veneranda (*Lactuca sativa* L) en un sistema cerrado**

### **Resumen**

Las fluctuaciones climáticas están afectando significativamente al sector agrícola en Perú y reduciendo la producción de cultivos clave como por ejemplo la lechuga, es por ello que, para abordar estos desafíos, la adopción de sistemas hidropónicos regulados mediante iluminación de diodos emisores de luz (LED) se presenta como una solución innovadora. Por ende, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga en un sistema cerrado en condiciones altiplánicas. La investigación se desarrolló en un ambiente de la residencia “Villa Salvador”, desvío de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca a 3,832 m.s.n.m., la metodología experimental constó de 5 pasos: construcción del sistema, instalación del sistema, seguido de la siembra y toma de datos, luego el trasplante y finalmente la cosecha y análisis en el laboratorio. Se observa que la Luz LED Azul favorece un mayor crecimiento con una media de 18.71 cm, por otro lado, la Luz LED Blanca resulta en la mayor longitud de hoja con una media de 25.04 cm, asimismo se obtuvo como resultado que esta Luz LED Blanca es el más alto con una media de 11.57 hojas producidas. Los resultados obtenidos indican que el tipo de luz LED utilizada tiene un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de la lechuga.

**Palabras clave:** Iluminación LED, producción hidropónica, lechuga, fluctuaciones climáticas.

# **Effect of LED Lighting on the Hydroponic Production of Curly Lettuce Veneranda (*Lactuca sativa* L) in a Closed System**

## **Abstract**

Climate fluctuations are significantly affecting the agricultural sector in Peru, reducing the production of key crops such as lettuce. To address these challenges, the adoption of hydroponic systems regulated by light-emitting diode (LED) lighting emerges as an innovative solution. Therefore, the objective of this research is to evaluate the effect of LED lighting on hydroponic lettuce production in a closed system under high-altitude conditions. The study was conducted in an environment at the "Villa Salvador" residence, near the Universidad Peruana Unión – Juliaca Campus, at an altitude of 3,832 meters above sea level. The experimental methodology consisted of five steps: system construction, system installation, seed sowing and data collection, transplanting, and finally, harvesting and laboratory analysis. Results show that blue LED light promotes greater growth, with an average height of 18.71 cm. On the other hand, white LED light results in the longest leaf length, with an average of 25.04 cm. Additionally, white LED light leads to the highest number of leaves produced, with an average of 11.57 leaves. The findings indicate that the type of LED light used has a significant impact on the growth and development of lettuce.

**Keywords:** LED lighting, hydroponic production, lettuce, climate fluctuations.

## Introducción

Actualmente, las variaciones climáticas están impactando de manera notable al sector agrícola en Perú, lo que ha generado serias inquietudes tanto en el ámbito económico como en la seguridad alimentaria. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2021), estos cambios climáticos no solo están ocasionando importantes pérdidas económicas, sino que también están reduciendo significativamente la oferta de alimentos frescos para la población. Además, el Banco Central de Reserva del Perú (BCR) reporta que las sequías contribuyeron a una contracción de 0,1 puntos porcentuales en el PBI, mientras que el fenómeno de El Niño costero redujo el PBI en 1,1 puntos porcentuales (BCR, 2023). Por otro lado, la Sociedad de Comercio Exterior del Perú (ComexPerú, 2024) señala que entre enero y junio de 2023, la actividad agrícola se redujo en un 2,6% debido al impacto combinado de sequías, heladas y otros fenómenos climáticos adversos, lo que resultó en una pérdida acumulada del 54,47% de los cultivos hasta mediados de ese año.

Del mismo modo, Campos (2024) señala que, en el departamento de Arequipa, las heladas están reduciendo la producción de cultivos clave como lechuga, brócoli, vainita y papa. En la región de Puno, la situación es aún más crítica debido a las bajas temperaturas. La lechuga, un cultivo particularmente sensible a las fluctuaciones de temperatura, requiere un rango óptimo de entre 15°C y 18°C para un crecimiento adecuado. Sin embargo, en Juliaca, las temperaturas fluctúan entre -7.8°C en julio y 18.8°C en noviembre (SENAMHI, 2020), lo que representa un desafío considerable para la producción de este cultivo.

Para abordar los desafíos en la producción de cultivos, la adopción de sistemas hidropónicos regulados mediante iluminación LED emerge como una solución prometedora. Los diodos emisores de luz (LED) son semiconductores que emiten luz en longitudes de onda específicas cuando se les aplica corriente eléctrica (Pancorbo et al., 2017). Según Randy (2005), la luz roja, con una longitud de onda cercana a los 660-700 nm, en cultivos de fresas y tomates, el uso de luz roja optimiza la producción de flores y frutos en un 15% y 20%, respectivamente (García et al., 2019).

Además, la luz roja, mediante la acción de los fitocromos, induce la elongación en cultivos como el chile habanero, donde se observó un aumento del 25% en la altura de las plantas (Mendoza et al., 2021). Sin embargo, en la lechuga, Agarwal et al. (2018) encontraron un comportamiento opuesto, ya que las plantas expuestas únicamente a luz roja monocromática presentaron una reducción del 30% en la concentración total de clorofila, en comparación con aquellas que recibieron combinaciones de luz azul en proporciones de 100%, 50%, 20% y 11% respecto a la luz roja.

La luz azul, con una longitud de onda entre 450 y 495 nm, es crucial para el desarrollo vegetativo de las plantas. Este tipo de luz favorece el crecimiento compacto y la formación de hojas, lo que resulta en un aumento significativo en la biomasa y la estructura de las plantas (Arnica, 2019). En el caso de la lechuga, la exposición a luz azul ha demostrado mejorar la calidad del cultivo al inducir una mayor formación de hojas y una mejor estructura foliar. Un estudio de Fernández (2020) reportó un incremento del 18% en la masa foliar de lechugas cultivadas bajo luz azul en comparación con luz roja.

La luz blanca, se obtiene mediante la combinación de diferentes LEDs de colores (rojo, azul, verde, entre otros), es útil en sistemas agrícolas de ciclo completo, ya que ofrece un espectro balanceado que se ajusta a las necesidades de cada fase de desarrollo del cultivo (Pancorbo et al., 2017); este espectro imita la luz solar, proporcionando longitudes de onda necesarias para la fotosíntesis y para la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas. En cultivos como la lechuga y el tomate, la luz blanca ha demostrado mejorar la calidad y el rendimiento de los frutos, aumentando el peso de la planta en un 10% en comparación con otras fuentes lumínicas (Martínez, 2023).

Esta tecnología ha sido diseñada específicamente para áreas urbanas con espacio limitado y carencia de suelo natural, permitiendo el cultivo de vegetales incluso en ausencia de luz solar. En este contexto, nuestro objetivo es evaluar el efecto de la iluminación LED (blanca, roja, azul y combinación de rojo y azul) en la producción de lechuga en un sistema hidropónico cerrado en condiciones altiplánica.

## Resultados

En la tabla 1 se muestra el análisis descriptivo de la producción de lechuga con la iluminación testigo, los resultados indican un crecimiento uniforme en altura y número de hojas con una variabilidad moderada en el ancho y longitud de las hojas. Por otro lado, la concentración de clorofila A muestra una alta dispersión, lo que indica diferencias en la eficiencia fotosintética, mientras que la clorofila B y C presentan menor variabilidad. Por su parte, el peso promedio de las plantas exhibe una dispersión considerable, lo que muestra diferencias en el desarrollo de biomasa.

**Tabla 1**

*Análisis descriptivo de la producción de lechuga con iluminación testigo*

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>
Testigo	Altura de planta (cm)	14.20	1.39	0.25
	Longitud de hoja (cm)	16.00	1.20	0.22
	Número de hojas (unidad)	6.97	0.81	0.15
	Ancho de hoja (cm)	12.21	1.45	0.27
	Clorofila A ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	448.51	162.46	29.66
	Clorofila B ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	185.48	54.29	9.91
	Clorofila C ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	22.06	16.06	2.93
	Peso (g)	33.61	8.35	1.52

En la tabla 2 se muestra que, la iluminación con luz LED blanca mejora el crecimiento y desarrollo de la lechuga en comparación con las condiciones estándar, el aumento en la altura de la planta (17.82 cm), el número de hojas (11.57) y el peso (49.98 g) indica una mayor eficiencia en la conversión de luz en materia vegetal, lo que indica un uso más óptimo de los recursos ambientales. Asimismo, el incremento en la clorofila A ( $752.29 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ), B ( $727.15 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) y C ( $41.05 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) reflejan una mayor capacidad de fotosíntesis.

