

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LONGITUDES DE ONDA DE LUZ Y ÁCIDO GIBERELICO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Hylocereus sp.* (PITAHAYA) CV AMARILLA**

**Tesis**

**Para optar el título de:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:**

**SINCHI CASTRO ESPERANZA CRISTINA**

**ASESOR:**

**JAIME JOSSEPH CHÁVEZ MATÍAS**

**Tingo María – Perú**

**2024**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



Km 1.21 carretera Tingo María. Telf. (062) 561136 E.mail: [fagro@unas.edu.pe](mailto:fagro@unas.edu.pe).

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

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**Nº 014-2024-FA-UNAS**

BACHILLER : ESPERANZA CRISTINA SINCHI CASTRO

TÍTULO : "EFECTO DE LONGITUDES DE ONDA DE LUZ Y ACIDO GIBERELICO EN LA GERMINACION DE SEMILLAS DE *Hylocereus sp. (PITAHAYA) CV AMARILLA*"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : M.Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS  
VOCAL : Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS  
VOCAL : Ing. LUZ ELITA BALCAZAR TERRONES

ASESOR : M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 26/07/2024

HORA DE SUSTENTACIÓN : 09:00 A.M.

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA AUDIVISUAL DE LA F.A

CALIFICATIVO : MUJ BUENO

RESULTADO : APROBADO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 26 DE JULIO DEL 2024

M.Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS  
PRESIDENTE

Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS  
VOCAL

Ing. LUZ ELITA BALCAZAR TERRONES  
VOCAL

M.Sc. JAIME JOSSEPH CHAVEZ MATIAS  
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 334 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LONGITUDES DE ONDA DE LUZ Y ÁCIDO GIBERELICO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE <i>Hylocereus sp.</i> (PITAHAYA) CV AMARILLA	SINCHI CASTRO ESPERANZA CRISTINA	10 % Diez

Tingo María, 25 de noviembre de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomás Menachó Mallqui  
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LONGITUDES DE ONDA DE LUZ Y ÁCIDO GIBERELICO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Hylocereus sp.* (PITAHAYA) CV AMARILLA**

<b>Autor</b>	: Bach. Sinchi Castro, Esperanza Cristina
<b>Asesor</b>	: M.Sc. Jaime Josseph Chávez Matías
<b>Área de investigación</b>	: Agricultura moderna y tradicional
<b>Línea de investigación</b>	: Agroecología
<b>Eje temático</b>	: Interacción clima y hormona en la propagación de plantas
<b>Lugar de ejecución</b>	: Laboratorio de análisis y control de semillas y vivero de la UNAS Tingo María.
<b>Duración del trabajo</b>	: 8 meses
<b>Financiamiento</b>	: S/. 1 956,23

**Tingo María – Perú, 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE  
TÍTULO**

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Agronomía
Título de Tesis	: Efecto de longitudes de onda de luz y ácido giberelico en la germinación de semillas de <i>Hylocereus sp.</i> (pitahaya) cv amarilla.
Autor	: Bach. Sinchi Castro, Esperanza Cristina
DNI	: 72198645
Correo electrónico	: esperanza.sinchi@unas.edu.pe
Asesor	: M.Sc. Jaime Josseph Chávez Matías
Escuela Profesional	: Agronomía
Programa de Investigación	: Agricultura moderna y tradicional
Línea (s) de Investigación	: Agroecología
Eje temático de investigación	: Interacción clima y hormona en la propagación de plantas.
Lugar de Ejecución	: Laboratorio de Análisis y Control de Semillas y vivero de la UNAS Tingo María.
Duración del trabajo	: 8 meses
Fecha de Inicio	: Julio 2021
Término	: Febrero 2022
Financiamiento	: 1956,23 soles
FEDU	: NO
Propio	: SI
Otros	: NO

**Tingo María - Perú - Agosto, 2024**

## **DEDICATORIA**

A dos seres queridos, mis padres, que desempeñaron un papel fundamental en mi formación, brindando el apoyo emocional necesario para alcanzar mis objetivos. Quiero destacar a ella en particular, por su amor y afecto incondicional en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios, quien ha sido mi constante guía a lo largo de mi trayecto, infundiendo en mí paciencia y sabiduría, fundamentales para llevar a cabo con éxito mis metas personales.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía, al laboratorio de semillas y al invernadero de Agronomía, por ser el escenario donde puede realizar esta investigación.
- Al M.Sc. Jaime J. Chávez Matías, asesor de esta tesis, cuya inquebrantable guía vocacional, metodológica y científica allanó el camino para la concepción y conclusión exitosa de este proyecto.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. Fausto Silva Cárdenas, Ing. Luz Elita Balcazar Terrones y al Ing. Carlos Miranda Armas, por la contribución académica, científica y las revisiones de fondo y forma del texto.
- A los destacados educadores de la Facultad de Agronomía, cuya generosidad al compartir sus conocimientos y valores ha dejado una huella indeleble en mi formación profesional.
- A todas aquellas personas que, de formas tanto directas como sutiles, tejieron su colaboración en la ejecución, evaluación, redacción y defensa de este trabajo de investigación. Vuestras contribuciones no solo aseguraron su realización exitosa, sino que también han dejado una huella recóndita en este viaje académico

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. <i>Hylocereus sp</i> (Pitahaya amarilla).....	3
2.1.1. Clasificación taxonómica.....	3
2.1.2. Descripción.....	4
2.2. Germinación.....	5
2.3. Prueba de tetrazolio.....	6
2.4. La luz en las plantas.....	7
2.5. Ácido Giberélico.....	12
2.5.1. El ácido giberélico en la germinación.....	13
2.5.2. Efecto del ácido giberélico en la germinación de <i>Hylocereus sp</i> .....	13
2.6. Antecedentes.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Lugar de ejecución.....	16
3.2. Materiales y métodos.....	16
3.2.1. Materiales y equipos.....	16
3.2.2. Metodología.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
4.1. Porcentaje de germinación.....	26
4.1.1. Análisis de varianza.....	26
4.1.2. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).....	28
4.1.3. Interacción de los factores.....	36
4.2. Plántula de pitahaya.....	40
4.2.1. Plántulas normales.....	40
4.2.3. Diámetro.....	50

4.2.4. Biomasa.....	54
V. CONCLUSIONES .....	58
VI. PROPUESTA A FUTURO.....	59
VII. REFERENCIAS .....	60
ANEXO .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Distribución y descripción de los tratamientos en estudio. ....	18
2. Esquema del análisis de varianza .....	20
3. Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para el porcentaje de germinación de semillas de pitahaya .....	26
4. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en la germinación de semilla de pitahaya por efecto del factor luz. ....	29
5. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en la germinación de semilla de pitahaya por efecto del factor ácido giberélico.....	29
6. Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para el porcentaje de plántulas normales de pitahaya a los 48 dds en invernadero. ....	40
7. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en para plántulas normales con el factor luz en invernadero .....	41
8. Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para altura de plántulas de pitahaya en invernadero .....	43
9. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en para altura con el factor luz en invernadero .....	44
10. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para altura con el factor ácido giberélico en invernadero.....	46
11. Análisis de Varianza para evaluar el impacto de la luz y el Ácido Giberélico en el diámetro de plántulas de Pitahaya ( <i>Hylocereus sp.</i> ) a lo largo de 140 días en invernadero .....	50
12. Comparación de diferentes longitudes de onda de luz en el diámetro de plántulas de Pitahaya ( <i>Hylocereus sp.</i> ) a lo largo del tiempo: Prueba de Tukey para significancia estadística en invernadero.....	51
13. Análisis de varianza para la biomasa de plántulas de pitahaya a los 140 días ( $\alpha=0.05$ ).....	54
14. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para biomasa con el factor luz y AG3 (media $\pm$ error estándar).....	55

15.	Evaluación de la germinación de semillas de pitahaya amarilla. ....	67
16.	Evaluación de plántulas normales de pitahaya amarilla en invernadero. ....	68
17.	Evaluación del diámetro de la penca de pitahaya amarilla en invernadero ....	69
18.	Evaluación del diámetro de la penca de pitahaya amarilla en invernadero ....	70
19.	Datos tomados en laboratorio para calcular la biomasa.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Ubicación del laboratorio de semilla de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en el distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. ....	16
2. Porcentaje de germinación bajo diferentes longitudes de onda a lo largo del tiempo.....	35
3. Interacción de luz y ácido giberélico en la germinación de semilla de pitahaya a lo largo del tiempo (a) 10 dds, (b) a 20 dds, (c) a 30 dds y (d) a 40 dds. ....	38
4. Interacción de luz y ácido giberélico en la germinación de semilla de pitahaya a lo largo del tiempo (a) 10 dds, (b) a 20 dds, (c) a 30 dds y (d) a 40 dds .....	39
5. Evolución temporal del crecimiento (altura) vertical de <i>Hylocereus sp.</i> en respuesta a la luz (LED) a los 30, 60, 90, 120 y 140 días en invernadero.....	45
6. Evolución temporal del crecimiento vertical de <i>Hylocereus sp.</i> en respuesta al ácido giberélico (AG3) a los 30, 60, 90, 120 y 140 días en invernadero.....	47
7. Interacción temporal de la luz y el ácido giberélico (AG3) en la altura de plántulas de Pitahaya ( <i>Hylocereus sp.</i> ) a lo largo de cinco etapas de crecimiento: a) 30 días, b) 60 días, c) 90 días, d) 120 días, e) 140 días en invernadero.....	49
8. Interacción de los factores luz y AG3 en el diámetro: <b>a)</b> Interacción a los 30 días, <b>b)</b> interacción a los 60 días, <b>c)</b> interacción a los 90 días, <b>d)</b> interacción de los 120 días, <b>e)</b> interacción a los 140 días.....	53
9. Biomasa de la plántula de pitahaya por efecto del factor luz y ácido giberélico a los 140 días en invernadero. ....	56
10. Frutos de pitahaya amarilla, obtenidas del mercado de Tingo Maria. ....	72
11. Proceso de extracción de semillas de pitahaya amarilla .....	72
12. Instalación de las condiciones lumínicas. ....	73
13. Preparación de las diferentes concentraciones de ácido giberélico aplicados en el experimento. ....	73
14. Inicio de la germinación de semillas de pitahaya amarilla bajo diferentes longitudes de luz (24-07-21).....	74

<b>15.</b>	Observación del embrión mediante estereoscopio. (23-07-21).....	74
<b>16.</b>	Plántulas de pitahaya amarilla con 135 días después del trasplante a bolsas, divididas por repetición y tratamiento. ....	75
<b>17.</b>	Plántulas de pitahaya amarilla con 145 días después del trasplante establecidas en el invernadero de la Facultad de Agronomía - UNAS. ....	76
<b>18.</b>	Realizando pesado en fresco de plántulas de pitahaya amarilla. ....	77
<b>19.</b>	Realizando Proceso de secado de las plántulas de pitahaya amarilla en la estufa, organizado por tratamientos y repeticiones. ....	77
<b>20.</b>	Realización del pesaje en seco de las muestras después de retirarlas de la estufa. ....	78
<b>21.</b>	a) Planta normal con sus hojas trifoliadas, b) Planta anormal con malformaciones .....	78

## RESUMEN

El objetivo fue evaluar el impacto de diversas longitudes de onda de luz LED y la aplicación del ácido giberélico en la germinación y desarrollo temprano de *Hylocereus sp.* El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de semillas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y posteriormente en el invernadero de la Facultad de Agronomía, entre julio de 2021 y enero de 2022. Se aplicó un diseño completamente aleatorizado de tipo factorial. El factor A consistió en 4 tipos de longitudes de luz LED (amarilla, roja, verde y azul), así como luz visible. El factor B abarcó 5 concentraciones de ácido giberélico (0 ppm, 5 ppm, 7 ppm, 9 ppm y 11 ppm). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

El porcentaje de germinación fue más elevado bajo la luz roja y con una concentración de 11 ppm de AG3. La combinación más eficaz para la germinación fue la luz roja junto con la concentración de 11 ppm de AG3. En cuanto a las plántulas normales, se observaron los mejores resultados con la luz visible. Respecto a la altura de las plántulas, se registró un notable incremento en aquellas expuestas a las longitudes de onda de luz amarilla y verde. Para el diámetro del tallo, los resultados más sobresalientes se observaron con las longitudes de onda de luz verde y amarilla. En relación a la producción de biomasa, se destacó la combinación de luz roja y una concentración de 11 ppm de AG3 como generadora de mayor biomasa.

Palabras claves: biomasa, criptocromo, Fitocromo, fotoblásticas y Fotorreceptores

## ABSTRACT

The aim was to evaluate the influence of diverse LED light wavelengths and the application of gibberellic acid on the germination and early development of *Hylocereus sp.* The experiment was carried out at the Seed Laboratory of the National Agrarian University of the Jungle, followed by the greenhouse of the Faculty of Agronomy, spanning from July 2021 to January 2022. A completely randomized factorial design was applied. Factor A encompassed 4 types of LED light wavelengths (yellow, red, green, and blue), in addition to natural light. Factor B covered 5 concentrations of AG3 (0 ppm, 5 ppm, 7 ppm, 9 ppm, and 11 ppm). The obtained outcomes were as follows:

The germination percentage was notably higher under red light in conjunction with an 11 ppm AG3 concentration. The most effective germination combination proved to be the utilization of red light in tandem with an 11 ppm AG3 concentration. Regarding normal seedlings, the most favorable results were observed under natural light conditions. In relation to seedling height, a significant increase was recorded in those subjected to yellow and green light wavelengths. Noteworthy results were found for stem diameter with green and yellow light wavelengths. As for biomass production, the combination of red light and an 11 ppm AG3 concentration stood out as the optimal generator of greater biomass.

Keywords: biomasa, criptocromo, Fitocromo, fotoblásticas and Fotorreceptores

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio y avance de la ciencia agrícola continúa desempeñando un papel esencial en la búsqueda de soluciones sostenibles para la seguridad alimentaria y el desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y resistentes. En este contexto, la pitahaya amarilla (*Hylocereus sp.*), también conocida como fruta del dragón, se presenta como un fascinante objeto de investigación dada su creciente popularidad, su valor nutricional y su potencial para la diversificación de cultivos y el fortalecimiento de las comunidades agrícolas.

Originaria de las zonas tropicales de México y América Central, la pitahaya amarilla ha emergido como una fruta exótica altamente apreciada, cautivando no solo por su sabor único y exquisito, sino también por sus cualidades nutricionales significativas. Rica en vitamina C, calcio, potasio y fibra, esta fruta no solo responde a las demandas de una alimentación consciente y equilibrada, sino que también representa un camino hacia la seguridad alimentaria en regiones con desafíos nutricionales y agrícolas.

No obstante, el exitoso cultivo de la pitahaya amarilla no está exento de desafíos, particularmente en las etapas críticas de germinación y los primeros pasos en el desarrollo de las plántulas. Justo aquí radica el núcleo de nuestro estudio. En la actualidad, uno de los métodos más prometedores para elevar la calidad y robustez de estas plantas radica en la aplicación de la iluminación artificial mediante diodos emisores de luz (LED) y el empleo del ácido giberélico, cuya interacción incide en una amplia gama de características morfológicas y procesos fisiológicos fundamentales para el crecimiento saludable de las plantas. Al manifestar su capacidad de respuesta a las distintas longitudes de onda lumínicas, las plantas se revelan como verdaderas receptoras de luz, guiando esta información exterior hacia una respuesta bioquímica interna de gran trascendencia.

En consecuencia, nuestra investigación busca adentrarse en las complejas interacciones entre la luz y el ácido giberélico durante las fases iniciales del desarrollo de la pitahaya amarilla, con el objetivo de desentrañar sus efectos y aportar así un compendio de conocimiento esencial para la optimización de las prácticas de cultivo.

### **Objetivo general**

Evaluar la influencia de diferentes longitudes de onda de luz LED y la aplicación del ácido giberélico en la germinación de *Hylocereus sp.*

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto combinado de la luz LED y el ácido giberélico en la germinación de las semillas de Pitahaya.
2. Evaluar la influencia de luz LED y ácido giberélico en el crecimiento y desarrollo normal de plántulas de Pitahaya.
3. Medir la altura, diámetro y biomasa de las plántulas de Pitahaya como resultado de la interacción entre la luz LED y el ácido giberélico.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. *Hylocereus sp* (Pitahaya amarilla)

La pitahaya amarilla, conocida también como fruta del dragón, es una especie de cactus llamada *Hylocereus sp* y ocupa un destacado lugar en la producción de frutas comerciales, siendo la segunda especie más importante después de la *Opuntia ficus-indica*. Esta planta, que puede crecer anclada a árboles o directamente en el suelo, es nativa de regiones tropicales de México y América Central, aunque su rango exacto no ha sido completamente definido (Gunasena et al., 2007).

Esta fruta se caracteriza por su textura delicada y su sabor delicioso, lo que la hace visualmente atractiva. Su pulpa posee un alto valor nutricional, con contenidos significativos de vitamina C, calcio, potasio y fibra. Los frutos presentan una variedad de colores en su cáscara, pudiendo ser rojos o amarillos, mientras que la pulpa puede ser roja o blanca. Las semillas son pequeñas y se digieren fácilmente (Janick y Paull, 2008).

Debido a su característica exótica, la pitahaya ha ganado una creciente popularidad, especialmente en mercados no tradicionales y en áreas con grandes comunidades de origen asiático. Su reconocido alto contenido de vitamina C, polifenoles y antioxidantes la posiciona como un alimento saludable con un gran potencial en el ámbito de la alimentación consciente. Estos aspectos han llevado a un notable aumento en el cultivo de la pitahaya a nivel mundial (Rojas y Praciak, 2021).

La producción de pitahaya se lleva a cabo en varios países, entre ellos México, Nicaragua, Guatemala, Estados Unidos, Taiwán, Vietnam, Filipinas e Israel (Ortiz y Carrillo, 2012). Aunque la pitahaya tiene su origen en América, son los países asiáticos los que actualmente dominan el mercado. Vietnam, China e Indonesia se destacan como los principales productores de pitahaya a nivel mundial, siendo Vietnam el mayor contribuyente con más del 50% de la producción global (Análisis del mercado de la fruta del dragón, 2022).

#### 2.1.1. Clasificación taxonómica

Según Bauer (2003), Esquivel y Araya (2012) y Rojas y Praciak (2021), La pitahaya amarilla, científicamente conocida como *Hylocereus sp*, pertenece a la clasificación taxonómica de la siguiente manera:

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta

Clase : Liliopsida  
Orden : Caryophyllales  
Familia : Cactaceae  
Género : *Hylocereus*  
Especie : *Hylocereus sp.*

### 2.1.2. Descripción

*Hylocereus sp* es un cactus de rápido crecimiento que se asemeja a una enredadera. Puede clasificarse como epífita o xerófita debido a sus características adaptativas. De acuerdo con Merten, (2003) y Rojas y Praciak (2021), se pueden describir las siguientes características morfológicas de *Hylocereus sp*

#### a) Tallo

Sus tallos, con forma triangular, exhiben una estructura de tres lados, aunque ocasionalmente pueden presentar cuatro o cinco lados. Estos tallos son de un verde vibrante, carnosos al tacto y se encuentran articulados, lo que permite una ramificación abundante. Cada segmento del tallo muestra tres costillas planas y onduladas, y sus bordes pueden estar desprovistos de espinas o tener de una a tres espinas pequeñas. Los tallos tienen la capacidad de extenderse, arrastrarse o trepar, pudiendo alcanzar longitudes impresionantes de hasta 10 metros.

#### b) Raiz

En la parte inferior de los tallos, se desarrollan raíces aéreas que desempeñan un papel crucial en la absorción de agua y brindan un anclaje sólido para los tallos en superficies verticales. Estas raíces aéreas son una adaptación distintiva de *Hylocereus sp.*, permitiendo que la planta se adhiera y prospere en diferentes entornos.

#### c) Flor

Las flores, de naturaleza nocturna, poseen una fragancia embriagadora y son hermafroditas, lo que significa que tienen órganos reproductores tanto masculinos como femeninos. Su belleza es notable, ya que alcanzan longitudes de 25 a 30 centímetros y un ancho de 15 a 17 centímetros. La forma de las flores recuerda a una campana y suelen presentar un color blanco distintivo. Los estambres y los estigmas lobulados exhiben una tonalidad cremosa, lo que añade un contraste suave a la estructura floral.

#### d) Fruto

El fruto es una baya jugosa que tiene una forma alargada u ovalada, con dimensiones que varían de 6 a 12 centímetros de largo y de 4 a 9 centímetros de ancho. Su piel es de un intenso color amarillo, destacando por la presencia de grandes brácteas. Al abrirlo, revela una pulpa blanca, jugosa y sabrosa, con un sabor refrescante muy apreciado. Contiene numerosas semillas pequeñas de color negro, que son comestibles. En general, los frutos de *Hylocereus* sp pesan entre 350 y 400 gramos, aunque en condiciones óptimas pueden llegar a pesar hasta 900 gramos. Esta fruta es muy valorada por su excelente sabor y su valor nutricional, siendo una opción saludable y deliciosa para disfrutar.

### 2.2. Germinación

La germinación de semillas es un proceso fundamental en el ciclo de vida de las plantas, caracterizado por una secuencia precisa de eventos fisiológicos y bioquímicos cuidadosamente coordinados. Comprender en detalle este proceso es de gran importancia tanto en el ámbito académico como en la práctica agrícola.

La germinación comienza con la absorción de agua por parte de la semilla, lo que provoca su hidratación y la activación de enzimas específicas. Esta hidratación comienza una serie de reacciones bioquímicas que permiten la ruptura de la cubierta protectora de la semilla y el subsiguiente crecimiento de la plántula. La ruptura de la cubierta se produce gracias a la acción de enzimas como las endo-beta-mananasas, que descomponen los componentes estructurales de la cubierta y facilitan la emergencia de la plántula (Bewley y Black, 1982).

Por otro lado, Bradford y Nonogaki (2008) han investigado a profundidad la dormancia de las semillas, estudiando los factores moleculares y las vías de señalización involucradas en su superación. Sus investigaciones han destacado la participación de fitohormonas como el ácido abscísico (ABA) y las giberelinas en la regulación de la dormancia y la activación de la germinación. Además, han identificado la influencia de señales ambientales como la temperatura y la luz en la superación de la dormancia.

La germinación de una semilla generalmente sigue estos pasos:

- **Imbibición:** La semilla absorbe agua a través de la cubierta seminal, lo que causa un aumento en el volumen y la permeabilidad de la cubierta.
- **Activación enzimática:** Las enzimas hidrolíticas se activan, lo que conduce

a la degradación de las reservas de almidón y proteínas en la semilla en azúcares y aminoácidos que son utilizables por la plántula.

- **Metabolismo y respiración:** Se reactiva el metabolismo aeróbico, lo que resulta en un aumento en la tasa de respiración de la semilla.
- **Inicio de la síntesis de ARN y proteínas:** Se produce la síntesis de ARN mensajero y proteínas necesarias para el crecimiento y desarrollo de la plántula.
- **Crecimiento de la radícula (embrionario):** La radícula, que es la primera estructura embrionaria en emerger, crece hacia abajo en respuesta a los estímulos gravitacionales y nutricionales.
- **Crecimiento del hipocótilo (embrionario):** El hipocótilo, que dará lugar al tallo de la plántula, comienza a elongarse y crecer hacia arriba en busca de luz.
- **Emergencia de la radícula y el hipocótilo:** La radícula y el hipocótilo emergen de la cubierta seminal y comienzan a crecer fuera del suelo.
- **Formación de cotiledones (si están presentes):** Los cotiledones, que son las primeras hojas de la plántula, se expanden y comienzan a realizar la fotosíntesis si contienen clorofila.
- **Desarrollo de la plántula:** La plántula continúa creciendo, desarrollando sistemas de raíces y hojas más complejos.
- **Establecimiento:** La plántula se establece en el suelo y continúa su crecimiento y desarrollo hacia una planta adulta.

Estos pasos pueden variar ligeramente dependiendo de la especie de planta y las condiciones ambientales.

### 2.3. Prueba de tetrazolio

El ensayo de tetrazolio es un método rápido y económico ampliamente utilizado en la evaluación de la viabilidad de las semillas y se considera una alternativa rápida para

determinar la germinabilidad de las mismas (Porter et al., 1947). Se basa en la actividad de las enzimas deshidrogenasas presentes en los tejidos vivos de las semillas, las cuales reducen el cloruro de tetrazolio, un compuesto incoloro, a un compuesto rojo no difusible llamado formazán. La formación de formazán indica la actividad respiratoria y la viabilidad de las células y tejidos de la semilla, mientras que los tejidos muertos no presentan esta coloración (Salazar et al., 2013).

El ensayo de tetrazolio desempeña un papel importante en el control de calidad de la industria de semillas debido a su rapidez y la información que proporciona (Françato y Krzyzanowski, 2019). Permite evaluar la viabilidad y el vigor de las semillas, así como detectar posibles problemas de calidad, como daños mecánicos, daños causados por insectos, deterioro durante el almacenamiento y condiciones adversas previas a la cosecha. Esta prueba se ha establecido como una herramienta efectiva para el diagnóstico y la toma de decisiones en la producción y comercialización de semillas. Su aplicación en el campo de la investigación y la industria de semillas ha contribuido significativamente al mejoramiento de la calidad y la eficiencia en el manejo de los recursos genéticos de la planta.

