



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA

INGENIERÍA EN AGRONOMÍA

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FISIOLÓGICA DE
PLÁNTULAS DE FRESA EN LUZ LED ROJA, AZUL Y VIOLETA**

TESIS

PRESENTA

BRENDA JAZMIN MONTIEL BERBER

COMÍTE DE TESIS

DIRECTOR: DR. JORGE ERIC RUÍZ NIETO

CODIRECTOR: DR. JESÚS HERNÁNDEZ RUÍZ

ASESOR: DRA. ANA ISABEL MIRELES ARRIAGA

ASESOR: DRA. ANA MARTHA CRUZ ÁVALOS

IRAPUATO, GUANAJUATO

JULIO, 2022



"290 años de excelencia educativa".
"2022 Año del Festival Internacional Cervantino, 50 años de diálogo cultural".

DIVISION DE CIENCIAS DE LA VIDA.

DIRECCION.

Oficio: DICIVA/0693/2022.

Asunto: Autorización de Modalidad de Titulación.

C.

BRENDA JAZMIN MONTIEL BERBER,
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA,
P R E S E N T E.

Por medio de la presente y una vez revisado que ha cumplido integralmente el plan de estudios del Programa Académico y, con base en el Artículo 3 del *Reglamento de las Modalidades para la Obtención del Grado de Licenciatura y Procedimiento para la Obtención del mismo* y Artículo 72 del Reglamento Académico de la Normatividad de la Universidad de Guanajuato, me permito indicarle que doy mi autorización para que inicie el proceso de titulación por la *modalidad de Trabajo de Tesis*.


Sin otro asunto y enviándole un cordial saludo, se despide.

A T E N T A M E N T E

"LA VERDAD OS HARA LIBRES"

Irapuato, Gto., 9 de Diciembre de 2022.

EL DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA


DR. ROGELIO COSTILLA SALAZAR.


UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA
División de Ciencias de la Vida
Ex-Hacienda El Copal, Irapuato, Gto.

- DIRECCION -

C.c.p. Consecutivo.

CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

Ex Hacienda El Copal, Km 9 Carretera Irapuato-Silao:
C.P.36824 A.P. 311, Irapuato, Gto., México.
Tel. y Fax: 462 624 18 89.



"290 años de excelencia educativa".
"2022 Año del Festival Internacional Cervantino, 50 años de diálogo cultural".

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA.

C.

DR. ROGELIO COSTILLA SALAZAR,
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA
CAMPUS IRAPUATO – SALAMANCA,
P R E S E N T E.

En relación al trabajo de titulación de la C. **BRENDA JAZMIN MONTIEL BERBER** nos permitimos comunicar a Usted que el trabajo de Tesis: **"CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FISIOLÓGICA DE PLÁNTULAS DE FRESA EN LUZ LED ROJA, AZUL Y VIOLETA"**, que fue desarrollado bajo la Dirección del Dr. Jorge Eric Ruiz Nieto y la Co-Dirección del Dr. Jesús Hernández Ruiz, Profesores de la División de Ciencias de la Vida, ha sido terminado. El escrito fue revisado por la Dra. Ana Isabel Mireles Arriaga y la Dra. Ana Martha Cruz Avalos, profesoras de la División de Ciencias de la Vida, se ha autorizado la impresión y empastado del mismo.

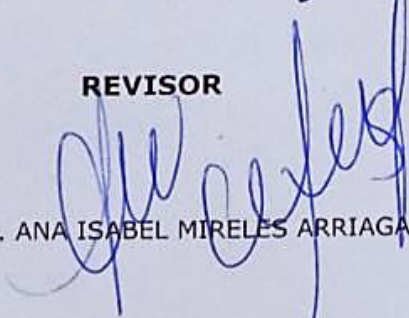
Así mismo nos permitimos proponer la integración del Jurado a los señores:

| | |
|---------------------------------|------------|
| DRA. ANA ISABEL MIRELES ARRIAGA | PRESIDENTE |
| DRA. ANA MARTHA CRUZ AVALOS | SECRETARIO |
| DR. JORGE ERIC RUIZ NIETO | VOCAL |

ATENTAMENTE
Irapuato, Gto., 6 de Diciembre de 2022.


DR. JORGE ERIC RUIZ NIETO
DIRECTORA

REVISOR


DRA. ANA ISABEL MIRELES ARRIAGA

REVISOR


DRA. ANA MARTHA CRUZ AVALOS

CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

Ex Hacienda El Copal, Km 9 Carretera Irapuato-Silao:
C.P.36824 A.P. 311. Irapuato, Gto., México.
Tel. y Fax: 462 624 18 89.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato, campus División Ciencias de la Vida, por darme la oportunidad de conocer y aprender acerca de esta bella carrera y por brindarme sus espacios para el desarrollo de mi formación académica y de este proyecto.

A mi director de tesis, el doctor Jorge Eric Ruiz Nieto por brindarme su ayuda, tiempo y acompañamiento, durante y después de la realización de este gran proyecto; por revisar el desarrollo de la tesis y también por su apoyo para lograr una basta y correcta investigación.

