



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Tlajomulco



## TESIS

CON EL TEMA:

**“Efecto de luz LED comercial de colores en el desarrollo vegetativo de fresa (*Fragaria x ananassa*), cultivada en sistema aeropónico vertical a partir de vitroplantas”**

QUE PRESENTA:

**PAOLA GUADALUPE BARAJAS ROJO**

ASESOR:

**DR. CARLOS ARIAS CASTRO**

REVISORES:

**DRA. MARTHA ALICIA RODRÍGUEZ MENDIOLA  
ING. MIGUEL HERNANDEZ FLORES**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA EN AGRONOMÍA**

TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. MARZO, 2023.



Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, **01/marzo/2023**

No. DE OFICIO: D.SA/411/2023  
ASUNTO: Autorización de impresión  
definitiva y digitalización

**C. PAOLA GUADALUPE BARAJAS ROJO  
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA  
P R E S E N T E**

Dado que el Comité dictaminó como **APROBADA** su TITULACIÓN INTEGRAL OPCIÓN I ( TESIS ), con el tema **“Efecto de luz LED comercial de colores en el desarrollo vegetativo de fresa (Fragaria x ananassa), cultivada en sistema aeropónico vertical a partir de vitroplantas”** y determinó que da cumplimiento con los requisitos establecidos, se le notifica que tiene la autorización para su impresión definitiva y digitalización.

Sin otro particular quedo de usted.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica®  
Educando para la Sociedad Actual y los Retos del Futuro*

**C. MARÍA ISABEL BECERRA RODRÍGUEZ  
DIRECTORA DEL PLANTEL**



C.c.p.- Coordinación de Apoyo a la Titulación. - Edificio  
C.c.p.- Minutario. -

MIBR/AIBR/ALGC/mjhc



Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, **24/FEBRERO/2023**

No. DE OFICIO: D.SA/DCA/109/2023  
ASUNTO: Liberación de proyecto para  
la titulación integral.

**ICE. ANA LUISA GARCIA CORRALEJO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**P R E S E N T E**

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:</b>	PAOLA GUADALUPE BARAJAS ROJO
<b>NO. DE CONTROL:</b>	18940224
<b>PRODUCTO:</b>	OPCIÓN I ( TESIS )
<b>CARRERA:</b>	INGENIERÍA EN AGRONOMIA
<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b>	<b>"Efecto de luz LED comercial de colores en el desarrollo vegetativo de fresa (Fragaria x ananassa), cultivada en sistema aeropónico vertical a partir de vitroplantas"</b>

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

**ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
Educando para la Sociedad Actual y los Retos del Futuro

  
**ING. MIGUEL HERNANDEZ FLORES**  
**RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO**  
**DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

  
SEP  
TECNM  
14DI10003B  
IT TLAJOMULCO  
DEPARTAMENTO  
CIENCIAS  
AGROPECUARIAS

 <b>DR. CARLOS ARIAS CASTRO</b> Nombre y firma del asesor	 <b>DRA. MARTHA ALICIA RODRIGUEZ MENDIOLA</b> Nombre y firma del revisor	 <b>ING. MIGUEL HERNANDEZ FLORES</b> Nombre y firma del revisor
--	---	--

C.c.p.- Expediente.  
MHF/mjhc\*



## AGRADECIMIENTOS

A DIOS por mantenerme con salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de la carrera

Especialmente a mi mamá, María de la luz Rojo, por darme su apoyo incondicional y económico durante mis estudios, gracias por motivarme a ser mejor cada día, por estar siempre en los días los peores días y por todo el amor que me da.

A mi gran ángel en el cielo, mi papá Faustino Barajas, por cuidarme cada día, por estar en cada momento de tristeza y alegrías, y por siempre guiarme por buen camino, gracias por enseñarme la vida en el campo.

A la pareja de mi mamá, Ángel García, por siempre apoyarme y por cuidar y estar al pendiente de mi mamá.

A mi Titi Luma por sus ricas comidas, por siempre hacerme mis antojos, por todo su apoyo y cariño.

A mis padrinos bellos, Dany y Nataly, por su apoyo y motivación

A toda mi familia y a la familia García Madrid por todo su apoyo, en especial a Ale y Moy por ofrecerme un techo durante mi carrera.

Al Dr. Carlos Arias Castro y la Dra. Martha Alicia Rodríguez Mendiola por confiar en mi para ser su residente, gracias infinitas por todos los consejos, enseñanzas y por todas las atenciones.

A mi hermano por cuidarme, ayudarme y por aguantarme siempre que estaba estresada.

A mis abuelitos por sus muestras de cariño, especialmente a mi papá Raúl, por siempre darme ánimos y por darme sus sabios consejos.

A mi Heisel, por terminar este proyecto juntas, aguantar mis cambios de humor repentinos, por siempre escucharme. Gracias por tu apoyo incondicional, por ayudarme a ser mejor persona.

## **DEDICATORIA**

A DIOS por permitirme vida y salud

A mi ángel en el cielo, mi papa Faustino Barajas por ser mi guía y motivación

A mi mamá por ser mi apoyo y motivación.

## RESUMEN

México es el tercer productor y exportador a nivel mundial de fresa (*Fragaria x ananassa*), por lo tanto, es cultivo estratégico generador de desarrollo económico. Sin embargo, sus técnicas tradicionales de producción son complejas e influenciadas por las condiciones del suelo clima y tipos de cultivo. Ante este panorama en la presente investigación para asegurar la obtención plantas libres de enfermedades, de mayor vigor y con alta pureza genética, las plantas provenientes de cultivo *in vitro*, y se adaptaron ex vitro a un sistema aeropónico (nebulización de solución nutritiva en la raíz) de cuatro niveles (uno para cada color) y ambiente controlado, con ahorro de al menos 90% de agua, sin utilización de pesticidas. Por otra parte, el objetivo evaluar lámparas LED de 18 W (blanco, rojo, mix y verde) disponibles comercialmente, en el desarrollo vegetativo de fresa, con un fotoperiodo de 12 h. las lámparas utilizadas emitieron diferentes irradiancias ( $\mu\text{moles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), en orden decreciente: blanca, roja, verde y azul.

Con el consecuente efecto en los datos obtenidos de peso fresco, altura de la planta, longitud de raíz, numero de hojas y clorofila (unidades SPAD). En algunas de estas variables la relación fue directamente proporcional en otras inversa, respecto a la irradiancia, lográndose el objetivo, y la posibilidad de desarrollar formulaciones de luz, para el control vegetativo. Adicionalmente, la capacidad antioxidante mediante DPPH en el extracto etanólico de las hojas, mostro un valor promedio de 86%, similar al obtenido por recientes investigaciones.

**Palabras clave:** aeroponía vertical, luz LED de colores, fresa, antioxidante.

## ABSTRACT

Mexico is the third largest producer and exporter worldwide of strawberry (*Fragaria x ananassa*), therefore, it is a strategic crop that generates economic development. However, their traditional production techniques are complex and influenced by soil climate conditions and types of crops. Faced with this panorama, in the present investigation, to ensure the obtaining of disease-free plants, of greater vigor and with high genetic purity, the plants from *in vitro culture*, and were adapted ex vitro to an aeroponic system (nebulization of nutrient solution in the root) with four levels (one for each color) and a controlled environment, saving at least 90% of water, without using pesticides. On the other hand, the objective is to evaluate 18 W LED lamps (white, red, mix and green) commercially available, in the vegetative development of strawberry, with a photoperiod of 12 h. the lamps used emitted different irradiances ( $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), in decreasing order: white, red, green and blue.

With the consequent effect on the data obtained from fresh weight, plant height, root length, number of leaves and chlorophyll (SPAD units). In some of these variables the relationship was directly proportional in others inversely, with respect to irradiance, achieving the objective, and the possibility of developing light formulations for vegetative control. Additionally, the antioxidant capacity through DPPH in the ethanolic extract of the leaves showed an average value of 86%, similar to that obtained by recent investigations.