#### **2.4. La luz en las plantas**

La luz es una forma de radiación electromagnética compuesta por diferentes longitudes de onda que son perceptibles por el ojo humano, generalmente en el rango de 400 a 700 nanómetros (nm). Para comprender cómo afecta a las plantas, es necesario describirla considerando diversos aspectos. Entre ellos se encuentran su intensidad, que puede medirse en términos de fotones o irradiancia de energía, la duración de la exposición, la calidad espectral y la dirección en la que incide y se dispersa (Singh et al., 2015).

La luz desempeña un papel fundamental como fuente de energía e información para las plantas verdes. Por un lado, proporciona la energía necesaria para el proceso de fotosíntesis, permitiendo la conversión de la luz en nutrientes. Por otro lado, la luz actúa como una fuente de información crucial para regular importantes respuestas biológicas en las plantas. El fotoperiodismo, que se refiere a la duración del ciclo día/noche, el fototropismo, que implica la dirección en la que la planta crece en respuesta a la luz, y la fotomorfogénesis, que determina la forma y el desarrollo de la planta, son procesos que dependen de la cantidad y calidad de la luz que reciben las plantas (Singh et al., 2015).

### **2.4.1. Fotorreceptores en las plantas**

Debido a la inmovilidad inherente de las plantas, los elementos ambientales ejercen inevitablemente una profunda influencia sobre su fisiología y desarrollo. Para adaptarse y sobrevivir eficientemente en un entorno en constante cambio, las plantas han forjado mecanismos sofisticados que les permiten detectar señales externas y convertirlas en vías de señalización internas. Entre todas las señales ambientales, la luz se alza como una de las más cruciales, ya que afecta prácticamente todos los pasos del ciclo de vida vegetal. La luz no solo sirve como fuente de energía exclusiva para la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) mediante la fotosíntesis, sino que además desempeña un papel complejo como estímulo de señalización que moldea la fisiología y el desarrollo de las plantas. Por ende, resulta imperativo que las plantas interpreten de forma precisa la información lumínica gracias a la intervención de múltiples fotorreceptores (Paik y Huq, 2019).

Los fotorreceptores son moléculas esenciales que actúan en la interfaz entre los organismos y su entorno. En el caso de las plantas, dependen en gran medida de estos receptores para su respuesta a la luz. Según una investigación realizada por Singh et al. (2015), se identifican dos tipos principales de fotorreceptores en las plantas: los pigmentos fotosintéticos y los receptores fotosensibles. Estos fotorreceptores desempeñan funciones distintas en relación con la luz y son fundamentales para el desarrollo y la adaptación de las plantas a su ambiente luminoso.

#### **a) Pigmentos fotosintéticos**

Estos fotorreceptores se encuentran en los cloroplastos de las células vegetales y son fundamentales para el proceso de fotosíntesis, en el cual la energía de la luz se convierte en energía química para la planta. Los pigmentos fotosintéticos más importantes son la clorofila a y b, que son responsables de absorber la luz visible necesaria para la fotosíntesis. Estos pigmentos capturan diferentes longitudes de onda de luz, principalmente en las regiones azul y roja del espectro electromagnético. A través de la fotosíntesis, las plantas transforman la energía lumínica en compuestos orgánicos y liberan oxígeno al ambiente (Griffin y Toledo, 2022)

#### **b) Receptores fotosensibles**

Además de los pigmentos fotosintéticos, las plantas poseen receptores fotosensibles que detectan la luz y desencadenan diversas respuestas fisiológicas y de

desarrollo, más allá de la fotosíntesis (Singh et al., 2015). Estos receptores son moléculas específicas que interactúan con la luz y generan señales en el interior de la planta. De esta manera, los fotorreceptores convierten la señal física de la luz en una señal bioquímica, a través de interacciones proteína-proteína y la activación de enzimas, propagándose posteriormente corriente abajo (Kong y Okajima, 2016). Según Kong y Okajima (2016) y Paik y Huq (2019), los principales tipos de receptores fotosensibles son:

**- Fitocromos:**

Los fitocromos son fotorreceptores sensibles a la luz roja y rojo lejano. Controlan procesos como la germinación de semillas, la elongación del tallo, la floración y la respuesta al fotoperiodismo (Kong y Okajima, 2016). Además, según Yang et al. (2016), los fitocromos desempeñan un papel fundamental en la regulación de la biomasa vegetal, ya que la celulosa y las proteínas, principales componentes de la biomasa vegetal, se ven afectadas por la pérdida de fitocromos. La expresión de genes que controlan la síntesis y reorganización de la pared celular se ve comprometida, y los niveles de proteínas totales se reducen en los mutantes de fitocromos. Estos hallazgos revelan un papel novedoso de los fitocromos en la regulación de los componentes principales de la biomasa vegetal

**- Criptocromos:**

Los criptocromos son fotorreceptores sensibles a la luz azul y ultravioleta cercana. Estos receptores juegan un papel en la regulación del crecimiento, la orientación de los tallos y las hojas hacia la fuente de luz, y también están involucrados en la respuesta de las plantas al ciclo día-noche (Kong y Okajima, 2016).

**- Fototropinas:**

Las fototropinas son fotorreceptores sensibles a la luz azul y ultravioleta cercana. Estos receptores están involucrados en el fototropismo, el movimiento direccional de las partes de la planta en respuesta a la luz, como el crecimiento hacia la luz (fototropismo positivo) o lejos de la luz (fototropismo negativo) (Kong y Okajima, 2016).

**- UVR8:**

El receptor UVR8 es sensible a la luz ultravioleta B (UV-B). Este fotorreceptor activa respuestas de defensa en las plantas para protegerse contra la radiación UV-

B dañina, como la producción de compuestos protectores y la regulación de genes involucrados en la respuesta al estrés (Paik y Huq, 2019).

#### **2.4.2. Rol de la luz en la germinación y desarrollo de las plantas**

La luz desempeña un papel fundamental en la germinación de semillas, ya que es un factor ambiental clave que puede influir en la activación de procesos fisiológicos y metabólicos necesarios para el inicio del crecimiento de la plántula. Uno de los mecanismos mediante los cuales la luz afecta la germinación es a través de la estimulación de la producción de enzimas. La exposición a la luz puede activar enzimas como las amilasas, que son responsables de la degradación de las reservas de almidón en la semilla y proporcionan la energía necesaria para el crecimiento inicial de la plántula. Además, la luz también puede influir en la producción de enzimas antioxidantes, que protegen a la semilla de posibles daños causados por especies reactivas de oxígeno generadas durante la germinación (Porrás et al., 2020).

La respuesta de las semillas a la luz varía según la especie y las condiciones ambientales. Algunas semillas requieren luz para germinar (fotoblásticas positivas), mientras que otras germinan mejor en la oscuridad (fotoblásticas negativas). Estas respuestas están relacionadas con la adaptación de las especies a su entorno (Acuña y Garwood, 2016).

##### **a) Luz roja**

La luz roja, con un rango de longitud de onda entre 630 y 700 nm (Opel et al., 2015), ha sido extensivamente estudiada en relación con la germinación de semillas. Investigaciones realizadas por varios expertos han revelado consistentemente que la exposición a la luz roja fomenta la germinación de las semillas y estimula el crecimiento inicial de las plántulas (Borthwick, 1957; Lal y Sachan, 2017). Estos estudios sugieren que la luz roja juega un rol crucial en la promoción de la germinación y el desarrollo temprano de las plantas.

Además de su influencia en la germinación, la luz roja también desempeña un papel importante en la modulación del crecimiento de los tallos y la formación de pigmentos vegetales. Según Borthwick (1957), la luz roja puede prevenir el alargamiento excesivo de los tallos en ciertas circunstancias y promover la síntesis de pigmentos específicos en las plantas.

Mamani et al. (2022) han observado que la luz roja también juega un papel en el desarrollo de los tallos al influir en su elongación y fortalecimiento. Estos hallazgos resaltan la importancia de la luz roja como un factor clave en el desarrollo temprano de las plantas, incluyendo la formación adecuada de los tallos.

### **b) Luz azul**

El efecto de la luz azul, cuyo rango de longitud de onda se sitúa entre 400 y 470 nm según Opel et al. (2015), en la germinación de semillas ha sido objeto de amplias investigaciones, revelando un impacto positivo en ciertas especies de plantas. Ortiz (2017) observó que la luz azul influía favorablemente en la germinación del maíz, notando que las plántulas expuestas a iluminación con LEDs azules presentaban un incremento en el peso seco. Además de su influencia en la germinación, la luz azul también afecta la morfología de las plántulas, promoviendo un crecimiento más compacto y una mayor elongación del tallo. Sin embargo, es fundamental reconocer que los efectos de la luz azul pueden variar según la especie de la planta y las condiciones ambientales específicas (Mamani et al., 2022).

Aunque la luz azul generalmente se considera beneficiosa, también se ha informado que puede tener efectos negativos en el crecimiento de las plantas. Según Yang et al. (2019), puede causar una disminución drástica en la biomasa seca de las hojas. Por lo tanto, es necesario considerar cuidadosamente las condiciones específicas de cada planta al utilizar la luz azul como un estímulo en el proceso de germinación y desarrollo.

### **c) Luz amarilla**

En el campo de la fisiología vegetal, la influencia de la luz amarilla, específicamente en el rango de longitud de onda de 570 a 590 nanómetros según Opel et al. (2015), en la germinación de semillas y el desarrollo de plantas ha sido ampliamente investigada, revelando efectos positivos significativos. Un estudio destacado por Lal y Sachan (2017) demostró un aumento notable en la germinación de las semillas de *Vigna unguiculata* cuando se exponen a esta luz amarilla, superando los resultados obtenidos bajo luz roja y natural. Este hallazgo sugiere una mayor propensión de las semillas a germinar y desarrollarse de manera óptima en presencia de la luz amarilla, enfatizando su relevancia en los procesos biológicos esenciales para el crecimiento de las plantas.

Asimismo, Yang et al. (2019) mencionan que la luz amarilla también muestra efectos positivos en el crecimiento de las plantas. Se observó un mayor número de brotes y una mayor biomasa seca de las hojas en plantas expuestas a la luz amarilla. Además, se encontró que la luz amarilla promueve la acumulación de flavonoides bioactivos en la planta.

Estos hallazgos respaldan la idea de que la luz amarilla puede jugar un papel beneficioso en la germinación y el desarrollo de las plantas. Sin embargo, es importante destacar que los efectos de la luz amarilla pueden variar según la especie de planta y las condiciones específicas del entorno.

#### **d) Luz verde**

La influencia del color verde, específicamente en el espectro de longitud de onda de 495 a 570 nm (Volchko, 2018), en la germinación y desarrollo vegetal ha sido escasamente estudiada, arrojando hasta la fecha resultados mayormente desfavorables. Lal y Sachan (2017) identificaron un efecto negativo de la luz verde en la germinación y crecimiento de *Vigna unguiculata*, donde las semillas expuestas a esta longitud de onda presentaron tasas de germinación y crecimiento inferiores en comparación con otras longitudes de onda. Además, se observó inhibición en la elongación del hipocótilo y en la expansión foliar, junto con una reducción en el peso fresco de las raíces y la biomasa seca de las plántulas.

Contrastando estos hallazgos, Ortiz (2017) reportó que la luz verde no afectó significativamente la germinación ni la velocidad de brote en plántulas de maíz, siendo estos parámetros comparables con los del grupo control. No obstante, las plántulas de maíz cultivadas bajo iluminación LED verde mostraron un incremento en el contenido de clorofila en sus hojas

#### **e) Luz Visible**

La influencia de la luz visible en los procesos de germinación y desarrollo de las plantas es notablemente significativa, especialmente al considerar su rango en el espectro de luz visible. Según Volchko (2018), este espectro se encuentra entre 400 y 700 nm, mientras que en el contexto de la comunicación óptica, (Khan, 2017) amplía este rango a 380-750 nm. En un estudio relevante, Lal y Sachan (2017) destacaron la eficacia de la luz visible en la germinación de semillas de *Vigna unguiculata*, con una tasa de éxito del 95% en 84 horas, evidenciando su superioridad frente a otras longitudes de onda. Además, la luz visible promueve un desarrollo más robusto de raíces y tallos, aunque su influencia en la síntesis de pigmentos fotosintéticos es relativamente moderada en comparación con luces de colores específicos. Estos hallazgos resaltan la importancia de la luz visible en los estudios de germinación vegetal y sugieren una interacción compleja entre diferentes longitudes de onda del espectro visible y los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas.

### **2.5. Ácido Giberélico**

Los ácidos giberélicos (AG3), también llamados giberelinas, son hormonas vegetales naturales utilizadas como reguladores para estimular la división celular y el alargamiento en las plantas. Estas hormonas tienen un efecto significativo en el desarrollo de las hojas y los tallos. Además, se emplean en diversas aplicaciones para acelerar la maduración

de las plantas y la germinación de las semillas. También se utilizan para retrasar la cosecha de frutas, lo que permite un mayor crecimiento. Estos ácidos se aplican en agricultura en cultivos en crecimiento, así como en frutas pequeñas, uvas, vides, árboles frutales, plantas ornamentales, arbustos y vides. Estas aplicaciones ofrecen ventajas en términos de mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos, así como manipular los ciclos de crecimiento y maduración de las plantas (Pohanish, 2015).

### **2.5.1. El ácido giberélico en la germinación**

Tiene un efecto estimulante en la germinación de las semillas al desempeñar un papel crucial en el proceso. La germinación de las semillas es un proceso complejo que está regulado por una combinación de factores físicos e internos. En este contexto, el AG3 desempeña una función clave en el control y la promoción de la germinación en una variedad de especies de cultivos, incluyendo granos de cereales (Pohanish, 2015).

Según Gupta y Chakrabarty (2013), el AG3 tiene efectos específicos en la germinación de las semillas:

- Superación de la dormancia: Contribuye a romper la dormancia de las semillas, lo cual permite que las condiciones ambientales adecuadas estimulen la germinación.
- Estimulación de la elongación celular: Promueve el crecimiento de la radícula, que es la primera estructura que emerge de la semilla durante la germinación. Esto facilita la penetración de la radícula en el suelo en busca de agua y nutrientes.
- Activación de enzimas hidrolíticas: Estimula la producción de enzimas hidrolíticas, entre las cuales destaca la  $\alpha$ -amilasa. Estas enzimas son responsables de descomponer el almidón almacenado en las semillas en azúcares más simples, proporcionando la energía necesaria para el crecimiento y desarrollo de la plántula.

### **2.5.2. Efecto del ácido giberélico en la germinación de *Hylocereus sp***

Se han llevado a cabo numerosos estudios que respaldan los efectos beneficiosos del AG3 en la germinación de diversas especies pertenecientes a la familia Cactaceae. Uno de los primeros estudios, realizado por Alcorn y Kurtz (1959), exploró el efecto del AG3 como sustituto de la luz en el proceso de germinación de semillas de *Carnegiea*

*gigantea*, a una dosis de 8 ppm. Los resultados revelaron que la adición de AG3 en la oscuridad estimuló la germinación de una fracción de semillas fotoblásticas positivas.

Investigaciones más actuales han ampliado nuestro conocimiento sobre el uso del AG3 en la germinación de semillas de diferentes especies de cactus. Santos et al. (2022) llevaron a cabo un estudio en el que demostraron que el tratamiento con dosis óptimas de AG3 en semillas extraídas de frutos de Pitahaya de pulpa blanca (*Hylocereus megalanthus*) resultó en una mayor emergencia y vigor de las plántulas donde resalto la dosis a 12 ppm. Estos hallazgos respaldan el papel del AG3 como un regulador clave en la germinación exitosa de estas semillas.

Además de su influencia en la germinación, estudios más recientes han destacado los beneficios adicionales del AG3 en el desarrollo de las plántulas de *Hylocereus sp.* Carvalho et al., (2022) encontraron que el AG3 estimuló tanto la germinación como el crecimiento de *Hylocereus sp* a una dosis de 15 ppm, al tiempo que incrementó los niveles de azúcares solubles en la fruta, lo cual es un indicador de su calidad nutricional. En una investigación adicional realizada por Carvalho et al., (2023), se observó que esta hormona mejoró el rendimiento fisiológico de las semillas de *Hylocereus sp*, incluso en condiciones de déficit hídrico, lo que indica su capacidad para aumentar la resistencia de las plantas en situaciones adversas.

Es importante destacar que el AG3 no solo ejerce un impacto positivo en la germinación y desarrollo de las plantas de cactus, sino que también desempeña un papel relevante en otros aspectos de su ciclo de vida. Por ejemplo, investigaciones realizadas por To et al. (2002) revelaron que el AG3 favorece una floración más abundante y promueve un aumento significativo en el peso de la fruta a una dosis de 20 ppm, mejorando su calidad general. Además, se observó que esta hormona influye en la firmeza de las brácteas y el grosor de las cáscaras, lo que contribuye a una mayor resistencia y durabilidad de los frutos.

## **2.6. Antecedentes**

En el ámbito nacional, no se han realizado estudios específicos sobre el efecto de la luz y el ácido giberélico en la germinación de semillas de *Hylocereus sp.* Sin embargo, se han llevado a cabo investigaciones en otros cultivos. Hernández et al. (2019) estudiaron el efecto de la luz y del ácido giberélico en la germinación in vitro de *Capsicum annuum* en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú. Sus resultados mostraron que la adición de ácido giberélico y un fotoperiodo de 16 horas de luz incrementaron significativamente la germinación in vitro, alcanzando un 97.8% de germinación a las cuatro semanas con la mayor concentración de AG3. Morales et al. (2023), en Piura, evaluaron el

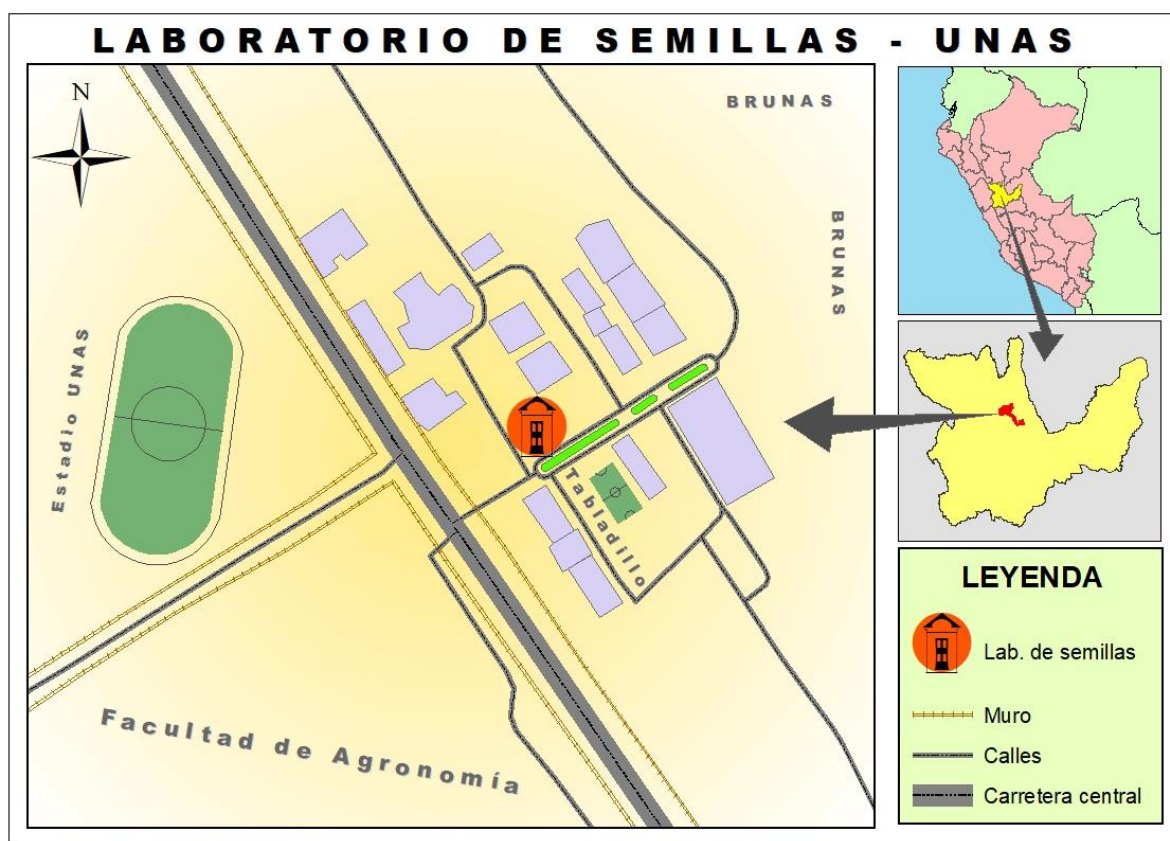
efecto de diferentes dosis de ácido giberélico (AG3) y tiempos de imbibición en la germinación de semillas de papaya. Las semillas tratadas con 250 mg/L de AG3 durante 24 horas mostraron un aumento significativo en el porcentaje de germinación (72.5%) y en la velocidad de germinación (1.26 semillas por día). Además, el tratamiento con AG3 redujo el tiempo necesario para que las semillas comenzaran a germinar. López et al. (2017) se centraron en el efecto del ácido giberélico en la propagación in vitro de *Stevia rebaudiana*.

A nivel internacional, Marín (2016) investigó la influencia de diferentes longitudes de onda de luz LED en la germinación de la orquídea *Encyclia*. Sus resultados indicaron que las luces LED (rojas, azules y blancas) no generaron diferencias significativas en la tasa de germinación, sugiriendo que otros factores como la humedad y los nutrientes podrían ser más importantes. Ochoa et al. (2015) estudiaron la germinación de semillas de diferentes cultivares de *Opuntia*, un género de cactáceas conocido por su baja capacidad de germinación y alta latencia. Encontraron que la aplicación de GA3 mejoró la velocidad de germinación, con los cultivares tratados con GA3 germinando más rápidamente en comparación con aquellos sin tratamiento. Lone et al. (2014) investigaron la germinación de diferentes genotipos de pitahaya y cómo esta se ve afectada por la longitud de onda y la intensidad de la luz. Observaron que la presencia de luz, independientemente de la longitud de onda (roja, roja lejana y blanca), favoreció la germinación de la mayoría de los genotipos, indicando que las semillas de pitahaya son fotoblásticas positivas. Además, encontraron que la luz roja lejana fue más efectiva que la luz blanca para algunos genotipos, mientras que para otros la luz blanca fue más efectiva. Rojas-Aréchiga et al. (1997) analizaron cómo la luz influye en la germinación de semillas de siete especies de cactáceas en el Valle de Zapotitlán, México. Observaron que las cactáceas columnares mostraron indiferencia a la luz, mientras que las cactáceas barril eran fotoblásticas positivas, incluso germinando en luz roja lejana. Santos et al. (2022) estudiaron la producción de plántulas de pitahaya de pulpa blanca (*Selenicereus undatus*) y examinaron cómo diferentes concentraciones de ácido giberélico (GA3) y los estadios de maduración de los frutos afectan la germinación de semillas y el vigor de las plántulas. Sus resultados mostraron que las semillas extraídas de frutos maduros requerían la aplicación de GA3 para aumentar la emergencia y el vigor de las plántulas, con dosis óptimas entre 150 y 300 mg/L. En contraste, las semillas de frutos almacenados necesitaban dosis más altas, con un mínimo de 500 mg/L para lograr resultados similares.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La ejecución de este estudio tuvo lugar tanto en el laboratorio de semillas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de La Selva como en el invernadero ubicado detrás de la misma facultad. Estas instalaciones se encuentran ubicadas en el distrito de Rupa-Rupa, dentro de la provincia de Leoncio Prado y en la región de Huánuco. La investigación se desarrolló a lo largo del periodo comprendido entre julio de 2021 y febrero de 2022. Es relevante mencionar que las coordenadas UTM exactas de esta localización son N 8970291.63, E 390550.28, mientras que la altitud en este punto alcanza los 662 metros sobre el nivel del mar (msnm).



**Figura 1.** Ubicación del laboratorio de semilla de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en el distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú.

#### 3.2. Materiales y métodos

##### 3.2.1. Materiales y equipos

###### a) Material biológico

Se utilizó semillas de Pitahaya de la variedad amarilla (*Hylocereus sp*),

las cuales fueron recolectadas de frutos obtenidos en el mercado de abasto de Tingo María. La recolección de las semillas se llevó a cabo en junio de 2021.

**b) Insumos de vivero y reactivos de laboratorio**

- Ácido giberélico (AG3)
- Estiércol de bovino
- Cascarilla de arroz
- Tierra agrícola
- Cloruro de 2, 3, 5-trifenil tetrazolio al 1%
- Hipoclorito de sodio
- Alcohol 70% - Gradilla de 0,5 cm
- Agua destilada

**c) Materiales de laboratorio**

- Etiquetas
- Placa petri
- Libreta de campo
- Plumón permanente
- Lapicero - Estiletos
- Vaso bohemia de 50ml
- Pipeta
- Luces LED: amarillo, verde, rojo y azul.