**Tabla 2***Análisis descriptivo de la producción de lechuga con iluminación de Luz LED Blanca*

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>
Luz LED Blanca	Altura de planta (cm)	17.82	2.30	0.42
	Longitud de hoja (cm)	25.04	1.76	0.32
	Número de hojas (unidad)	11.57	1.43	0.26
	Ancho de hoja (cm)	13.97	2.36	0.43
	Clorofila A ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	752.29	257.77	47.06
	Clorofila B ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	727.15	229.95	41.98
	Clorofila C ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	41.05	15.02	2.74
	Peso (g)	49.98	19.47	3.55

En la Tabla 3, se observa que la iluminación con luz LED roja genera un crecimiento moderado en altura (15.96 cm) y número de hojas (8.27), por su parte, el ancho de hoja (10.25 cm) y el peso total (28.52 g) son inferiores, lo que indica una menor acumulación de biomasa. Además, se observa una reducción en la clorofila A (280.26  $\mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) y B (123.63  $\mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) lo que indica una menor eficiencia de fotosíntesis.

**Tabla 3***Análisis descriptivo de la producción de lechuga con iluminación de Luz LED Roja*

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>
Luz LED Roja	Altura de planta (cm)	15.96	1.90	0.35
	Longitud de hoja (cm)	20.12	0.80	0.15
	Número de hojas (unidad)	8.27	0.58	0.11
	Ancho de hoja (cm)	10.25	0.70	0.13
	Clorofila A ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	280.26	14.68	2.68
	Clorofila B ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	123.63	13.46	2.46
	Clorofila C ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	27.86	18.56	3.39
	Peso (g)	28.52	7.61	1.39

En la Tabla 4 se muestra que, la iluminación con luz LED azul promueve un crecimiento moderado en la lechuga, con una altura de planta de 18.71 cm y una longitud de hoja de 24.16 cm, valores superiores a los obtenidos con luz LED roja. Además, se observa un incremento en el contenido de clorofila C ( $59.85 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ). Sin embargo, los niveles de clorofila A ( $321.13 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) y B ( $231.93 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) siguen siendo inferiores en comparación con la luz LED blanca. El peso final de la planta (33.21 g) es mayor que la luz roja, lo que indica una mayor acumulación de materia seca.

**Tabla 4**

*Análisis descriptivo de la producción de lechuga con iluminación de Luz LED Azul*

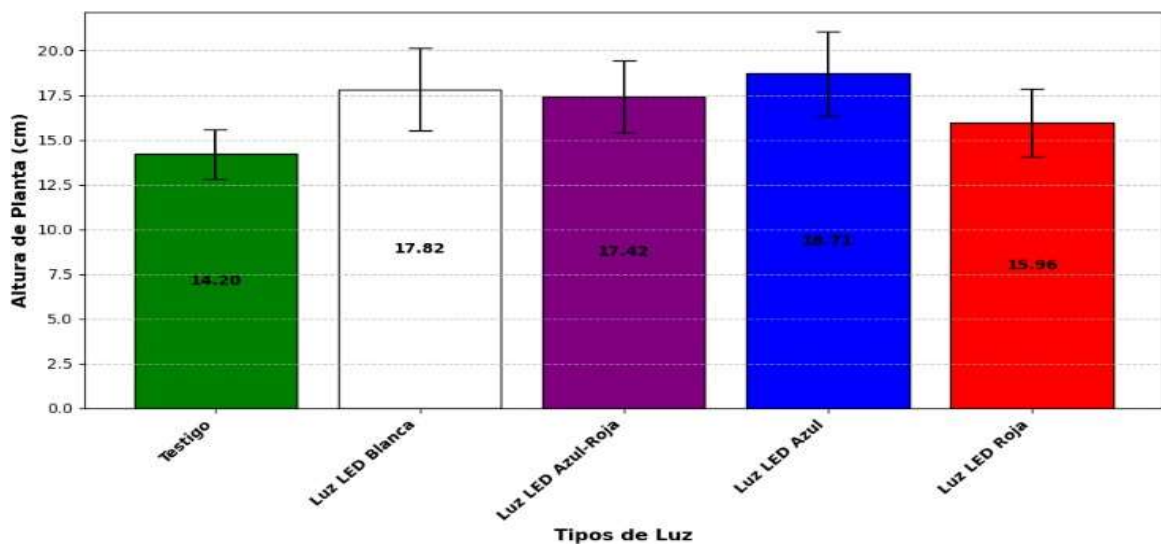
<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar</b>
Luz LED Azul	Altura de planta (cm)	18.71	2.36	0.43
	Longitud de hoja (cm)	24.16	2.11	0.38
	Número de hojas (unidad)	7.67	0.76	0.14
	Ancho de hoja (cm)	13.49	1.69	0.31
	Clorofila A ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	321.13	142.99	26.11
	Clorofila B ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	231.93	90.06	16.44
	Clorofila C ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	59.85	10.41	1.90
	Peso (g)	33.21	11.10	2.03

En la Tabla 5, se muestra que la luz LED azul-roja genera un equilibrio en el crecimiento y la actividad fotosintética de la lechuga; la altura de la planta (17.42 cm) y la longitud de hoja (23.93 cm) presentan valores intermedios respecto a los otros tratamientos lumínicos. Sin embargo, el contenido de clorofila A ( $495.58 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) y clorofila B ( $316.58 \mu\text{moles}/\text{m}^2$ ) son superiores, lo que indica una mayor eficiencia en la absorción de luz y fotosíntesis. Además, el peso de la planta (42.46 g) es el más alto registrado entre los tratamientos, lo que sugiere que la combinación de longitudes de onda azul y roja optimiza la acumulación de biomasa.

**Tabla 5***Análisis descriptivo de la producción de lechuga con iluminación de Luz LED Azul-Roja*

Categoría	Variable	Media	Desviación estándar	Error estándar
Luz LED Azul-Roja	Altura de planta (cm)	17.42	2.02	0.37
	Longitud de hoja (cm)	23.93	2.02	0.37
	Número de hojas (unidad)	10.13	1.66	0.30
	Ancho de hoja (cm)	13.19	1.80	0.33
	Clorofila A ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	495.58	47.01	8.58
	Clorofila B ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	316.58	59.67	10.89
	Clorofila C ( $\mu\text{moles} / \text{m}^2$ )	85.57	44.76	8.17
	Peso (g)	42.46	12.88	2.35

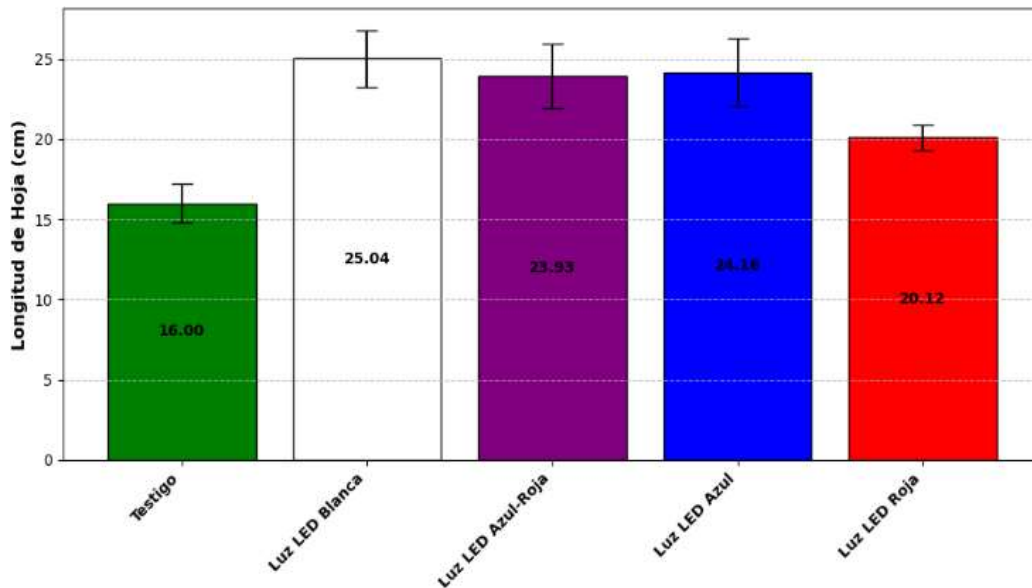
En la figura 1, se analizó la altura de la planta bajo diferentes condiciones de iluminación LED, se observó que la Luz LED Azul favorece un mayor crecimiento, mientras que el testigo, que no recibió iluminación LED específica, tiene la menor altura.