A mi codirector y asesores de tesis, por el tiempo tomado para la revisión de la presente tesis.

A las personas encargadas del laboratorio por la ayuda y confianza brindada.

A las personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de este proyecto.

DEDICATORIAS

Principalmente, doy gracias a Dios y a la vida por permitirme llegar a la meta deseada y dar este gran paso.

A mi mamá, María Catalina Berber Hurtado, por su gran apoyo, tiempo, amor y cariño brindado, también por su paciencia, por alentarme siempre a ser mejor persona y nunca desistir de mis metas y por su gran esfuerzo para que yo pudiera tener estudios y lograr ser una profesionista.

A mi papá, José Manuel Montiel Sánchez, por ser tan trabajador, por su esfuerzo y sobre todo por apoyarme tanto económicamente como moralmente, para poder dar este gran paso en mi vida.

A mis hermanos y hermana, Isaac Emmanuel, Isaías Missael y Daniela Monserrath, por nunca dejarme sola, por echarme porras y celebrar mis triunfos como si fueran suyos.

A mis abuelos, Ma. Guadalupe Hurtado Torres y Hermenegildo Berber Vargas, que son como mis segundos papás, por su gran cariño y amor, por apoyarme, por alentarme a seguir siempre adelante, por todo lo bonito que me han dado. Aunque a mi abuelo la vida terrenal se le haya terminado, gracias hasta donde sea que él esté, por enseñarme lo que un papá les enseña a sus hijos.

A mi tía, Miriam Guadalupe Berber Hurtado y sus hijos que al igual, siempre han estado conmigo, me han apoyado y me han brindado su amor.

A mis amigas (os), que han estado conmigo durante toda la carrera, por apoyarme, por darme consejos y por no dejarme sola cuando las (os) necesito.

*A todas las personas que estuvieron siempre, que Dios las bendiga y guarde,
gracias infinitas por todo.*

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| Índice de figuras | iii |
| Índice de cuadros | iii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 1 |
| 2.1 La fresa | 1 |
| 2.1.1 Origen y domesticación | 1 |
| 2.1.2 Descripción morfológica..... | 1 |
| 2.1.3 Fenología | 2 |
| 2.1.2 Importancia agroalimentaria | 3 |
| 2.1.3 Importancia económica | 5 |
| 2.1.3.1 Panorama mundial..... | 5 |
| 2.1.3.2 Panorama nacional..... | 8 |
| 2.1.3.3 Panorama regional | 9 |
| 2.2 Sistemas de producción de fresa | 10 |
| 2.2.1 Producción tradicional..... | 10 |
| 2.2.2 Niveles de tecnificación | 13 |
| 2.2.3 Producción de semilla | 13 |
| 2.2.3.1 Morfología..... | 13 |
| 2.2.3.2 Sistemas de producción de semillas..... | 14 |
| 2.2.3.3 Variedades de fresa..... | 15 |
| 2.2.4 Obtención de plántulas | 17 |
| 2.3 La luz | 17 |
| 2.3.1 La iluminación LED en la agricultura..... | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.4 La percepción de la luz por las plantas | 21 |
| 2.4.1 Estrés lumínico | 23 |
| 2.4.2 Fotomorfogénesis | 25 |
| 2.4.3 Respuestas morfológicas..... | 26 |
| 2.4.2 Respuestas fisiológicas | 26 |
| 2.5. Análisis de imágenes en biología vegetal | 28 |
| 2.6 Antecedentes | 29 |
| III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS..... | 30 |
| 3.1 Hipótesis | 30 |
| 3.2 Objetivo principal..... | 30 |
| 3.3 Objetivos específicos | 30 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 30 |
| 4.1 Ubicación del experimento..... | 30 |
| 4.2 Material vegetal..... | 31 |
| 4.3 Tratamientos de luz LED..... | 31 |
| 4.4 Germinación y obtención de plántulas | 32 |
| 4.5 Variables evaluadas..... | 33 |
| 4.5.1 Germinación | 33 |
| 4.5.2 Biomasa | 33 |
| 4.5.3 Análisis de imágenes | 33 |
| 4.5.4 Índices Cromo y Hue | 33 |
| 4.6 Análisis estadístico..... | 33 |
| V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 33 |
| 5.1 Germinación..... | 34 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 5.2 Biomasa | 35 |
| 5.3 Modificaciones morfológicas | 35 |
| 5.4 Variaciones en el color | 37 |
| VI. CONCLUSIÓN | 39 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA | 40 |

Índice de figuras

| | |
|-----------------|----|
| Figura 1 | 1 |
| Figura 2 | 3 |
| Figura 3 | 6 |
| Figura 4 | 7 |
| Figura 5 | 9 |
| Figura 6 | 14 |
| Figura 7 | 18 |
| Figura 8 | 31 |
| Figura 9 | 32 |
| Figura 10 | 38 |

Índice de cuadros

| | |
|----------------|---|
| Cuadro 1 | 4 |
| Cuadro 2 | 5 |

| | |
|----------------|----|
| Cuadro 3 | 12 |
| Cuadro 4 | 13 |
| Cuadro 5 | 34 |

I. INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa*) fue introducida en Europa por los primeros colonos de Virginia (Estados Unidos). Con la llegada de la fresa en el siglo XIX, se obtuvieron nuevas variedades que ganaron en tamaño y perdieron en sabor. Más tarde se realizaron cruces entre ésta y una variedad chilena, consiguiendo una fresa grande y sabrosa. Se conocen en el mundo más de 1,000 variedades de fresa, fruto de la gran capacidad de hibridación que tiene esta especie (Olivera-Soto, 2012).