**Keywords:** vertical aeroponics, colored LED light, strawberry, antioxidant.

# INDICE

## Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	I
<b>DEDICATORIA</b> .....	II
<b>RESUMEN</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
INDICE .....	1
INDICE DE FIGURAS .....	4
INDICE DE TABLAS .....	5
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>2. OBJETIVO</b> .....	8
<b>2.1 General:</b> .....	8
<b>2.2 Específicos:</b> .....	8
<b>3. HIPOTESIS</b> .....	9
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	10
<b>4.1 Generalidades de la fresa</b> .....	10
<b>4.1.1 Taxonomía</b> .....	10
<b>4.1.2 Variedad</b> .....	10
<b>4.2 Descripción botánica de la fresa</b> .....	10
<b>4.2.1 Sistema radicular</b> .....	11
<b>4.2.2 Tallo</b> .....	11
<b>4.2.3 Estolones</b> .....	11
<b>4.2.4 Hojas</b> .....	11
<b>4.2.5 Inflorescencias</b> .....	11
<b>4.2.6 Flor</b> .....	12
<b>4.2.7 Fruto</b> .....	12
<b>4.3 Fenología de la planta de fresa</b> .....	12
<b>4.4 Requerimientos ambientales de la fresa</b> .....	13
<b>4.5 Importancia del fotoperiodo</b> .....	14
<b>4.6 Importancia económica de la fresa</b> .....	14
<b>4.7 Vitro plantas</b> .....	14

4.8 Capacidad antioxidante.....	14
4.9 Sistemas de producción .....	15
4.9.1 Sistemas de producción hidropónica .....	15
4.9.2 Sistemas recirculantes .....	15
4.9.3 Sistema aeropónico .....	15
4.9.4 Agricultura vertical.....	16
4.10 Solución nutritiva para hidroponía.....	16
4.11 Importancia de la luz en las plantas.....	16
4.12 Iluminación suplementaria.....	17
4.13 Importancia del espectro en la iluminación .....	17
4.14 Calidad de la luz y colores del espectro .....	17
4.14.1 Azul.....	17
4.14.2 Verde .....	18
4.14.3 Rojo .....	18
4.15 Fotorreceptores .....	19
4.15.1 Fitocromos.....	19
4.15.2 Criptocromos.....	19
4.15.3 Fototropinas .....	19
5. JUSTIFICACIÓN.....	20
6. MATERIALES Y METODOS.....	21
6.1 Lugar donde se desarrolló la investigación .....	21
6.2 Material vegetal.....	22
6.2 Preparación de sistema aeropónico .....	22
6.3 Propagación y adaptación de plantas.....	22
6.4 Diseño experimental.....	25
6.5 Mantenimiento de reactores .....	25
6.6 Medición de variables.....	26
6.7 DPPH.....	27
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
7.1 Variables.....	28
7.1.1 Peso fresco.....	28
7.1.2 Altura de la planta .....	29

7.1.3 Longitud de la raíz.....	30
7.1.4 Clorofila.....	30
7.1.5 Número de hojas .....	32
7.1.6 Comparación .....	34
7.2 Fotones y temperatura .....	35
7.3 Actividad inhibitoria .....	35
7.4 Exudados de la raíz .....	36
8. CONCLUSIONES .....	37
REFERENCIAS.....	38

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Morfología de la fresa (Crespo,2018). .....	12
Figura 2 Fenología de la fresa (Google imágenes). .....	13
Figura 3 Espectro de luz visible.....	18
Figura 4 Mapa del instituto tecnológico de Tlajomulco (Google maps). .....	21
Figura 5 Sistema aeropónico con diferentes irradiancias .....	23
Figura 6 Cabina de adaptación de estolones. ....	24
Figura 7 Diseño experimental.....	25
Figura 8 Medición de variables: peso fresco, altura de la planta, longitud de raíz, clorofila, número de hojas y medición de iones.....	26
Figura 9 Procedimiento para la extracción de DPPH. ....	27
Figura 10 Efecto de la longitud de onda en el peso fresco de plantas de fresa. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ). .....	28
Figura 11 Efecto de la longitud de onda en la altura de la planta de fresas. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo al método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ). .....	29
Figura 12 Efecto de la longitud de onda en la longitud de raíz en plantas de fresas. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ). .....	31
Figura 13 Efecto de la longitud de onda en el contenido de clorofila (SPAD) en hojas de fresa. s. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ). .....	32
Figura 14 Efecto de la longitud de onda en el número de hojas en plantas de fresas, A) blanca, B) roja, C) mix y D) verde. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ). .....	33
Figura 15 Efecto de diferentes colores de luz LED en la capacidad antioxidante en hojas de fresa.....	35

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la fresa (Toapanta,2021) .....	10
Tabla 2 Solucion nutritiva .....	24
Tabla 3 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en el peso fresco de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4. ....	29
Tabla 4 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en la altura de plantas de fresa.....	30
Tabla 5 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en la longitud de la raíz de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4. ....	31
Tabla 6 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en el contenido de clorofila (SPAD)de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4.....	32
Tabla 7 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en el número de hojas de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4 .....	33
Tabla 8 Comparación semanal con fotografías .....	34
Tabla 9 medición de fotones y temperatura .....	35
Tabla 10 Valores de iones en la solucion nutritiva .....	36

## 1. INTRODUCCIÓN

La fresa es una fruta muy apreciada a nivel mundial debido a su sabor, olor y sus beneficios nutricionales como lo es su gran contenido de vitaminas(A, C, B2 y B3), antioxidantes y minerales, un alto porcentaje en fibra. Su consumo ayuda a disminuir los niveles de colesterol en la sangre y a contrarrestar enfermedades como la anemia. Tiene efecto positivo en personas que usan este producto para mejorar su apariencia personal ya que se ha comprobado que disminuye el acné, manchas y reduce la aparición de arrugas (Sánchez Ortiz, 2022).

En México el 95.4% del total de fresa se produce en 3 estados: Michoacán, Baja California y Guanajuato, siendo un cultivo que se cosecha casi todo el año, pues la temporada de esta fruta va desde noviembre hasta julio, con los meses de agosto, septiembre y octubre en mínimos de producción, debido al cambio de temporada. El pico de producción está bastante marcado, comenzando con un ligero incremento del volumen durante la primavera, para tener un aumento considerable en mayo y junio, meses que en 2020 concentraron el 44.4% del total de la producción (Cañada, 2022). Ante la gran crisis hídrica que se tiene a nivel mundial, se han desarrollado nuevos sistemas de producción, como las cámaras de ambiente controlado con sistemas aeropónicos verticales.

La aeroponía es un proceso de cultivo aéreo, en el que no se hace uso de suelo. El principio básico de esta técnica es el desarrollo de las plantas en un entorno cerrado, dentro del cual se rocían sus raíces colgantes con una disolución acuosa rica en nutrientes. Esto se logra gracias a unos aspersores dentro del sistema, que cada cierto tiempo expulsan la solución (Salazar, 2021).

La luz es uno de los factores ambientales más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En las plantas, la luz incide principalmente de dos formas, como fuente de energía o como medio de información. Como fuente de energía, es captada por las

plantas y convertida en energía química a través de la fotosíntesis. Solo el 10% de la energía total capturada se convierte en energía química, el resto se convierte en calor y se libera al medio ambiente. Como fuente de información, la luz participa en la regulación de diferentes procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando directamente la fisiología y la morfología, así como la síntesis de metabolitos secundarios (Kozai y Zhang, 2016).

La luz artificial causa efectos fotosintéticos, morfológicos, y cambios en la estructura anatómica de las hojas.

## 2. OBJETIVO

### 2.1 General:

Evaluar el efecto de diferentes irradiancias y longitudes de onda de lámparas LED comerciales, en el desarrollo vegetativo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en cultivo aeropónico vertical bajo un ambiente controlado.

### 2.2 Específicos:

- Adaptación de estolones a sistema aeropónico.
- Evaluar el efecto de luz LED de 18 W (blanco, rojo, verde y mix (rojo-azul) disponibles comercialmente, en el desarrollo vegetativo de fresa, con un fotoperíodo de 12 h.

### **3. HIPOTESIS**

Diferentes longitudes de onda de luz LED comercial al interactuar con plantas de fresa proveniente de vitroplantas, y cultivadas en sistema aeropónico vertical en ambiente vertical, pueden generar diferente desarrollo vegetativo.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Generalidades de la fresa

#### 4.1.1 Taxonomía

Tabla 1 Taxonomía de la fresa (Toapanta,2021)

Taxón	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Manoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Genero	Fragaria
Nombre científico	Fragaria x annassa

#### 4.1.2 Variedad

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es una fruta aromática de color rojo brillante que pertenece a la familia Rosaceae. Descrita y nombrada por el botánico francés Duchesne en 1776, la especie se originó a partir de un cruce accidental entre dos especies octoploides, *Fragaria virginiana* y *Fragaria chiloensis*, en algunos jardines botánicos europeos. Taxonómicamente la fresa se clasifica dentro del Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Orden Rosales, Familia Rosaceae, Rosoideae, Género *Fragaria*, Especie *Fragaria x ananassa* (Romero, 2019).

### 4.2 Descripción botánica de la fresa

En la Figura 1 se observan las diferentes partes de la planta de fresa.

#### **4.2.1 Sistema radicular**

Presentan un sistema radicular fasciculado, compuesto por raíces y raicillas. Las primeras presentan un cambium vascular y suberoso, mientras que las segundas carecen de éste, son de color más claro y tienen un periodo de vida corto (Infoagro, s.f).

#### **4.2.2 Tallo**

El tallo consiste en un eje corto con apariencia cónica, denominado corona. En él se observan numerosas escamas foliares; a partir de la semilla, crece lentamente formando hojas en cuyas axilas crecen las yemas que darán origen a los estolones e inflorescencias (Ciata, 2020).

#### **4.2.3 Estolones**

Los estolones son ramificaciones laterales. Estos poseen entrenudos en los que pueden aparecer nuevas rosetas de hojas y raíces adventicias, propagándose y produciendo nuevas plantas (Huachi Avila, D. J. 2020).

#### **4.2.4 Hojas**

Son largamente pecioladas y aparecen en roseta provistas de dos estípulas rojizas y se insertan en la corona. Su limbo está dividido en tres folíolos pediculados, de bordes aserrados, tienen un gran número de estomas (300-400/mm<sup>2</sup>), por lo que pueden perder gran cantidad de agua por transpiración (Infoagro, s.f).

#### **4.2.5 Inflorescencias**

Se desarrollan a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas.