**Figura 1***Altura de la planta en diversos tratamientos*

En la figura 2, se muestra la longitud de hojas con diversos tratamientos, la Luz LED Blanca obtuvo una mayor longitud de hoja, mientras que el testigo, el cual no recibió iluminación led presenta la longitud más baja.

**Figura 2**

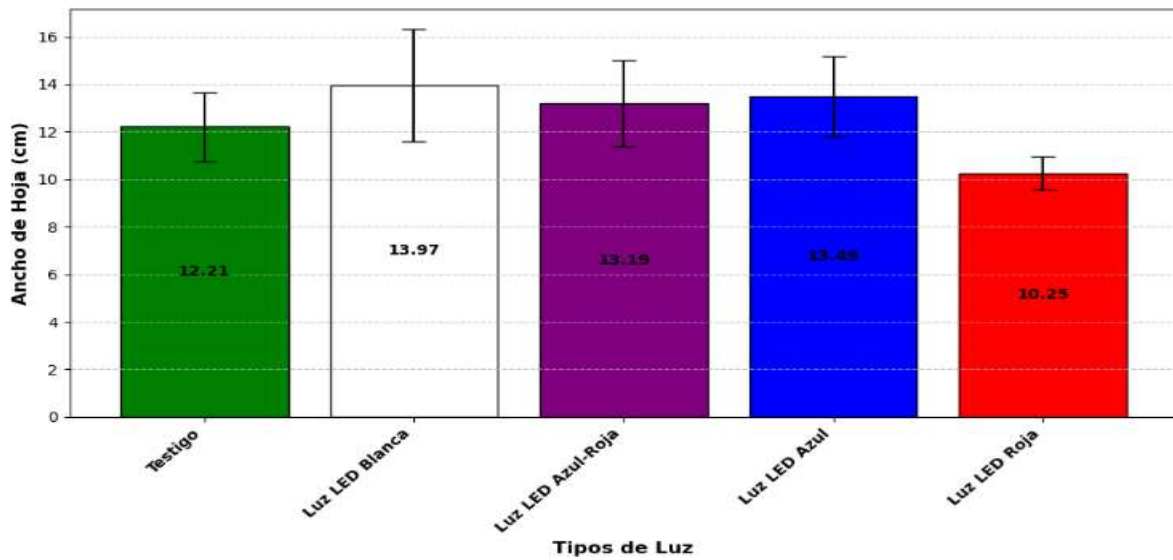
*Longitud de hoja en diversos tratamientos*



En la figura 3, se muestra la media de número de hojas en diversos tratamientos, por su parte, el número de hojas producido bajo luz LED Blanca fue el más alto, con una media de 11.57 hojas, en contraste, el grupo testigo mostró el menor número de hojas, con un promedio de 6.97. Estos valores representan el promedio de conteos realizados en diferentes días de medición, por ello, se visualizan los decimales.

**Figura 3**

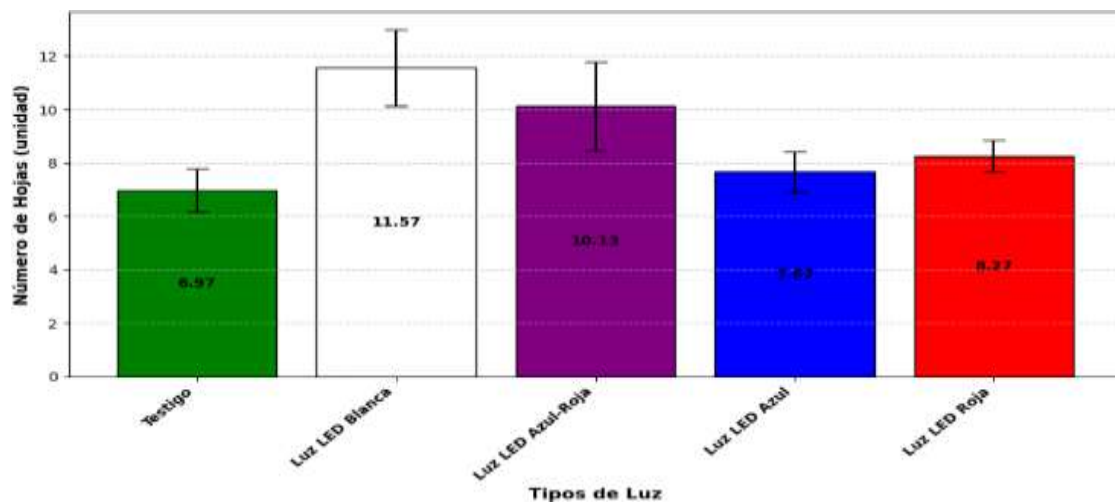
*Media de número de hojas en diversos tratamientos*



En la figura 4, se muestra el ancho de las hojas con diversos tratamientos. La Luz LED Blanca obtuvo el mayor promedio, sin embargo, en esta oportunidad Luz LED Roja obtuvo el menor ancho de hoja.

**Figura 4**

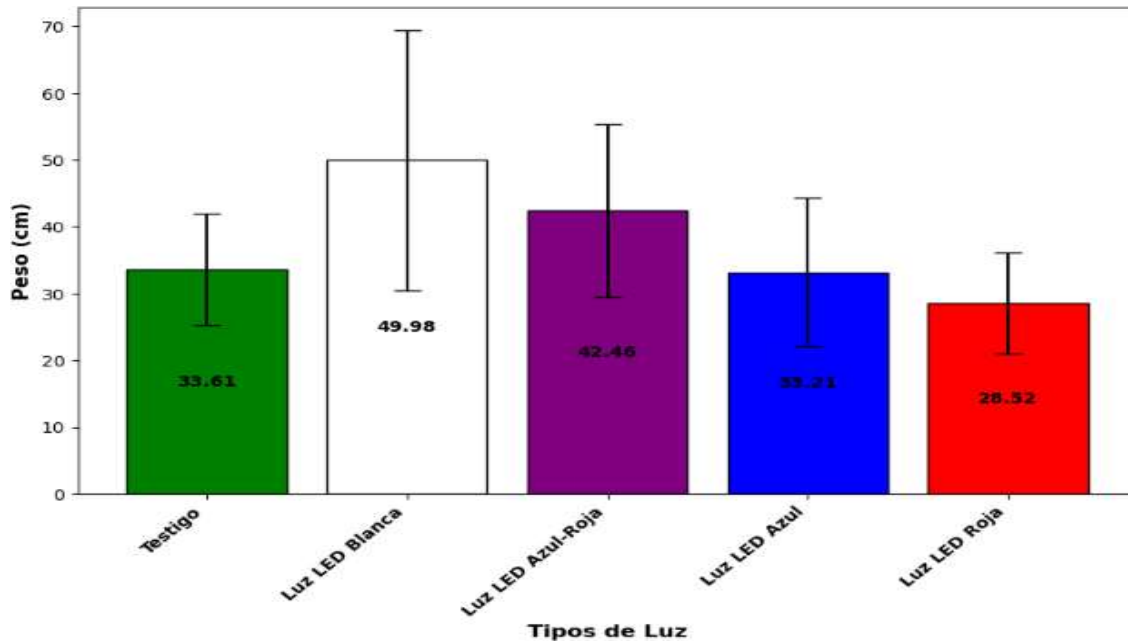
*Ancho de hoja en diversos tratamientos*



En la figura 5, se muestra el peso de la lechuga en diversos tratamientos. La Luz LED Blanca nuevamente obtuvo el mejor promedio, sin embargo, la luz LED roja obtuvo el menos peso, seguido de la luz led azul.