**d) Equipos**

- Estufa
- Balanza de precisión
- Cámara digital
- Computadora portátil
- Microscopio
- Estereoscópico Leica EZ4HD

**3.2.2. Metodología**

**a) Componentes en estudio:** El tiempo de exposición de las semillas a la luz son 12 horas diarias, hasta completar la germinación.

• **Factor A (Luz LED)**

a<sub>1</sub> = luz amarillo (590 nm)

$a_2$  = Luz verde (564 nm)

$a_3$  = Luz roja (700 nm)

$a_4$  = Luz azul (450 nm)

$a_5$  = Luz visible

- **Factor B (Concentración de ácido giberélico)**

$b_1$  = 0ppm

$b_2$  = 5ppm

$b_3$  = 7ppm

$b_4$  = 9ppm

$b_5$  = 11ppm

**b) Tratamiento en estudio**

Los tratamientos generados se basaron en un Diseño Completamente al Azar (DCA) factorial 5A x 5B, junto con un grupo de control. En total, se consideraron 25 tratamientos diferentes (Tabla 1).

**Tabla 1.** Distribución y descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamientos	Clave	Descripción
		Luz + Acido giberélico
T <sub>1</sub>	$a_1b_1$	Semillas con luz amarillo + 0 ppm de ácido giberélico
T <sub>2</sub>	$a_1b_2$	Semillas con luz amarillo + 5 ppm de ácido giberélico
T <sub>3</sub>	$a_1b_3$	Semillas con luz amarillo + 7 ppm de ácido giberélico
T <sub>4</sub>	$a_1b_4$	Semillas con luz amarillo + 9 ppm de ácido giberélico
T <sub>5</sub>	$a_1b_5$	Semillas con luz amarillo + 11 ppm de ácido giberélico
T <sub>6</sub>	$a_2b_1$	Semillas con luz verde + 0 ppm de ácido giberélico
T <sub>7</sub>	$a_2b_2$	Semillas con luz verde + 5 ppm de ácido giberélico
T <sub>8</sub>	$a_2b_3$	Semillas con luz verde + 7 ppm de ácido giberélico
T <sub>9</sub>	$a_2b_4$	Semillas con luz verde + 9 ppm de ácido giberélico
T <sub>10</sub>	$a_2b_5$	Semillas con luz verde + 11 ppm de ácido giberélico
T <sub>11</sub>	$a_3b_1$	Semillas con luz rojo + 0 ppm de ácido giberélico
T <sub>12</sub>	$a_3b_2$	Semillas con luz rojo + 5 ppm de ácido giberélico
T <sub>13</sub>	$a_3b_3$	Semillas con luz rojo + 7 ppm de ácido giberélico

T <sub>14</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>4</sub>	Semillas con luz rojo + 9 ppm de ácido giberélico
T <sub>15</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>5</sub>	Semillas con luz rojo + 11 ppm de ácido giberélico
T <sub>16</sub>	a <sub>4</sub> b <sub>1</sub>	Semillas con luz azul + 0 ppm de ácido giberélico
T <sub>17</sub>	a <sub>4</sub> b <sub>2</sub>	Semillas con luz azul + 5 ppm de ácido giberélico
T <sub>18</sub>	a <sub>4</sub> b <sub>3</sub>	Semillas con luz azul + 7 ppm de ácido giberélico
T <sub>19</sub>	a <sub>4</sub> b <sub>4</sub>	Semillas con luz azul + 9 ppm de ácido giberélico
T <sub>20</sub>	a <sub>4</sub> b <sub>5</sub>	Semillas con luz azul + 11 ppm de ácido giberélico
T <sub>21</sub>	a <sub>5</sub> b <sub>1</sub>	Semillas con luz visible + 0 ppm de ácido giberélico
T <sub>22</sub>	a <sub>5</sub> b <sub>2</sub>	Semillas con luz visible + 5 ppm de ácido giberélico
T <sub>23</sub>	a <sub>5</sub> b <sub>3</sub>	Semillas con luz visible + 7 ppm de ácido giberélico
T <sub>24</sub>	a <sub>5</sub> b <sub>4</sub>	Semillas con luz visible + 9 ppm de ácido giberélico
T <sub>25</sub>	a <sub>5</sub> b <sub>5</sub>	Semillas con luz visible + 11 ppm de ácido giberélico

### c) Disposición del experimento

- Número de repeticiones por tratamiento : 4
- Número de semillas por repetición : 50
- Número de semillas por tratamiento : 120
- Números de tratamientos : 25
- Número de frutos : 8
- Número de semilla a evaluar : 3000
- Peso de 1000 semillas : 7,43 g

### d) Diseño experimental

En este trabajo se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial 5A x 5B, lo que resultó en veinticinco tratamientos diferentes y un control absoluto. Cada tratamiento se repitió cinco veces. Las medias obtenidas fueron sometidas a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

i=1, 2, 3, 4, 5 niveles de luz

j=1, 2, 3, 4, 5 niveles de concentración de ácido giberélico

k= 1, 2, 3, 4, repeticiones

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta que se obtiene de la unidad experimental que recibió el i-ésimo nivel de luz, j-ésimo nivel de concentración de AG3, k-ésima repetición.

$\mu$  = Efecto de la media general de la variable respuesta.

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel de luz.

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo nivel de concentración de AG3.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción en el i-ésimo nivel de luz, j-ésimo nivel de concentración de AG3.

$\mu_{ij}$  = Efecto de la media de la combinación (tratamiento)

$\epsilon_{ijk}$  = Efecto del error experimental en el i-ésimo nivel de luz, j-ésimo nivel de concentración de AG3, k-ésima repetición.

#### e) Análisis de variancia.

**Tabla 2.** Esquema del análisis de varianza

Análisis de varianza	GL
Luz (A)	4
Ácido giberélico (B)	4
Luz (A) x ácido giberélico (B)	16
Error experimental	75
Total	99

#### f) Ejecución del experimento

- **Extracción de semillas**

Los frutos de *Hylocereus sp.* fueron recolectados en el mercado de abasto de Tingo María. Se seleccionaron 8 frutos maduros, de tamaño y consistencia uniforme, y fueron llevados al Laboratorio de Análisis y Control de Semillas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Posteriormente, los frutos se lavaron. Con cuidado y utilizando una navaja, se procedió a partir los frutos, evitando dañar las semillas. En un colador, se aplastó la pulpa con la mano para desprender las semillas y eliminarla. Se enjuagaron las semillas con

agua a chorro continuo y se utilizó una tela de tul para eliminar el mucílago, repitiendo este proceso las veces necesarias.

Una vez eliminado el mucílago, las semillas se enjuagaron nuevamente y se colocaron sobre un papel de cuaderno para que se oreen a la sombra durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo, se descartaron las semillas que presentaban una coloración rojiza, ya que eran semillas vacías.

- **Desinfección de las semillas**

Una vez que las semillas del cultivar de *Hylocereus sp.* habían sido aireadas, se procedió desinfectar externamente con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación. Para ello, las semillas fueron sumergidas en una solución al 1 % de hipoclorito de sodio durante 5 minutos. Después, se enjuagaron en cinco ocasiones con agua destilada autoclavada. Posteriormente, las semillas se dejaron secar en un flujo laminar previamente esterilizado.

A partir de ese momento, se realizó toda la manipulación utilizando material estéril para garantizar la ausencia de contaminantes.

- **Instalación del experimento y condiciones lumínicas.**

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de semillas, el cual fue acondicionado específicamente para este propósito. Se instaló en un estante de concreto empotrado en la pared y se dividió utilizando material de vidrio y rieles, creando compartimentos separados.

En cada compartimento se colocaron luces LED de diferentes longitudes de onda, como el amarillo (590 nm), verde (525 nm), rojo (700 nm) y azul (450 nm). Además, se mantuvo la luz ambiental como testigo para realizar comparaciones. El sistema eléctrico fue instalado por personal capacitado para asegurar su correcto funcionamiento y garantizar la seguridad.

Para la instalación de las luces, se utilizaron listones de madera con un ancho aproximado de 15 cm y un grosor de 3 cm. Se emplearon materiales como tecnopor y hojas bond para evitar que la luz se filtrara hacia los compartimentos adyacentes. También se colocaron cartulinas en los rieles de vidrio con el objetivo de evitar molestias causadas por la luz en el entorno de trabajo.

- **Procedimiento de ensayo de germinación**

Para evaluar la viabilidad de las semillas de pitahaya, se utilizó el

método de tetrazolio, ampliamente reconocido como un método eficiente para predecir la capacidad de germinación (Salazar et al., 2013).

En primer lugar, se preparó una solución de tetrazolio (2, 3, 5-cloruro de trifenil tetrazolium) al 1%. Se tomó una muestra de semillas de pitahaya para realizar el análisis. La muestra de semillas se sumergió en un vaso de precipitación de 50 ml que contenía 10 ml de la solución de tetrazolio, y se mantuvo en condiciones de oscuridad durante 24 horas (Lallana y García, 2013).

Después de este periodo, se retiraron del vaso tres gotas de la solución junto con las semillas y se colocaron en una placa Petri. Esta placa se colocó sobre una gradilla de 0,5 cm para facilitar la observación. Utilizando un estereoscopio, se examinó la coloración de los embriones de las semillas.

A partir de esta observación, se realizó el conteo de las semillas viables y no viables. Este procedimiento permitió determinar la viabilidad de las semillas y obtener información relevante para su posterior siembra.

- **Procedimiento de ensayo de germinación**

El proceso de evaluación de la germinación se llevó a cabo empleando un conjunto total de 3,000 semillas. Estas semillas fueron distribuidas en grupos de 50 unidades por placa, las cuales fueron sometidas a diversas longitudes de onda emitidas por luces LED. En aras de garantizar la rigurosidad del procedimiento, se hizo uso de un papel de germinación especialmente diseñado para el maíz, cuyas dimensiones abarcaron un ancho de 25 cm y una longitud de 30 cm. Para llevar a cabo esta evaluación, se implementó la técnica conocida como "entre papel" enrollado, conforme a los lineamientos establecidos por la International Seed Testing Association (ISTA, 2016)

Las semillas se evaluaron en tres repeticiones de 25 semillas seleccionadas al azar. Las semillas fueron colocadas en el centro del algodón de germinación y se fijaron con cinta tipo Masking Tape. Para asegurar su protección, se cubrieron con otra hoja de papel de germinación, se saturó con agua destilada y se enrolló el papel, sujetando los extremos con ligas de hule. Posteriormente, se colocaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en una incubadora a una temperatura constante de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Dentro de la incubadora, se estableció un ciclo de iluminación de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Se realizó el conteo de semillas germinadas cada 24 horas. Se llevó a cabo el riego diario para evitar que las semillas se secaran, y se realizaron revisiones visuales diarias para asegurar las condiciones adecuadas de iluminación, riego y temperatura.

Estas pruebas de germinación no requieren de equipos sofisticados, reactivos o personal altamente calificado.

Esta metodología permitió obtener información detallada sobre la germinación y el desarrollo de las semillas, lo cual es fundamental para la evaluación de su calidad y potencial de crecimiento.

- a. Para preparar una solución de 5 ppm de ácido giberélico (AG3), se disolverán 5 mg de IA de AG3 en 1 litro de agua destilada. De manera similar, se prepararán soluciones de 7 ppm, 9 ppm y 11 ppm de ácido giberélico (AG3) utilizando la misma proporción y procedimiento.
- b. Se procedió a remojar las semillas en ácido giberélico a concentraciones de 5 ppm, 7 ppm, 9 ppm y 11 ppm durante 24 horas. Luego, las semillas fueron sembradas en placas Petri, con 40 semillas por placa.
- c. Posteriormente, se aplicarán diferentes factores de luz: amarillo, verde, rojo, azul y luz visible.
- d. Las placas Petri con las semillas fueron colocadas en un germinador y se llevó a cabo la evaluación de los diferentes parámetros establecidos en los objetivos del estudio.

- **Trasplante o repique en el invernadero**

Una vez que las plántulas alcanzaron una longitud de 7 cm, lo cual se logró tras un período de 18 días, se procedió con la etapa de trasplante en bolsas de dimensiones 4 x 7 cm. Estas bolsas habían sido previamente preparadas de acuerdo con los tratamientos específicos, y se humedecieron con anticipación, un día antes del trasplante, con el propósito de facilitar el proceso. Con suma precaución, se extrajeron las semillas y se dispusieron en cada bolsa, asegurándose de que la radícula quedara dirigida hacia abajo y en la orientación adecuada. Para este fin, se practicó un orificio de 5 a 7 cm en cada bolsa, y se colocaron las semillas aplicando una suave presión lateral, asegurando su anclaje firme y a nivel con el sustrato compuesto por tierra agrícola, cascarilla de arroz y estiércol de vacuno en una proporción de 1.1.1.

- g) **Variables a evaluar**

- **Evaluación del porcentaje de germinación**

Con el propósito de evaluar la germinación fisiológica, se llevó a cabo un conteo diario de las semillas que habían alcanzado el proceso de germinación, tomando

en consideración la emergencia de la radícula. En cada instancia de conteo, se definió una semilla como germinada cuando se evidenciaba la ruptura de su envoltura y la subsiguiente emergencia de la radícula, la cual debía poseer una longitud igual o superior a 2 mm. El criterio aplicado para determinar la germinación se basó en la longitud de la radícula, estableciendo un umbral de 2 mm, coincidente con el estándar empleado en el cálculo de la velocidad de germinación (Gallo et al., 2017). Esta evaluación se llevó a cabo en el ámbito del laboratorio.

- **Selección y caracterización de plántulas normales durante el proceso de Germinación**

Las semillas fueron sometidas a un análisis meticuloso a través de un microscopio estereoscópico Leica EZ4HD, con el propósito de clasificar las plántulas en dos categorías: aquellas que exhibían características de desarrollo consideradas normales y aquellas que presentaban desviaciones de dicho patrón. Se considera como plántulas normales de *Hylocereus sp.* aquellas que presentan un crecimiento simétrico y uniforme, con una coloración verde saludable en su especie y a las que tenían 2 hojas cotiledóneas. Por otro lado, se clasificarán como anormales aquellas plántulas que muestren deformaciones morfológicas, y las que no tenían dos hojas.

- **Altura de la plántula**

La medición de la altura de las plántulas se llevó a cabo en intervalos de 7 días durante 19 semanas, posteriores a la siembra. En cada repetición experimental, se efectuó la medición desde el nivel del sustrato, específicamente desde el cuello de la planta, hasta la yema terminal visible, también conocida como meristemo apical. Las mediciones se registraron en centímetros y se realizaron empleando una regla graduada de 50 cm.

- **Diámetro del tallo**

La evaluación del diámetro del tallo se realizó en los mismos intervalos de 7 días durante 19 semanas, después de la siembra. Las medidas se tomaron a 3 cm por encima del sustrato contenido en las bolsas plásticas que albergaban las plántulas. Para llevar a cabo esta medición, se utilizó un calibrador digital, comúnmente conocido como vernier.

- **Biomasa**

Para la determinación de la biomasa de las plantas de pitahaya, se procedió a pesar las muestras frescas, registrando este valor como el peso inicial ( $P_i$ ).

Posteriormente, las muestras fueron colocadas en una estufa a 130°C durante una hora. Si no se alcanzaba la temperatura especificada o el peso constante dentro de este tiempo, las muestras se mantuvieron en la estufa hasta que lograron un peso constante, el cual fue registrado como peso final (Pf).

El porcentaje de humedad de las muestras se calculó utilizando la fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \left( \frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Porcentaje de germinación.

#### 4.1.1. Análisis de varianza.

Se realizó un análisis de varianza para investigar el impacto de dos factores, "luz" y "ácido giberélico", en la germinación de las semillas de pitahaya amarilla. A continuación, presentamos la interpretación de los resultados obtenidos en la Tabla 3, donde se evaluaron los períodos de 10 días, 20 días, 30 días y 40 días. Analizamos cada factor por separado, así como la interacción entre ambos, y también explicamos el coeficiente de determinación R cuadrado y el coeficiente de variación (C.V.).

**Tabla 3.** Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para el porcentaje de germinación de semillas de pitahaya.

Fuentes de variación	Gl	10 días		20 días		30 días		40 días	
		CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor
A	4	4498,9	$1,9 \times 10^{-11}$	2921,2	$8,0 \times 10^{-15}$	2038,8	$1,6 \times 10^{-23}$	60,6	$1,9 \times 10^{-11}$
B	4	2692,6	$1,0 \times 10^{-7}$	1367,9	$1,5 \times 10^{-8}$	381,7	$1,2 \times 10^{-7}$	12,9	$3,1 \times 10^{-3}$
A x B	16	401,8	$4,2 \times 10^{-2}$	188,5	$3,1 \times 10^{-2}$	69,1	$1,2 \times 10^{-2}$	7,9	$2,1 \times 10^{-3}$
Error	75	219,5		98,2		31,6		3,0	
Total	99								
CV (%)		47,6		23,4		12,8		2,6	
R <sup>2</sup>		0,7		0,7		0,8		0,7	

A: Factor luz      B: Factor AG3      AxB: Factor luz x Factor AG3

En relación al factor "Luz", se encontró un efecto altamente significativo en la germinación de las semillas durante los cuatro intervalos de tiempo estudiados (P-valor < 0.00 en todos los casos). Estos resultados respaldan de manera consistente una amplia literatura científica que destaca la importancia crucial de la luz en la germinación y el crecimiento inicial de las plantas. Según Paik y Huq (2019), los factores ambientales, incluida la luz, ejercen una fuerte influencia en la fisiología y desarrollo de las plantas. Estas, a su vez, han desarrollado mecanismos sofisticados para percibir señales externas y traducirlas en vías de señalización internas. Además, Kami et al. (2010) enfatiza que las plantas utilizan las señales de luz para controlar una amplia variedad de respuestas fisiológicas a lo largo de su ciclo de vida, como la apertura de los estomas y la germinación de las semillas. Este proceso de percepción de la luz en las plantas se lleva a cabo a través de fotorreceptores, como los fitocromos, criptocromos y fototropinas, como han señalado Casal (2000) y Kong y Okajima (2016).

En cuanto al efecto de las longitudes de luz en la pitahaya amarilla (*H. undatus*), las evidencias recopiladas sugieren firmemente que la luz juega un papel crítico en la germinación de las semillas de esta especie. En línea con esto, el estudio realizado por Lone et al. (2014) respalda esta afirmación al encontrar una influencia positiva de la luz en el proceso de germinación de las semillas de *H. undatus*. Además, se ha observado que especies pertenecientes a la misma familia que *H. undatus*, como *Hylocereus setaceus*, también presentan una alta sensibilidad a la luz en el proceso de germinación de sus semillas, según lo reportado por Simão et al. (2007).

En consecuencia, con base en los resultados obtenidos, se puede afirmar que la semilla de *H. undatus* exhibe una clara respuesta fotoblástica positiva, lo que significa que su germinación depende de la presencia de luz para desarrollarse con éxito. Esta conclusión se fundamenta en el estudio realizado por Zerpa et al. (2019), donde se reportó que la germinación de la semilla de *H. undatus* se vio limitada en ausencia de luz, descartando así la posibilidad de que sea una semilla de tipo fotoblástica negativa.

Además, diversos estudios han corroborado que un gran número de especies de la familia Cactaceae presentan respuestas fotoblásticas (Meiado et al., 2016; Zerpa et al., 2019), lo cual refuerza aún más la coherencia y validez de nuestros resultados.

En cuanto al factor "ácido giberélico", también se encontró un efecto altamente significativo en la germinación de las semillas durante los cuatro intervalos de tiempo (P-valor < 0.00 en todos los casos). Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la importancia del AG3 en la germinación. Según Bewley y Black (1982), el AG3 estimula la síntesis de enzimas hidrolíticas en la semilla, lo que desencadena la degradación de las reservas almacenadas. Esto proporciona los nutrientes esenciales para el crecimiento inicial de la plántula, un paso crítico en la germinación. Además, Leubner (2003) ha resaltado su capacidad para romper la latencia de la semilla y promover su salida del estado de dormancia, lo cual es esencial para el inicio del proceso germinativo.

Es importante mencionar que la interacción entre el factor "Luz" y el factor "AG3" también resultó ser significativa en los cuatro intervalos de tiempo. Esto sugiere que la combinación de ciertas longitudes de luz con determinadas concentraciones de ácido giberélico pudo potenciar o modificar el proceso de germinación, teniendo un impacto adicional más allá de los efectos individuales de cada factor.

El coeficiente de variación (CV) fue utilizado para medir la dispersión de los datos. Notamos que el CV disminuyó a medida que avanzó el tiempo de germinación. Esto

sugiere que la variabilidad en la germinación disminuyó con el tiempo, lo cual podría estar relacionado con el hecho de que, a los 48 días, el 100% de las semillas ya habían germinado. Esta tendencia hacia la homogeneización del proceso puede ser indicativa de un éxito generalizado en la germinación.

Por último, el R cuadrado ( $R^2$ ) fue una medida valiosa para evaluar cuánta variabilidad de los datos fue explicada por el modelo. En este estudio, los valores de  $R^2$  fueron relativamente altos, lo que indica que el modelo utilizado, que incluyó los factores "Luz" y "AG3" y su interacción, explicó una cantidad significativa de la variabilidad observada en la germinación de las semillas de pitahaya en los diferentes períodos de tiempo.

#### **4.1.2. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ )**

En la Tabla 4 se muestra la prueba Tukey aplicado a los datos de germinación de semillas a los 10, 20, 30 y 40 días proporciona una visión detallada de cómo diferentes longitudes de onda de luz afectan el proceso de germinación en la especie de pitahaya amarilla (*Hylocereus sp.*).

A los 10 días, se evidencia un impacto significativo de la luz en la germinación de las semillas. La luz roja (a3) y la luz amarilla (a1) presentan los valores más altos de germinación con medias de  $68.10 \pm 4.69$  y  $58.90 \pm 4.69$ , respectivamente. Estas dos condiciones de luz no difieren significativamente entre sí, lo que sugiere que ambas promueven una respuesta positiva en la germinación de las semillas. Por otro lado, la luz verde (a2), la luz azul (a4) y la luz visible (a5) exhiben medias de germinación más bajas, mostrando diferencias significativas con respecto a las condiciones de luz roja y amarilla.

El análisis a los 20 días revela que la influencia de la luz en la germinación de las semillas continúa siendo significativa. La luz roja (a3) y la luz amarilla (a1) nuevamente exhiben las medias más altas de germinación con valores de  $86.40 \pm 3.13$  y  $76.00 \pm 3.13$ , respectivamente. La luz azul (a4) también muestra una germinación significativamente alta, mientras que la luz verde (a2) y la luz visible (a5) tienen una germinación más moderada y se diferencian significativamente de las condiciones de luz roja y amarilla.

**Tabla 4.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en la germinación de semilla de pitahaya por efecto del factor luz.

10 días					20 días					30 días					40 días				
Factor Luz	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.	Factor Luz	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.	Factor Luz	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.	Factor Luz	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.
a <sub>3</sub>	68,10	$\pm$	4,69	a	a <sub>3</sub>	86,40	$\pm$	3,13	a	a <sub>3</sub>	99,80	$\pm$	1,78	a	a <sub>4</sub>	100,0	$\pm$	0,54	a
a <sub>1</sub>	58,90	$\pm$	4,69	a	a <sub>1</sub>	76,00	$\pm$	3,13	b	a <sub>4</sub>	95,20	$\pm$	1,78	ab	a <sub>3</sub>	100,0	$\pm$	0,54	a
a <sub>2</sub>	43,00	$\pm$	4,69	b	a <sub>4</sub>	73,20	$\pm$	3,13	b	a <sub>1</sub>	94,80	$\pm$	1,78	b	a <sub>1</sub>	100,0	$\pm$	0,54	a
a <sub>4</sub>	36,60	$\pm$	4,69	b	a <sub>2</sub>	67,60	$\pm$	3,13	b	a <sub>2</sub>	87,00	$\pm$	1,78	c	a <sub>2</sub>	98,60	$\pm$	0,54	a
a <sub>5</sub>	33,10	$\pm$	4,69	b	a <sub>5</sub>	53,50	$\pm$	3,13	c	a <sub>5</sub>	74,10	$\pm$	1,78	d	a <sub>5</sub>	96,00	$\pm$	0,54	b

a<sub>1</sub> = Luz amarilla (590 nm)      a<sub>2</sub> = Luz verde (564 nm)      a<sub>3</sub> = Luz rojo (700 nm)      a<sub>4</sub> = Luz azul (450 nm)  
a<sub>5</sub> = Luz visible      EE = Error estándar

**Tabla 5.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en la germinación de semilla de pitahaya por efecto del factor ácido giberélico.