La ramificación de la inflorescencia puede ser basal o distal. En el primer caso aparecen varias flores de porte similar, mientras que en el segundo hay una flor terminal o primaria y otras secundarias de menor tamaño (Infoagro, s.f).

#### 4.2.6 Flor

La flor es de color blanca y pequeña. Presenta de cinco a seis pétalos, las cuales pueden llegar a soportar de 20 a 35 estambres y muchos pistilos (Garcia, 2014).

#### 4.2.7 Fruto

Se desarrolla de cada óvulo fecundado el cual da lugar a un fruto de tipo aquenio. El desarrollo de los aquenios, distribuidos por la superficie del receptáculo carnoso, estimula el crecimiento y la coloración de éste (Gualacata, 2019).

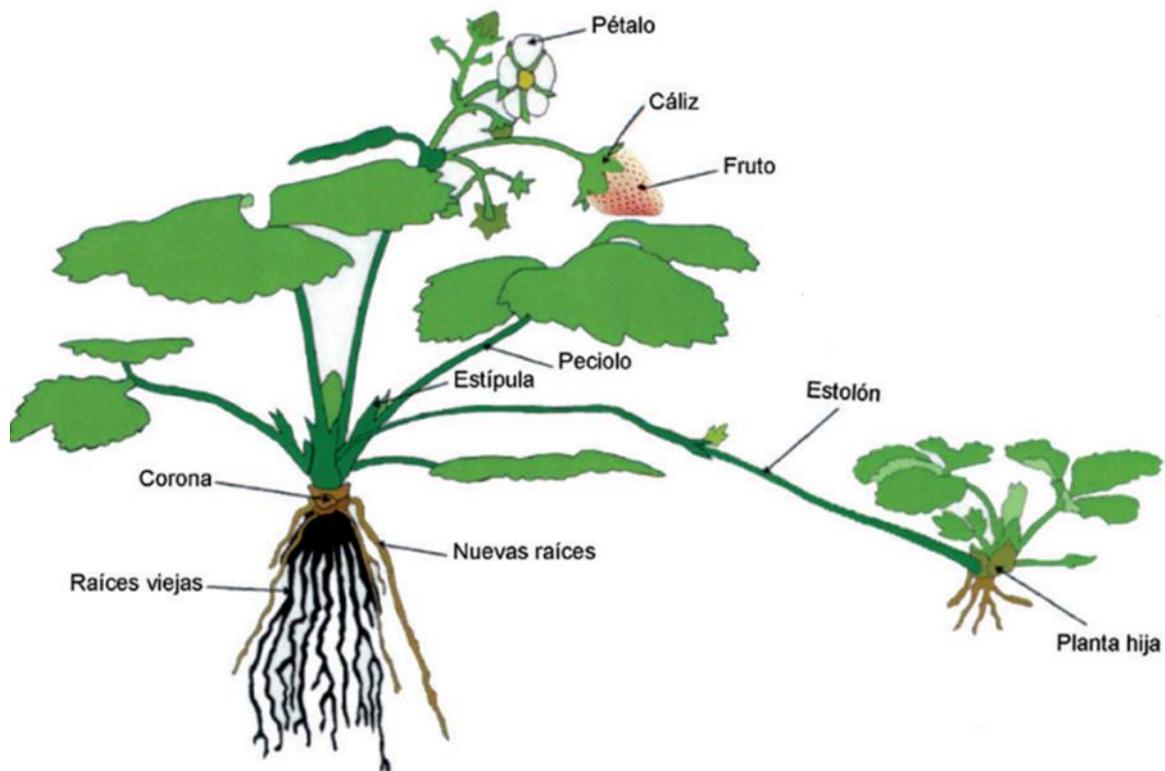


Figura 1 Morfología de la fresa (Crespo,2018).

### 4.3 Fenología de la planta de fresa

- **Fase de reposo vegetativo:** Esta etapa comprende cuando el cultivo de fresa no tiene crecimiento foliar, también se denomina la etapa de dormancia

- **Fase de crecimiento vegetativo:** inicio de brotamiento foliar, fase en que se rompe la dormancia
- **Fase de floración:** en esta etapa se observan de tres a cinco flores
- **Fase de fructificación:** fase en que los frutos verdes comienzan su desarrollo
- **Fase de reproducción vegetativa:** inicio de emisión de estolones (Chavez, 2022).



Figura 2 Fenología de la fresa (Google imágenes).

#### 4.4 Requerimientos ambientales de la fresa

##### - Temperatura

El cultivo se desarrolla adecuadamente entre temperaturas 15-20°C promedio, temperaturas diurnas de 15-18°C hasta 25°C y nocturnos entre 8-10 °C, este siendo un factor importante en la etapa de floración y fructificación para el desarrollo de frutos en la planta (Dario, 2020).

##### - Humedad Relativa

Se recomienda una humedad relativa entre 60-70 % .

##### - pH

El pH requerido por el cultivo de 5.8-7.2

##### - Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica debe ser menor a 1 mmhos·cm<sup>-1</sup>

##### - Fotoperiodo

La mayoría de los cultivos que requieren 12 horas diarias de luz al día para una buena producción (Dario, 2020).

#### **4.5 Importancia del fotoperiodo**

El fotoperiodo regula el crecimiento de las hojas y su dirección, además procesos como la floración están controlados por la cantidad de luz que recibe la planta (Guía de biología, 2016).

#### **4.6 Importancia económica de la fresa**

México es un productor importante de fresa, además de que este cultivo es muy importante desde el punto de vista económico para el país, ya que la producción nacional cubre la demanda del mercado interno, a la par que se exporta un volumen importante hacia los Estados Unidos, donde el objetivo a largo plazo debería ser complementar la temporalidad de California y Florida, o de lo contrario seguirá existiendo una fuerte competencia con dichas regiones.

Sin embargo, si el mercado estadounidense está listo para absorber más volumen de fresa fresca, entonces, aunque México y Estados Unidos tengan su pico de producción más o menos en los mismos meses, no habría problema, aunque los datos parecen indicar que los agricultores mexicanos están buscando adelantarse un poco para obtener mejores precios (Cañada, 2022).

#### **4.7 Vitro plantas**

Las vitroplantas son clones de la planta madre traída del campo, pero que se desarrollan en condiciones artificiales asépticas dentro de un recipiente hermético, sobre un medio de cultivo gelificado, enriquecido con soluciones nutritivas especiales y fitohormonas, bajo condiciones controladas de pH, luz y temperatura (MINCYT, 2019).

#### **4.8 Capacidad antioxidante**

La capacidad antioxidante es una medida de los moles de radicales libres captados por una solución de prueba específica, independiente de la actividad de cualquier antioxidante presente en la mezcla (Benítez. et al, 2021)

## **4.9 Sistemas de producción**

La producción de fresa en macro túneles es una de las más difundidas, sin embargo, la tecnificación en este cultivo ha avanzado a pasos agigantados que hoy es posible encontrar sistemas de producción de fresa bajo invernadero y en hidroponía (Intagri, 2018).

### **4.9.1 Sistemas de producción hidropónica**

Los sistemas de producción hidropónica de fresa varían en su estructura y manejo, pero su principal ventaja sobre la producción en suelo es que se tiene un mejor aprovechamiento del espacio (Intagri, 2018).

### **4.9.2 Sistemas recirculantes**

**NFT.** Se usa una tubería de PVC para que conduzca la solución nutritiva que va a tener sumergidas las raíces de la fresa. Es considerado un sistema cerrado porque la solución no es desperdiciada y se reincorpora. Se busca que el diámetro de las tuberías sea igual al del cepellón de la planta de fresa, por el volumen de raíces y su principal ventaja es que se puede ubicar mayor cantidad de plantas, por el poco espacio de la tubería y hacer pirámides de igual manera que otros sistemas (Intagri, 2018).

### **4.9.3 Sistema aeropónico**

La aeroponía es una variante del sistema hidropónico que consiste en un ambiente cerrado para las raíces. A diferencia de los demás, es una disminución en el gasto de agua, y la eliminación de suelos y/o sustratos. La planta se divide en dos, la parte aérea, como son tallos, ramas, hojas, flores y frutos, y estarán expuestas al ambiente, mientras que las raíces estarán suspendidas en el aire. Las plantas suelen estar soportadas por canastillos o tablas, y por tutores si este la requiere. Los riegos y las frecuencias de estos se realizan por un temporizador, que estará conectado a la bomba, y mediante boquillas asperjará las raíces, creando

una nube en el ambiente llena de nutrientes, propiciando así una mejor aireación a las raíces, logrando acelerar el crecimiento y desarrollo de la planta (De Loera, 2022).

#### **4.9.4 Agricultura vertical**

Es un método para el cultivo de plantas, usualmente sin suelo ni luz natural, que usa el espacio de la altura de un invernadero además del espacio del suelo. Entre las ventajas de la agricultura vertical podemos mencionar que logra mayores rendimientos y tasas de crecimiento más rápidas, es posible mantener una producción durante todo el año, es resistente al cambio climático, utiliza hasta un 98% menos de agua en comparación con la agricultura de campo abierto, y promueve la restauración de ecosistemas dañados (Yat et al, 2018).