Las semillas de la fresa en realidad son frutos secos del ovario monocarpelar, y visualmente son esas semillitas marrones que quedan alrededor de toda la fruta. Si se observa detalladamente, se pueden ver los restos de estilo que quedan por encima de la semilla. Según Sánchez (2007), los aquenios son monocarpelados; es decir, forman un único carpelo e indehiscentes; es decir, la corteza no se abre al madurar. Contienen una única semilla que llena el hueco del pericarpio, pero no se adhiere a éste. Respecto a los frutos, cada 100 g poseen de 60 a 90 mg de vitamina C en forma de ácido ascórbico, 8 frutos de fresa medianos tienen más vitamina C que una naranja (Olivera-Soto, 2012).

El cultivo de la fresa en México se inició a mediados del siglo pasado en el estado de Guanajuato. Sin embargo, no fue hasta 1950 que cobró mayor importancia por la creciente demanda de los Estados Unidos originando que el cultivo de esta fruta se extendiera a Michoacán, pasando de cubrir las necesidades del mercado doméstico hasta ser el mayor productor de fresa a nivel nacional (Jiménez, 2008). En términos nacionales, la producción de fresa es importante por la generación de divisas por concepto de exportación ya que México es el principal exportador de fresa al mercado de Estados Unidos (FAOSTAT, 2009). La producción de fresa en la región “El Bajío” estado de Guanajuato se establece bajo el sistema tradicional, el cual es altamente dependiente de la aplicación de fertilizantes, principalmente N, y el uso excesivo de agua con dosis de $500 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ y $2 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ agua ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$, respectivamente (Hernández *et al.*, 2011).

Según Darrow (1966), Dávalos (2009) y Lantz (2010) las condiciones ambientales ideales para el desarrollo de la planta de fresa y las prevalecientes en “El Bajío” estado de Guanajuato son similares exceptuando el tipo de suelo, el cual es arcilloso, pH alcalino mayor que 8 y materia orgánica bajo 1.5. Barroso y Álvarez (1997) reportaron que fisiológicamente, el estrés osmótico derivado de una alta Conductividad eléctrica (CE) del extracto de suelo saturado es un factor adverso que genera lesiones en las hojas y por lo tanto contribuye a un bajo desarrollo de la planta.

Las luces LED, se usan como alternativa en cultivos agrícolas, se conoce que la calidad del espectro de emisión de las luces LED permite causar efectos notables en la anatomía y morfología de las plantas, la absorción de nutrientes e incluso en su composición nutritiva, siendo una alternativa mejor a la aplicación de productos reguladores del crecimiento. Poseen una gran cantidad de ventajas frente a otras fuentes de iluminación, por ejemplo: mayor eficiencia en el consumo energético, gastos mucho menores, vida útil más larga, menor tamaño, más resistentes y no emiten calor en abundancia; aunque su mayor inconveniente es el precio de adquirir esta nueva técnica. Las luces LED han demostrado tasas de fotosíntesis superiores, con un consumo energético menor, por requerir menores esfuerzos para alcanzar la misma intensidad de luz (Etifa, 2020).

La producción de fresa es de gran importancia regional y nacional, sin embargo, el sistema productivo depende del suministro de plántulas con características agronómicas que la mayoría de las veces se logra mediante la aplicación constante de agroquímico. Dichas características se podrían lograr también mediante la implementación de iluminación LED, por lo cual el objetivo del presente estudio es caracterizar morfológica y fisiológicamente plántulas de fresa en luz LED roja, azul y violeta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La fresa

2.1.1 Origen y domesticación

El origen de la fresa (*Fragaria x ananassa*) es europeo, puesto que fue donde se realizaron los ensayos de cruzamiento. En el siglo XVIII se descubrió en Chile una variedad de fresa (*Fragaria chiloensis*) más grande, la cual conocemos hoy en día como fresón o frutilla, es la que comúnmente se siembra en todo el mundo por sus distintos beneficios, por ejemplo, sus altos rendimientos; actualmente recibe el nombre de “fresa”. *Fragaria x ananassa* fue introducida en Europa por los primeros colonos de Virginia (Estados Unidos). Con la llegada de la fresa de Virginia (*Fragaria virginiana*) en el siglo XIX, se obtuvieron nuevas variedades que ganaron en tamaño y perdieron en sabor. Más tarde se realizaron cruces entre ésta y una variedad chilena (*Fragaria chiloensis*), consiguiendo una fresa vigorosa y sabrosa. Se conocen en el mundo más de 1.000 variedades de fresa, fruto de la gran capacidad de hibridación que tiene esta especie (Olivera-Soto, 2012). Según Olivera-Soto (2012), *Fragaria x ananassa* fue originada por el cruce de dos especies octaploides del mismo género ($2n = 8x = 56$) *Fragaria chiloensis* (L.) Duch. x *Fragaria virginiana* L.