### Figura 5

*Peso de la lechuga en diversos tratamientos*



### Prueba de Anova

El análisis de varianza con un factor revela que diferentes tipos de luces LED tienen impactos variados en diversas características de crecimiento de las plantas de lechuga. En general, la Luz LED Blanca parece ser la más efectiva en la mayoría de las variables evaluadas, incluyendo altura, longitud y ancho de hoja, contenido de clorofila y peso. Otros tipos de LED, como la Luz LED Azul y Roja, muestran efectos significativos en ciertas variables, pero no en otras.

**Tabla 6***Prueba de ANOVA*

<b>Variable</b>	<b>Categoría</b>	<b>Sig.</b>
<b>Altura de planta</b>	Luz LED Blanca	0.000
	Luz LED Azul-Roja	0.000
	Luz LED Azul	0.000
	Luz LED Roja	0.009
<b>Longitud de hoja</b>	Luz LED Blanca	0.000
	Luz LED Azul-Roja	0.000
	Luz LED Azul	0.000
	Luz LED Roja	0.000
<b>Número de hojas</b>	Luz LED Blanca	0.000
	Luz LED Azul-Roja	0.000
	Luz LED Azul	0.120
	Luz LED Roja	0.000
<b>Ancho de hoja</b>	Luz LED Blanca	0.001
	Luz LED Azul-Roja	0.168
	Luz LED Azul	0.031
	Luz LED Roja	0.000
<b>Clorofila A</b>	Luz LED Blanca	0.000
	Luz LED Azul-Roja	0.752
	Luz LED Azul	0.013
	Luz LED Roja	0.000
<b>Clorofila B</b>	Luz LED Blanca	0.000
	Luz LED Azul-Roja	0.000
	Luz LED Azul	0.534
	Luz LED Roja	0.244
<b>Clorofila C</b>	Luz LED Blanca	0.024
	Luz LED Azul-Roja	0.000
	Luz LED Azul	0.000
	Luz LED Roja	0.886
<b>Peso</b>	Luz LED Blanca	0.000
	Luz LED Azul-Roja	0.056
	Luz LED Azul	1.000

### **Análisis de la Altura de Planta**

En el análisis de varianza (ANOVA) realizado para la altura de las plantas bajo diferentes tipos de iluminación LED, se observa que todas las categorías de luz, incluyendo Luz LED Blanca, Azul-Roja, Azul y Roja, presentan valores de significancia (p-value) menores a 0.05, con  $p=0.000$  para las tres primeras y  $p=0.009$  para la Luz LED Roja. Esto indica que hay diferencias significativas en la altura de las plantas dependiendo del tipo de luz utilizada. La baja significancia sugiere que la iluminación LED, independientemente del color, tiene un impacto considerable en el crecimiento en altura de las plantas de lechuga en comparación con un control o entre sí.

### **Análisis de la Longitud de Hoja**

Para la longitud de las hojas, el análisis de varianza muestra que todas las categorías de luz LED (Blanca, Azul-Roja, Azul, y Roja) tienen un p-value de 0.000, lo que indica diferencias altamente significativas entre las diferentes condiciones de iluminación. Esto muestra que la iluminación LED mejora el crecimiento longitudinal de las hojas de lechuga, cada tipo de led afecta al crecimiento de diferente manera.

### **Análisis del Número de Hojas**

En el número de hojas, la Luz LED Blanca, Azul – Roja y Roja tienen p-value de 0.000, lo que muestra diferencias significativas, sin embargo, la Luz LED Azul tiene un p-value de 0.120, lo que indica que no hay diferencias significativas en el número de hojas producidas bajo esta iluminación en comparación con las otras luces.

### **Análisis del Ancho de Hoja**

En el ancho de las hojas, las categorías de luz LED (Blanca, Azul, y Roja) tienen un p-value  $< 0.05$ , lo que indica, que estas luces tienen un impacto significativo en la expansión del ancho de las hojas. Por otro lado, la Luz LED Azul-Roja presenta un p-value de 0.168, lo muestra que no hay una diferencia significativa en el ancho de las hojas bajo esta luz en comparación con otras.

### **Análisis de Clorofila A, B y C**

En el análisis de clorofila A, las categorías de Luz LED (Blanca, Azul y Roja) tiene un p-value  $< 0.05$ , lo que indica que, tienen un efecto significativo en la concentración de clorofila A, sin embargo, la Luz LED Azul-Roja con un p-value de 0.752 no muestra un efecto significativo. En cuanto a la clorofila B, la Luz LED Blanca y Azul-Roja muestran significancia ( $p=0.000$ ), mientras que las otras luces no presentan diferencias significativas. Para la clorofila C, la Luz LED Blanca, Azul-Roja y Azul tienen p-values de 0.024, 0.000 y 0.000 respectivamente, lo que indica un efecto significativo, mientras que la Luz LED Roja no muestra significancia ( $p=0.886$ ). Estos resultados sugieren que diferentes tipos de luces LED pueden influir de manera distinta en la producción de diferentes tipos de clorofila, lo cual es crucial para la fotosíntesis y, en última instancia, para el crecimiento de la planta.

### **Análisis del Peso**

Finalmente, en cuanto al peso de las plantas, el análisis de varianza muestra que la Luz LED Blanca tiene un impacto significativo ( $p=0.000$ ), mientras que la Luz LED Azul-Roja muestra una tendencia hacia la significancia ( $p=0.056$ ). Por otro lado, la Luz LED Azul y Roja no presentan diferencias significativas con p-values de 1.000 y 0.522 respectivamente. Este resultado indica que, mientras la Luz LED Blanca tiene un impacto considerable en la biomasa total de las plantas, las otras luces, especialmente la Azul, no muestran una influencia significativa en el peso final de las plantas.

La tabla 6 presenta un análisis que compara los parámetros climáticos de temperatura y humedad entre un sistema hidropónico cerrado y un sistema expuesto al ambiente. La

comparación se realiza en tres momentos del día: mañana (7:00 a.m.), tarde (12:00 pm, y noche (5:00 p.m.). Los datos están expresados en valores promedio y porcentajes para cada condición.

**Tabla 7**

*Temperatura y humedad del sistema hidropónico cerrado en comparación con un sistema expuesto al ambiente*

<b>Elementos Climáticos</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Cerrado</b>	<b>Abierto</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Día</b>	18.87	17.52
	<b>Tarde</b>	20.15	27.39
	<b>Noche</b>	21.13	12.31
	<b>Promedio</b>	20.05	19.07
<b>Humedad (%)</b>	<b>Día</b>	72.67	28.27
	<b>Tarde</b>	73.30	22.77
	<b>Noche</b>	72.10	33.73
	<b>Promedio</b>	72.69	28.26

### **Análisis de la Temperatura**

El análisis de temperatura se realizó utilizando un termohigrómetro, que permitió monitorear de manera precisa las condiciones térmicas en ambos sistemas hidropónicos. Al comparar el sistema cerrado con el abierto, se evidencian diferencias notables en la gestión térmica. Durante el día, el sistema cerrado conservó una temperatura ligeramente alta (18.87°C) en comparación al sistema abierto (17.52°C), lo que evidencia mejor retención del calor. Por la tarde, el sistema abierto alcanza la temperatura más alta (27.39°C) debido a la exposición directa a la luz solar, mientras que el sistema cerrado logró moderar este efecto

(20.15°C). Por la noche, el sistema cerrado conservó el calor de manera más eficiente (21.13°C) en comparación con el abierto (12.31°C).

### **Análisis de la Humedad**

La humedad fue controlada con un termohigrómetro, que permitió monitorear de forma precisa las condiciones de humedad en ambos sistemas hidropónicos. El sistema hidropónico cerrado fue más eficiente en mantener niveles altos y constantes de humedad en comparación con el sistema abierto. Durante el día, el sistema cerrado alcanzó una humedad de 72.67%, mientras que el sistema abierto solo llegó al 28.27%. En la tarde, el sistema cerrado alcanzando un 73.30% de humedad, mientras que el sistema abierto descendió a 22.77%. Por la noche, aunque la humedad en el sistema abierto aumentó a un 33.73%, sigue siendo considerablemente más baja que el 72.10% registrado en el sistema cerrado. En promedio, el sistema cerrado mantiene una humedad de 72.69%, muy por encima del 28.26% del sistema abierto, lo que destaca su superioridad en la gestión de la humedad, un factor clave para el éxito de los cultivos hidropónicos.