#### **4.10 Solución nutritiva para hidroponía**

La solución nutritiva es la vía principal de nutrición de los cultivos en hidroponía la cual debe tener nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, molibdeno, manganeso, boro, zinc, cobre y níquel para ser completa. Cada cultivo requiere de nutrición diferente en cada etapa fenológica, estos elementos están en forma de iones por lo que las plantas las pueden tomar ya que no se puede absorben en su forma elemental proporcionando así el adecuado crecimiento y desarrollo que necesita la planta (González, 2022).

#### **4.11 Importancia de la luz en las plantas**

La percepción de la luz permite que los organismos se adapten a las condiciones de luz cambiantes y tiene un profundo impacto en la morfogénesis, el control fotosintético y la prevención del daño por radiación dañina. En la mayoría de los casos, las especies vegetales tienen la capacidad de responder de forma diferente a la calidad de la luz, entendida como el color o la longitud de onda, su intensidad, es decir, la densidad de flujo de fotones o la irradiancia, y una combinación de ambos (Blanco-Valdés, 2019).

## **4.12 Iluminación suplementaria**

Uno de los componentes más importantes para producir en un sistema controlado es la adición de luz artificial con lámparas LED que aseguran un consumo eficiente de energía. A diferencia de los invernaderos, las plantas que crecen en el interior dependen completamente de la luz artificial para crecer. La eficiencia es del 28-30% y debería mejorar en los próximos años (De Loera,2022).

## **4.13 Importancia del espectro en la iluminación**

El espectro visible es una región del espectro electromagnético que el ojo humano logra percibir, también llamada luz visible. Se emite en una longitud de onda entre 380 a 750 nm (Figura 3), cada color visible se emite en un valor específico de la longitud de onda (Nájera Vázquez, 2020).

## **4.14 Calidad de la luz y colores del espectro**

Las longitudes de onda (Figura 3), que componen el espectro se definen por sus colores y es por esto por lo que existen diferentes definiciones de cuáles son los rangos de cada color (Campoverde,2021).

### **4.14.1 Azul**

La luz azul es percibida por los fotorreceptores de luz azul, las fototropinas y los criptocromos. Las fototropinas median en la regulación estomática y el movimiento de la planta hacia la luz. Los criptocromos regulan muchas respuestas fotomorfogénicas, tales como la inhibición del alargamiento del tallo. Las plantas que crecen bajo una irradiación con elevada luz azul tienen entrenudos cortos, alto contenido de materia seca y baja temperatura de la hoja (Campoverde, 2021).

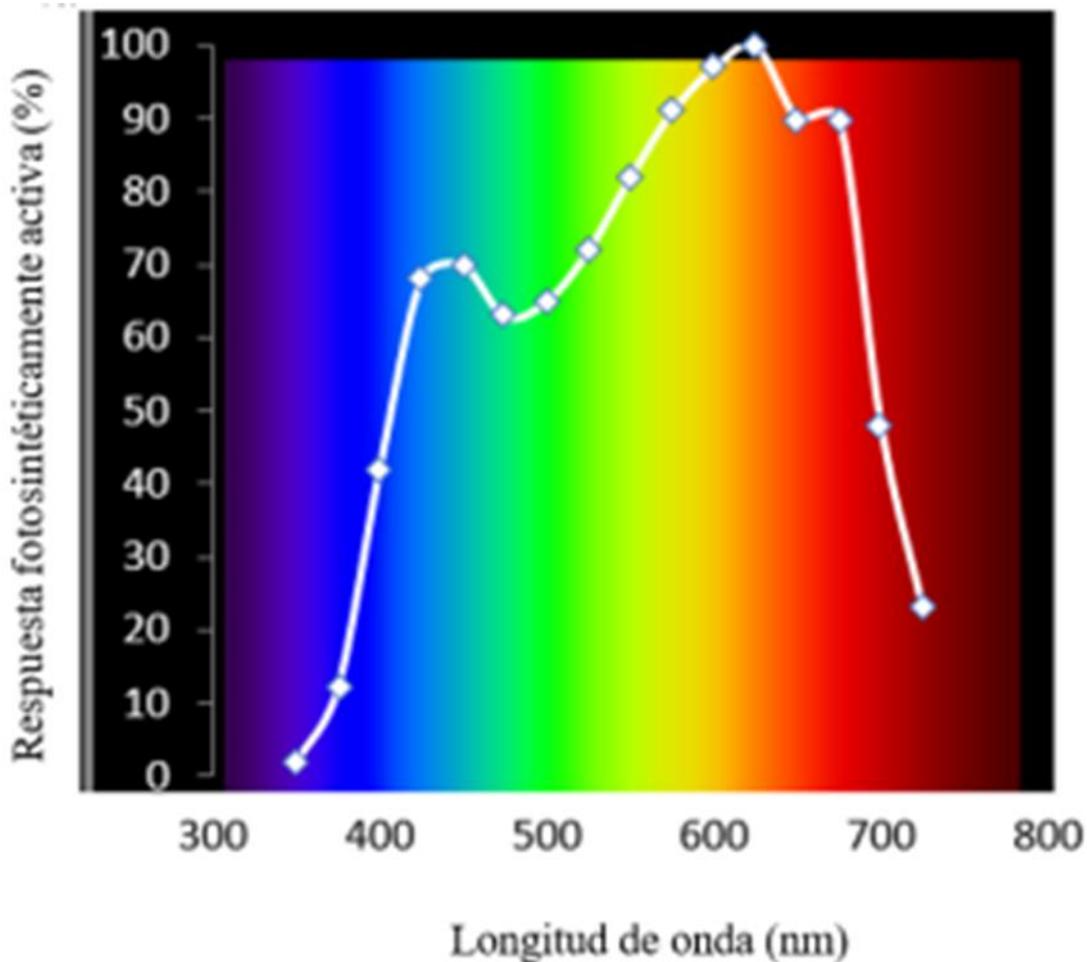


Figura 3 Espectro de luz visible

#### 4.14.2 Verde

La luz verde es percibida al menos parcialmente por fototropinas y criptocromos (receptores de luz azul). La mayoría de la luz verde se refleja o penetra a través del dosel vegetal. Sin embargo, la luz verde contiene información valiosa sobre el entorno de la planta, guiando así el hábito de crecimiento de esta. Las plantas cultivadas bajo la luz verde tienen pecíolos y entrenudos largos y elevada temperatura en las hojas (Campoverde, 2021).

#### 4.14.3 Rojo

La luz roja es percibida por los fitocromos. Los fitocromos absorben tanto la luz roja como la roja lejana, y son los principales reguladores de la respuesta del síndrome

de huida de la sombra. La luz roja convierte los fitocromos a su estado inactivo, que tiene un pico de absorción a 660 nm (Campoverde,2021).

## **4.15 Fotorreceptores**

Los foto-receptores son los sensores encargados de percibir la luz en las plantas, proveen a la planta la información sobre los cambios en la composición espectral de la luz, su intensidad, la dirección y duración de ésta. Controlando así, respuestas fisiológicas y morfológicas además de la fotosíntesis. Las señales lumínicas percibidas por los foto-receptores afectan el ritmo circadiano de la planta y activan respuestas como: cambios en la estructura y forma de las hojas, la germinación de las semillas, elongación de los tallos, entrada de las plantas en floración y síntesis de pigmentos, entre otros (Higuchi y Hisamatsu, 2016).

### **4.15.1 Fitocromos**

Los fitocromos son pigmentos vegetales que dominan distintas características del desarrollo de la planta a través de la información de los cambios de su ambiente promoviendo su crecimiento (Martínez, Monte, & Ruiz,2002).

### **4.15.2 Criptocromos**

Es el responsable de inhibir el alargamiento del hipocótilo y la apertura de los cotiledones, tiene una respuesta alta a la intensidad de luz azul y participa en la inducción de antocianinas (Moya Caza, 2019).

### **4.15.3 Fototropinas**

Las fototropinas absorben luz en el intervalo azul del espectro. Cuando absorben luz, cambian de forma, se vuelven activas y pueden modificar la actividad de otras proteínas en la célula (Khan Academy, s. f.).

## 5. JUSTIFICACIÓN

La producción de fresa a campo abierto requiere la de la utilización de grandes cantidades de herbicidas y fungicidas, así como grandes cantidades de agua. Por lo que se desarrolló un sistema aeropónico donde se tiene un ahorro de agua y ambiente controlado, por lo cual se tienen menos afectaciones de plagas y enfermedades.

## 6. MATERIALES Y METODOS

### 6.1 Lugar donde se desarrolló la investigación

La investigación se realizó en el instituto tecnológico de Tlajomulco en el departamento de posgrado en el interior del laboratorio de biotecnología vegetal, ubicado en Km. 10 carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyutlán, Cto. Metropolitano Sur, 45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.

El clima del municipio es semiseco con invierno y primavera secos, y semicálidos sin estación invernal definida. La temperatura media anual es de 19.7° C, y tiene una precipitación media anual de 821.9 milímetros.



Figura 4 Mapa del instituto tecnológico de Tlajomulco (Google maps).