2.1.2 Descripción morfológica

Morfología. La planta de fresa es de tipo herbáceo y perenne, con estolones que enraízan en el ápice y hojas compuestas trifoliadas completamente (Figura 1).

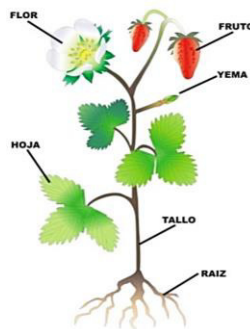


Figura 1. Planta de fresa completa con el nombre de sus partes.

Fuente: ITSC, (2018).

Sistema radicular. Es fasciculado, se compone de raíces y raicillas, las primeras raíces presentan cambium vascular y suberoso, mientras que las segundas raíces carecen de éste, las raicillas sufren un proceso de renovación fisiológico. La profundidad promedio de las raíces es de 40 cm.

Tallo. Este está constituido por un eje corto de forma cónica, el cual es llamado corona, en él se logran observar numerosas escamas foliares.

Hojas. Las hojas son largamente pecioladas y provistas de dos estipulas rojizas; estas aparecen en roseta y se insertan en la corona; su limbo está dividido en tres foliolos pediculados de bordes aserrados, tienen un gran número de estomas (300 – 400) debido a esto pueden perder gran cantidad de agua por transpiración.

Flor y fruto. Las inflorescencias se pueden desarrollar a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas. La flor tiene de 5 a 6 pétalos, de 20 a 35 estambres y muchos pistilos sobre un receptáculo carnosos, el desarrollo de los aquenios da lugar al fruto de la fresa (ITSC, 2018).

2.1.3 Fenología

Las etapas del desarrollo del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) son vegetativa y productiva, en términos económicos se considera una productiva seguida de la senescencia de las plantas como se describe a continuación.

Etapas vegetativa

- Brotes: las yemas principales comienzan a crecer.
- Desarrollo de las hojas: se desarrollan las primeras hojas emergentes y las primeras hojas desplegadas, consta de nueve o más hojas desplegadas.
- Desarrollo de las partes vegetativas coséchaes: comienza la formación del estolón (2 cm de longitud) y los brotes de la planta para ser trasplantados.

Etapa reproductiva

- Aparición de órgano floral: primeras yemas florales salidas.
- Floración: primeras flores abiertas, plena floración y caída de pétalos.

Etapa productiva

- Formación del fruto (Figura 2).
- Maduración del fruto.

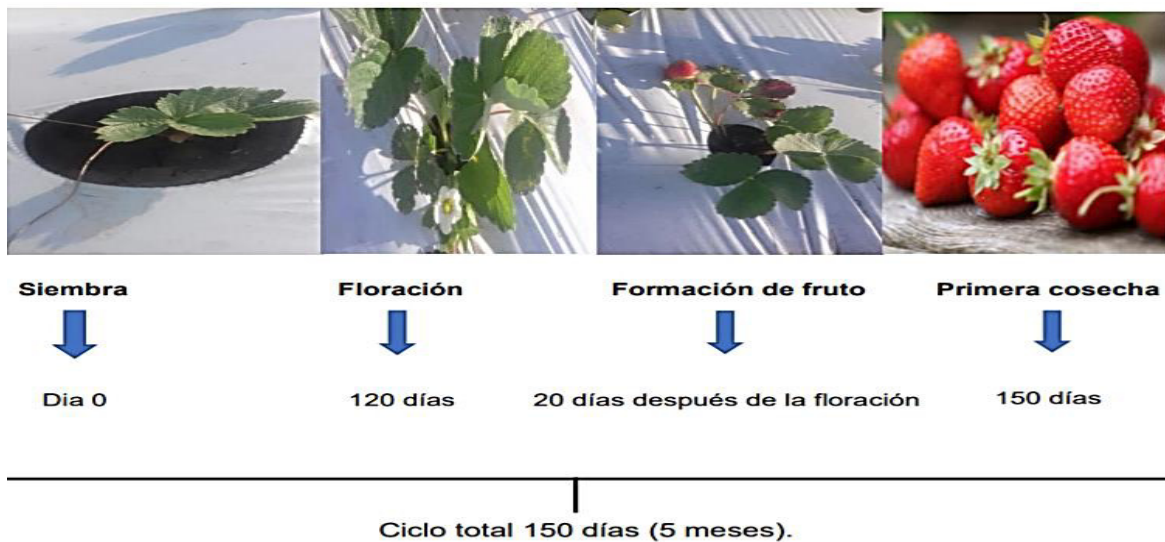


Figura 2. Fenología del cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa*) desde la siembra a la primera cosecha. Fuente: ITSC, (2018).