10 días					20 días					30 días					40 días				
Factor ácido giberélico	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.	Factor ácido giberélico	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.	Factor ácido giberélico	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.	Factor ácido giberélico	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.
b <sub>5</sub>	61,50	$\pm$	4,69	a	b <sub>5</sub>	82,30	$\pm$	3,13	a	b <sub>5</sub>	95,80	$\pm$	1,78	a	b <sub>5</sub>	99,40	$\pm$	0,54	a
b <sub>4</sub>	58,90	$\pm$	4,69	a	b <sub>4</sub>	78,00	$\pm$	3,13	a	b <sub>4</sub>	93,40	$\pm$	1,78	ab	b <sub>4</sub>	99,40	$\pm$	0,54	a
b <sub>3</sub>	44,50	$\pm$	4,69	b	b <sub>3</sub>	67,40	$\pm$	3,13	b	b <sub>3</sub>	88,70	$\pm$	1,78	bc	b <sub>3</sub>	99,20	$\pm$	0,54	a
b <sub>1</sub>	37,90	$\pm$	4,69	b	b <sub>2</sub>	64,50	$\pm$	3,13	b	b <sub>2</sub>	88,10	$\pm$	1,78	c	b <sub>2</sub>	99,10	$\pm$	0,54	a
b <sub>2</sub>	36,90	$\pm$	4,69	b	b <sub>1</sub>	64,50	$\pm$	3,13	b	b <sub>1</sub>	84,90	$\pm$	1,78	c	b <sub>1</sub>	97,50	$\pm$	0,54	b

b<sub>1</sub> = 0 ppm de ácido giberélico      b<sub>2</sub> = 5 ppm de ácido giberélico      b<sub>3</sub> = 7 ppm de ácido giberélico      b<sub>4</sub> = 9 ppm de ácido giberélico  
b<sub>5</sub> = 11 ppm de ácido giberélico      EE = Error estándar

A los 30 días de evaluación, las diferencias en la germinación bajo diferentes longitudes de onda de luz se hacen más evidentes. La luz roja (a3) mantiene la mayor tasa de germinación con una media de  $99.80 \pm 1.78$ , seguida por la luz amarilla (a1) con  $94.80 \pm 1.78$ , y la luz azul (a4) con  $95.20 \pm 1.78$ . La luz verde (a2) muestra una germinación más moderada, mientras que la luz visible (a5) exhibe la menor tasa de germinación y se diferencia significativamente de las demás condiciones de luz.

A los 40 días, se observa una tendencia hacia la germinación completa en la mayoría de las condiciones de luz. Tanto la luz roja (a3) como la luz amarilla (a1) alcanzan una germinación del 100% con medias de  $100.0 \pm 0.54$ . La luz azul (a4) también presenta una germinación completa, mientras que la luz verde (a2) muestra una tasa de germinación elevada con una media de  $98.60 \pm 0.54$ . La luz visible (a5) exhibe una tasa de germinación ligeramente más baja con  $96.00 \pm 0.54$ .

En general, se puede concluir que las longitudes de onda de luz empleadas en el estudio, específicamente la luz roja (a3), la luz amarilla (a1) y la luz verde (a2), resultaron ser las más efectivas para estimular la germinación de las semillas de pitahaya en diferentes intervalos de tiempo analizados. Aunque la luz azul (a4) y la luz visible (a5) también presentaron un efecto positivo, en algunos casos mostraron medias ligeramente más bajas. Estos hallazgos respaldan sólidamente la influencia positiva de la luz roja (700 nm) en el proceso de germinación de las semillas de *Hylocereus sp.*, lo cual concuerda con investigaciones previas que han subrayado el papel beneficioso de esta longitud de onda en la germinación de diversas especies vegetales (Paniagua et al., 2015; Porras et al., 2020; Taboada, 2020; Zerpa et al., 2019).

La explicación de los resultados sobresalientes de la longitud de onda roja radica en la interacción de los fotorreceptores claves presentes en las plantas, específicamente el fitocromo, altamente sensible tanto a la luz roja como a la luz roja lejana en el rango de 600 a 750 nm (Paik y Huq, 2019). Por consiguiente, las semillas de pitahaya expuestas a la luz roja con una longitud de onda de 700 nm mostraron un porcentaje de germinación más elevado. Esto se debe a que el fitocromo presente en las semillas responde de manera específica a la luz roja dentro del rango de 600 a 700 nm. Autores como Kong y Okajima (2016) y Paik y Huq (2019) han mencionado en sus estudios que el fitocromo ejerce una influencia directa en el proceso de germinación de las semillas.

Por otro lado, los resultados favorables de la germinación de las semillas expuestas a la luz amarilla respaldan la noción de que esta longitud de onda de 590 nm, actúa como un estímulo en el proceso de germinación de las semillas de pitahaya. Aunque aún no se ha identificado un fotorreceptor específico en las plantas que sea directamente sensible a la luz amarilla, lo cual ha limitado la investigación sobre el efecto de esta longitud de onda en la germinación de semillas, se han llevado a cabo algunos estudios que proporcionan cierta evidencia al respecto. Un ejemplo destacado es el estudio realizado por Lal y Sachan (2017), en el cual se observó un efecto positivo de la luz amarilla en la germinación de las semillas de *Vigna unguiculata*, registrando un alto porcentaje de germinación en presencia de esta luz. Estos hallazgos sugieren la existencia de mecanismos complejos y aún no completamente comprendidos que podrían estar involucrados en la respuesta de las semillas a la luz amarilla durante el proceso de germinación.

En cuanto al tratamiento con luz verde, si bien también resultó en una alta germinación, su efecto en la variable medida fue menos pronunciado en comparación con los tratamientos de luz roja y luz amarilla. Estos resultados sugieren una posible menor influencia de la luz verde en el proceso de germinación en contraste con otras longitudes de onda lumínicas. Es importante destacar que la investigación centrada en el impacto específico de la luz verde en la germinación y desarrollo de las plantas es, hasta la fecha, relativamente limitada. No obstante, en los limitados estudios previos que han investigado el efecto de la longitud de onda de la luz verde en la germinación de las semillas, se ha observado de manera consistente que dicha longitud de onda no ha tenido un efecto positivo en la germinación de las semillas de maíz. Además, en el caso específico de la germinación de *Vigna unguiculata*, se ha evidenciado incluso un efecto negativo en presencia de luz verde (Lal y Sachan, 2017; Ortiz, 2017). Estos resultados están vinculados al hecho de que los fotoreceptores identificados hasta el momento no muestran una alta sensibilidad a la luz verde, y además, el fitocromo, un fotorreceptor ampliamente involucrado en la regulación de la germinación de las semillas, tampoco es sensible a esta longitud de onda lumínica (Kong y Okajima, 2016; Paik y Huq, 2019). Esta falta de respuesta significativa de los fotoreceptores a la luz verde podría explicar la ausencia de un efecto beneficioso en comparación con las luces roja y amarilla.

Respecto al tratamiento con luz azul, es importante destacar que esta longitud de onda, que oscila entre 320 y 500 nm, se encuentra en el rango de longitudes de onda que generalmente activan los fotorreceptores, junto con la luz roja (Paik y Huq, 2019). En

particular, la luz azul desencadena respuestas específicas en los fotorreceptores conocidos como criptocromos y fototropinas, según lo sustentan los estudios realizados por Christie et al. (2015). No obstante, es relevante mencionar que estos fotorreceptores no están directamente implicados en el proceso de germinación de las semillas, como ha sido confirmado en investigaciones previas llevadas a cabo por Kong y Okajima (2016). Esta consideración podría explicar por qué los resultados de germinación con la luz azul no fueron tan favorables como aquellos obtenidos con la luz roja.

Por otra parte, es interesante mencionar que existen estudios en los cuales la luz azul ha demostrado tener efectos positivos en la germinación de ciertas especies vegetales, como se ha evidenciado en la investigación realizada por Ortiz (2017) con semillas de maíz. Esto sugiere que los efectos de la luz azul pueden variar significativamente según la especie vegetal bajo estudio.

Además, se observa una marcada tendencia hacia una alta tasa de germinación, cercana al 100%, en todas las condiciones de luz a los 40 días de iniciado el experimento. Para el día 48, esta tendencia se consolidó al alcanzar un 100% de semillas germinadas en todas las condiciones de luz. Estos resultados sugieren que las semillas de pitahaya poseen una notable capacidad para completar exitosamente su proceso germinativo, independientemente de la luz inicial a la que estén expuestas. Esta adaptación podría estar vinculada a mecanismos internos de la semilla y la regulación hormonal, los cuales facilitan la superación de la latencia y el consecuente inicio de la germinación.

En cuanto al factor Acido giberélico (Tabla 5) Se realizaron observaciones a los 10, 20, 30 y 40 días después de iniciado el experimento para evaluar el efecto de las distintas concentraciones de AG3 en el proceso germinativo. Para este propósito, se utilizaron cinco niveles de concentración de ácido giberélico, representados por 0 ppm, 5 ppm, 7 ppm, 9 ppm y 11 ppm.

A los 10 días, los resultados revelaron una marcada influencia del AG3 en la germinación de las semillas. Las concentraciones más altas de AG3 (b5 y b4), con 11 ppm y 9 ppm respectivamente, demostraron un significativo aumento en la tasa de germinación, alcanzando valores promedio del 61.50% y 58.90% respectivamente. Estas concentraciones se ubicaron en el grupo "a" y no mostraron diferencias significativas entre sí, lo que sugiere que el AG3 a estas dosis promueve un incremento similar en la germinación. Por otro lado, las

concentraciones b3, b2 y b1 (7 ppm, 5 ppm y 0 ppm de ácido giberélico respectivamente), clasificaron en el grupo "b", con valores de germinación más bajos, reflejando una respuesta menos favorable ante la ausencia o menor presencia de AG3.

A los 20 días, los patrones se mantuvieron consistentes. Las concentraciones b5 y b4 aún lideraron el grupo "a" con una germinación promedio de 82.30% y 78.00% respectivamente, mientras que las concentraciones b3, b2 y b1 permanecieron en el grupo "b" con niveles de germinación más moderados.

El análisis a los 30 días mostró una continuación de las tendencias anteriores. Las concentraciones b5 y b4 continuaron en el grupo "a", alcanzando una germinación promedio de 95.80% y 93.40% respectivamente. El grupo "b", conformado por las concentraciones b3, b2 y b1, mostró un promedio de germinación de 88.70% para b3, 88.10% para b2 y 84.90% para b1.

A los 40 días, se observó que las concentraciones b5 y b4 seguían liderando el grupo "a", logrando una germinación promedio del 99.40% para ambas. El grupo "b" mantuvo valores más bajos, con una germinación promedio del 99.20% para b3, 99.10% para b2 y 97.50% para b1. La concentración b1, sin embargo, se distanció ligeramente del grupo "b" y formó el grupo "c", lo que indica una leve diferencia en la germinación a esta concentración en particular

Los resultados prometedores obtenidos con mayores concentraciones de AG3 son consistentes con el conocido efecto estimulante de esta fitohormona en la germinación (Pohanish, 2015). Carvalho et al. (2022 y Carvalho et al. (2023) llevaron a cabo estudios específicos para investigar el impacto del tratamiento pregerminativo con AG3 en las semillas de pitahaya, tanto bajo condiciones de déficit hídrico como para mitigar el estrés salino. Ambos estudios concuerdan en que la aplicación de AG3 tuvo un efecto positivo al estimular la germinación y mejorar el rendimiento fisiológico de las semillas de *H. undatus*.

Estos hallazgos respaldan los resultados favorables obtenidos con concentraciones de 11 ppm y 9 ppm de Ácido giberélico, tal como se evidencian en la presente investigación, fortaleciendo así la relevancia del ácido giberélico como una herramienta eficaz para mejorar la germinación y fomentar el desarrollo exitoso de la especie de pitahaya.

Asimismo, el estudio realizado por Santos et al. (2022) también contribuye

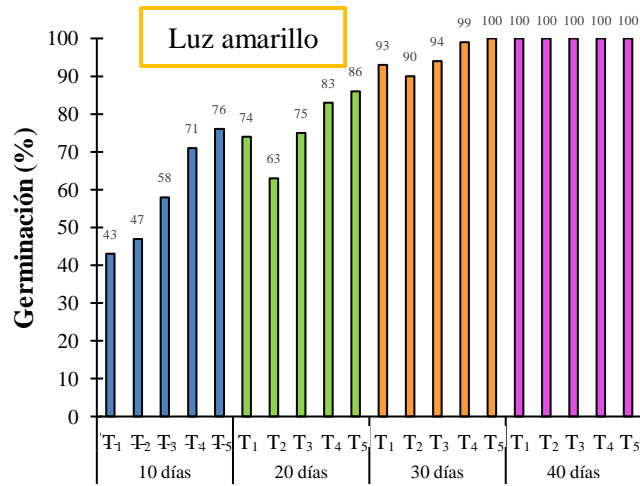
significativamente a esta discusión al investigar el efecto del AG3 en la germinación de las semillas de pitahaya, destacando el aumento significativo en la emergencia de las semillas con el uso de dosis óptimas de esta fitohormona. Esta observación reafirma la idea de que una dosificación adecuada de AG3 puede ser fundamental para mejorar la eficiencia del proceso de germinación, lo que podría tener implicaciones valiosas para la propagación y producción de la especie.

La Figura 2 muestra de forma explícita el perfil de germinación de *Hylocereus* sp. bajo la influencia de distintas longitudes de onda de luz y concentraciones variables de ácido giberélico. A los 10 días de comenzar los tratamientos, se destaca notoriamente la efectividad de la luz roja, especialmente en los tratamientos T<sub>2</sub> a T<sub>5</sub>, donde los índices de germinación varían entre el 51% y el 82%. Con el avance del tiempo, este patrón se hace más pronunciado, y para el día 30, la tasa de germinación bajo la luz roja se eleva o se aproxima al 100% en todos los tratamientos, a excepción de T<sub>1</sub>. Este fenómeno evidencia la relevancia de esta longitud de onda en la promoción de los mecanismos germinativos de las semillas.

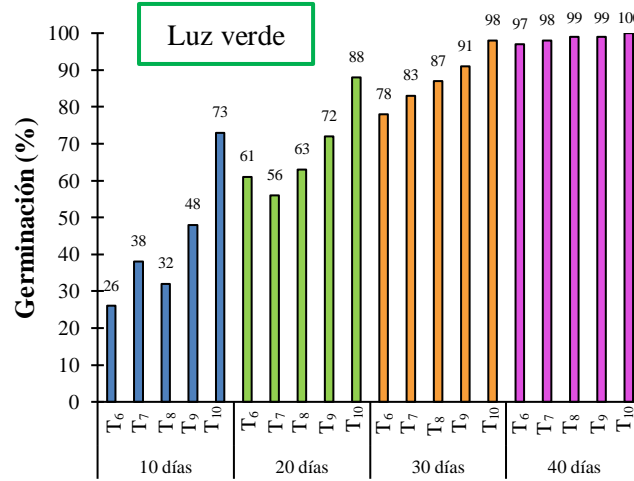
En lo que respecta a la luz amarilla, se evidencia un progreso notable: aunque los resultados iniciales son más moderados, la germinación se intensifica con el tiempo y la concentración del ácido giberélico. Para el día 30, el tratamiento T<sub>10</sub> bajo luz amarilla exhibe una germinación del 100%, lo que revela una respuesta acumulativa altamente favorable a esta longitud de onda en combinación con la máxima concentración de ácido giberélico probada.

La luz azul, por su parte, presenta un comienzo más lento en la germinación, con porcentajes más bajos en los tratamientos T<sub>16</sub> y T<sub>17</sub> al inicio. Sin embargo, se observa una aceleración considerable en la respuesta germinativa a medida que aumenta la concentración de ácido giberélico, culminando en un 95% de germinación para el tratamiento T<sub>20</sub> a los 30 días.

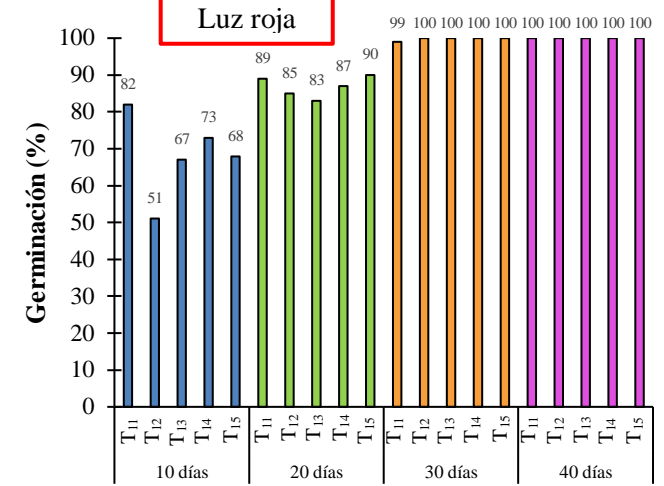
La germinación bajo luz verde y luz visible sigue un patrón de mejora constante, alcanzando significativamente altos porcentajes de germinación al final del periodo de observación, especialmente con concentraciones elevadas de ácido giberélico. Cabe destacar que, aunque la luz visible no supera la eficiencia inicial de las longitudes de onda LED, su rendimiento a los 40 días es comparable, demostrando así su viabilidad en condiciones menos controladas.



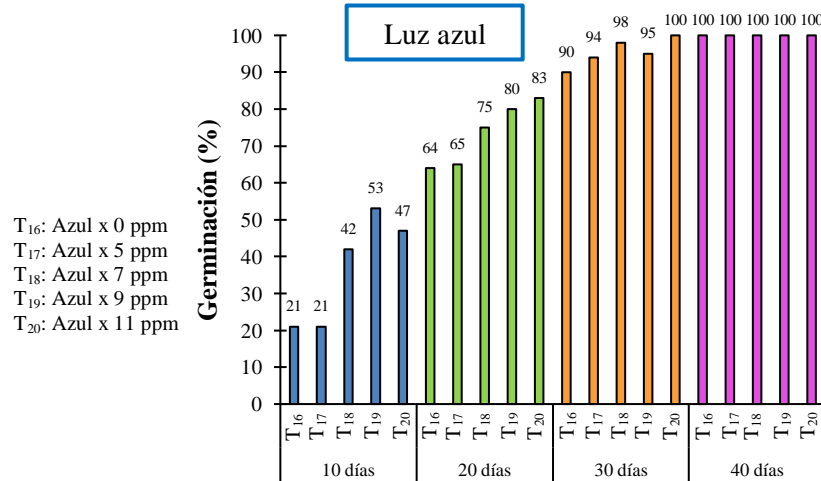
T<sub>1</sub>: Amarillo x 0 ppm T<sub>2</sub>: Amarillo x 5 ppm T<sub>3</sub>: Amarillo x 7 ppm  
 T<sub>4</sub>: Amarillo x 9 ppm T<sub>5</sub>: Amarillo x 11 ppm



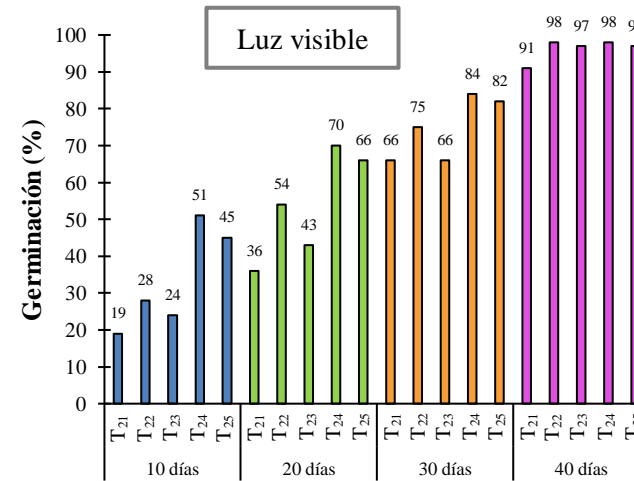
T<sub>6</sub>: Verde x 0 ppm T<sub>7</sub>: Verde x 5 ppm T<sub>8</sub>: Verde x 7 ppm  
 T<sub>9</sub>: Verde x 9 ppm T<sub>10</sub>: Verde x 11 ppm



T<sub>11</sub>: Rojo x 0 ppm T<sub>12</sub>: Rojo x 5 ppm T<sub>13</sub>: Rojo x 7 ppm  
 T<sub>14</sub>: Rojo x 9 ppm T<sub>15</sub>: Rojo x 11 ppm



T<sub>16</sub>: Azul x 0 ppm  
 T<sub>17</sub>: Azul x 5 ppm  
 T<sub>18</sub>: Azul x 7 ppm  
 T<sub>19</sub>: Azul x 9 ppm  
 T<sub>20</sub>: Azul x 11 ppm



T<sub>21</sub>: Visible x 0 ppm  
 T<sub>22</sub>: Visible x 5 ppm  
 T<sub>23</sub>: Visible x 7 ppm  
 T<sub>24</sub>: Visible x 9 ppm  
 T<sub>25</sub>: Visible x 11 ppm

Figura 2. Porcentaje de germinación bajo diferentes longitudes de onda a lo largo del tiempo.

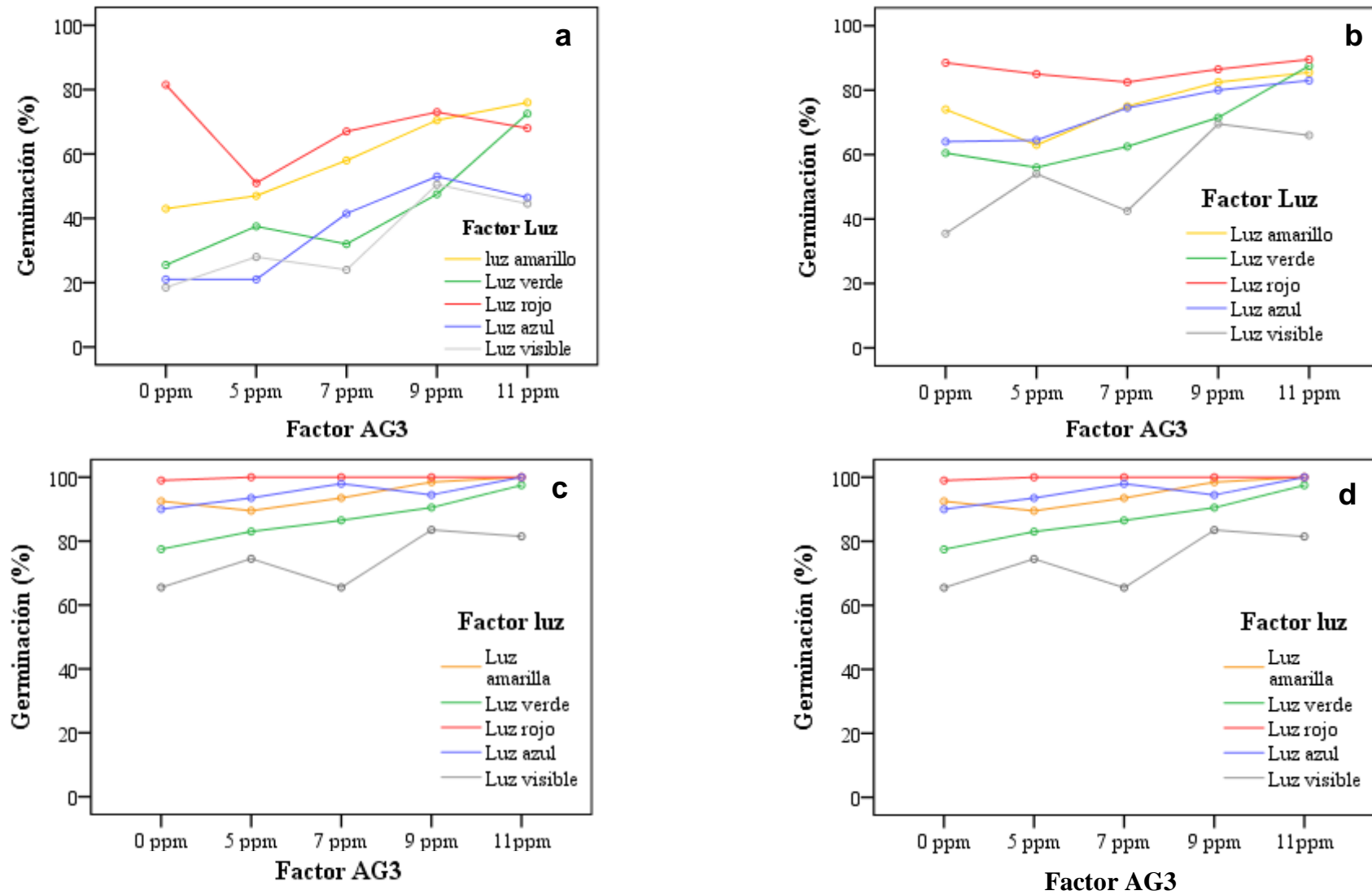
### 4.1.3. Interacción de los factores

Las Figuras 3 y 4 despliegan la interacción significativa entre la luz y el ácido giberélico (AG3) en la germinación de *Hylocereus sp.* a lo largo de cuatro intervalos temporales: 10, 20, 30 y 40 días, tal como se evidencia en el análisis de varianza presentado en la Tabla 3. Para facilitar la comprensión de estas interacciones, la Figura 3 posiciona el AG3 en el eje Y, mientras que la Figura 4 asigna este eje a la variable luz. Cada figura se compone de cuatro subpaneles, etiquetados como a, b, c y d, correspondientes a los días mencionados del experimento.