## **6.2 Material vegetal**

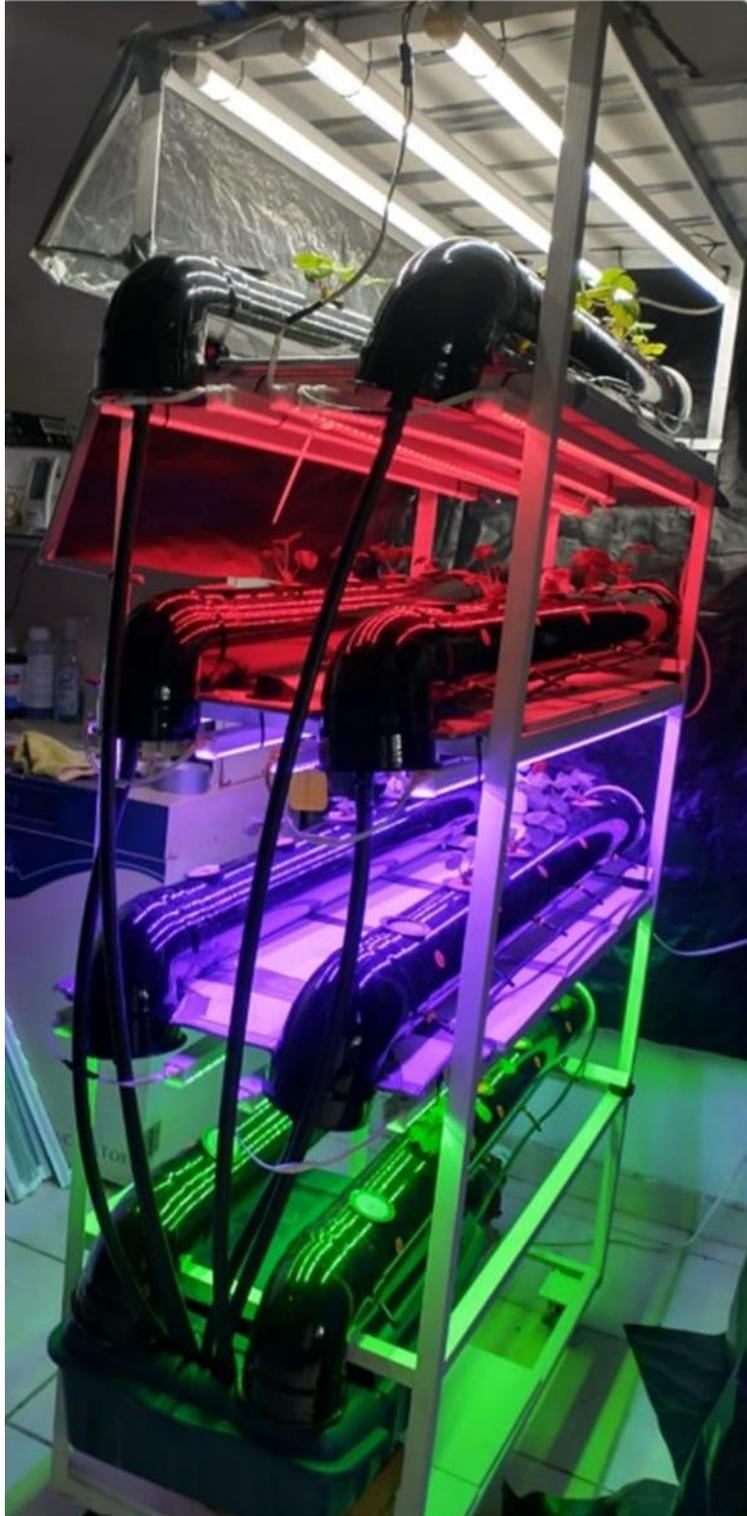
Se utilizaron estolones provenientes de plantas madre las cuales se obtuvieron del cruce de 2 variedades comerciales no identificadas.

## **6.2 Preparación de sistema aeropónico**

Se comenzó cortando, perforando y pintando tubos de PVC, se comienzan a armar y a pegar. Posteriormente se corta manguera de la misma longitud del tubo, esta manguera se coloca en una de las tapas que van en el extremo de los tubos, se perfora y se colocan los aspersores a la manguera. Se utiliza una armazón de niveles en la cual se colocan los tubos de PVC y las lámparas led. Después comienza a armar el sistema hidráulico que conta de conectar los tubos armados a una bomba mediante tubos de PVC de menor diámetro, conectado a una tina donde se almacena agua. Posteriormente se colocan 4 lámparas de luz LED comercial, en cada nivel se utilizó un color diferente (blanco, rojo, mix y verde), como se observa en la figura 5. Para finalizar se realizan pruebas a el reactor para revisar que esté funcionando correctamente.

## **6.3 Propagación y adaptación de plantas**

Se tomaron estolones de las plantas madre, se apararon a un sistema aeropónico para posteriormente ser transferidos al reactor (figura 6)



*Figura 5 Sistema aeropónico con diferentes irradiancias*



Figura 6 Cabina de adaptacion de estolones.

Después de ser transferidos a los reactores se dejaban una semana más con agua para posteriormente agregar solución nutritiva, en este caso se utilizó el medio de Yamazaki (1982) modificada por Fonseca (2022), (tabla 2).

Tabla 2 Solucion nutritiva

Solucion Nutritiua para fresa (Yamazaki, 1982)			
Macros	g/20L	Micros	g/20L
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	0.06
CaCl <sub>2</sub>	1.52	MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.033
KNO <sub>3</sub>	7.51	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.0003
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	3	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.0002
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4.6	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.0029

NOTA: no se calculó el volumen de aspersión que se emitió en los diferentes niveles.

## 6.4 Diseño experimental

Se utilizó un reactor en donde se colocaron lámparas LED comercialmente disponibles (figura 6), realizando un diseño experimental completamente al azar, en donde se tuvieron 4 niveles con diferentes colores (blanco, rojo, mix y verde) y un fotoperiodo de 12 h y (figura 7). Cada color tenía cantidades diferentes de  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ : blanca 160, roja 27, mix 75 y verde 76.



Figura 7 Diseño experimental

## 6.5 Mantenimiento de reactores

Todos los días se realizaba un chequeo de los reactores para asegurarse de que no tiraran agua o las lámparas estuviera quemadas, también se revisaba que los motores o los temporizadores estuvieran funcionando correctamente.

## 6.6 Medición de variables

Se realizaron mediciones semanales de las variables: peso fresco, altura de la planta, longitud de la raíz y clorofila (unidades SPAD). Estas variables se tomaron desde el día que se pasaron las plantas al reactor con sus diferentes luces hasta la semana 4. Se utilizó una cinta de medir para tomar los datos de altura de la planta y longitud de la raíz, una báscula para el peso fresco y un SPAD para medir la clorofila. También se tomaron muestras de los exudados de la raíz y se analizaron con Horiba LAQUAtwin (Figura 8).



Figura 8 Medición de variables: peso fresco, altura de la planta, longitud de raíz, clorofila, número de hojas y medición de iones.

## 6.7 DPPH

Para realizar este procedimiento se necesitaron los siguientes materiales: solución de DPPH al 0,01 mM en metanol, hojas de fresa para analizar, solvente para la muestra, micropipetas, y una placa de 96 pocillos.

En tubos de ensayo se colocó 0.01 gramo de hoja de fresa y 10 ml de etanol, después se envolvió el tubo de ensayo con papel aluminio y se agregó una etiqueta para distinguir cada muestra.

En la placa, se agregó 180 µl de la solución de DPPH al 0,1 mM en metanol y se añadió 20 µl de la muestra en cada pocillo, posteriormente se incubó la placa en completa oscuridad durante 30 minutos para la primera lectura y 1 hora para la segunda lectura.

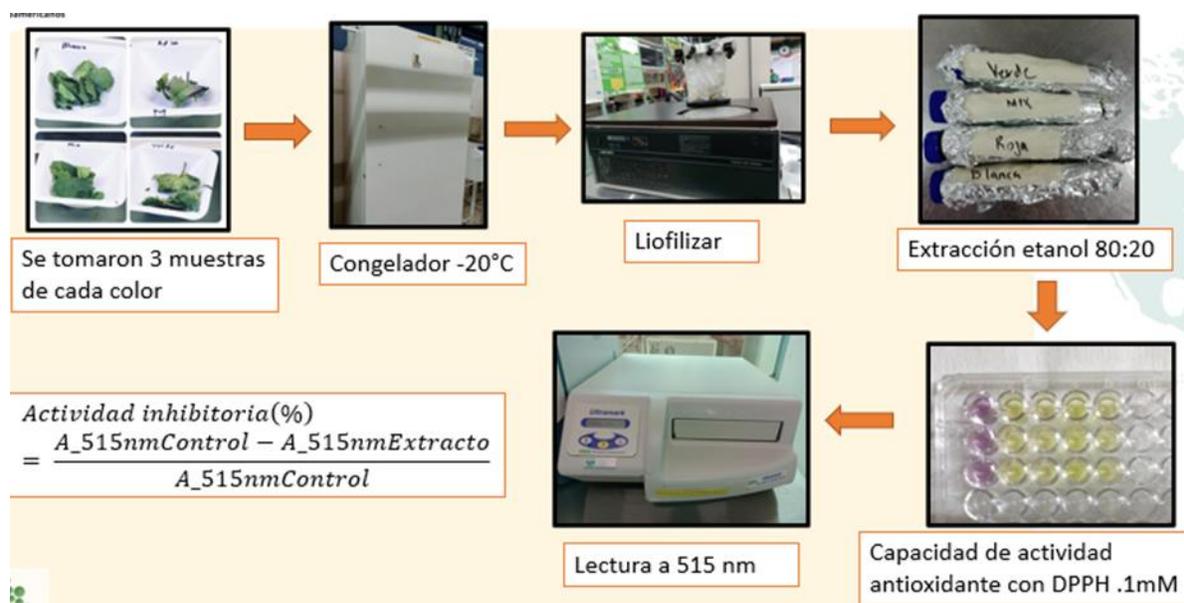


Figura 9 Procedimiento para la extracción de DPPH.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Variables

Los resultados de esta investigación se obtuvieron realizando mediciones semanalmente, así como utilizando el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ). Cabe resaltar que en algunas variables un se obtuvo diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, visualmente se observa diferencias entre cada tratamiento.