2.1.2 Importancia agroalimentaria

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es una fuente muy rica de vitamina C, potasio, ácido fólico y además contiene fibra dietética y Betacaroteno, por supuesto tiene 0 colesterol y 0 grasas saturadas (Cuadro 1). Posee de 60 a 90 mg de vitamina C en forma de ácido ascórbico en cada 100 g de fruto comestible, 8 frutos de fresa medianos tienen más vitamina C que una naranja. Es una fruta con poderosas propiedades antioxidantes y anticancerígenas. Su consumo en la dieta alimenticia puede prevenir el escorbuto y enfermedades cardiovasculares debido a sus

propiedades antioxidantes. El distinguido aroma del fruto se debe a aceites esenciales volátiles como el acetato de caprilo (Olivera-Soto, 2012) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valor nutricional por cada 100 g de fruto comestible de fresa.

| Componente | Valor |
|---------------------------|--------------|
| Valor energético | 40 kcal |
| Proteínas | 0.9 g |
| Grasas | 0.5 g |
| Carbohidratos | 13 mg |
| Calcio | 21 mg |
| Fósforo | 21 mg |
| Potasio | 164 mg |
| Ácido Fólico (Vit N o Bc) | 0.07 mg |
| Sodio | 1 mg |
| Hierro | 1 mg |
| Vitamina A | 100 U.I. |
| Vitamina B 1 | 00.3 mg |
| Vitamina B 2 | 0.97 mg |
| Vitamina B 5 | 0.90 mg |
| Vitamina C | 90 mg |

Fuente: Olivera-Soto, (2012).

La fresa contiene ácido elágico, este ácido actúa como un recolector, al enlazar sustancias que pueden causar cáncer, inactivándolas y reduciendo así el riesgo de este. Tiene en su composición flavonoides, en particular dos de ellos, el quercetin y el kaemferol, que según investigaciones han demostrado disminuir el colesterol malo (LDL), previniendo el daño a las paredes de las arterias (Olivera-Soto, 2012). El cultivo de la fresa en México se inició a mediados del siglo pasado en el estado de Guanajuato. En 1950 cobró mayor importancia por la creciente demanda de los Estados Unidos, originando que el cultivo de esta fruta se extendiera a Michoacán y así cubrir las necesidades del mercado doméstico, siendo este el mayor productor de fresa a nivel nacional (Jiménez, 2008). Lo anterior se puede observar en el Cuadro 2, donde a pesar de tener una ligera disminución de la producción en el año 2007, es considerable la importancia del estado en dicha actividad (Ávila-Arce y González-Milán, 2012).

Cuadro 2. Producción nacional de fresas de año 2000 al 2007.

| Periodo | Producción (toneladas) | Valor de la producción (miles de pesos) |
|----------------|-------------------------------|--|
| 2000 | 114,262.13 | 625,156.03 |
| 2001 | 100,719.85 | 641,958.64 |
| 2002 | 96,637.27 | 738,633.88 |
| 2003 | 122,029.72 | 879,478.73 |
| 2004 | 144,150.28 | 969,366.90 |
| 2005 | 128,900.67 | 1,220,305.76 |
| 2006 | 154,893.33 | 1,387,453.89 |
| 2007 | 140,153.31 | 1,087,484.15 |

Fuente: SIAP, (2009).

La producción de fresa tiene un lugar importante a nivel nacional y a nivel regional. En Guanajuato es de gran importancia ya que genera empleo, el cual se crea en la época de cosecha (también conocida como pisca) y las múltiples actividades que surgen en las empresas empacadoras (Ávila-Arce y González-Milán, 2012). En términos nacionales, la producción de fresa es importante por la generación de divisas por concepto de exportación ya que México es el principal exportador de fresa al mercado de Estados Unidos (FAOSTAT, 2009). En el caso particular de las exportaciones de fresas de México a Estados Unidos, es importante considerar la calidad de dicho sector respecto a otros países. No obstante, México se encuentra dentro de los cinco principales exportadores de fresas a nivel mundial, tal como se muestra en el Cuadro 2. Cabe señalar que Estados Unidos es el segundo mayor exportador de fresas en el mundo (Ávila-Arce y González-Milán, 2012). De esta manera la fresa es importante tanto para el consumo humano como para la economía del país.

2.1.3 Importancia económica

2.1.3.1 Panorama mundial

Información que nos brinda la FAO (2020) muestra que en 2018 China ocupó el primer lugar en la producción de fresa con 2,964,263 t la cual representa el 35.36 % del total mundial, Estados Unidos fue el segundo lugar con 1,296,272 t (15.55 %)

y México fue tercero con 653,639 t (7.84 %) (Figura 3) (Hernández-Soto *et al.*, 2021). Los principales países importadores (Figura 4), en el 2017, fueron, Estados Unidos siendo el principal importador con 166,576 t (17.58 %), Canadá ocupó el segundo lugar con 110,487 t (11.66 %), Alemania fue tercero con 108,407 t (11.44%) y Francia cuarto con 73,132 t (7.72 %) (Hernández-Soto *et al.*, 2021). Respecto a los principales países exportadores (Figura 3), de acuerdo con la FAO (2020), en 2017, el 10.32 % de la producción mundial de fresa se orientó al comercio exterior, es decir 951,493 t; España ocupó el primer lugar en exportaciones con 304,314 t, que representaron el 31.98 % del total mundial, Estados Unidos fue segundo con 146,385 t (15.38%) y México ocupó el tercer lugar con 126,157 t (13.26%) (Hernández-Soto *et al.*, 2021).