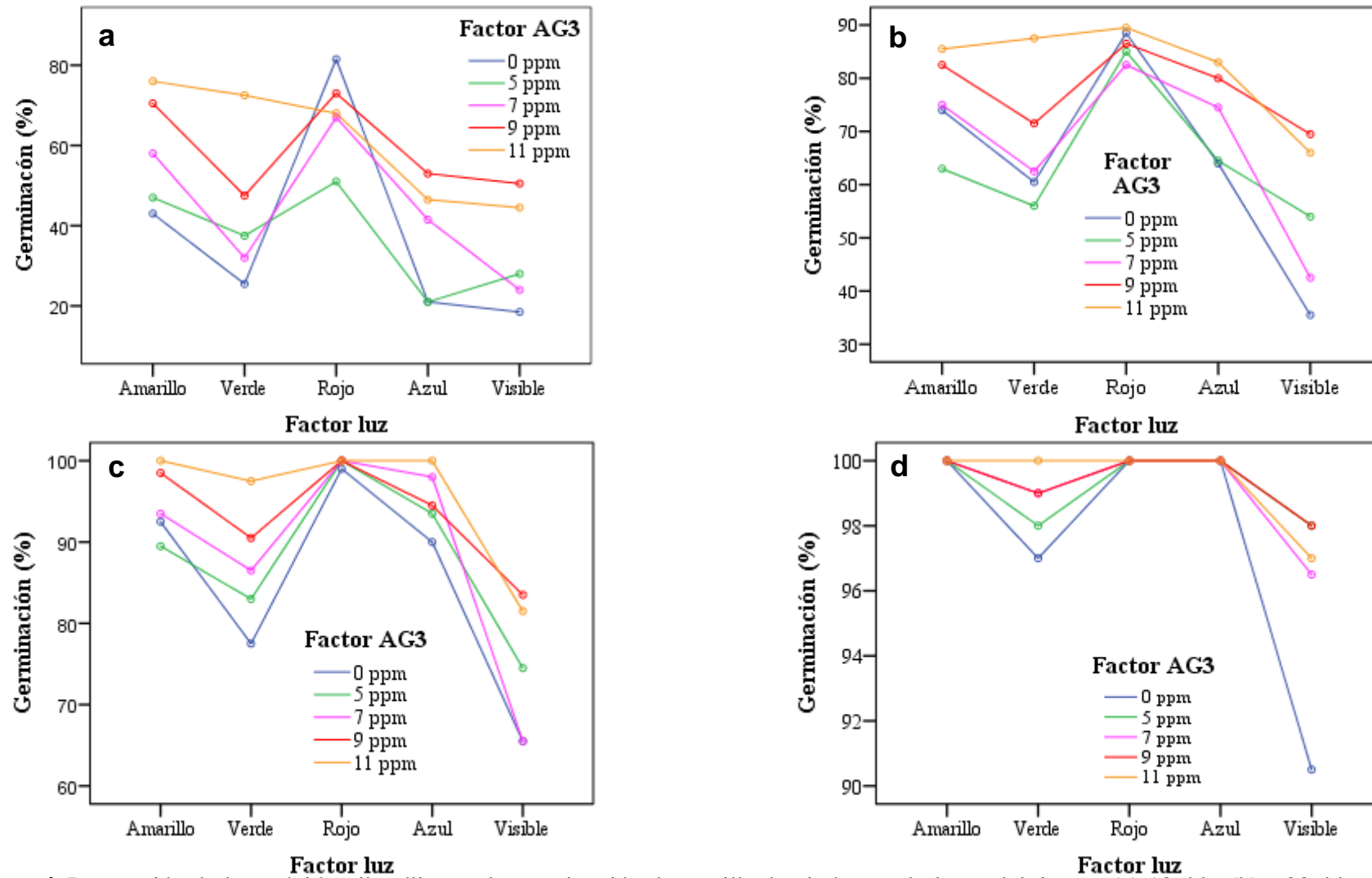
Específicamente, la Figura 3 (a), correspondiente al día 10, revela una tendencia general de incremento en la germinación con el aumento de la concentración de AG3. No obstante, se observa una notable excepción bajo la luz roja con 0 ppm de AG3, donde, contrariamente a las expectativas, se registra una tasa de germinación superior al 80%, superando las demás combinaciones. Este fenómeno se examina desde otra perspectiva en la Figura 4a, destacando la eficacia de esta combinación particular. Diversos estudios han resaltado los beneficios de la luz roja en la germinación (Lal y Sachan, 2017; Rojas et al., 1997). Según Brian (1959), cada especie presenta una respuesta específica a determinadas concentraciones de AG3, sugiriendo que cantidades excesivas podrían incluso inhibir la germinación. Además, la presencia de luz roja con 0 ppm de AG3 no implica la ausencia de giberelinas activas en la planta, ya que, como indican Yamaguchi y Kamiya (2001), la luz roja desempeña un papel crucial en la germinación al estimular la producción de ácido giberélico. Este proceso se ve reforzado por la actividad de genes específicos responsables de la síntesis de este ácido. Por lo tanto, más allá de la alta sensibilidad del fitocromo a la luz roja (Paik y Huq, 2019), la luz roja también contribuye a la síntesis de AG3. Estas observaciones subrayan la importancia de la longitud de onda roja en la germinación de semillas, particularmente en *Hylocereus sp.*, como se evidencia en las interacciones observadas en las Figuras 3 y 4 durante los 40 días de estudio.

Avanzando en la secuencia temporal, las Figura 3 (b y c), correspondientes a los días 20 y 30, respectivamente, exhiben una disminución progresiva de la influencia preeminente del AG3 en el proceso de germinación. Esta tendencia alcanza una manifestación más palpable en la Figura 3 (c), donde se aprecia que la mayoría de las longitudes de onda de luz se aproximan a un porcentaje de germinación cercano al 100%, un fenómeno que parece ser relativamente independiente de las concentraciones de AG3. Este patrón se consolida y se hace universal en

la Figura 3 (d), al cuadragésimo día, momento en el que se observa una uniformidad en la germinación a lo largo de todas las longitudes de onda de luz, indistintamente de las concentraciones de AG3. Estos hallazgos apuntan hacia una interacción altamente compleja y dinámica entre la luz y el AG3 en la germinación de las semillas de pitahaya, sugiriendo que, con la prolongación del tiempo de exposición, la especificidad de la combinación de estos factores disminuye, culminando en un proceso de germinación homogeneizado y generalizado bajo todas las condiciones experimentales analizadas.



**Figura 3.** Interacción de luz y ácido giberélico en la germinación de semilla de pitahaya a lo largo del tiempo (a) 10 dds, (b) a 20 dds, (c) a 30 dds y (d) a 40 dds.



**Figura 4.** Interacción de luz y ácido giberélico en la germinación de semilla de pitahaya a lo largo del tiempo (a) 10 dds, (b) a 20 dds, (c) a 30 dds y (d) a 40 dds

## 4.2. Plántula de pitahaya

### 4.2.1. Plántulas normales

#### a) Análisis de varianza

El análisis de varianza en la Tabla 6, reveló que el factor Luz tiene un efecto altamente significativo en el porcentaje de plántulas normales (P-valor =  $1.3 \times 10^{-7}$ ). Esto indica que las distintas longitudes de onda de luz a las que se sometieron las plántulas de pitahaya influyeron significativamente en su desarrollo, favoreciendo o restringiendo la formación de plántulas normales. Específicamente, se observaron diferencias significativas entre los niveles de luz amarilla, verde, roja, azul y natural, lo que sugiere que cada tipo de luz puede tener un impacto único en la formación de plántulas normales de pitahaya.

Por otro lado, el factor Ácido giberélico no mostró una diferencia significativa en el porcentaje de plántulas normales (P-valor = 0.158). Esto indica que las diferentes concentraciones de Ácido giberélico evaluadas no generaron cambios significativos en el desarrollo de las plántulas de pitahaya en términos de plántulas normales. Sin embargo, es importante destacar que aunque la diferencia no fue significativa, el análisis podría sugerir tendencias o efectos más sutiles en el desarrollo de plántulas según la concentración de Ácido giberélico.

**Tabla 6.** Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para el porcentaje de plántulas normales de pitahaya a los 48 dds en invernadero.

Análisis de varianza	G.L	C.M.	F cal	P - valor
Luz (A)	4	127,1	12,0	$1,3 \times 10^{-7}$
Ácido giberélico (B)	4	18,1	1,7	0,1
Luz (A) x Acido giberélico (B)	16	8,5	0,8	0,6
Error experimental	75	10,6		
Total	99			

$$R^2 = 0,475$$

$$CV = 4\%$$

Al analizar la interacción entre los factores Luz y Ácido giberélico, se encontró que esta interacción no tuvo un efecto significativo en el porcentaje de plántulas normales (P-valor = 0.672). Esto indica que la combinación de los diferentes niveles de luz con las distintas concentraciones de Ácido giberélico no generó diferencias significativas en el desarrollo de las plántulas en términos de plántulas normales. Es decir, las respuestas de las plántulas a los

factores evaluados parecen ser independientes entre sí y no se potenciaron ni se anularon mutuamente.

El valor del coeficiente de determinación  $R^2$  (0.475) sugiere que aproximadamente el 47.5% de la variabilidad en el porcentaje de plántulas normales puede ser explicada por los factores Luz y Ácido giberélico incluidos en el análisis de varianza. Aunque no se alcanza un valor cercano a 1, esto indica que ambos factores tienen una influencia moderada en el porcentaje de plántulas normales, y aún queda una cantidad significativa de variabilidad no explicada que podría deberse a otros factores no considerados en el estudio.

El coeficiente de variación (CV) del 4% revela que el porcentaje de plántulas normales presenta una variabilidad relativamente baja en relación con la media de la muestra. Esta baja variabilidad fortalece la consistencia y confiabilidad de los resultados obtenidos, lo que realza la solidez.

#### **b) Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ )**

Los resultados de la Prueba de Tukey, mostrados en la Tabla 7, indican que el nivel de luz visible tuvo un porcentaje promedio significativamente más alto de plántulas normales (98.5%) en comparación con otros niveles de luz. Este resultado distingue al tratamiento de luz visible con la letra 'a', señalando que fue estadísticamente diferente y condujo a una mayor proporción de plántulas normales. En contraste, los niveles de luz verde, amarillo, azul y roja, con porcentajes ligeramente menores, se agrupan bajo la letra 'b', sugiriendo la ausencia de diferencias significativas entre ellos en cuanto a su efecto en el desarrollo de plántulas normales.

**Tabla 7.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en plántulas normales con el factor luz en invernadero.

<b>Niveles de luz</b>	<b>Plántulas normales</b>			<b>Grupo</b>
Luz visible	98,500	±	1,028	a
Luz verde (564 nm)	93,300	±	1,028	b
Luz amarilla (590 nm)	93,100	±	1,028	b
Luz azul (450 nm)	93,000	±	1,028	b
Luz rojo (700 nm)	92,300	±	1,028	b

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

La Tabla 7 proporciona evidencia de que diferentes longitudes de onda de luz son beneficiosas para la formación de plántulas normales, lo cual puede explicarse por la capacidad de estas longitudes de onda para evitar la etiolación. Este fenómeno, un crecimiento anormal

en ausencia de luz, puede resultar en plántulas débiles y delgadas. Al exponer las plántulas a diferentes longitudes de onda de luz, se contrarresta este efecto adverso, subrayando el papel clave de los fitocromos y criptocromos, fotorreceptores principales involucrados en la eliminación de la etiolación, según Kong y Okajima (2016) y Paik y Huq (2019).

Los resultados prometedores de la luz visible en la formación de plántulas normales concuerdan con hallazgos previos de Lal y Sachan (2017), quienes reportaron que la luz visible favoreció el crecimiento óptimo de las raíces y tallos en semillas de *Vigna unguiculata*. Estos resultados enfatizan la importancia de la luz visible como un factor crucial en el desarrollo exitoso de las plántulas, lo cual es de gran relevancia para la propagación y el cultivo de diversas especies vegetales.

## **4.2.2. Altura**

### **a) Análisis de varianza**

La Tabla 8 presenta un análisis de varianza para la altura de plántulas de pitahaya expuestas a diferentes longitudes de onda de luz (Factor A) y concentraciones de ácido giberélico (Factor B) a lo largo de varias etapas de crecimiento: 30, 60, 90, 120 y 140 días tras el trasplante. El factor luz (A) es altamente significativo ( $p\text{-valor} = 2.3 \times 10^{-11}$ ) a los 30 días, disminuyendo su significancia progresivamente hasta los 120 días. A los 140 días, este factor no resulta significativo. Por otro lado, el factor AG3 (B) muestra alta significancia en las etapas tempranas (30 y 60 días) y deja de ser significativo desde los 90 hasta los 140 días. La interacción entre luz y AG3 (AxB) solo es significativa a los 120 días y no muestra significancia en las demás evaluaciones.

El análisis también revela que el Coeficiente de Variación (CV), fluctuando entre 26% y 35%, denota una variabilidad sustancial en el crecimiento de la pitahaya a lo largo del tiempo. Esto podría ser indicativo de la diversidad en las respuestas individuales a las condiciones de luz y ácido giberélico, o de la influencia de otros factores no contemplados en el estudio. Adicionalmente, el valor decreciente de R cuadrado ( $R^2$ ), que pasa del 60% al 35%, sugiere una disminución en la capacidad de los factores estudiados para explicar la variabilidad en el crecimiento de la pitahaya a medida que el tiempo avanza, apuntando hacia la posible relevancia de otras variables no incluidas en el análisis.

**Tabla 8.** Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para altura de plántulas de pitahaya en invernadero.

Fuente de variación	GL	30 días		60 días		90 días		120 días		140 días	
		CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor
A	4	224,5	$2,3 \times 10^{-11}$	521,3	$2,0 \times 10^{-8}$	701,3	$3,3 \times 10^{-3}$	992,5	$9,6 \times 10^{-2}$	1004,5	0,2
B	4	34,8	$1,9 \times 10^{-2}$	157,1	$4,4 \times 10^{-3}$	274,3	0,2	887,2	0,1	1023,7	0,2
A x B	16	13,5	0,27	59,1	0,1	281,7	0,1	904,8	$3,8 \times 10^{-2}$	1155,8	0,1
Error	75	11,1		38,1		162,0		485,6		656,5	
Total	99										
CV (%)		35,09		27,89		26,00		28,40		26,22	
R <sup>2</sup>		0,60		0,56		0,41		0,38		0,35	

A: Factor luz    B: Factor AG3    AXB: Factor luz x Factor AG3

### b) Prueba de tukey ( $\alpha=0.05$ )

Tras un análisis de varianza en el cual el factor luz resultó ser significativo, la prueba de Tukey, presentada en la Tabla 9, ofrece un análisis detallado sobre la influencia de diferentes longitudes de onda de luz en la altura de *Hylocereus sp.* a lo largo de tres intervalos de tiempo: 30, 60 y 90 días. A los 30 días, se observa que la luz verde (a2) promueve la altura más elevada, con un promedio de 17.5 mm, distinguiéndose significativamente de la luz roja (a3) y la luz azul (a4), las cuales registran alturas de 9.4 mm y 12.9 mm respectivamente. La luz amarilla (a1), con una altura promedio de 15.3 mm, también se diferencia notablemente de las longitudes de onda menos eficaces.

Progresando hacia los 60 días, la preeminencia de la luz verde se mantiene, alcanzando una altura promedio de 35.9 mm, notablemente superior a la obtenida bajo luz roja y luz visible, que registran menores promedios de altura. Las alturas bajo la luz amarilla y azul, si bien no alcanzan las cifras de la luz verde, se mantienen competitivas y eficaces.

Al llegar a los 90 días, se nota una convergencia en la eficacia de las diferentes longitudes de onda, con la luz verde, amarilla y azul mostrando alturas promedio similares de 61.1 mm, 60.8 mm y 50.1 mm respectivamente. La luz roja, con un promedio de 48.4 mm, se identifica consistentemente como la menos eficaz en estimular el crecimiento en altura.

**Tabla 9.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en altura con el factor luz en invernadero.

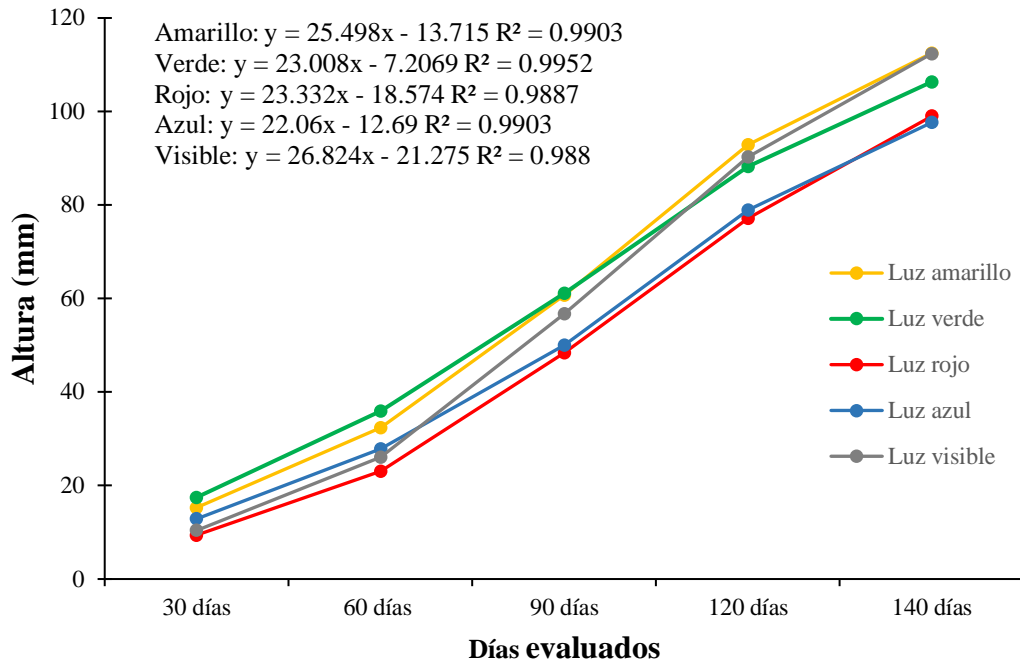
30 días				60 días				90 días			
Factor Luz	$\bar{x}$	$\pm$ EE	Sig.	Factor Luz	$\bar{x}$	$\pm$ EE	Sig.	Factor Luz	$\bar{x}$	$\pm$ EE	Sig.
a <sub>2</sub>	17,5	$\pm$ 1,1	a	a <sub>2</sub>	35,9	$\pm$ 2,0	a	a <sub>2</sub>	61,1	$\pm$ 4,02	a
a <sub>1</sub>	15,3	$\pm$ 1,1	ab	a <sub>1</sub>	32,4	$\pm$ 2,0	ab	a <sub>1</sub>	60,8	$\pm$ 4,02	a
a <sub>4</sub>	12,9	$\pm$ 1,1	bc	a <sub>4</sub>	27,9	$\pm$ 2,0	bc	a <sub>5</sub>	56,8	$\pm$ 4,02	ab
a <sub>5</sub>	10,4	$\pm$ 1,1	cd	a <sub>5</sub>	26,1	$\pm$ 2,0	c	a <sub>4</sub>	50,1	$\pm$ 4,02	ab
a <sub>3</sub>	9,4	$\pm$ 1,1	d	a <sub>3</sub>	23,1	$\pm$ 2,0	c	a <sub>3</sub>	48,4	$\pm$ 4,02	b

a<sub>1</sub> = Luz amarilla (590 nm)      a<sub>2</sub> = Luz verde (564 nm)      a<sub>3</sub> = Luz rojo (700 nm)  
a<sub>4</sub> = Luz azul (450 nm)      a<sub>5</sub> = Luz visible      EE = Error estándar

El análisis exhaustivo de los datos, particularmente evidente en los resultados presentados en la Tabla 9 y validados mediante la prueba de Tukey, demuestra que la luz verde ha inducido un crecimiento más significativo en *Hylocereus sp.* durante los intervalos de 30, 60 y 90 días en comparación con otras longitudes de onda. Investigaciones recientes, incluyendo el estudio de Smith et al. (2017), respaldan la idea de que la luz verde podría tener un papel más integral en la fotosíntesis de lo que se consideraba anteriormente. Esta longitud de onda muestra una penetración eficiente en el tejido de los cladodios de las Cactaceae, facilitando potencialmente una fotosíntesis más optimizada en las regiones más profundas y menos expuestas de estos órganos fotosintéticos, un factor crucial para el crecimiento de especies con alta densidad foliar como *Hylocereus sp.*

Sin embargo, como se observa en la Figura 5, que ilustra la evolución del crecimiento desde los 30 hasta los 140 días, y considerando los intervalos que no mostraron diferencias significativas en el análisis de varianza del factor luz (Tabla 8), en los días 120 y 140, se aprecia que la luz amarilla y la luz visible superan el rendimiento de la luz verde, que prevaleció durante las primeras fases. Yang et al. (2019) sugieren que la eficacia de la luz amarilla en el crecimiento de *Epimedium pseudowushanense* puede atribuirse a su capacidad para incrementar la eficiencia fotosintética y estimular la expresión de genes asociados a la biosíntesis de flavonoides. Estos genes podrían estar implicados en vías metabólicas esenciales para el crecimiento y la salud de la planta. Por tanto, se podría postular que la transición de un crecimiento más acelerado bajo luz verde a una mejora sustancial bajo luz amarilla puede estar relacionada con las cambiantes necesidades fisiológicas de la planta durante su desarrollo. En

las fases iniciales, la luz verde parece ser más eficaz para estimular la expansión y el crecimiento, mientras que en etapas más avanzadas, la luz amarilla favorecería una mayor eficiencia fotosintética y la acumulación de biomasa.



**Figura 5.** Evolución temporal del crecimiento (altura) vertical de *Hylocereus sp.* en respuesta a la luz (LED) a los 30, 60, 90, 120 y 140 días en invernadero.

El estudio sobre el impacto del factor AG3 en el desarrollo de la pitahaya, analizado mediante el análisis de varianza, muestra resultados significativos a los 30 y 60 días de tratamiento. La Tabla 10, que incluye los resultados de la prueba de Tukey, revela que, a los 30 días, la aplicación de 0 ppm de AG3 (b1) condujo a la mayor altura promedio observada en las plantas, alcanzando los 14.7 mm. Este resultado sugiere que la ausencia de AG3 en las etapas tempranas de crecimiento puede ser beneficiosa para el desarrollo vertical de la pitahaya. Las concentraciones intermedias de AG3 (5 ppm en b2, 7 ppm en b3 y 11 ppm en b5) mostraron alturas promedio similares, oscilando entre 12.7 y 13.5 mm, y no exhibieron diferencias estadísticas significativas entre sí. Sin embargo, la concentración de 9 ppm (b4) se asoció con una altura significativamente menor (11.1 mm), lo que indica una posible inhibición del crecimiento a esta concentración específica de ácido giberélico.

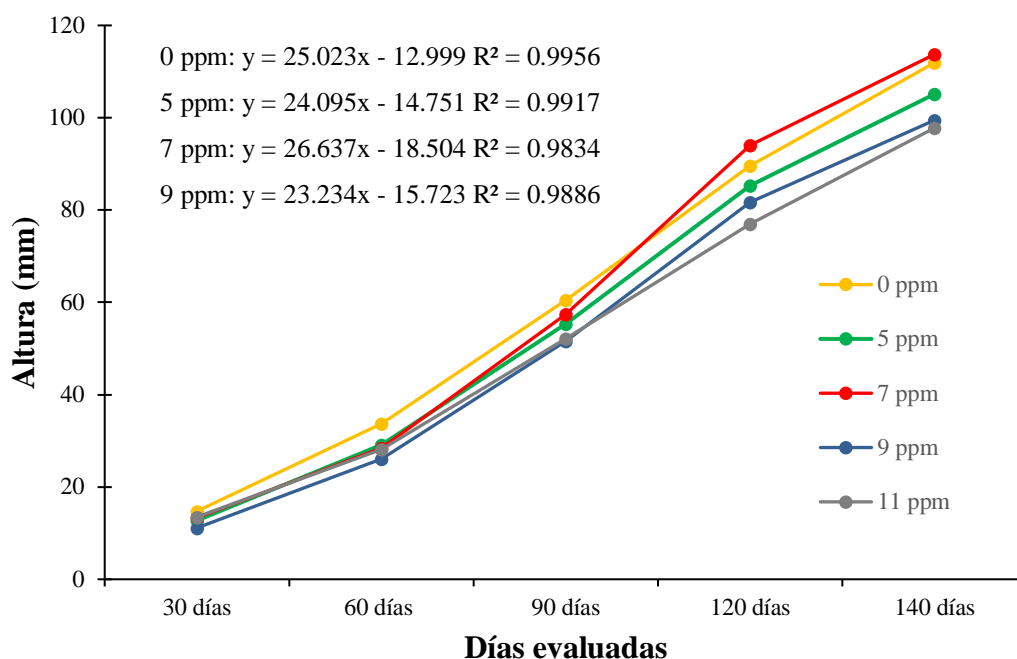
**Tabla 10.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para altura con el factor ácido giberélico en un invernadero.