#### 7.1.1 Peso fresco

En la figura 9 se observa como la longitud de onda de la luz blanca tiene un mayor incremento en el peso fresco de las plantas, cabe resaltar que no se midió el volumen de aspersion de nutrientes.

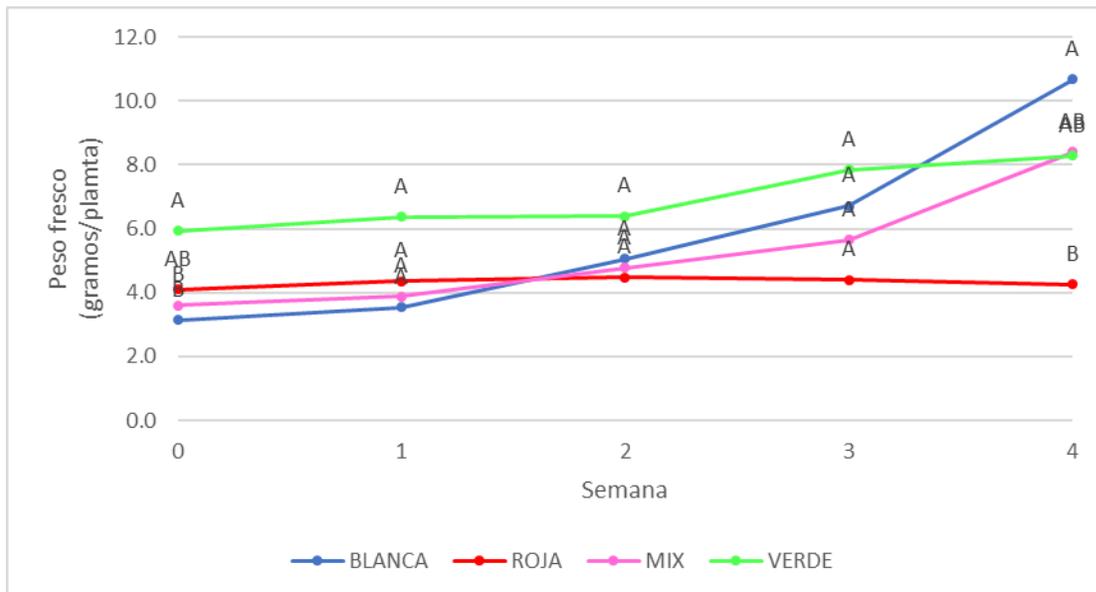


Figura 10 Efecto de la longitud de onda en el peso fresco de plantas de fresa. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ).

Tabla 3 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en el peso fresco de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4.

PESO FRESCO					
Semana 0			Semana 4		
LUZ	Media	Agrupación	LUZ	Media	Agrupación
Verde	5.89	A	Blanca	10.68	A
Roja	3.67	AB	Mix	8.40	AB
Mix	2.99	B	Verde	8.28	AB
Blanca	2.15	B	Roja	4.25	B

### 7.1.2 Altura de la planta

Los resultados obtenidos en la altura de la planta, la luz verde con solo  $76 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  muestra mejor respuesta de la planta, seguido de la luz blanca, la mix y la roja.

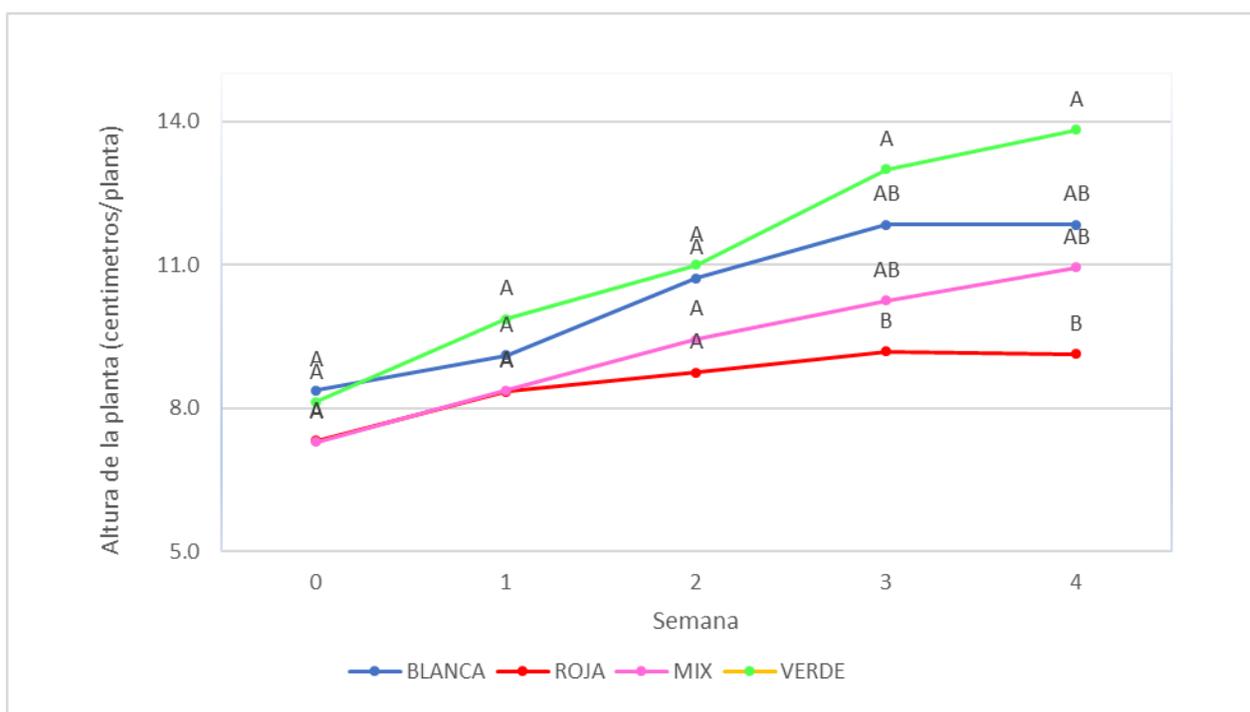


Figura 11 Efecto de la longitud de onda en la altura de la planta de fresas. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo al método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ).

Tabla 4 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en la altura de plantas de fresa

ALTURA DE LA PLANTA					
Semana 0			Semana 4		
LUZ	Media	Agrupación	LUZ	Media	Agrupación
Blanca	8.38	A	Verde	13.83	A
Verde	8.13	A	Blanca	12.28	AB
Roja	7.32	A	Mix	10.94	AB
Mix	7.28	A	Roja	9.12	B

### 7.1.3 Longitud de la raíz

La longitud de la raíz mostro diferencias desde la primera semana hasta la semana 4, siendo la luz blanca la que obtuvo un mayor crecimiento de raíz, seguida de la luz mix, verde y por último la luz roja la cual mostro un resultado negativo, esta reacción probablemente se debe a que la luz roja genera mayor temperatura por lo que se generó una descomposición de la raíz (Figura12).

### 7.1.4 Clorofila

Al final, los diferentes tratamientos no se notó diferencia significativa con un promedio de 44 unidades SPAD (Figura 13). Por otra parte, Palencia, P (2016) obtuvo una media de 42.93 y 35.12 durante un tiempo de 15 semanas.