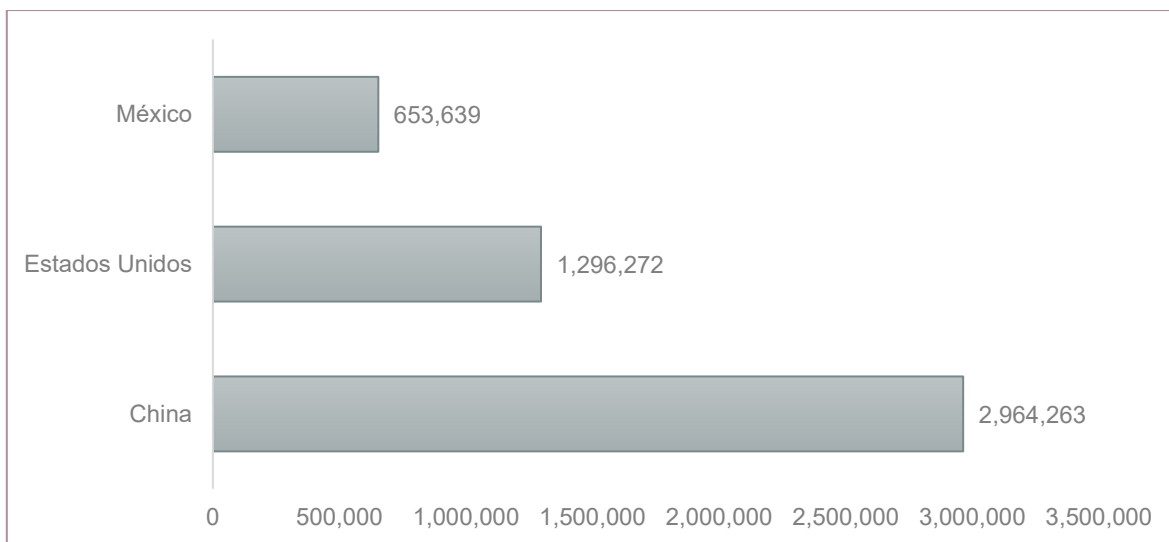


Figura 3. Principales países productores de fresa (toneladas).
Fuente: adaptado de Hernández-Soto *et al.*, (2021).

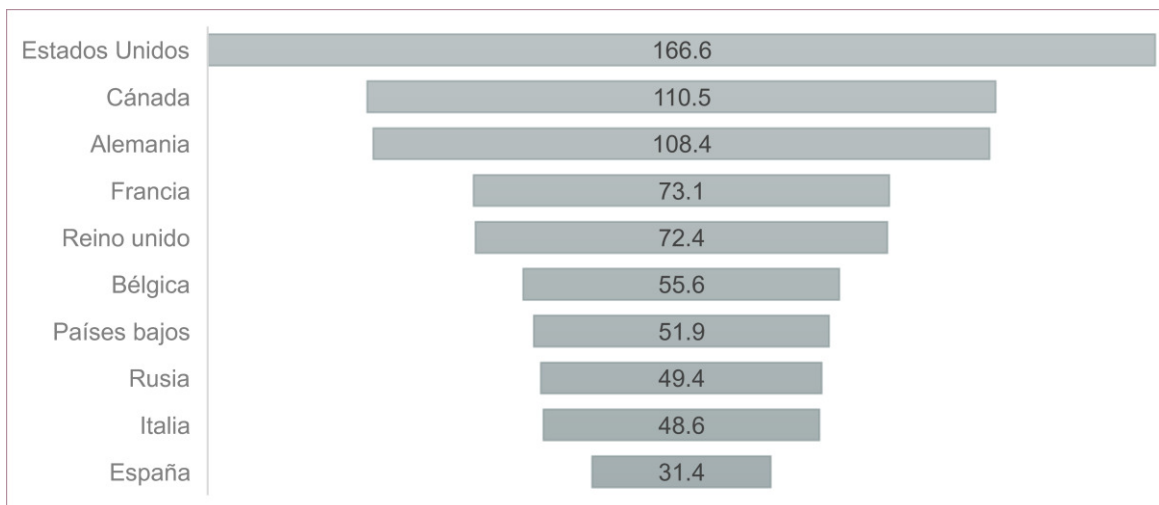


Figura 4. Principales países importadores de fresa (miles de toneladas).
Fuente: Adaptado de Hernández-Soto *et al.*, (2021).

Es importante mencionar que entre 1989 y 2018, las importaciones de fresa mexicana en Estados Unidos crecieron a una tasa de promedio anual de 8.80 %, entre 1989 y 2011 la tasa promedio anual fue de 9.87 % y en el período de 2012 a 2018 la tasa promedio fue de 0.15 %. Este descenso contraviene el propósito de incrementar el flujo comercial de mercancías bajo el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (Hernández-Soto *et al.*, 2021).