30 días					60 días				
Factor ácido giberélico	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.	Factor ácido giberélico	$\bar{x}$	$\pm$	EE	Sig.
b <sub>1</sub>	14,7	$\pm$	1,1	a	b <sub>1</sub>	33,6	$\pm$	2,0	a
b <sub>5</sub>	13,5	$\pm$	1,1	ab	b <sub>2</sub>	29,2	$\pm$	2,0	ab
b <sub>3</sub>	13,3	$\pm$	1,1	ab	b <sub>3</sub>	28,5	$\pm$	2,0	ab
b <sub>2</sub>	12,7	$\pm$	1,1	ab	b <sub>5</sub>	28,2	$\pm$	2,0	b
b <sub>4</sub>	11,1	$\pm$	1,1	b	b <sub>4</sub>	26,0	$\pm$	2,0	b

b<sub>1</sub>= 0 ppm de ácido giberélico  
 b<sub>3</sub>= 7 ppm de ácido giberélico  
 b<sub>5</sub>= 11 ppm de ácido giberélico  
 b<sub>2</sub>= 5 ppm de ácido giberélico  
 b<sub>4</sub>= 9 ppm de ácido giberélico  
 EE = Error estándar

A los 60 días, se mantiene la tendencia observada a los 30 días. La concentración de 0 ppm de AG3 (b<sub>1</sub>) sigue siendo la más efectiva, registrando una altura promedio de 33.6 mm. Las concentraciones de 5 ppm (b<sub>2</sub>) y 7 ppm (b<sub>3</sub>) mantienen un efecto positivo, similar al observado a los 30 días, con alturas que no difieren significativamente de la observada con 0 ppm de AG3. Por otro lado, las concentraciones más altas de 11 ppm (b<sub>5</sub>) y 9 ppm (b<sub>4</sub>) se asocian con alturas menores, 28.2 mm y 26.0 mm respectivamente, reforzando la hipótesis de que concentraciones más elevadas de AG3 pueden no ser beneficiosas para el crecimiento óptimo de la pitahaya en esta fase de desarrollo.

La Figura 6 despliega con claridad la progresión del crecimiento vertical de *Hylocereus sp.* a lo largo del tiempo, con una atención particular a los datos de los primeros 60 días. Durante este intervalo inicial, se registraron diferencias estadísticamente significativas en las alturas alcanzadas bajo distintas concentraciones de ácido giberélico (AG3), según se documenta en la Tabla 8. Contrario a lo esperado, las plantas no tratadas con AG3 (0 ppm, grupo b<sub>1</sub>) exhibieron las mayores alturas promedio a los 30 días. Este resultado puede parecer contra intuitivo, dada la conocida función estimulante del crecimiento de los gibberelinos. Sin embargo, es un fenómeno que encuentra precedentes en la literatura científica, específicamente en el estudio de Brian (1959), que señaló la variabilidad de la respuesta al AG3 en función de la especie y el estado de desarrollo vegetal. Este dato sugiere que, en las fases tempranas, la pitahaya podría desarrollarse de manera más eficaz sin la intervención de AG3, o incluso experimentar un efecto inhibitorio debido a su presencia.



**Figura 6.** Evolución temporal del crecimiento vertical de *Hylocereus sp.* en respuesta al ácido giberélico (AG3) a los 30, 60, 90, 120 y 140 días en invernadero.

La tendencia observada a los 30 días se prolonga hasta los 60 días, con el grupo b1 manteniendo un crecimiento superior. Este patrón refuerza la hipótesis de una etapa de crecimiento en la pitahaya donde la ausencia de AG3 resulta más beneficiosa, tal como postulan To et al. (2002) acerca de la crucialidad de la dosificación y la sincronización en la aplicación de fitohormonas. De manera similar, Trinh et al. (2022) evidencian que las concentraciones específicas de AG3 inciden notablemente en la calidad y el rendimiento de la fruta del dragón, sugiriendo que dosificaciones elevadas de AG3 podrían no ser ventajosas en determinadas etapas del desarrollo de la pitahaya.

Conforme el análisis se extiende a un marco temporal de 90 a 140 días, los resultados del análisis de varianza no muestran diferencias significativas en el crecimiento entre los distintos tratamientos, lo que podría interpretarse como una estabilización en la tasa de crecimiento de las plantas, independientemente de la aplicación de AG3. Este fenómeno podría indicar que el impacto del AG3 en el estímulo del crecimiento es temporalmente limitado o que las plantas alcanzan un umbral de saturación más allá del cual el efecto del AG3 no se intensifica.

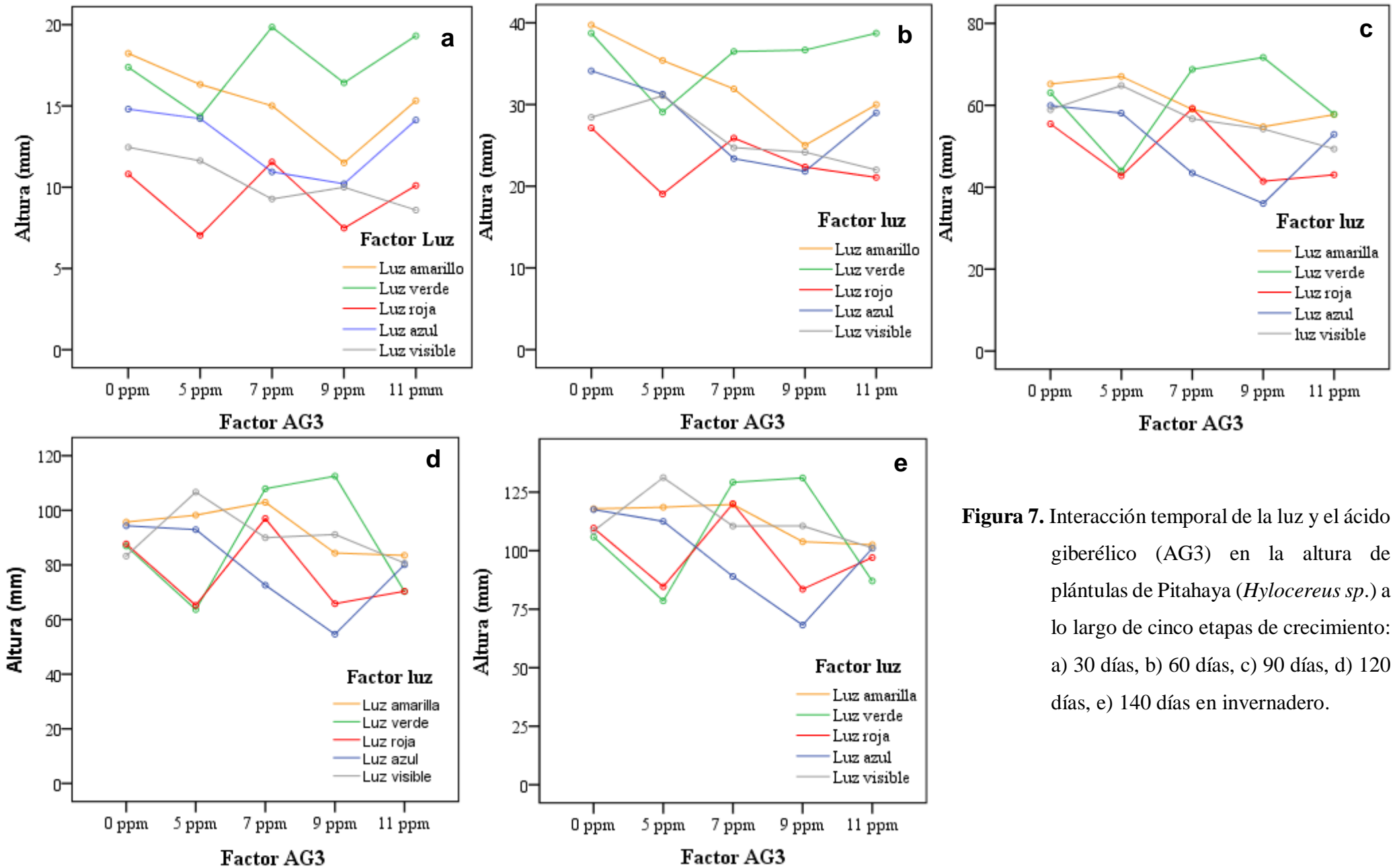
Además, las menores alturas registradas a largo plazo en los grupos tratados con 9 y 11 ppm de AG3 (grupos b4 y b5) apuntan a la posibilidad de que concentraciones altas de AG3 sean contraproducentes. La revisión de Gupta y Chakrabarty (2013) resalta la necesidad de una mayor comprensión del mecanismo de acción de los giberelinos, ya que el conocimiento

actual no aclara por completo las respuestas inhibitorias o las respuestas inusuales a ciertas concentraciones del regulador en cultivos específicos como la pitahaya

### c) Interacción de los factores

La Figura 7 detalla cómo interactúan los factores de luz y ácido giberélico en la altura de *Hylocereus sp.* a lo largo de un periodo que va desde los 30 hasta los 140 días. En la subfigura 'a', correspondiente a los 30 días, y en la subfigura 'b', referente a los 60 días, se destaca que la combinación más eficaz para el crecimiento es la luz verde con 11 ppm de AG3. Contrariamente, se observa que la combinación de luz roja y AG3 en concentraciones de 5, 9 y 11 ppm produce los resultados más bajos durante este periodo. Respecto a la eficacia de la luz verde, existen evidencias en la literatura que la respaldan, como lo señalan Smith et al. (2017), quienes indican que la luz verde puede acelerar el desarrollo temprano de las plantas. Aunque los estudios específicos sobre el efecto de la luz verde en el crecimiento de *Hylocereus sp.* son escasos, en otras especies de la familia Cactaceae como *Opuntia ficus-indica*, se han reportado efectos positivos. Silva Rocha et al. (2018) observaron que la luz verde promovía el crecimiento de *Opuntia ficus-indica* al contribuir eficientemente al proceso fotosintético y favorecer la elongación de la parte aérea de la planta. Esta eficiencia se atribuye a su capacidad de absorción y reflexión interna, lo que facilita una mayor penetración y distribución uniforme de la energía lumínica para la fotosíntesis. Sin embargo, es importante señalar que otros estudios, como el de (Lal y Sachan (2017), no han encontrado un efecto positivo de la luz verde en el crecimiento de las plantas.

En cuanto a la variabilidad en la respuesta al AG3, Brian (1959) indica que diferentes especies de plantas pueden reaccionar de manera distinta a esta hormona. Lo que es beneficioso para una especie puede no serlo, o incluso resultar perjudicial, para otra. A partir de los 90 días, la combinación de luz y AG3 no muestra una tendencia clara. Contrario a las expectativas, no se observa una mejora proporcional en el crecimiento con el aumento de la concentración de AG3, independientemente de la longitud de onda de la luz. De hecho, desde los 90 hasta los 140 días, todas las longitudes de onda presentan resultados inferiores con una concentración de 11 ppm de AG3. Estos resultados inesperados pueden explicarse por el estudio de Brian (1959), quien resalta que las plantas mantienen un equilibrio delicado entre varias hormonas y señales de crecimiento. El AG3 no actúa aisladamente, sino en conjunto con otras hormonas, como las auxinas. La actividad del AG3 depende de la presencia de auxinas en determinados contextos, y un desequilibrio hormonal significativo podría conducir a respuestas no deseadas o incluso a la inhibición del crecimiento.



**Figura 7.** Interacción temporal de la luz y el ácido giberélico (AG3) en la altura de plántulas de Pitahaya (*Hylocereus sp.*) a lo largo de cinco etapas de crecimiento: a) 30 días, b) 60 días, c) 90 días, d) 120 días, e) 140 días en invernadero.

### 4.2.3. Diámetro

#### a) Análisis de varianza

La tabla 11 presenta un análisis de varianza que evalúa la influencia de la luz y del ácido giberélico (AG3) en el diámetro de las plántulas de pitahaya a lo largo de diferentes etapas de crecimiento, desde los 30 hasta los 140 días. Los resultados indican patrones interesantes y reveladores sobre cómo estos dos factores afectan el desarrollo de la pitahaya en sus distintas fases.

Inicialmente, a los 30 días, el factor luz muestra un impacto significativo en el diámetro de las plántulas, como lo evidencia un valor P de 0,00. Este efecto persiste a lo largo de todo el periodo de estudio, aunque con una significancia marginalmente decreciente a partir de los 120 días. Esto sugiere que la luz juega un papel crucial en las etapas tempranas del desarrollo de la pitahaya, un hallazgo que se alinea con la comprensión general de la importancia de la luz en el crecimiento de las plantas.

**Tabla 11.** Análisis de varianza para evaluar el impacto de la luz y el ácido giberélico en el diámetro de plántulas de Pitahaya (*Hylocereus sp.*) a lo largo de 140 días en invernadero.

Fuente de variación	GL	30 días		60 días		90 días		120 días		140 días	
		CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor	CM	P-valor
A	4	7,2	1,7x10 <sup>-7</sup>	4,1	1,3x10 <sup>-6</sup>	2,4	2,2x10 <sup>-3</sup>	2,5	4,3x10 <sup>-2</sup>	5,1	5,0x10 <sup>-2</sup>
B	4	1,2	0,1	0,6	0,2	0,4	0,5	0,3	0,9	1,3	0,6
A x B	16	0,7	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	1,1	0,3	2,3	0,3
Error	75	0,6		0,4		0,5		1,0		2,1	
Total	99										
CV (%)		25,5		13,8		11,4		12,8		16,8	
R <sup>2</sup>		0,5		0,5		0,4		0,3		0,3	

A: Factor luz    B: Factor AG3    AXB: Factor luz x Factor AG3

Por otro lado, el AG3, aunque conocido por sus propiedades de promoción del crecimiento en plantas, no muestra un efecto significativo en el diámetro de las plántulas en ningún punto del periodo estudiado. Esto se refleja en los valores P consistentemente altos para el AG3 a lo largo del estudio. Asimismo, la interacción entre la luz y el AG3 tampoco resulta ser un factor significativo, lo que indica que la combinación de estos dos tratamientos no mejora ni reduce de manera significativa el diámetro de las plántulas en comparación con el efecto de la luz por sí sola.

El coeficiente de variación (CV) fluctúa a lo largo del tiempo, comenzando en un 25.52% a los 30 días y terminando en un 16.79% a los 140 días. Estos valores indican una variabilidad relativa en las mediciones, siendo mayor en las etapas iniciales y disminuyendo con el tiempo. Esto podría reflejar una mayor homogeneidad en el tamaño de las plántulas a medida que avanzan en su crecimiento.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) también proporciona información valiosa. Al principio del estudio, a los 30 días, este coeficiente se sitúa en 0.50, lo que indica que aproximadamente la mitad de la variabilidad en el diámetro de las plántulas de pitahaya puede ser explicada por los factores estudiados (luz y AG3). Sin embargo, observamos una disminución de este valor hasta 0.29 hacia el final del periodo de estudio, a los 140 días. Esta reducción sugiere que, a medida que las plántulas maduran, otros factores no incluidos en el modelo empiezan a desempeñar un rol más significativo en la determinación del diámetro de las plántulas.

#### b) Prueba de tukey ( $\alpha=0.05$ )

La Tabla 12 muestra los resultados de la prueba de Tukey para el factor luz en el diámetro de las plántulas de pitahaya en cuatro etapas diferentes: 30, 60, 90 y 120 días. Esta prueba ayuda a entender cuáles tratamientos de luz difieren significativamente entre sí en términos de impacto en el diámetro de las plántulas.

**Tabla 12.** Comparación de diferentes longitudes de onda de luz en el diámetro de plántulas de Pitahaya (*Hylocereus sp.*) a lo largo del tiempo en invernadero.

30 días				60 días				90 días				120 días			
Luz	$\bar{X}$	$\pm$ EE	Sig.	Luz	$\bar{X}$	$\pm$ EE	Sig.	Luz	$\bar{X}$	$\pm$ EE	Sig.	Luz	$\bar{X}$	$\pm$ EE	Sig.
a <sub>2</sub>	4,6	$\pm$ 0,2	a	a <sub>2</sub>	6,0	$\pm$ 0,2	a	a <sub>2</sub>	7,2	$\pm$ 0,2	a	a <sub>1</sub>	8,2	$\pm$ 0,3	a
a <sub>1</sub>	4,1	$\pm$ 0,2	ab	a <sub>1</sub>	6,0	$\pm$ 0,2	a	a <sub>1</sub>	7,1	$\pm$ 0,2	a	a <sub>2</sub>	8,1	$\pm$ 0,3	a
a <sub>5</sub>	3,5	$\pm$ 0,2	bc	a <sub>3</sub>	5,2	$\pm$ 0,2	b	a <sub>5</sub>	6,9	$\pm$ 0,2	ab	a <sub>5</sub>	8,0	$\pm$ 0,3	a
a <sub>4</sub>	3,4	$\pm$ 0,2	cd	a <sub>5</sub>	5,1	$\pm$ 0,2	b	a <sub>3</sub>	6,8	$\pm$ 0,2	ab	a <sub>3</sub>	7,5	$\pm$ 0,3	b
a <sub>3</sub>	3,1	$\pm$ 0,2	d	a <sub>4</sub>	5,1	$\pm$ 0,2	b	a <sub>4</sub>	6,3	$\pm$ 0,2	b	a <sub>4</sub>	7,4	$\pm$ 0,3	b

a<sub>1</sub> = Luz amarilla (590 nm)

a<sub>2</sub> = Luz verde (564 nm)

a<sub>3</sub> = Luz rojo (700 nm)

a<sub>4</sub> = Luz azul (450 nm)

a<sub>5</sub> = Luz visible

EE = Error estándar

A los 30 días, observamos que la luz verde (a<sub>2</sub>) y la luz amarilla (a<sub>1</sub>) muestran los mayores diámetros, con 4,6 mm y 4,1 mm respectivamente, y no hay diferencia significativa entre ellas (ambas categorizadas con la letra 'a'). Sin embargo, la luz visible (a<sub>5</sub>), la luz azul (a<sub>4</sub>) y la luz roja (a<sub>3</sub>) muestran diámetros menores, siendo la luz roja la que tiene el menor efecto con un promedio de 3.1 mm, lo que indica diferencias significativas en comparación con las luces verde y amarilla.

A los 60 días, tanto la luz verde como la luz amarilla mantienen su liderazgo con un promedio de 6,0 mm cada una. La luz roja y la luz azul muestran mejoras en comparación con los 30 días, pero siguen estando significativamente detrás de las luces verde y amarilla.

A los 90 días, la tendencia es similar, con la luz verde (a2) y la luz amarilla (a1) liderando con diámetros de 7.2 mm y 7.1 mm respectivamente. La luz visible (a5) y la luz roja (a3) muestran resultados comparables, pero ligeramente inferiores.

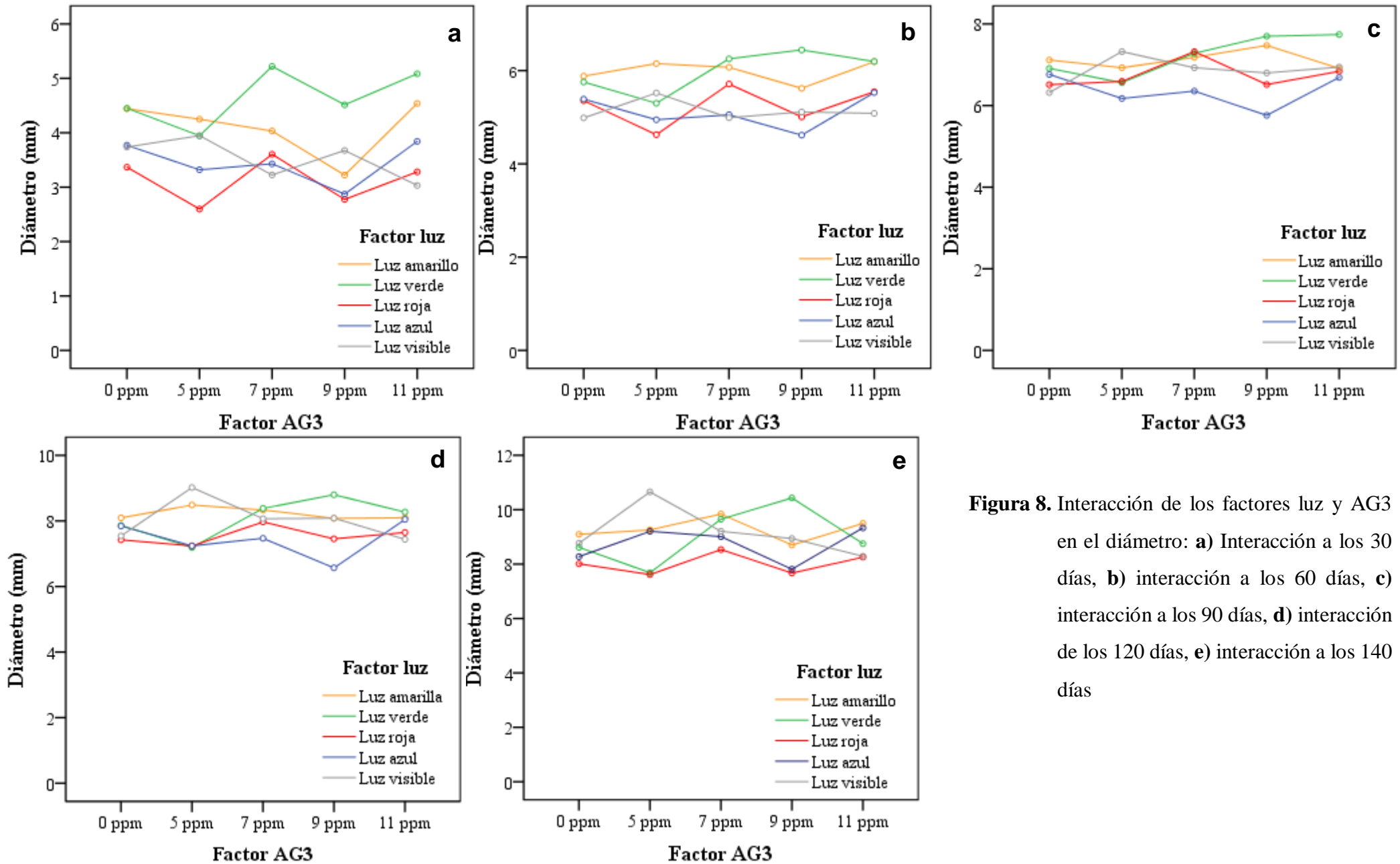
Finalmente, a los 120 días, todas las fuentes de luz muestran diámetros similares, oscilando entre 8.2 mm y 7.4 mm, lo que sugiere que, a medida que las plántulas maduran, la especificidad de la fuente de luz se vuelve menos crítica para el diámetro del tallo.

### c) Interacción de los factores

La Figura 8 ofrece una visión exhaustiva sobre la interacción entre la luz y el ácido giberélico (AG3) y su efecto en el desarrollo del diámetro de las plántulas de *Hylocereus sp.* a lo largo de un período que abarca desde los 30 hasta los 140 días. En las fases iniciales, específicamente entre los 30 (a) y 90 (b) días, la luz verde, en sinergia con concentraciones de 7 ppm y 11 ppm de AG3, promueve un incremento sustancial en el diámetro de las plántulas. Contrastantemente, durante las fases posteriores, particularmente a los 120 (d) y 140 (e) días, la combinación de luz verde y luz visible con concentraciones más reducidas de AG3 (9 ppm y 5 ppm, respectivamente) se revela como la más propicia para el crecimiento en diámetro.

Esta respuesta variable al AG3, notablemente donde las concentraciones más elevadas no se correlacionan linealmente con un incremento en el diámetro, apunta a una complejidad inherente en la acción del AG3. Se observa que, aunque las concentraciones más altas favorecen el desarrollo en diámetro en las primeras etapas, las concentraciones más bajas se tornan más efectivas en etapas avanzadas. Este patrón sugiere que el impacto del AG3 en el diámetro de las plántulas de *Hylocereus sp.* podría ser no lineal y potencialmente inhibitorio a concentraciones más altas, particularmente en combinación con ciertas longitudes de onda de luz. Este hallazgo se alinea con la investigación de Sin et al. (2023) en *Hylocereus polyrhizus*, especie perteneciente a la misma familia que *Hylocereus sp.*, donde se reportó un efecto adverso del AG3 en el desarrollo del tallo, señalando una respuesta diferenciada según la especie.

Estos resultados subrayan la intrincada interacción entre hormonas de crecimiento y factores ambientales en el desarrollo de las plantas, tal como lo destacan Brian (1959) y Morgan y Mees (1958). Estos autores sugieren que, aunque el GA3 puede estimular de manera inmediata el crecimiento y el desarrollo en diámetro de las plantas, su influencia a largo plazo podría ser limitada y estar sujeta a variaciones dependiendo de las condiciones ambientales y otros factores de manejo.



**Figura 8.** Interacción de los factores luz y AG3 en el diámetro: **a)** Interacción a los 30 días, **b)** interacción a los 60 días, **c)** interacción a los 90 días, **d)** interacción de los 120 días, **e)** interacción a los 140 días

#### 4.2.4. Biomasa

La tabla 13, nos indica el análisis de varianza que proporciona una visión detallada de cómo la variabilidad en la biomasa se distribuye entre los diferentes factores. Observamos que tanto el factor "Luz (A)" como el factor "Ácido Giberélico (AG)" han demostrado tener un impacto estadísticamente significativo en la biomasa resultante. Este hallazgo sugiere que tanto el tipo de luz al que se exponen las plántulas como la concentración de ácido giberélico aplicada tienen una influencia directa en su desarrollo y crecimiento.