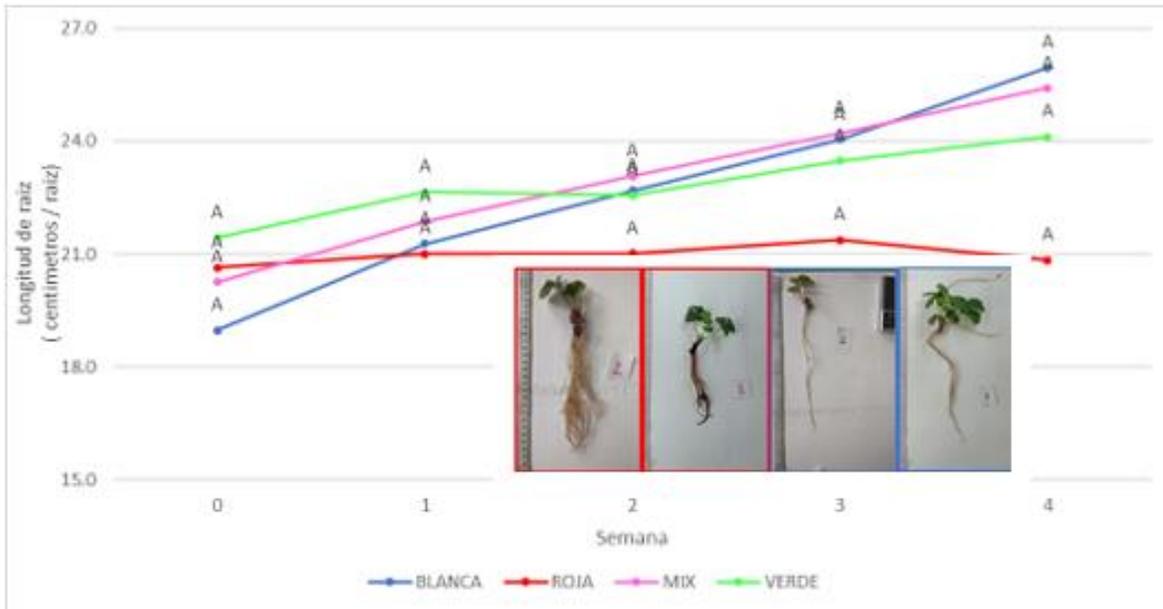


Figura 12 Efecto de la longitud de onda en la longitud de raíz en plantas de fresas. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ).

Tabla 5 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en la longitud de la raíz de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4.

LONGITUD DE LA RAIZ					
Semana 0			Semana 4		
LUZ	Media	Agrupación	LUZ	Media	Agrupación
Verde	21.33	A	Blanca	25.95	A
Roja	20.64	A	Mix	25.41	A
Mix	20.25	A	Verde	24.12	A
Blanca	18.98	A	Roja	20.84	A

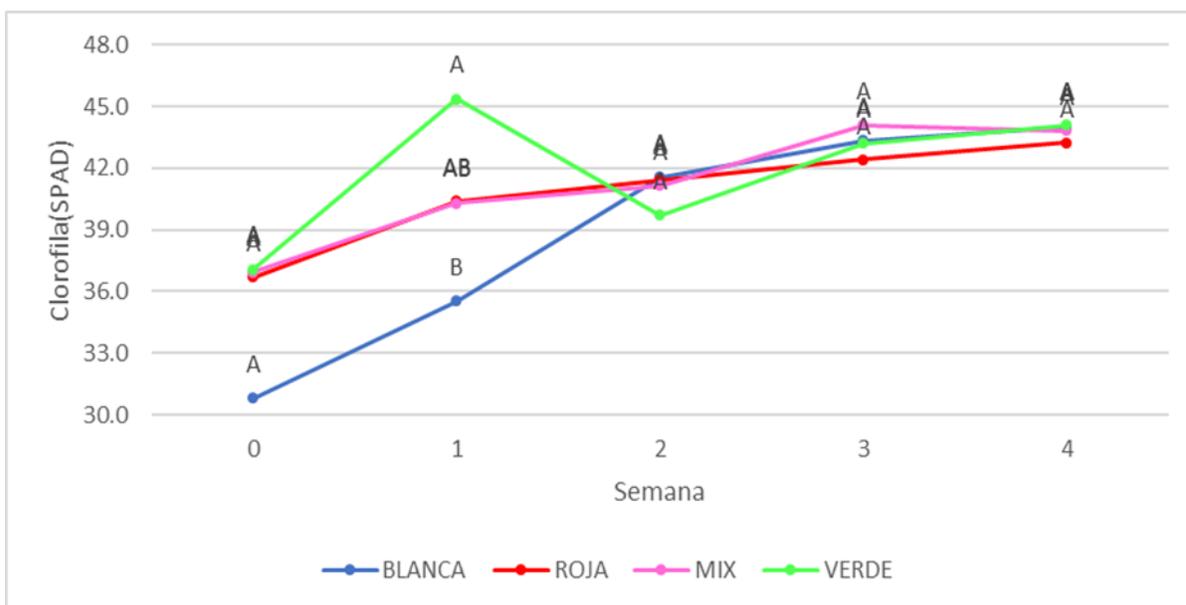


Figura 13 Efecto de la longitud de onda en el contenido de clorofila (SPAD) en hojas de fresa. s. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ).

Tabla 6 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en el contenido de clorofila (SPAD) de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4.

CLOROFILA (SPAD)					
Semana 0			Semana 4		
LUZ	Media	Agrupación	LUZ	Media	Agrupación
Verde	39.53	A	Verde	44.10	A
Mix	36.94	A	Blanca	44.00	A
Rojo	36.69	A	Mix	43.84	A
Blanca	30.83	A	Roja	43.22	A

### 7.1.5 Número de hojas

El número de hojas de las plantas de fresa en los diferentes tratamientos no mostró diferencias significativas en las primeras semanas, los cambios se observaron a partir de la tercera semana, en la última semana se observó mayor número de hojas con la luz verde.

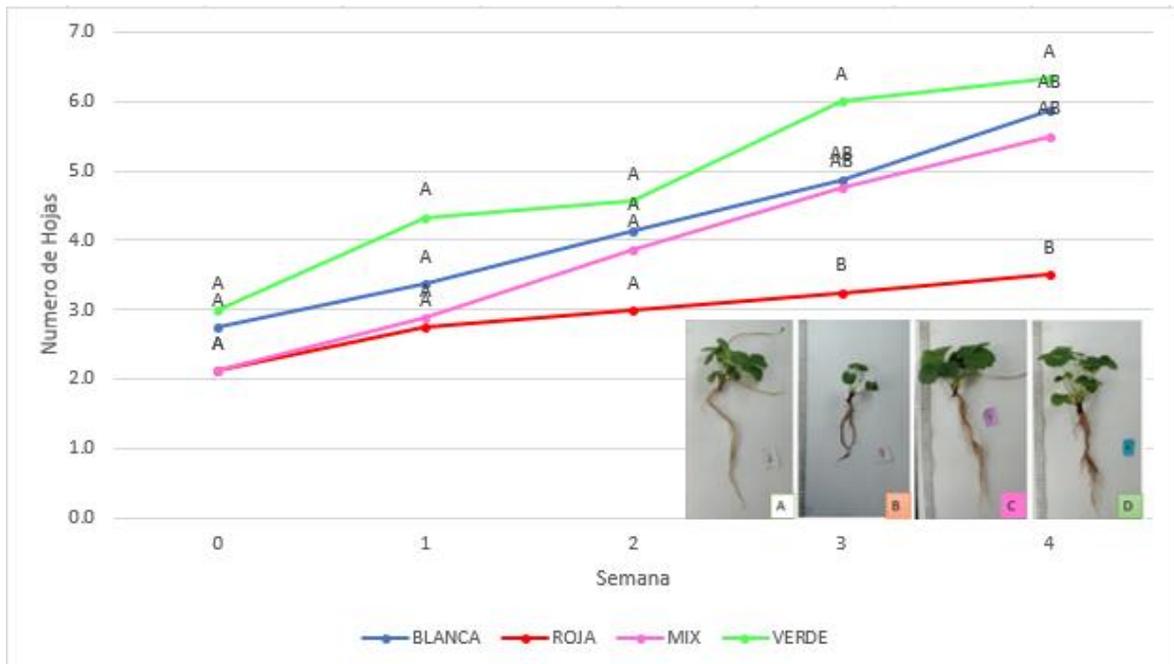


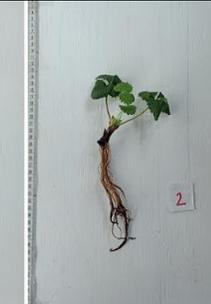
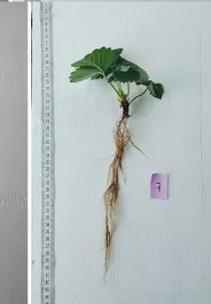
Figura 14 Efecto de la longitud de onda en el número de hojas en plantas de fresas, A) blanca, B) roja, C) mix y D) verde. Letras diferentes significan tratamientos con diferencia significativa de acuerdo con el método de comparación de medias Tuckey ANOVA ( $p < 0.05$ ).

Tabla 7 Comparación del efecto de diferentes longitudes de onda en el número de hojas de plantas de fresa entre la semana 0 y la semana 4

NUMERO DE HOJAS					
Semana 0			Semana 4		
LUZ	Media	Agrupación	LUZ	Media	Agrupación
Verde	3.16	A	Verde	6.33	A
Blanca	2.72	A	Blanca	5.85	A
Rojo	2.25	A	Mix	5.50	AB
Mix	2.12	A	Rojo	3.50	B

## 7.1.6 Comparación

Tabla 8 Comparación semanal con fotografías

		SEMANA				
LUZ		0	1	2	3	4
BLANCA						
ROJA						
MIX						
VERDE						

## 7.2 Fotones y temperatura

Se observo que fueron incrementando la cantidad de fotones conforme iba creciendo la planta y en la temperatura se observó que la luz roja con solo 27  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  genera gran cantidad de calor.