En México se tendrá un nuevo tratado, lo que cambia en relación con el TLCAN y cuáles son los beneficios para México. Después de meses en negociaciones que finalmente culminaron en septiembre del 2018, se firmó el T-MEC, el cual también conocido como USMCA. Dicho acuerdo surge para sustituir el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, que es más conocido por sus siglas NAFTA o TLCAN. Este tiene como objetivo facilitar el comercio exterior entre México, Estados Unidos y Canadá. El T-MEC llega para continuar promoviendo dicho intercambio. El cual nos da acceso preferencial a uno de los mercados más poderosos y grandes. Esto nos ayuda a fomentar la inversión extranjera y el comercio exterior, propiciando, una mayor tasa de ocupación laboral, de esta manera se puede colaborar con el desarrollo del país. El T-MEC brinda la oportunidad para que la región sea más competitiva. Se tiene esperado que continúe contribuyendo con el

crecimiento de América del Norte, así como lo hizo su antecesor el TLCAN (TRM, 2021).

2.1.3.2 Panorama nacional

En nuestra nación, el cultivo de fresa comenzó a mediados del siglo pasado; en 1950 inició a exportarse a Estados Unidos. Los principales estados productores y exportadores de fresa en México son Michoacán con 3,153 ha, Baja California con 1,386 ha y Guanajuato con 1,043 ha (Figura 5). Los rendimientos promedio oscilan entre 20 y 35 t ha⁻¹. Generalmente los precios de fresa en el mercado nacional se mantienen constantes casi todo el año, durante 2008 el precio promedio por kilogramo fue de \$ 35.14 en la central de abastos de Culiacán, Sinaloa. Por su parte, en los mercados de Estados Unidos el precio se encuentra de 1.5 a 3.5 USD por kilogramo (Santoyo-Juárez y Martínez-Alvarado, 2010). En México la fresa se cultiva en 12 estados, pero solamente tres de ellos poseen un nivel significativo de producción: Michoacán, Baja California y Guanajuato; estados que generan el 91.55 % del total de producción nacional de fresa. Es importante mencionar que Michoacán aporta el 52.38 % de la producción nacional de fresa, Baja California el 24.19 % y Guanajuato el 14.98 %. Otros dos estados productores son Baja California Sur (4.68 %) y el Estado de México (2.68 %) (Santoyo-Juárez & Martínez-Alvarado, 2010). Respecto a los rendimientos, el estado de Baja California registra los mayores con un promedio de 49.4 t ha⁻¹, Michoacán ocupa el segundo lugar con un rendimiento promedio de 34.3 t ha⁻¹. Los estados de Jalisco y México representan el tercer y cuarto lugar respectivamente, con 22.6 y 21.6 t ha⁻¹, Guanajuato ocupa el quinto lugar con un rendimiento promedio de 17.8 t ha⁻¹. El municipio de Irapuato es el principal productor en Guanajuato, cuya producción de fresa alcanzó las 9,407 toneladas en 2012 (Rucoba-García *et al.*, 2014).

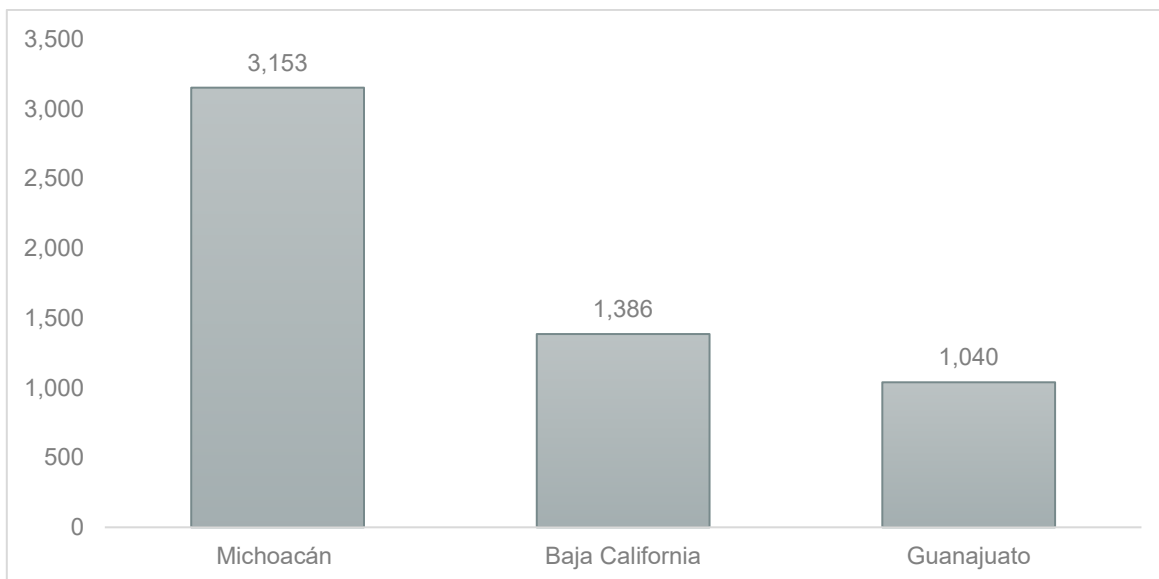


Figura 5. Principales estados productores de fresa (miles de toneladas).