Al observar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.322, podemos inferir que el análisis de varianza utilizado explica aproximadamente el 32.2% de la variación total en la biomasa. Aunque este valor no es extremadamente alto, sugiere que los factores "Luz" y "Ácido Giberélico" incluidos en el modelo tienen una capacidad razonable para explicar parte de la variabilidad observada en la respuesta de la germinación de las semillas de pitahaya.

**Tabla 13.** Análisis de varianza para la biomasa de plántulas de pitahaya a los 140 días en invernadero

Análisis de varianza	G.L	C.M.	F cal	P - valor
Luz (A)	4	$2,5 \times 10^{-3}$	4,3	$3,3 \times 10^{-3}$
Ácido giberélico (B)	4	$3,3 \times 10^{-3}$	2,8	$3,2 \times 10^{-2}$
Luz (A) x Acido giberélico (B)	16	$5,5 \times 10^{-4}$	0,5	1,0
Error experimental	75	$1,2 \times 10^{-3}$		
Total	99			

$R^2 = 0,322$

CV = 27%

El coeficiente de variación (CV) del 27% proporciona información importante sobre la dispersión relativa de los datos en comparación con la media. Esta medida de variabilidad nos indica que la biomasa resultante muestra cierta variación en relación con la respuesta media, lo que sugiere que los factores "Luz" y "Ácido Giberélico" pueden tener un efecto diferencial en diferentes condiciones experimentales.

##### a) Prueba de tukey ( $\alpha=0.05$ )

Los resultados derivados de la Prueba de Tukey (Tabla 14) para el factor luz y ácido giberélico, realizada con un alto nivel de confianza estadística, permiten discernir con precisión las variaciones significativas entre los distintos grupos. A continuación se realiza la interpretación que se muestra en el cuadro

En cuanto al factor luz, se destaca que el grupo sometido a luz roja revela la media más elevada de biomasa (%) con un valor promedio de 0.156. Esta observación sugiere que la luz roja, con una longitud de onda de 700 nm, ha ejercido un impacto altamente positivo en el desarrollo de la pitahaya durante la etapa de germinación.

Los grupos de luz azul, luz verde y a1 luz amarilla presentan medias similares de biomasa (%), con valores respectivos de 0.143, 0.142 y 0.135. La carencia de diferencias significativas entre estos grupos sugiere que las longitudes de onda de luz azul, verde y amarilla han inducido respuestas de biomasa comparables en la pitahaya durante el proceso de germinación.

**Tabla 14.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para biomasa con el factor luz y AG3 en invernadero.

Factor Luz			Facto ácido giberélico		
Niveles de luz	Biomasa (%)	Sig.	Niveles de ácido giberélico	Biomasa (%)	Sig.
Luz rojo (700 nm)	0,156 ± 0,110	a	9 ppm	0,156 ± 0,110	a
Luz azul (450 nm)	0,143 ± 0,110	a	11 ppm	0,145 ± 0,110	ab
Luz verde (564 nm)	0,142 ± 0,110	ab	7 ppm	0,131 ± 0,110	ab
Luz amarilla (590 nm)	0,135 ± 0,110	ab	0 ppm	0,130 ± 0,110	ab
Luz visible	0,112 ± 0,110	b	5 ppm	0,125 ± 0,110	b

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

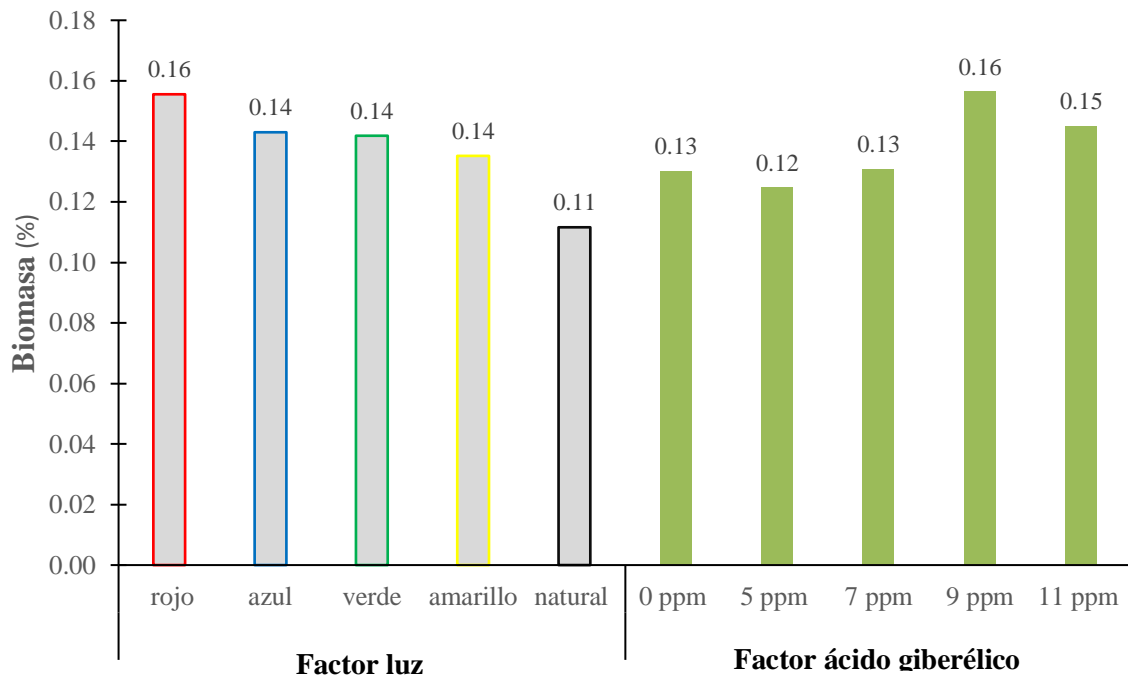
Por otro lado, el grupo sometido a luz visible exhibe la media más baja de biomasa (%) con un valor de 0.112. Esto implica que la luz visible, que probablemente contiene una combinación de diversas longitudes de onda, podría no ser tan eficiente como las longitudes de onda específicas en términos de promover el crecimiento y desarrollo óptimos de la pitahaya en la fase de germinación.

En cuanto al factor ácido giberélico, se observa que la concentración de 9 ppm de AG3, revela la media más alta de biomasa (%) con un valor de 0.156. Esta observación sugiere de manera concluyente que la aplicación de una concentración de 9 ppm de AG3 durante la germinación de la pitahaya resulta en un incremento significativo en la biomasa. Esta diferencia se respalda por una significancia estadística marcada con la letra "a". Por lo tanto, podemos afirmar con confianza que esta concentración es la más efectiva en promover un mayor desarrollo de biomasa en la pitahaya durante la germinación.

Las concentraciones 11 ppm, 7 ppm y 0 ppm también muestran diferencias significativas entre sí en términos de biomasa (%), con medias de 0.145, 0.131 y 0.130, respectivamente. Si bien estas concentraciones presentan una respuesta positiva en

comparación con la ausencia de AG3, su efecto no es tan pronunciado como el observado en la concentración de 9 ppm. Estas diferencias en la biomasa también se encuentran respaldadas por niveles de significancia estadística, indicados por las letras "ab".

Por último, la concentración de 5 ppm se destaca por tener la media más baja de biomasa (%) con un valor de 0.125. Esta concentración muestra una diferencia significativa en relación con otras concentraciones, identificada por la letra "b".



**Figura 9.** Biomasa de la plántula de pitahaya por efecto del factor luz y ácido giberélico a los 140 días en invernadero.

En la Figura 9, en relación al factor luz, se aprecia de manera más pronunciada la destacada influencia de la luz roja en la generación de biomasa. A pesar de que la literatura actual no proporciona datos específicos sobre el efecto de la luz roja en la producción de biomasa en *Hylocereus sp.*, se ha explorado su impacto en otras especies vegetales. Un ejemplo es la *Vigna unguiculata*, donde investigaciones como las de Lal y Sachan (2017) han demostrado que la luz roja con una longitud de onda de 700 nm estimula significativamente el aumento del peso fresco en la raíz, el brote y los cotiledones. De manera similar, en relación a la luz azul, se constata una cierta superioridad en la producción de biomasa. Como se menciona en el estudio de Ortiz (2017), las plántulas de maíz cultivadas bajo iluminación con LEDs azules presentaron el mayor contenido de peso seco en las plántulas.

Con respecto al factor AG3 (Figura 9), se respalda sólidamente la idea

de que la aplicación de AG3 incide positivamente en la acumulación de biomasa, como indican diversos estudios. Abbasi et al., (2012), por ejemplo, encontró que la aplicación de AG3 tuvo efectos positivos en la producción de biomasa en plantas de *Echinacea purpurea*. Además, Baluška et al. (1993) ha señalado que el AG3 provoca el engrosamiento de los ápices radicales y un aumento en su contenido de almidón. En un sentido más general, se ha demostrado que las aplicaciones de giberelinas aumentan la producción de biomasa, el peso de la fruta y la materia seca, tal como reporta el estudio de Miceli et al. (2019).

## V. CONCLUSIONES

1. Efecto combinado de la luz LED y el ácido giberélico en la germinación: Los resultados muestran que la luz LED roja (700 nm) y una concentración de 11 ppm de ácido giberélico (AG3) tuvieron un impacto positivo significativo en la germinación de las semillas de Pitahaya, alcanzando un 100% de germinación a los 30 días. Estos hallazgos confirman que una mayor concentración de AG3 resulta en un mayor porcentaje de germinación.
2. Influencia de la luz LED y el ácido giberélico en el crecimiento y desarrollo de plántulas: La luz visible tuvo el efecto más positivo, mientras que las demás longitudes de onda estudiadas mostraron efectos menores y no presentaron diferencias significativas entre sí, y el factor ácido giberilico como la interacción de los dos factores no mostraron diferencias significativas. .
3. Medición de altura, diámetro y biomasa de las plántulas: La luz amarilla y verde demostraron tener un impacto destacado en la altura y el diámetro de las plántulas. Por otro lado, la biomasa se optimizó bajo la luz roja y con 11 ppm de ácido giberélico, aunque no se observó una interacción significativa entre estos dos factores

## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

1. Evaluación en Condiciones de Oscuridad: Es recomendable incorporar un grupo experimental en el que las semillas de pitahaya amarilla sean sometidas a condiciones de oscuridad durante el proceso de germinación. Esta adición permitirá comprender si la germinación ocurre en ausencia de luz y si las semillas son capaces de responder de manera favorable a este entorno, aportando así una comprensión más completa de sus requerimientos germinativos.
2. Exploración de concentraciones superiores de ácido giberélico para profundizar en la respuesta de la semilla de pitahaya amarilla a la hormona giberelina (AG3), se sugiere expandir el rango de concentraciones utilizadas, incluyendo dosis superiores a 100 ppm. Esto permitirá observar de manera más detallada cómo la semilla responde a niveles más elevados de esta hormona durante la germinación y su posterior desarrollo.
3. Interacción con otros factores ambientales: Analizar cómo la interacción entre la luz LED, el AG3 y otros factores ambientales, como la temperatura o la humedad, influye en el desarrollo y la calidad de las plántulas de pitahaya.

## VII. REFERENCIAS

- Abbasi, B. H., Stiles, A. R., Saxena, P. K., y Liu, C. (2012). Gibberellic acid increases secondary metabolite production in *Echinacea purpurea* hairy roots. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 168(7), 2057-2066. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9917-z>
- Acuña, P. I., y Garwood, N. C. (2016). Efecto de la luz y de la escarificación en la germinación de las semillas de cinco especies de árboles tropicales secundarios. *Revista De Biología Tropical*, 35(2), 203-207.
- Alcorn, S. M., y Kurtz, E. B. (1959). Some Factors Affecting the Germination of Seed of the Saguaro Cactus (*Carnegiea Gigantea*). *American Journal of Botany*, 46(7), 526-529. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1959.tb07045.x>
- Análisis del mercado de la fruta del dragón. (2022). *Análisis del mercado de la fruta del dragón—Informe de la industria—Tendencias, tamaño y participación*. Mordor Intelligence. <https://acortar.link/weiwuG>
- Baluška, F., Parker, J. S., y Barlow, P. W. (1993). A role for gibberellic acid in orienting microtubules and regulating cell growth polarity in the maize root cortex. *Planta*, 191(2), 149-157. <https://doi.org/10.1007/BF00199744>
- Bauer, R. (2003). A synopsis of the tribe Hylocereeae F. Buxb. *Cactaceae Systematics Initiatives: Bulletin of the International Cactaceae Systematics Group*, 17, 1-63.
- Bewley, J. D., y Black, M. (1982). *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination: Viability, Dormancy, and Environmental Control*. Springer Berlin Heidelberg. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/413826>
- Borthwick, H. A. (1957). Light Effects on Tree Growth and Seed Germination. *The Ohio Journal of Science*, 57(6), 357-364.
- Bradford, K., y Nonogaki, H. (2008). Seed development, dormancy and germination. *Annals of Botany*, 102(5), 877-878. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn167>
- Brian, P. W. (1959). Effects of Gibberellins on Plant Growth and Development. *Biological Reviews*, 34(1), 37-77. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1959.tb01301.x>
- Carvalho, S. M. C., Paiva, E. P. de, Torres, S. B., Souza Neta, M. L. de, Leite, M. de S., y Sá, F. V. da S. (2023). Pre-germination treatments in pitaya (*Hylocereus* spp.) seeds for water stress mitigation. *Revista Caatinga*, 36, 80-86. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n109rc>
- Casal, J. J. (2000). Phytochromes, cryptochromes, phototropin: Photoreceptor interactions in

- plants. *Photochemistry and Photobiology*, 71(1), 1-11. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2000\)071<0001:pcppii>2.0.co;2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2000)071<0001:pcppii>2.0.co;2)
- Christie, J. M., Blackwood, L., Petersen, J., y Sullivan, S. (2015). Plant Flavoprotein Photoreceptors. *Plant and Cell Physiology*, 56(3), 401-413. <https://acortar.link/kFDzKH>
- Costa, S., Pereira, E., Barros, S., Souza, M. L., Souza, M., Pereira, C. P., Cavalcanti, C., y Da Silva, F. (2022). Pre-germination treatments in pitaya (*Hylocereus* spp.) seeds to attenuate salt stress. *Revista Ciência Agrônômica*, 53, 1-8. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220034>
- Esquivel, P., y Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 113-129. <https://sites.google.com/site/1rvcta/v3-n1-2012/r7>
- Françato, J. de B., y Krzyzanowski, F. C. (2019). Tetrazolium: An important test for physiological seed quality evaluation. *Journal of Seed Science*, 41(3), 359-366. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3223104>
- Gallo, C., Arango, M., y Craviotto, R. (2017). Una prueba nueva para estimar el vigor en lotes de semillas: Prueba de Emergencia de Radícula. Para Mejorar la Producción. *56-INTA EEA Oliveros*, 56, 1-8. <https://acortar.link/wGcHcY>
- Griffin, J. H. C., y Toledo, G. (2022). Plant photoreceptors and their signalling components in chloroplastic anterograde and retrograde communication. *Journal of Experimental Botany*, 73(21), 7126-7138. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac220>
- Gunasena, H. P. M., Pushpakumara, D., y Kariyawasam, M. (2007). Dragon fruit (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose). En *Underutilized Fruit Trees in Sri Lanka* (pp. 110-142). <https://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B14784.pdf>
- Gupta, R., y Chakrabarty, S. K. (2013). Gibberellic acid in plant. *Plant Signaling & Behavior*, 8(9), 1-5. <https://doi.org/10.4161/psb.25504>
- Hernández, A. D., Pineda, A. J., Díaz, H. B., Hernández, A. D., Pineda, A. J., y Díaz, H. B. (2019). Efecto de la luz y del ácido giberélico en la germinación in vitro de *Capsicum annum* L. cv. 'Papri King'. *Bioteología Vegetal*, 19(3), 165-170. <https://acortar.link/19WICn>
- International Seed Testing Association. (2016). *International Rules for Seed Testing*. ISTA. [https://www.merconet.eu/files/Seed\\_Sampling\\_I\\_S\\_T\\_A.pdf](https://www.merconet.eu/files/Seed_Sampling_I_S_T_A.pdf)
- Janick, J., y Paull, R. E. (2008). *The Encyclopedia of Fruit & Nuts*. Wallingford.

- <https://www.echocommunity.org/resources/68d76360-7abf-4191-94b3-a5f915c9fc5a>
- Kami, C., Lorrain, S., Hornitschek, P., y Fankhauser, C. (2010). Chapter Two—Light-Regulated Plant Growth and Development. *Current Topics in Developmental Biology*, 91, 29-66. [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(10\)91002-8](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(10)91002-8)
- Khan, L. U. (2017). Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges. *Digital Communications and Networks*, 3(2), 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2016.07.004>
- Kong, S.-G., y Okajima, K. (2016). Diverse photoreceptors and light responses in plants. *Journal of Plant Research*, 129(2), 111-114. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0792-5>
- Lal, N., y Sachan, P. (2017). Effect of different Visible Light wavelengths on Seed Germination and Photosynthetic Pigment Contents in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Indian Journal of Biology*, 5(1), 132-136. <http://dx.doi.org/10.21088/ijb.2394.1391.5118.10>
- Lallana, V. H., y García, L. F. (2013). Efecto de pretratamientos en la prueba de viabilidad de semillas de *Trichocentrum jonesianum* (Orchidaceae). *Investigación Agraria*, 15(2), 129-132.
- Leubner, G. (2003). Functions and regulation of  $\beta$ -1,3-glucanases during seed germination, dormancy release and after-ripening. *Seed Science Research*, 13(1), 17-34. <https://doi.org/10.1079/SSR2002121>
- Lone, A. B., Unemoto, L. K., Ferrari, E. A. P., Takahashi, Ly Faria, R. T. (2014). The effects of light wavelength and intensity on the germination of pitaya seed genotypes. *Australian Journal of Crop Science*, 8(11), 1475-1480.
- López, E., López, A., y De la Cruz, A. (2017). Efecto del ácido giberélico en la propagación in vitro de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni, «estevia». *Arnaldoa*, 24(2), 599-608. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24211>
- Mamani, B., Pacheco, L. F., y Quezada, J. A. N. (2022). Fenología y efecto de la intensidad de luz en la germinación in vitro de *Masdevallia solomonii* (Orchidaceae). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(3), 56-67. <https://doi.org/10.53287/kkqn7712ka32g>
- Marín, L. (2016). *Estudio de la influencia de diferentes longitudes de onda de luz LED en la germinación de una orquídea Encyclia SP.* [Tesis de Pregrado, Universidade Federal da Integração Latino-Americana]. Repositorio de la Universidade Federal da Integração Latino-Americana. <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/634>

- Meiado, M. V., Rojas, M., Alves de Siqueira, J. A., y Leal, I. R. (2016). Effects of light and temperature on seed germination of cacti of Brazilian ecosystems. *Plant Species Biology*, 31(2), 87-97. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12087>
- Merten, S. (2003). A Review of *Hylocereus* Production in the United States. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5, 98-105. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v5i.309>
- Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L., y Vetrano, F. (2019). Effect of Gibberellic Acid on Growth, Yield, and Quality of Leaf Lettuce and Rocket Grown in a Floating System. *Agronomy*, 9(7), 1-22. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070382>
- Morales, A., Rivas, A. A., Zapata, A. C., García, E., Ruesta, M., y Peña, R. (2023). Efecto de diferentes dosis de ácido giberélico en la germinación de papaya (*Carica papaya* L.) variedad criolla. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 39(3), 392-400. <https://doi.org/10.29393/chjaa39-35edam60035>
- Morgan, D. G., y Mees, G. C. (1958). Gibberellic acid and the growth of crop plants. *The Journal of Agricultural Science*, 50(1), 49-59. <https://acortar.link/sywDoK>
- Ochoa, M. J., González-Flores, L. M., Cruz-Rubio, J. M., Portillo, L., y Gómez-Leyva, J. F. (2015). Effect of substrate and gibberellic acid (GA3) on seed germination in ten cultivars of *Opuntia* sps. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 17, 50-60. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v17i.61>
- Opel, D. R., Hagstrom, E., Pace, A. K., Sisto, K., Hirano-Ali, S. A., Desai, S., y Swan, J. (2015). Light-emitting Diodes. *The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 8(6), 36-44. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4479368/>
- Ortiz, J. E. (2017). *Efecto de la irradiación led con diferentes longitudes de onda sobre la germinación de semillas de maíz (Zea mays )* [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio Institucional Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <https://acortar.link/Cirbef>
- Ortiz, Y. D., y Carrillo, J. A. (2012). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A short review. *Comunicata Scientiae*, 3(4), 220-237. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5022075>
- Paik, I., y Huq, E. (2019). Plant photoreceptors: Multi-functional sensory proteins and their signaling networks. *Seminars in cell & developmental biology*, 92, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.semcd.2019.03.007>
- Paniagua, G., Hernández, C., Rico, F., Domínguez, F. A., Martínez, E., y 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.). *Polibotánica*, 40, 199-212.  
<https://acortar.link/H8ZsP5>
- Pohanish, R. P. (2015). Gibberellic acid. En *Sittig's Handbook of Pesticides and Agricultural Chemicals* (2<sup>a</sup> ed., pp. 458-469). William Andrew Publishing.  
<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3148-0.00007-8>
- Porras, Y. C. P., Pedreros, M. C. P., Reyes, W. L. R., y Balaguera, H. E. (2020). Efecto de la luz sobre la germinación de semillas champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.). *Ciencia y Agricultura*, 17(2), 23-31. <https://acortar.link/v6abAA>
- Porter, R. H., Durrell, M., y Romm, H. J. (1947). The Use of 2,3,5-Triphenyl-Tetrazoliumchloride as a Measure of Seed Germinability 1. *Plant Physiology*, 22(2), 149-159. <https://doi.org/10.1104/pp.22.2.149>
- Rojas, J., y Praciak, A. (2021). *Hylocereus undatus* (dragon fruit). *CABI Compendium*, CABI Compendium, 27317. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.27317>
- Rojas-Aréchiga, M., Orozco-Segovia, A., y Vázquez-Yanes, C. (1997). Effect of light on germination of seven species of cacti from the Zapotitlán Valley in Puebla, México. *Journal of Arid Environments*, 36(4), 571-578. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0218>
- Salazar, S. A., Amaya, A. Z., y Barrientos, F. (2013). Evaluación de diferentes medios de cultivo in vitro en el desarrollo de híbridos de *Phalaenopsis* (Orchidaceae). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), 97-105. <https://acortar.link/R1cVTk>
- Santos, T. P., Sá, M. E., Malagutti, E. S., Pinto, M. S., Ferreira, A. F. A., Monteiro, L. N. H., Silva, A. C. C., Soutello, R. V. G., y Rodrigues, M. G. F. (2022). Effects of gibberellic acid concentration and fruit maturation stage on seed germination and vigor of pitahaya seedlings. *Brazilian Journal of Biology = Revista Brasileira De Biologia*, 84(3), 1-10. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.260650>
- Silva Rocha, S., Londe, L. C. N., Guerra Calaes, J., Cesar Gomes Pereira, J., Batista da Mota, M. C., Silva Viana, W., Aparecida Neres Faria, R., y Nunes Xavier, N. (2018). Effect of lighting spectrum and naphthaleneacetic acid (NAA) on «in vitro» development of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) 'Mill']. *Australian Journal of Crop Science*. <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.351535340573787>
- Simão, E., Socolowski, F., y Takaki, M. (2007). The epiphytic Cactaceae *Hylocereus setaceus* (Salm-Dick ex DC.) ralf bauer seed germination is controlled by light and temperature. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(4), 655-662. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000400011>

- Sin, P. Y., Tan, S. H., Ng, Z. C., Ma, N. L., y Anuar, W. N. H. W. (2023). Effect of Gibberellic Acid and Eggshell on *Hylocereus polyrhizus*. *Malaysian Applied Biology*, 52(4), 35-41. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v52i4.a047>
- Singh, S., Agrawal, S., y Agrawal, M. (2015). Role of Light in Plant Development. *International Journal of Plant and Environment*, 1, 43-56. <https://acortar.link/QouaiY>
- Smith, H. L., McAusland, L., y Murchie, E. H. (2017). Don't ignore the green light: Exploring diverse roles in plant processes. *Journal of Experimental Botany*, 68(9), 2099-2110. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx098>
- Taboada, J. (2020). *Luz LED azul y roja en germinación para la producción de Germinado Hidropónico de cebada (Hordeum Vulgare) en Lambayeque* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8070>
- To, L., Ngu, N., Duc, N. D., y Ho Thanh, H. (2002). Dragon fruit quality and storage life: Effect of harvesting time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. *Acta Horticulturae*, 575, 611-621. <https://acortar.link/J6pHq8>
- Trinh, N., Nhat Hang, N., Thi, T., y Hanh, M. (2022). Increase the yield and fruit quality of white flesh dragon fruit (*Hylocereus undatus*) using the combination of gibberellic acid and naphthalene acetic acid. 2(2), 94-97. <https://dx.doi.org/10.22271/27889289>
- Volchko, J. (2018, abril 14). *Visible Light Spectrum: From a Lighting Manufacturer's Perspective*. <https://www.lumitex.com/blog/visible-light-spectrum>
- Yamaguchi, S., y Kamiya, Y. (2001). Gibberellins and Light-Stimulated Seed Germination. *Journal of Plant Growth Regulation*, 20(4), 369-376. <https://acortar.link/V5a6rU>
- Yang, D., Seaton, D. D., Krahmer, J., y Halliday, K. J. (2016). Photoreceptor effects on plant biomass, resource allocation, and metabolic state. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(27), 7667-7672. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601309113>
- Yang, Q., Pan, J., Shen, G., y Guo, B. (2019). Yellow light promotes the growth and accumulation of bioactive flavonoids in *Epimedium pseudowushanense*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 197, 1-7. <https://acortar.link/InIlkw>
- Zerpa, D. P., Hernández, A., Madrigal, V., Zúñiga, A., Porras, C., Jiménez, V., y Barboza, L. O. (2019). Seed germination of pitaya (*Hylocereus spp.*) as affected by seed extraction method, storage, germination conditions, germination assessment approach and water potential. *Journal of Crop Improvement*, 33(2), 1-23. <https://acortar.link/SJJINY>