### **Discusión**

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga en un sistema cerrado en condiciones altiplánicas.

Respecto a la altura de la planta se encontró que, la Luz LED Azul, favoreció a un mayor crecimiento de las lechugas (18.71 cm) en comparación con las otras luces. Asimismo, Mulato (2023) reportó una altura promedio superior de 22.86 cm bajo la luz azul. De manera similar, Escobar et al. (2024) obtuvo una mayor altura en plantas de cultivo de tomate con el tratamiento a base Luz LED Azul. Sin embargo, Mendoza et al. (2021) no encontraron diferencias significativas en la altura de chile habanero al comparar la luz azul con la roja. En contraste, Paniagua et al. (2015) encontró que las plantas de brocoli expuestas a la luz azul tuvieron un menor crecimiento. De igual modo, Bercovich et al. (2017) señalaron que este

tipo de luz hace que las plantas sean más pequeñas y compactas. Por otro lado, Flores et al. (2021) observaron que la combinación de LEDs rojos y azules es efectiva para el crecimiento de las plantas, aunque subrayaron que la respuesta puede variar según la especie y la etapa de desarrollo, lo que significa que, el efecto de la luz en la altura de la planta depende de la especie y su respuesta fisiológica a este tipo de iluminación

Respecto a la longitud de hoja se encontró que, la Luz LED Blanca generó hojas más largas (25.04 cm) en comparación con las otras luces, no obstante, Espinal (2021) obtuvo una menor longitud de hojas empleando esta iluminación (15.42 cm). Por otro lado, Mulato (2023) encontró una mayor longitud de hojas (30.52 cm) con la luz roja. Además, Ángeles (2023) observó que la luz LED complementaria aumentó la longitud de las hojas en un 32% en comparación con la luz natural.

El número de hojas fue mayor bajo la luz LED Blanca (11.57 u), en contraste, Espinal (2021) indica que, el tratamiento con la luz led roja + azul obtuvo mayor cantidad de hojas (13.6), de igual forma, Murrugarra (2022) afirma que, a los 18 días de trasplante, el tratamiento de luz led roja + azul presentaron un mayor número de hojas, principalmente en la variedad de lechuga Great Lakes. Asimismo, Naznin et al. (2019) consiguieron un mayor número de hojas en plantas de albahaca y pimiento bajo el tratamiento de 95% R + 5%B. Por otro lado, Mulato (2023) después de 30 días de trasplante consiguió un incremento en el número de hojas (20.75) bajo la iluminación de la luz led roja.

El ancho de hoja se fue bajo la iluminación de la Luz LED Blanca (13.97 cm), asimismo, Arregui et al. (2023) señalan que la luz LED blanca actúa como una fuente de luz constante para el crecimiento de la lechuga por su parte, Mulato (2023) encontró que, la luz roja aumenta el ancho de la hoja (20.83 cm), por otra parte, Arnica (2019) identificó que la luz artificial azul produjo hojas más largas y anchas. Además, Flores et al. (2021) encontró que en las *Lillium* spp un tratamiento con 80% de luz azul y 20% de luz rojo, ayudaron en el desarrollo de área foliar.

La concentración de clorofila, es un indicador clave de la eficiencia fotosintética, la Luz LED Blanca mostró los valores más altos en clorofila A (752.29) y B (727.15), favoreciendo

una mayor actividad fotosintética y la Luz LED Azul-Roja tuvo la mayor cantidad de clorofila C (85.57). Por su parte, Nguyen et al. (2021) indican que la luz LED Blanca es más efectiva porque proporciona una gama de longitudes de onda ideal para la fotosíntesis, aumentando la eficiencia de uso de luz y energía en estos cultivos, asimismo, Myeong (2023) menciona que la luz LED blanca generó una mayor fluorescencia de clorofila en plantas de *Gerbera jamesonii*. Además, Zhu et al. (2020) indican que, la luz roja, no es tan eficiente en la producción de clorofila como la luz con espectro más amplio. Por otro lado, Naznin et al. (2019) consiguieron un mayor contenido de clorofila a, b y total en la lechuga, espinaca, albahaca y pimiento bajo el tratamiento de 91% rojo + 9 % blanco, mientras que, en la col rizada la clorofila incremento bajo el tratamiento de 95% rojo + 5 % blanco. Asimismo, Espinal (2021) encontró que la luz led rojo + azul tuvieron mejores resultados respecto a la clorofila seguido de la luz led blanca.

El peso final de la lechuga fue mayor bajo la Luz LED Blanca (49.98 g), por su parte Mulato, consiguió un mayor peso bajo la Luz LED Roja (22.48 g) pero mejor al obtenido en nuestra investigación. Asimismo, Naizin et al. (2019) obtuvo mayor peso bajo el tratamiento de luz de 91% rojo + 9 % blanco y 95% rojo + 5% blanco. Por otro lado, López (2021) encontró que, con un fotoperiodo de 18 horas de luz azul, las plantas presentaron un incremento de peso de 74 g.

Por otro lado, respecto a la fluctuación de la temperatura y humedad en sistema hidropónico cerrado en comparación con un sistema expuesto al ambiente. Se encontró que, el sistema hidropónico cerrado mantuvo una temperatura promedio de 20.05°C, más estable que los 19.07°C del sistema abierto. Durante la noche, la diferencia es aún más pronunciada, con el sistema cerrado a 21.13°C frente a los 12.31°C del sistema abierto. Estos resultados reflejan la capacidad del sistema cerrado para mantener un entorno térmico más constante, lo que es crucial para el desarrollo óptimo de las plantas. Por su parte, Gómez et al. (2022) indica que, un control eficiente de la temperatura ayuda a evitar el estrés térmico y optimiza el crecimiento de las plantas en los sistemas hidropónicos.

En cuanto a la humedad, el sistema cerrado mantuvo un promedio de 72.69%, mucho más alto que el 28.26% registrado en el sistema abierto; esta diferencia es clave para el crecimiento de las plantas, ya que es fundamental mantener un nivel constante y elevado de humedad para garantizar un suministro adecuado de agua. Asimismo, Zhang et al. (2021) indican que, un control eficaz de la humedad en sistemas cerrados puede prevenir la deshidratación y mejorar la uniformidad del crecimiento.

La variabilidad en los tratamientos de iluminación LED en sistemas hidropónicos cerrados se deben a diferentes factores, según Sandoya et al. (2022), es crucial ajustar la duración de la exposición a la luz según la etapa de crecimiento del cultivo. De hecho, si la luz está demasiado cerca puede provocar quemaduras en las hojas, mientras que una distancia excesiva puede debilitar las plantas al causar elongación de los tallos. Además, una exposición prolongada a la luz puede frenar el crecimiento y causar deformidades en las hojas.otr

Por otro lado, Hernández (2023) indica que, la luz es fundamental para la fotosíntesis y el desarrollo de las plantas, cambiar el espectro de luz afecta directamente su crecimiento y calidad. No obstante, el efecto del espectro de luz varía en función de diversos factores, como la especie, el cultivar y el estado fenoménico. Además, las condiciones ambientales controladas en los sistemas hidropónicos cerrados, como la temperatura y la humedad relativa, son fundamentales para la respuesta de las plantas a los distintos tipos de iluminación. Según Pizarro et al. (2022), cuando la temperatura ambiente se encuentra por encima o por debajo de los valores óptimos, que oscilan entre 20 y 25 °C durante el día y entre 10 y 15 °C durante la noche las plantas pueden verse afectada negativamente, llegando incluso a provocar su muerte.

Es por ello, que la variabilidad en los resultados se debe a la combinación de factores como la intensidad y el tipo de luz, el microclima del sistema hidropónico y la capacidad fotosintética de las plantas. Como estas variables no son iguales en todos los tratamientos, se generan diferencias notables en el crecimiento, la acumulación de biomasa y la forma de

las plantas. Así, cualquier cambio en estos aspectos influye directamente en el desarrollo y el rendimiento.