Tabla 9 medición de fotones y temperatura

LUZ	FOTONES $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$			TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$		
	03-nov-22	11-nov-22	17-nov-23	03-nov-222	11-nov-222	17-nov-223
BLANCA	160	194	205	20.8	20.1	20.5
ROJA	27	41	42	21.1	21	21.1
MIX	75	104	90	21.5	21.6	22.2
VERDE	76	80	80	20.7	20.7	20.2

## 7.3 Actividad inhibitoria

Se obtuvo un promedio de 86% de actividad inhibitoria en las hojas de fresa en los diferentes colores de luz LED. Pánico F. et al (2009) mostraron resultados de una inhibición del 78.24% para el ensayo de DPPH.

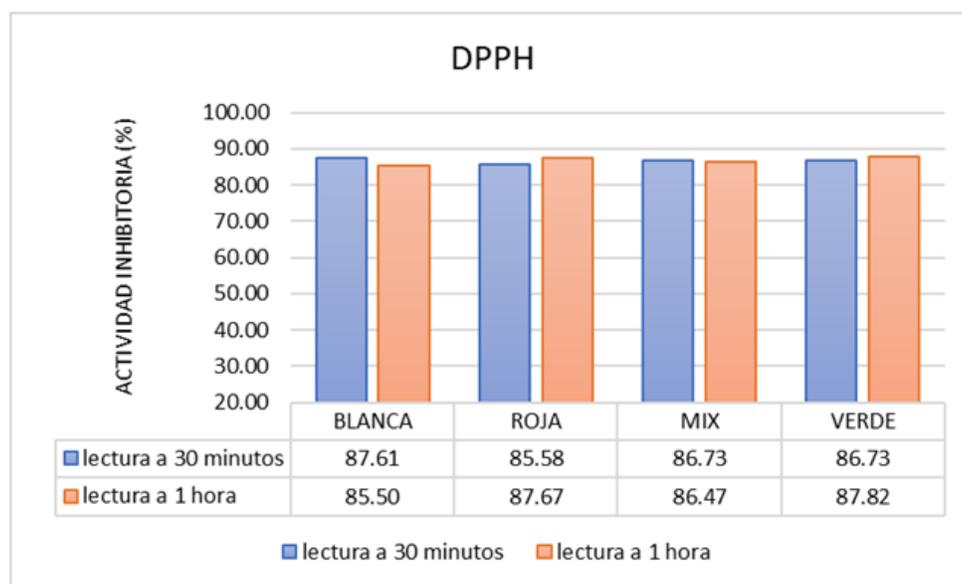


Figura 15 Efecto de diferentes colores de luz LED en la capacidad antioxidante en hojas de fresa.

## 7.4 Exudados de la raíz

Algunos de los iones mostraron un aumento, probablemente por los exudados de la raíz.

Tabla 10 Valores de iones en la solución nutritiva

IONES (ppm)	10/11/2022	23/11/2022
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	280	390
K <sup>+</sup>	220	240
Ca <sup>+</sup>	52	52
Na <sup>+</sup>	11	16
pH	6.2	7.3
COND mS/cm	1077	1155

## 8. CONCLUSIONES

Las luces comerciales utilizadas propiciaron diferentes resultados, destacando los mayores valores en peso fresco y longitud de raíz con luz blanca, la altura de la planta y número de hojas, con luz verde.

Dada las características de cada longitud de onda la cantidad de fotones que generan las lámparas comerciales mostraron un máximo, que puede complementarse en estudios posteriores. Esta investigación deja la opción de hacer una formulación con los deferentes colores para cada etapa fenológica.

## REFERENCIAS

- A.M. Panico, F. Garufi, S. Nitto, R. Di Mauro, R.C. Longhitano, G. Magri, A. Catalfo, M.E. Serrentino & G. De Guidi (2009) Antioxidant activity and phenolic content of strawberry genotypes from *Fragaria x ananassa*, *Pharmaceutical Biology*, 47:3, 203-208, DOI: 10.1080/13880200802462337
- Blanco-Valdés, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. *Cultivos Tropicales*, 40(4), 09.
- Caita, J. F. A.(2020) Fresa.
- Cañada, O. A. B. (2022, 20 octubre). Producción y exportación de fresa en México. ProducePay. Impulsando al Productor, de la Siembra a la Venta. <https://es.producepay.com/produccion-y-exportacion-de-fresa-en-mexico/>
- Campoverde Franco, S. A. (2021). Sistema Hidropónico Vertical de Flujo Laminar de Nutrientes Automatizado (Bachelor's thesis).
- Chávez Tinoco, G., & Canchumanya Chucos, J. N. (2022). Evaluación adaptativa de siete variedades de fresa (*Fragaria vesca* L.), bajo condiciones de Barranca.
- Crespo, C. (2018, 28 junio). Frutilla o fresa blanca: diferencias de manejo para la producción de plantas y fruta. PortalFruticola.com. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/06/29/frutilla-o-fresa-blanca-diferencias-de-manejo-para-la-produccion-de-plantas-y-fruta/>
- DARIO, H. C. R. (2020). DESARROLLO MORFOLÓGICO Y RENDIMIENTO DE TRES VARIEDADES DE FRESA MEDIANTE UN SISTEMA HIDROPÓNICO NFT CANTÓN GUAYAQUIL, GUAYAS (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR).
- DE LOERA HERNÁNDEZ, M. D. C. (2022). CULTIVO AEROPÓNICO DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*) CON LUZ LED Y EFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.
- *El cultivo de la Fresa.* (s. f.). [https://infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_fresa.asp](https://infoagro.com/documentos/el_cultivo_fresa.asp)
- Fonseca Nuñez, D. (2022). Establecimiento del cultivo de fresa (*fragaria x ananassa*) a partir de vitroplantas, en sistema aeropónico vertical en

sala con ambiente controlado y luz LED [Tesis de maestria]. Instituto Tecnológico de Tlajomulco.

- *Fotoperiodo | La guía de Biología.* (2016b, mayo 30). <https://biologia.laguia2000.com/fisiologia-vegetal/fotoperiodo>
- Fototropismo y fotoperiodicidad (artículo). (s. f.). Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/biology/plant-biology/plant-responses-to-light-cues/a/phototropism-photoperiodism>
- Gonzalez Jimenez, A. C. (2022). Evaluación de soluciones nutritivas en lechuga (*Lactuca sativa* L.) con la técnica hidropónica NFT, para mejorar la calidad y rendimiento en la Provincia de Santa Elena (Bachelor's thesis, UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL-FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS).
- Gualacata Cabascango, J. D. (2019). *Control químico del (*Micosphaerella fragaria*), en la hoja del cultivo de la fresa (*Fragaria ananassa*) en la zona de Intihuaycopungo, Otavalo-Imbabura* (Bachelor's thesis, El Angel: UTB, 2019).
- Hernández Malvaez, S. Efecto de la concentración y tiempo de exposición del lactato de calcio en los parámetros de calidad de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch).
- Higuchi, Y. and T. Hisamatsu. 2016. Light acts as a signal for regulation of growth and development. (cap. 5, pp. 57-73).
- Huachi Avila, D. J. (2020). *Evaluación de dos bioestimulantes en el cultivo de fresa (*Fragaria annanasa*) variedad albión californiana* (Bachelor's thesis).
- Intagri. (2018). Producción Hidropónica de Fresa | Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/produccion-hidroponica-de-fresa>
- Kozai, T. and G. Zhang. 2016. Some aspects of the light environment. (cap. 4, pp. 49-55). En: Kozai, T.; K. Fujiwara and E. Runkle. (Ed.). LED lighting for urban agriculture. Singapore: Springer. 454p.

- Martínez, J., Monte, E., & Ruiz, F.(2002). Los fotocromos son unos pigmentos vegetales que controlan diferentes aspectos del desarrollo e informan a las plantas de los cambios operados en el entorno para optimizar su crecimiento. *Investigación y Ciencia*
- Nájera Vázquez, C. (2020). Evaluación de algunos factores de calidad y cantidad de los espectros de radiación en las plantas.
- PALENCIA, P., MARTINEZ, F., BURDUCEA, M., OLIVEIRA, J. A., & GIRALDE, I.. (2016). EFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO CON SELENIO EN SPAD, CALIDAD DE LA FRUTA Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE PLANTAS DE FRESA EN UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 38(Rev. Bras. Frutic., 2016 38(1)). <https://doi.org/10.1590/0100-2945-294/14>
- Romero Tabares, E. D., & Tovar Martinez, D. G. (2019). Efecto de los plaguicidas usados en cultivos de fresa, como posibles disruptores endocrinos: revisión sistemática.
- Salazar, S. S. P. (2021). Aeroponía: cultivo sin tierra. + *Ciencia*, (27), 26-27.
- Sánchez Ortiz, N. E. (2022). *Evaluación de las propiedades bioestimulantes de dos productos alternativos en tres variedades de fresa (Fragaria x ananassa) en la parroquia Montalvo, provincia de Tungurahua* (Bachelor's thesis).
- Toapanta Ichina, J. E. (2021). *Evaluación de tres extractos vegetales para el control de ácaros (Tetranychus urticae Koch) en hojas de fresa (Fragaria x annassa)* (Bachelor's thesis).
- vitroplantas – MINCYT. (2019, 20 noviembre).<https://www.mincyt.gob.ve/tag/vitroplantas/>
- Yat, J. A. C. S. Evaluación de sistema de agricultura vertical tecnificado para producción de cultivos agrícolas que minimicen la inseguridad alimentaria en Camotán, Chiquimula.