## **ANEXO**

**Tabla 15.** Evaluación de la germinación de semillas de pitahaya amarilla.

Trata.	Factores		10 días				20 días				30 días				40 días			
	Luz	Ácido giberélico	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
T <sub>1</sub>	Amarillo	+	0 ppm	0,22	0,72	0,14	0,64	0,56	0,82	0,68	0,90	0,88	0,94	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>2</sub>	Amarillo	+	5 ppm	0,42	0,60	0,36	0,50	0,62	0,70	0,54	0,66	0,88	1,00	0,82	0,88	1,00	1,00	1,00
T <sub>3</sub>	Amarillo	+	7 ppm	0,48	0,54	0,60	0,70	0,68	0,78	0,80	0,74	0,80	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>4</sub>	Amarillo	+	9 ppm	0,60	0,70	0,74	0,78	0,72	0,86	0,88	0,84	0,96	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>5</sub>	Amarillo	+	11 ppm	0,72	0,70	0,72	0,90	0,80	0,82	0,86	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>6</sub>	Verde	+	0 ppm	0,10	0,50	0,22	0,20	0,46	0,88	0,52	0,56	0,70	0,92	0,78	0,70	0,96	1,00	0,98
T <sub>7</sub>	Verde	+	5 ppm	0,32	0,58	0,10	0,50	0,50	0,64	0,40	0,70	0,76	0,80	0,84	0,92	0,96	0,98	0,98
T <sub>8</sub>	Verde	+	7 ppm	0,20	0,10	0,50	0,48	0,66	0,40	0,76	0,68	0,94	0,70	0,92	0,90	0,98	0,98	1,00
T <sub>9</sub>	Verde	+	9 ppm	0,60	0,50	0,22	0,58	0,80	0,74	0,58	0,74	0,98	0,94	0,80	0,90	1,00	1,00	0,96
T <sub>10</sub>	Verde	+	11 ppm	0,50	0,80	0,88	0,72	0,82	0,98	0,90	0,80	0,96	1,00	0,98	0,96	1,00	1,00	1,00
T <sub>11</sub>	rojo	+	0 ppm	0,86	0,78	0,74	0,88	0,86	0,82	0,92	0,94	0,98	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>12</sub>	rojo	+	5 ppm	0,30	0,52	0,48	0,74	0,88	0,80	0,86	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>13</sub>	rojo	+	7 ppm	0,58	0,88	0,56	0,66	0,78	0,88	0,80	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>14</sub>	rojo	+	9 ppm	0,74	0,82	0,74	0,62	0,88	0,86	0,92	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>15</sub>	rojo	+	11 ppm	0,72	0,88	0,40	0,72	0,92	0,98	0,82	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>16</sub>	azul	+	0 ppm	0,10	0,40	0,20	0,14	0,60	0,72	0,60	0,64	0,88	0,96	0,88	0,88	1,00	1,00	1,00
T <sub>17</sub>	azul	+	5 ppm	0,26	0,28	0,10	0,20	0,62	0,62	0,68	0,66	0,94	0,92	0,94	0,94	1,00	1,00	1,00
T <sub>18</sub>	azul	+	7 ppm	0,50	0,44	0,48	0,24	0,82	0,62	0,76	0,78	1,00	0,92	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>19</sub>	azul	+	9 ppm	0,58	0,68	0,34	0,52	0,88	0,82	0,68	0,82	0,92	0,90	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00
T <sub>20</sub>	azul	+	11 ppm	0,48	0,18	0,60	0,60	0,86	0,78	0,82	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
T <sub>21</sub>	natural	+	0 ppm	0,00	0,08	0,34	0,32	0,10	0,16	0,62	0,54	0,52	0,70	0,68	0,72	0,84	0,96	0,92
T <sub>22</sub>	natural	+	5 ppm	0,26	0,18	0,30	0,38	0,56	0,50	0,54	0,56	0,76	0,66	0,80	0,76	0,98	1,00	0,96
T <sub>23</sub>	natural	+	7 ppm	0,22	0,20	0,22	0,32	0,44	0,44	0,36	0,46	0,68	0,72	0,56	0,66	1,00	0,96	0,94
T <sub>24</sub>	natural	+	9 ppm	0,50	0,60	0,44	0,48	0,68	0,66	0,68	0,76	0,84	0,76	0,84	0,90	0,98	1,00	0,98
T <sub>25</sub>	natural	+	11 ppm	0,38	0,48	0,36	0,56	0,60	0,64	0,64	0,76	0,82	0,82	0,76	0,86	0,90	0,98	1,00

**Tabla 16.** Evaluación de plántulas normales de pitahaya amarilla en invernadero.

Trata.	Factores			Plantas normales				Plantas anormales			
	Luz		ácido giberélico	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
T <sub>1</sub>	Amarillo	+	0 ppm	48,00	45,00	47,00	49,00	2,00	5,00	3,00	1,00
T <sub>2</sub>	Amarillo	+	5 ppm	45,00	46,00	45,00	46,00	5,00	4,00	5,00	4,00
T <sub>3</sub>	Amarillo	+	7 ppm	47,00	47,00	46,00	45,00	3,00	3,00	4,00	5,00
T <sub>4</sub>	Amarillo	+	9 ppm	46,00	48,00	45,00	48,00	4,00	2,00	5,00	2,00
T <sub>5</sub>	Amarillo	+	11 ppm	47,00	46,00	46,00	49,00	3,00	4,00	4,00	1,00
T <sub>6</sub>	Verde	+	0 ppm	44,00	42,00	48,00	48,00	6,00	8,00	2,00	2,00
T <sub>7</sub>	Verde	+	5 ppm	49,00	46,00	49,00	47,00	1,00	4,00	1,00	3,00
T <sub>8</sub>	Verde	+	7 ppm	46,00	49,00	48,00	47,00	4,00	1,00	2,00	3,00
T <sub>9</sub>	Verde	+	9 ppm	45,00	47,00	48,00	45,00	5,00	3,00	2,00	5,00
T <sub>10</sub>	Verde	+	11 ppm	45,00	46,00	47,00	47,00	5,00	4,00	3,00	3,00
T <sub>11</sub>	rojo	+	0 ppm	44,00	46,00	45,00	47,00	6,00	4,00	5,00	3,00
T <sub>12</sub>	rojo	+	5 ppm	48,00	48,00	44,00	45,00	2,00	2,00	6,00	5,00
T <sub>13</sub>	rojo	+	7 ppm	48,00	48,00	46,00	44,00	2,00	2,00	4,00	6,00
T <sub>14</sub>	rojo	+	9 ppm	49,00	47,00	44,00	45,00	1,00	3,00	6,00	5,00
T <sub>15</sub>	rojo	+	11 ppm	47,00	45,00	46,00	47,00	3,00	5,00	4,00	3,00
T <sub>16</sub>	azul	+	0 ppm	46,00	40,00	46,00	47,00	4,00	10,00	4,00	3,00
T <sub>17</sub>	azul	+	5 ppm	45,00	46,00	46,00	48,00	5,00	4,00	4,00	2,00
T <sub>18</sub>	azul	+	7 ppm	48,00	45,00	48,00	47,00	2,00	5,00	2,00	3,00
T <sub>19</sub>	azul	+	9 ppm	49,00	43,00	49,00	46,00	1,00	7,00	1,00	4,00
T <sub>20</sub>	azul	+	11 ppm	48,00	46,00	49,00	48,00	2,00	4,00	1,00	2,00
T <sub>21</sub>	natural	+	0 ppm	48,00	49,00	47,00	48,00	2,00	1,00	3,00	1,00
T <sub>22</sub>	natural	+	5 ppm	50,00	50,00	49,00	50,00	0,00	0,00	1,00	0,00
T <sub>23</sub>	natural	+	7 ppm	50,00	48,00	50,00	50,00	0,00	2,00	0,00	0,00
T <sub>24</sub>	natural	+	9 ppm	49,00	50,00	50,00	49,00	1,00	0,00	0,00	1,00
T <sub>25</sub>	natural	+	11 ppm	50,00	50,00	49,00	49,00	0,00	0,00	1,00	1,00

**Tabla 17.** Datos de evaluación del diámetro de la penca de pitahaya amarilla en invernadero.

Trata.	Factores			Promedio de altura (mm)			
	Luz		Ácido giberélico	R1	R2	R3	R4
T <sub>1</sub>	Amarillo	+	0 ppm	57,54	51,03	63,08	53,28
T <sub>2</sub>	Amarillo	+	5 ppm	35,21	51,29	64,19	71,54
T <sub>3</sub>	Amarillo	+	7 ppm	61,41	55,71	44,55	52,94
T <sub>4</sub>	Amarillo	+	9 ppm	36,81	39,29	55,83	50,40
T <sub>5</sub>	Amarillo	+	11 ppm	51,80	54,84	44,25	41,82
T <sub>6</sub>	Verde	+	0 ppm	41,88	54,63	48,66	64,80
T <sub>7</sub>	Verde	+	5 ppm	41,41	32,37	49,20	32,06
T <sub>8</sub>	Verde	+	7 ppm	45,16	56,44	62,92	76,02
T <sub>9</sub>	Verde	+	9 ppm	48,35	49,87	68,13	73,86
T <sub>10</sub>	Verde	+	11 ppm	43,48	49,64	55,80	40,15
T <sub>11</sub>	rojo	+	0 ppm	53,82	46,50	48,05	42,24
T <sub>12</sub>	rojo	+	5 ppm	44,90	36,97	14,62	46,70
T <sub>13</sub>	rojo	+	7 ppm	52,07	52,44	54,97	44,77
T <sub>14</sub>	rojo	+	9 ppm	28,54	23,29	51,13	42,31
T <sub>15</sub>	rojo	+	11 ppm	50,05	29,89	35,04	41,90
T <sub>16</sub>	azul	+	0 ppm	58,02	51,62	42,14	60,08
T <sub>17</sub>	azul	+	5 ppm	42,21	40,61	53,26	66,16
T <sub>18</sub>	azul	+	7 ppm	65,73	29,46	32,40	28,20
T <sub>19</sub>	azul	+	9 ppm	42,70	21,75	27,06	35,74
T <sub>20</sub>	azul	+	11 ppm	52,26	42,64	56,56	31,69
T <sub>21</sub>	natural	+	0 ppm	28,83	67,90	60,19	38,83
T <sub>22</sub>	natural	+	5 ppm	56,27	50,19	63,51	52,43
T <sub>23</sub>	natural	+	7 ppm	56,94	49,67	48,24	32,58
T <sub>24</sub>	natural	+	9 ppm	49,73	41,23	44,82	51,52
T <sub>25</sub>	natural	+	11 ppm	61,99	37,92	31,11	38,06

**Tabla 18.** Datos de evaluación del diámetro de la penca de pitahaya amarilla en invernadero.

Trata.	Factores		Promedio del diámetro (mm)			
	Luz	ácido giberélico	R1	R2	R3	R4
T <sub>1</sub>	Amarillo	+ 0 ppm	6,45	5,97	6,16	6,28
T <sub>2</sub>	Amarillo	+ 5 ppm	5,60	5,80	6,12	7,33
T <sub>3</sub>	Amarillo	+ 7 ppm	6,74	5,92	6,06	6,41
T <sub>4</sub>	Amarillo	+ 9 ppm	5,99	5,67	6,4	5,63
T <sub>5</sub>	Amarillo	+ 11 ppm	5,91	6,50	6,28	6,18
T <sub>6</sub>	Verde	+ 0 ppm	5,99	5,76	5,93	6,48
T <sub>7</sub>	Verde	+ 5 ppm	5,63	5,09	5,96	5,41
T <sub>8</sub>	Verde	+ 7 ppm	6,27	6,19	6,83	7,14
T <sub>9</sub>	Verde	+ 9 ppm	6,12	5,78	7,32	7,56
T <sub>10</sub>	Verde	+ 11 ppm	6,35	6,59	6,93	6,39
T <sub>11</sub>	rojo	+ 0 ppm	5,71	5,5	5,79	4,96
T <sub>12</sub>	rojo	+ 5 ppm	5,95	4,75	3,91	5,85
T <sub>13</sub>	rojo	+ 7 ppm	6,07	6,36	5,53	5,65
T <sub>14</sub>	rojo	+ 9 ppm	5,25	3,92	6,23	5,50
T <sub>15</sub>	rojo	+ 11 ppm	5,92	4,94	6,08	5,67
T <sub>16</sub>	azul	+ 0 ppm	6,06	5,7	5,36	6,10
T <sub>17</sub>	azul	+ 5 ppm	5,17	5,18	5,34	6,24
T <sub>18</sub>	azul	+ 7 ppm	7,59	4,5	4,62	5,25
T <sub>19</sub>	azul	+ 9 ppm	6,12	4,18	4,15	5,27
T <sub>20</sub>	azul	+ 11 ppm	6,61	5,52	6,47	5,27
T <sub>21</sub>	natural	+ 0 ppm	4,26	6,44	6,09	5,34
T <sub>22</sub>	natural	+ 5 ppm	6,13	6,09	6,6	6,21
T <sub>23</sub>	natural	+ 7 ppm	6,31	5,80	5,78	4,79
T <sub>24</sub>	natural	+ 9 ppm	6,28	5,58	5,58	5,61
T <sub>25</sub>	natural	+ 11 ppm	6,36	5,65	4,67	5,32

**Tabla 19.** Datos tomados en laboratorio para calcular la biomasa.

Trata.	Factores			Peso fresco (mg)				Peso seco (mg)			
	Luz		Ácido giberélico	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
T <sub>1</sub>	Amarillo	+	0 ppm	2,40	6,30	13,30	9,70	0,39	0,81	1,32	1,24
T <sub>2</sub>	Amarillo	+	5 ppm	5,80	10,60	7,30	4,20	0,62	1,46	0,84	0,59
T <sub>3</sub>	Amarillo	+	7 ppm	3,70	10,90	6,40	8,00	0,61	1,10	0,74	0,71
T <sub>4</sub>	Amarillo	+	9 ppm	7,70	3,90	7,90	4,80	1,10	0,66	1,10	0,79
T <sub>5</sub>	Amarillo	+	11 ppm	7,50	5,60	7,30	6,90	0,84	0,96	1,16	1,13
T <sub>6</sub>	Verde	+	0 ppm	9,30	7,40	3,70	5,20	1,30	0,92	0,59	0,59
T <sub>7</sub>	Verde	+	5 ppm	5,70	2,40	7,90	9,70	0,70	0,48	1,01	1,01
T <sub>8</sub>	Verde	+	7 ppm	7,80	7,10	3,90	8,70	0,99	0,70	0,61	1,28
T <sub>9</sub>	Verde	+	9 ppm	9,40	2,40	8,30	5,60	1,13	0,49	1,20	0,84
T <sub>10</sub>	Verde	+	11 ppm	6,20	4,70	7,20	4,90	0,88	0,77	0,98	0,77
T <sub>11</sub>	rojo	+	0 ppm	5,40	3,80	3,90	4,60	0,48	0,53	0,62	0,55
T <sub>12</sub>	rojo	+	5 ppm	11,10	4,00	5,10	5,00	0,98	0,62	0,65	0,71
T <sub>13</sub>	rojo	+	7 ppm	5,00	5,60	5,90	3,50	0,77	0,87	0,91	0,71
T <sub>14</sub>	rojo	+	9 ppm	2,10	2,20	2,20	2,80	0,44	0,39	0,45	0,49
T <sub>15</sub>	rojo	+	11 ppm	8,70	3,40	6,20	3,50	1,24	0,53	1,16	0,60
T <sub>16</sub>	azul	+	0 ppm	4,10	3,30	4,40	3,80	0,40	0,46	0,60	0,55
T <sub>17</sub>	azul	+	5 ppm	6,70	4,30	3,10	2,60	0,42	0,42	0,47	0,75
T <sub>18</sub>	azul	+	7 ppm	4,80	1,60	5,00	1,40	0,77	0,27	0,72	0,14
T <sub>19</sub>	azul	+	9 ppm	6,30	1,90	2,90	3,60	0,42	0,49	0,47	0,44
T <sub>20</sub>	azul	+	11 ppm	5,60	6,60	4,90	5,70	0,88	1,01	0,66	0,70
T <sub>21</sub>	natural	+	0 ppm	13,90	10,80	4,70	2,30	0,99	0,82	0,60	0,32
T <sub>22</sub>	natural	+	5 ppm	3,40	6,90	5,90	2,90	0,46	0,59	0,56	0,35
T <sub>23</sub>	natural	+	7 ppm	11,90	4,20	6,00	4,10	0,99	0,46	0,61	0,35
T <sub>24</sub>	natural	+	9 ppm	3,30	5,00	1,80	6,60	0,44	0,58	0,25	0,90
T <sub>25</sub>	natural	+	11 ppm	8,70	5,30	5,90	6,10	0,98	0,53	0,75	0,80



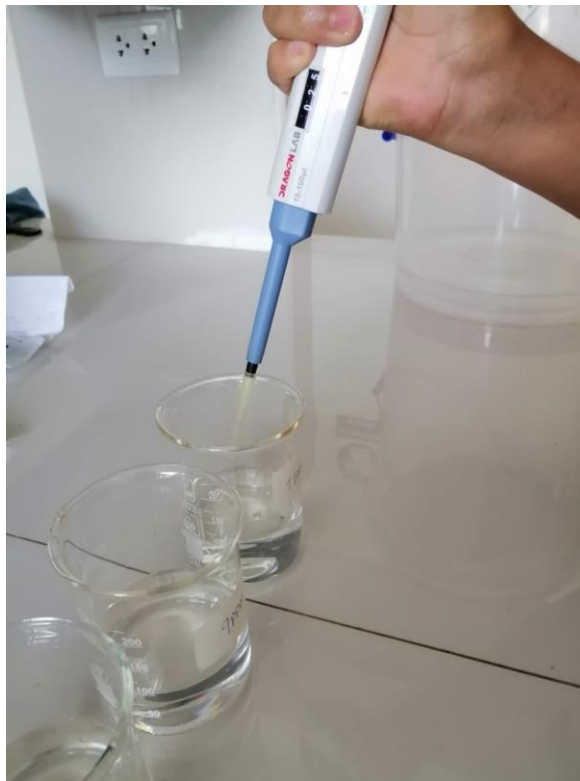
**Figura 10.** Frutos de pitahaya amarilla, obtenidas del mercado de Tingo Maria.



**Figura 11.** Proceso de extracción de semillas de pitahaya amarilla



**Figura 12.** Instalación de las condiciones lumínicas.



**Figura 13.** Preparación de las diferentes concentraciones de ácido giberélico aplicados en el experimento.



**Figura 14.** Inicio de la germinación de semillas de pitahaya amarilla bajo diferentes longitudes de luz (24-07-21)



**Figura 15.** Observación del embrión mediante estereoscopio. (23-07-21)



**Figura 16.** Plántulas de pitahaya amarilla con 135 días después del trasplante a bolsas, divididas por repetición y tratamiento.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**



**FACULTAD DE AGONOMÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

**TESIS:**

**EFFECTO DE LONGITUDES DE ONDA DE LUZ Y AG3  
EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE PITAHAYA  
(*Hylocereus undatus Haw*) CV AMARILLA**



<b>EJECUTOR</b>	<b>: ESPERANZA CRISTINA SINCHI CASTRO</b>
<b>JURADOS</b>	<b>: M.Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS Ing. LUZ BALCAZAR TERRONES Ing. CARLOS MIRANDA ARMAS</b>
<b>ASESORES</b>	<b>: M.Sc. JAIME CHAVEZ MATIAS</b>
<b>LUGAR DE EJECUCIÓN</b>	<b>: LABORATORIO DE SEMILLAS E INVERNADERO DE LA FACULTAD</b>
<b>DURACIÓN</b>	<b>: 8 MESES</b>

**TINGO MARÍA - PERÚ**



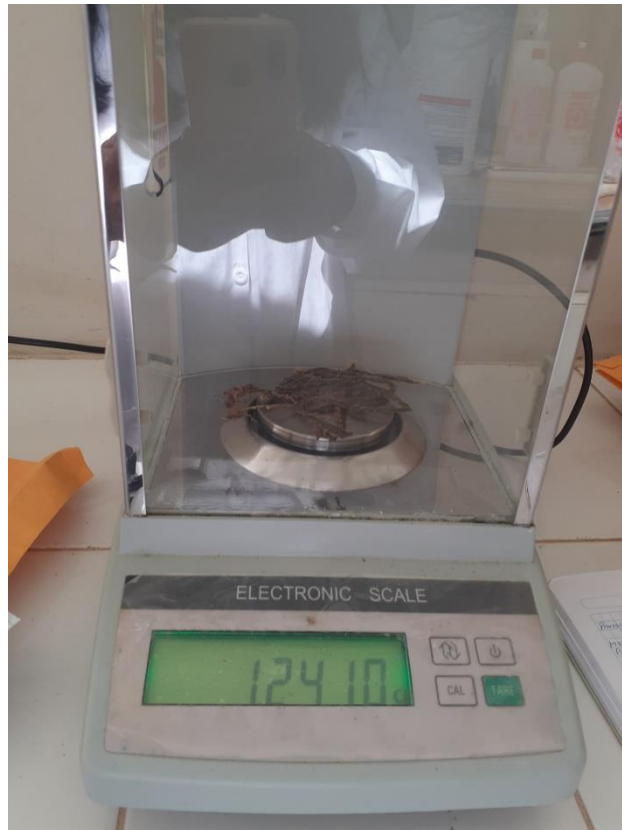

**Figura 17.** Plántulas de pitahaya amarilla con 145 días después del trasplante establecidas en el invernadero de la Facultad de Agronomía - UNAS.



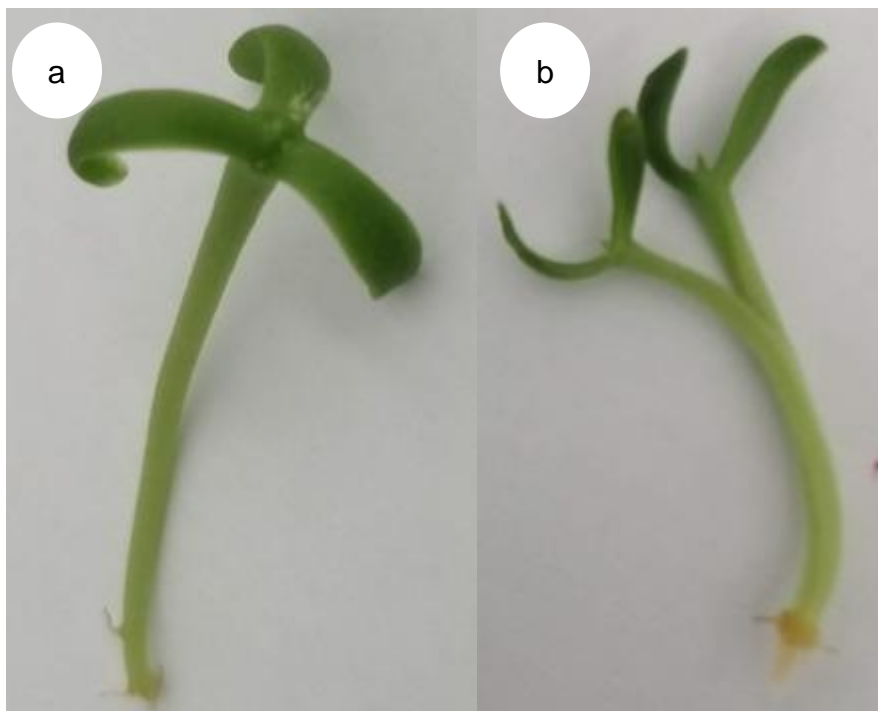
**Figura 18.** Realizando pesado en fresco de plántulas de pitahaya amarilla.



**Figura 19.** Realizando Proceso de secado de las plántulas de pitahaya amarilla en la estufa, organizado por tratamientos y repeticiones.



**Figura 20.** Realización del pesaje en seco de las muestras después de retirarlas de la estufa.



**Figura 21.** a) Planta normal con sus hojas trifoliadas, b) Planta anormal con malformaciones