## **Materiales y métodos**

### **Lugar de estudio**

El ámbito del proyecto de investigación se desarrolla en la residencia "Villa Salvador", ubicada en el km 6 de la salida a Arequipa, desvío de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca, en el departamento de Puno, provincia de San Román, distrito de Juliaca. Las coordenadas de la residencia son Latitud: 15°30'54"S y Longitud: 70°10'21"W, situándose a una altitud de 3,832 m.s.n.m.

### **Materiales, equipos e insumos**

En este estudio se emplearon diversos materiales de oficina, estudio, trabajo y equipos menores para la gestión y fase experimental. En cuanto a los materiales de oficina, incluyeron una mesa, una laptop, un cuaderno de notas, lapiceros, corrector y una regla de 30 cm. Para la fase experimental, se emplearon semillas de lechuga veneranda (100 gr) y focos LED de 7W (rojo, azul y blanco) de la marca Opalux.

Para la construcción y operación del sistema hidropónico se utilizó una bomba de agua "TOTAL" de 0.5 hp, perlita expandida (2-6 mm, 10 litros) y soluciones hidropónicas (1 litro y 0.4 litros). Asimismo, se usaron instrumentos de medición, como un vaso medidor de 100 ml, una jarra medidora y una estufa eléctrica. Además, usamos estanterías metálicas, mangueras de polietileno, conectores y tuberías, pelacables, alicates y un taladro inalámbrico.

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema hidropónico, se utilizaron: cables, enchufes, sockets, cintas aislantes y conectores, para una instalación eléctrica eficiente y segura. Adicionalmente, se empleó un tanque de 50 litros y bandejas plásticas, que se utilizaron para la preparación y manejo de las soluciones nutritivas.

El control experimental, se realizó a través de equipos de medición de alta precisión como: el luxómetro, que midió la intensidad lumínica, un termohigrómetro que monitoreo la temperatura y humedad, una balanza digital para medir el peso de las muestras, y un termostato con 11 celdas de aceite, diseñado para regular de manera exacta la temperatura del sistema.

### **Metodología experimental**

La investigación constó de cinco etapas, como se muestra en la figura 3. Se inició con la construcción e instalación del sistema, luego se realizó la siembra y toma de datos. Posteriormente, se realizó el trasplante y, por último, la cosecha y el análisis en el laboratorio.

#### ***Construcción del sistema***

Se alquiló un lugar para realizar el diagnóstico de medidas y adquirir los materiales necesarios para la construcción del sistema hidropónico. Luego, se midió el área y se compraron tres estantes de cuatro niveles, cada uno con dimensiones de 190.2 cm de alto, 45 cm de ancho y 91 cm de largo, para armar los andamios en el laboratorio alquilado. También se compraron tubos de PVC de 3 metros de largo y 3 pulgadas de diámetro, con los que se construyó el sistema hidropónico NFT. Para facilitar el ensamblaje, se utilizó un taladro portátil y una sierra copa para hacer cinco agujeros en cada tubo, donde se colocarían las plántulas. Además, se pintaron los tubos con pintura sintética blanca impermeable, se sellaron con tapas de PVC y se aseguraron con cinta teflón para evitar filtraciones. Posteriormente, se realizaron las conexiones de agua utilizando codos y tubos de goma transparente de 0.5 pulgadas. Finalmente, se instaló un tanque de agua de 60 litros y un motor de agua, además de un tanque adicional de 100 litros para mantener el abastecimiento del sistema en caso de evaporación. La tapa del tanque tuvo tres agujeros de 0.5 pulgadas para la salida de agua del motor al sistema y el ingreso de agua a través de dos líneas.

## **Instalación del sistema**

1. Luego se programó el motor con una caja de control (temporizador) en donde se instaló un fusible, temporizador automático y un resistente en caso de apagones para evitar quemaduras del motor por altos voltajes.
2. Seguidamente se instaló las conexiones de tubos transparentes de agua y se le aplico fuego en cada una de ellas para asegurar cada conexión de tubos de los 4 niveles y de cada andamio juntamente con los tubos ya preparados con sus conectores de goma y codos.
3. Luego se compró un sistema de energía para cada nivel de los andamios en donde se separó las conexiones por 4 enchufes, en donde se utilizó el pelador de cables, cúter, en casos especiales se soldó la conexión con cautín, para instalar un cable para 4 focos para cada nivel y se taladro el andamio para asegurar la instalación a la parte superior de cada espacio del andamio en las 3 repeticiones.
4. Luego se aumenta la altura de los andamios para tener un 40 cm de altura extra para que el sistema de agua baje por gravedad al tanque de vuelta.
5. Después de forrara cada nivel y cada andamio con plástica blanca para reflejar la iluminación de cada espacio experimental de los andamios por dentro.
6. Seguidamente se instaló los focos de color blanco, rojo/azul, azul y rojo en cada nivel de espacio en cada repetición y con un cable de 2000 watts de resistencia.
7. Después de instalar los cables del sistema se instaló un cerrado para la luz SONOFF para programar el encendido de luz de 6:00 am hasta las 6:00 pm de cada día.
8. Luego para regular la temperatura del laboratorio se compró un termostato de marca SOLEM de 11 celdas de aceites la cual cuenta con un regulador automático y una resistencia de 24 horas seguidas para mantener un ambiente cerrado de temperatura.

9. Después se compró una mesa para la preparación del sembrado de las lechugas, en la cual se comprarán semillas de lechuga Verendana de 100 gramos en latas y certificadas por control de calidad y bandeja de polietileno transparentes para la preparación con sustrato de cuarzo inerte para mantener un pH de las plántulas y serán regadas con solución nutritiva al 50% de concentración de acuerdo a las indicaciones del producto de solución marca LA MOLINA.

$$\frac{5\text{cm}^3 \text{ Sol A}}{100 \text{ l de agua}} \quad \vee \quad \frac{2\text{cm}^3 \text{ Sol B}}{100 \text{ l de agua}} \quad \dots (1)$$

10. Después se instaló un higrómetro en el ambiente para obtener datos de temperatura y humedad en tiempo real del sistema, permitiendo así regular el entorno y mantener constantes estos parámetros
11. Para la iluminación del proceso de siembra, se colocó un reflector LED de 100 watts a una distancia de 40 centímetros del área de cultivo.
12. Después de instalar el sistema NFT, el área de siembra con luz artificial, el sistema hidráulico, las conexiones eléctricas para los focos LED, el termostato para el control de temperatura y los controles de la bomba de agua y de luz, se verificó la seguridad y el correcto funcionamiento de cada equipo y sistema.

### **Siembra y toma de datos**

1. Para la siembra de semillas se utilizó como sustrato perlita expandida Plus 2-6 mm x10 Lts en cada una de las bandejas ya esterilizadas con lejía en medidas (40 cm x 30 cm) con un espesor de sustrato de 4 cm.
2. Se sembró 50 semillas en cada bandeja manteniendo una separación de 2 cm cada una para un total de 200 semillas. La siembra se realizó mediante surcos de 1 cm de profundidad y se colocó con mucho cuidado cada semilla por unidad en el cerco.

3. Por último, se cerró el surco de las semillas y se colocó en oscuridad durante 4 días, manteniendo una humedad del 60%, con agua durante los 4 días.
4. Para la toma de datos de las semillas de los almácigos se consideró las siguientes variables: altura, número de Hojas, ancho de hoja, longitud de hoja, peso, lux, temperatura, humedad y solución nutritiva.
5. Después de los 4 días se siguió regando con solución nutritiva al 50% de su concentración de acuerdo a las indicaciones del producto LA MOLINA.

$$\frac{2.5\text{cm}^3 \text{ Sol A}}{10\text{ l de agua}} \quad \vee \quad \frac{1\text{cm}^3 \text{ Sol B}}{10\text{ l de agua}} \quad \dots (2)$$

6. Por último, él se siguió regando de acuerdo a la humedad durante 26 días para completar un mes con la iluminación de 12 horas y a una concentración de 12 000 lux.

### **Trasplante**

1. Después de cuatro semanas, se llevó a cabo el trasplante de una sola planta por hoyo en el sistema hidropónico.
2. Se colocó 10 muestras en cada color de iluminación del sistema NFT vertical para cada nivel de iluminación (luz blanca, combinación roja/azul, azul, roja), este proceso se realizó 3 repeticiones para el análisis estadístico.
3. Desde la germinación, se realizó un seguimiento continuo de las variables físicas bajo condiciones de cultivo con iluminación artificial, incluyendo el número de hojas, la altura de la planta, longitud de hoja, ancho de hoja y los días hasta la cosecha, con recopilación de datos será cada siete días. La densidad de flujo de fotones se determina mediante lecturas del luxómetro digital UNI-T UT-383, expresando los fotones fotosintéticos por metro cuadrado por segundo ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ).
4. La recolección de datos se llevó a cabo mediante un formato de custodia:
  - Control de variables de estudio del sistema cerrado y testigo.

- Control de comparación del sistema cerrado y testigo.
- Control de iluminación

### **Cosecha y análisis en laboratorio**

1. La recolección de las plantas se realizó aproximadamente 70 días después de la germinación. Después de la cosecha, las muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar análisis de diversas cualidades físicas, como el peso total de la planta, el peso de las hojas y la concentración de clorofila.
2. Para la recolección de datos se llevó a cabo mediante un formato de custodia en donde se recolectará los datos para el análisis estadístico.
  - Control de comparación del sistema cerrado y testigo - variables de respuesta final.

### ***Intensidad lumínica:***

La medición de la intensidad lumínica, realizada con el luxómetro digital Uni-t Ut383 calibrado para iluminación artificial, después de instalar cuatro focos LED de 7 watts, reveló los siguientes resultados: la luz LED roja mostró 675 lux, equivalente a 11.5625  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ; la luz LED azul alcanzó 3772 lux, convertidos a 69.782  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ; la luz LED blanca presentó 4521 lux, lo que se traduce en 83.6385  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ; y la combinación de luz LED azul y roja obtuvo 827 lux, equivalente a 15.2995  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ .

**Tiempo de Iluminación.** La iluminación para el cultivo está establecida para un periodo de 12 horas diarias. Se utilizó el temporizador SONOFF® para controlar este proceso, encendiéndose a las 6:30 de la mañana y apagándose a las 6:30 de la tarde. Este ciclo de luz se mantendrá constante desde el inicio del crecimiento del cultivo hasta el momento de la cosecha.

**Temperatura y Humedad.** Para monitorear las condiciones ambientales en el área de cultivo, se utilizó un termohigrómetro que permitió controlar tanto la temperatura como la humedad. Durante la fase de crecimiento, se mantuvo la temperatura en un rango constante de 18 a 22 grados Celsius y se reguló la humedad entre el 60% y el 80%.

## **Variables de respuesta**

### ***Desarrollo***

**Altura de planta (cm).** Se midió semanalmente con una regla, por un período aproximado de 70 días, comenzando desde la aparición del vástago hasta el día de la cosecha. Todas las mediciones se registraron en centímetros.

**Longitud de hoja (cm).** Se midió con una regla graduada, desde que apareció la primera hoja auténtica hasta aproximadamente los 70 días de cosecha. Las mediciones se realizaron semanalmente y los resultados se registraron en centímetros.

**Número de hojas (u).** Para determinar esta variable (hojas/planta), se realizó un recuento de las hojas por planta durante los 70 días de desarrollo tras la siembra, utilizando un contómetro para facilitar el conteo preciso. Estos datos se consideraron esenciales para el análisis estadístico, por lo que se convirtieron en datos continuos utilizando la raíz cuadrada para asegurar la exactitud de los resultados (Espinal, 2021).

**Ancho de hoja (cm).** La medición se realizó semanalmente en todas las plantas según el tratamiento aplicado, a lo largo de los 70 días de crecimiento. Se registró la longitud de la hoja más grande de un extremo al otro utilizando una regla graduada, y se expresó el resultado en centímetros.

## **Clorofila**

En la actualidad hay cinco formas predominantes de clorofila: a, b, c y d, así como bacterioclorofila. En las plantas, la clorofila a y la clorofila b son los pigmentos fotosintéticos principales. Estas moléculas de clorofila absorben principalmente longitudes de onda en el rango azul y rojo del espectro. Para la síntesis de clorofila, es necesario el nitrógeno, ya que parte de esta molécula participa en el proceso de la fotosíntesis. Se utilizó el medidor SPAD-502Plus para determinar el nivel de clorofila en las hojas.

## **Rendimiento**

**Peso fresco (g).** La ponderación se efectuó alrededor de los 70 días durante la cosecha, utilizando una balanza de precisión, y el peso se registró en gramos (g).

**Peso seco (g).** La determinación del peso seco se llevó a cabo en el momento de la cosecha, aproximadamente a los 70 días. Cada planta fue secada en una estufa eléctrica por 24 horas a una temperatura de 75 °C, seguido por el pesaje utilizando una balanza analítica, y el peso obtenido se anotó en gramos (g).

La producción hidropónica de lechuga se evaluó mediante el desarrollo, considerando altura, longitud, ancho de hojas, número de hojas y clorofila, y el rendimiento, midiendo peso seco y fresco, que reflejan el crecimiento y la biomasa total obtenida.

## **Diseño estadístico**

La investigación es un diseño completamente aleatorio con un solo factor, consistente en 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. En un estudio con múltiples unidades experimentales y diversos tratamientos, la evaluación se basó en el modelo, centrándose en medir la variación entre los tratamientos junto con el error experimental.

La observación = error experimental + tratamientos

El análisis de varianza de un solo factor es un modelo lineal en el que la variable en estudio se relaciona con un único factor. Esto implica que las fuentes de variabilidad se agrupan en un componente aleatorio conocido como error experimental. El modelo lineal aditivo está dado con la fórmula según (Yana, 2019).

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, r$$

Dónde:

- $y_{ij}$  es el valor observado en la  $j$ -ésima unidad experimental donde se aplica el  $i$ -ésimo tratamiento.
- $\mu$  es la media general.
- $\tau_i$  es el efecto del tratamiento, el efecto de la iluminación.
- $\varepsilon_{ij}$  es el efecto aleatorio del error experimental.

### Lista de Referencias

- Agarwal, A., Gupta, S.D., Barman, M. y Mitra, A. 2018. Photosynthetic apparatus plays a central role in photosensitive physiological acclimations affecting spinach (*Spinacia oleracea* L.) growth in response to blue and red photon flux ratios. *Environmental and Experimental Botany*. 156: 170-182. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.09.009>
- Ángeles, G. J. (2023). Producción de lechuga con luz LED suplementaria en dos sistemas hidropónicos cerrados. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/51fefaae-f8e1-4b20-9866-89a9f0a6f601/content>
- Arnica, H. H. (2019). Influencia de la temperatura y luz artificial en la maduración de la fresa en Arequipa, 2018. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7199/3/IV\\_FIN\\_10\\_8\\_TI\\_Arnica\\_Durand\\_2019.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7199/3/IV_FIN_10_8_TI_Arnica_Durand_2019.pdf)
- Banco Central de Reserva del Perú. (2023). Reporte de Inflación Diciembre 2023.
- Berkovich, Y.A., Konovalova, I.O., Smolyanina, S.O., Erokhin, A.N., Avercheva, O.V., Bassarskaya, E.M., Kochetova, G.V., Zhigalova, T.V., Yakovleva, O.S. y Tarakanov, I.G (2017). LED crop illumination inside space greenhouses. *REACH - Reviews in Human Space Exploration*. 6: 11-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.reach.2017.06.001>
- Biotecnia*, 23(1), 110–119. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1288>
- Bures, S., Urrestarazu, M., & Kotiranta, S. (2018). Iluminación artificial en agricultura: Efecto de la intensidad y calidad de la iluminación en la horticultura respetuosa con el medio ambiente y la salud humana.

- Campos, L. (2024). Bajas temperaturas amenazan producción de vainita, brócoli, lechuga y papa. El Buho. <https://elbuho.pe/2024/06/bajas-temperaturas-amenazan-produccion-de-vainita-brocoli-lechuga-y-papa/>
- ComexPerú. (2024). Más de un millón de hectáreas agrícolas en riesgo por heladas. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/mas-de-un-millon-de-hectareas-agricolas-en-riesgo-por-heladas>
- Escobar, D. I., González, Y., López, L. A., & Juárez, A. (2024). Las longitudes de onda específica modifican el sistema antioxidante de tomate y pepino. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(3). <https://doi.org/10.19136/era.a11n3.4177>
- Espinal Calani, J. A. (2021). Efecto de la iluminación LED en un sistema vertical de producción con lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo ambiente controlado.
- Fernández, J. (2020). Impacto de la luz azul en el crecimiento vegetativo de cultivos hidropónicos. *Revista de Horticultura*, 15(2), 145-158.
- Flores, S., Castillo, A. M., Valdez, L. A., & Avítia, E. (2021). Uso de diferentes proporciones de led rojos y azules para mejorar el crecimiento de *Lilium* spp. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 835–847. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2607>
- García, P., Martínez, R., & Ruiz, S. (2019). Efectos de la iluminación LED roja en la producción de frutos en cultivos de tomate y fresa. *AgroCiencia*, 25(1), 72-81. Gob.pe. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2023/diciembre/reporte-de-inflacion-diciembre-2023-recuadro-1.pdf>
- Gómez, L., Hernández, M., & Cerdá, V. (2022). Temperature management in hydroponic systems: Implications for plant growth and yield. *Journal of Agricultural Engineering*, 53(1), 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.jageng.2022.103456>
- Hernández, C. (2023). Efecto de la aplicación de espectros de luz sobre las características agronómicas, el comportamiento fisiológico y la calidad funcional de hojas de lechuga producidas hidropónicamente. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/198969>
- López, C. (2021). Implementación de luces LED en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en el sistema acuapónico con especies de tilapia. Edu.ec. <https://repositorio.uileam.edu.ec/bitstream/123456789/3343/3/ULEAM-AGRO-0097.pdf>
- Mendoza Paredes, J. E., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., García-Mateos, M. del R., & Valdéz-Aguilar, L. A. (2021). Efecto de diferentes proporciones de luz LED azul:roja en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).
- Ministerio del Ambiente (2021). Plan Nacional De Adaptación al Cambio Climático Del Perú (NAP). Gob.pe. [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/nap\\_planeamiento\\_e\\_implementacion\\_gore.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/nap_planeamiento_e_implementacion_gore.pdf)

- Mulato Huamani, J. (2023). Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo invernadero.
- Murrugarra, D. M. (2022). Iluminación LED y fluorescente en el crecimiento vegetativo de dos cultivares de *Lactuca sativa* L. en San Martín de Porres, Lima. Universidad Nacional de Trujillo.  
<https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1d167899-6dec-45d3-97da-db1661c597d5/content>
- Myeong, J., Murthy, H. N., Song, H.-Y., Lee, S.-Y., & Park, S.-Y. (2023). Influence of white, red, blue, and combination of LED lights on in vitro multiplication of shoots, rooting, and acclimatization of *Gerbera jamesonii* cv. 'Shy Pink' plants. *Agronomy* (Basel, Switzerland), 13(9), 2216. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092216>
- Naznin, M. T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Azad, M. O. K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*, 8(4), 93. <https://doi.org/10.3390/plants8040093>
- Nguyen, T.K.L.; Cho, K.M.; Lee, H.Y.; Cho, D.Y.; Lee, G.O.; Jang, S.N.; Lee, Y.; Kim, D.; Son, K.-H. (2021) Effects of White LED Lighting with Specific Shorter Blue and/or Green Wavelength on the Growth and Quality of Two Lettuce Cultivars in a Vertical Farming System. *Agronomy*, 11, 2111. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112111>
- Pancorbo Monzon, D., Quispe Serrano, R., & Damian Paucar, W. (2017). Influencia de la iluminación LEDs en plantulas in-vitro de papa (*Solanum Tuberosum*) variedad INIA Canchan en el laboratorio de biotecnología– Abancay.  
<https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/41/1/Tesis-Influencia%20de%20la%20Iluminaci%C3%B3n%20Leds%20en%20Plantulas%20de%20papa.pdf>
- Paniagua, G., Hernandez, C., Rico, F., Domínguez, F. A., Martínez, E., & Martínez, C. L. (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotanica*, 40, 199–212.  
<https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13>
- Pilco Quispe, J. (2022). Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones hidropónicas en Puno-Perú.  
[http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18461/Pilco\\_Quispe\\_Jessica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18461/Pilco_Quispe_Jessica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pizarro, V., Jana, C., Contreras, C., Alfaro, V., & Ibacache, G. I. (2022). Invernaderos en hidroponía, funcionalidad y diseño. Inia.cl.  
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/8dcc0d2c-10cc-4d2f-9696-670fcea266f6/content>

- Randy, R. (13 de 07 de 2005). Windows2universe.org. Obtenido de Windows2universe.org:  
[https://www.windows2universe.org/physical\\_science/magnetism/em\\_visible\\_lig ht.html&lang=sp](https://www.windows2universe.org/physical_science/magnetism/em_visible_lig ht.html&lang=sp)
- Sandoya, G., Bosques, J., & Vassilaros, V. (2022). La Producción de Lechuga en Sistemas Hidropónicos a Pequeña Escala. Ask IFAS - Powered by EDIS.  
<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1433>
- Santos. (2023). CULTIVO DE Ulva ohnoi (ULVALES, CHLOROPHYTA): INFLUENCIA DE DIFERENTES TIPOS DE LUZ LED.  
Udc.es.[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/33288/SantosSole\\_Maria\\_TFM\\_2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/33288/SantosSole_Maria_TFM_2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- SENAMHI. (2020). Pronóstico del tiempo.  
[https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico\\_detalle&dp=21&localidad=0020](https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico_detalle&dp=21&localidad=0020)
- Wu, L., Zhang, X., & Wang, Y. (2021). Effect of different light quality on growth, physiology, and photosynthesis of lettuce. *Journal of Plant Physiology*, 256, 153365.  
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153365>
- Zhang, Y., Li, X., & Wu, Y. (2021). Impact of humidity control on plant growth in closed hydroponic systems. *Agricultural Water Management*, 250, 106829.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106829>
- Zhu, X., Li, J., & Zhang, S. (2020). The effects of red light on growth and chlorophyll content in lettuce. *Horticultural Science*, 55(4), 539-546.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI15030-20>

## Anexos

### Anexo 1. Evidencia de sumisión de artículo

The screenshot displays the submission management interface for the Australian Journal of Crop Science. The page title is "Australian Journal of Crop Science" and includes a "Back to Submissions" link. The breadcrumb trail shows the article ID "347", author "Zapana-Yucra et al.", and the article title "Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga Rizada Veneranda (Lactuca sativa L.)". A "Library" button is visible in the top right.

The interface is divided into two main sections: "Workflow" and "Publicación". Under "Workflow", there are sub-sections for "Submission", "Review", "Copyediting", and "Production".

The "Submission Files" section contains a table of uploaded files:

File Name	Date	Type
CONSENT TO THE PUBLISHER FORM.pdf	December 17, 2024	Other
1 Effect of LED Lighting on the Hydroponic Production of Curly Lettuce Veneranda (Lactuca sativa L.) in.docx	December 17, 2024	Article Text

A "Download All Files" button is located below the file list.

The "Pre-Review Discussions" section shows a table of discussions:

Name	From	Last Reply	Replies	Created
<a href="#">Comments for the Editor</a>	Franklyn	2024-12-17 03:34 PM	0	

An "Add discussion" button is located to the right of the discussion table.

## Anexo 2. Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis



“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA  
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”

RESOLUCIÓN N° 0242-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 23 de abril de 2024

### VISTO:

El expediente de **Daniel Julinho Quispe Huisacayna**, identificado(a) con Código Universitario N° 201510815 y **Gabriela Masa Gonzales** identificado(a) con Código Universitario N° 201620216, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

### CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Daniel Julinho Quispe Huisacayna** y **Gabriela Masa Gonzales**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de Lechuga en un sistema controlado" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 23 de abril de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

### SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de Lechuga en un sistema controlado**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mg. Franklyn Elard Zapana Yucra** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Bernardino Tapia Aguilar** y **Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



Ph.D. Silvia Pilco Quesada  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
-Interesado  
-Asesor  
-Dirección General de Investigación  
-Archivo

**Anexo 3. Fotografías**