Fuente: adaptado de Santoyo-Juárez y Martínez-Alvarado, (2010).

2.1.3.3 Panorama regional

En 1849, la planta de fresa fue introducida a México, llegando a Irapuato en 1852 a través Don Nicolás Tejada, el cual era el líder político del Distrito de Irapuato. Se establecieron 24 plantas de fresa en un almácigo en el bordo del río Guanajuato, cuya ubicación actual es la zona noreste de la ciudad. El cultivo de fresa cobró gran importancia hasta 1880, cuando Óscar Droege un alemán que radicaba en Irapuato, enseñó a los agricultores locales el cultivo técnico de la fresa, en las huertas ubicadas en la hacienda de San Juan de Retana. Su cultivo se extendió a la hacienda de Buena Vista propiedad del Licenciado Joaquín Chico González, quien impulsó el comercio de la fresa hacia la ciudad de México (León-López *et al.*, 2014).

A partir de los años 40's, el estado de Guanajuato se posicionó como el mayor productor de fresa en México, lugar que mantuvo hasta 1974. Durante 1966-1970, la producción de fresa en México fue de 123,564 t año-1 en una superficie de 8,832 ha (Echánove-Huacuja, 2001), con una significativa contribución de la región "El Bajío", el estado de Guanajuato posicionó a nuestro país en el segundo lugar en la producción mundial de fresa (FAO, 2013). En ese periodo, la Comisión Nacional de Productores de Hortalizas (CNPH) impuso cuotas de plantación y exportación de

fresa a las dos principales zonas productoras de ese entonces siendo Irapuato, Guanajuato y Zamora, Michoacán. Esto fue perjudicial para los productores de Irapuato, debido a una desventaja fundamental frente a Zamora, quienes contaban con más recursos hídricos y mayor cantidad de empresas congeladoras, lo que generó una baja rentabilidad de la producción en Irapuato y posicionando a Zamora como principal productor de fresa a nivel nacional (Echánove-Huacuja, 2001).

A mediados de los años 80's, Ensenada, Baja California, se convirtió en una entidad productora de fresa, dada su cercanía con los Estados Unidos, el cual era el principal consumidor mundial de la fresa y tenía un alto nivel de tecnificación, en 1999, alcanzó una producción de 32,922 t año⁻¹, el cual superó rápidamente al estado de Guanajuato. Durante los últimos 12 años, la baja contribución del estado de Guanajuato en la producción nacional de fresa se ha debido, principalmente, a una tendencia negativa en la superficie de plantación a partir del 2001 (1,455 ha) en comparación con 3,561 ha en 1993 para una producción de 43,210 t (SAGARPA, 2013); así mismo, en el estado de Guanajuato los sistemas de producción de fresa no han logrado superar los niveles de productividad de sus competidores (León-López *et al.*, 2014). El municipio de Irapuato es el principal productor en Guanajuato, cuya producción de fresa alcanzó las 9,407 t en 2012, en el mismo año se tuvo un rendimiento de 23.8 ton ha⁻¹, el cultivo de fresa en Irapuato presenta un incremento en la producción por la adopción de tecnologías como el acolchado, fertiirrigación y macro túnel, las cuales facilitan un incremento en el rendimiento, pero debido a su costo estas tecnologías no son de fácil acceso para los pequeños productores lo cual podría detener la tendencia al alza (Rucoba-García *et al.*, 2014).

2.2 Sistemas de producción de fresa

2.2.1 Producción tradicional

Según Darrow (1966), Dávalos (2009) y Lantz (2010) las condiciones ambientales ideales para el desarrollo de la planta de fresa y las prevalecientes en “El Bajío” estado de Guanajuato son similares exceptuando el tipo de suelo. Por otra parte, Barroso y Álvarez (1997) reportaron que fisiológicamente, el estrés osmótico

derivado de una alta CE del extracto de suelo saturado es un factor negativo que genera lesiones en las hojas y por lo tanto contribuye a un bajo desarrollo de la planta. La principal fuente de agua En “El Bajío” durante el ciclo otoño-invierno es proveniente del subsuelo la cual es rica en bicarbonatos, lo que provoca un aumento en el pH, además contiene altos niveles de Cl, generando un efecto fitotóxico en las plantas de fresa (León-López *et al.*, 2014).

Cuando recién llegó el cultivo de fresa a Irapuato, su sistema de siembra consistía en la utilización de brotes de plantas viejas, conocidas como camotes (botánicamente llamadas “coronas”), para el establecimiento del nuevo ciclo en “entarquinamiento” el cual consistía en la inundación total de la parcela a través del diseño de melgas para irrigación, debido a esto se alcanzaba un rendimiento de 2.7 ton ha⁻¹. Posteriormente, en la década de los 50’s con la llegada de variedades de fresa provenientes de los Estados Unidos y el surgimiento de “La Revolución Verde” a mediados de la década de los 60’s, los sistemas de producción implementaron el uso de fertilizantes y plaguicidas, lo cual generó un incremento notable del rendimiento a 16.5 t ha⁻¹ (León-López *et al.*, 2014). Actualmente, Guanajuato no ha logrado superar el rendimiento de 20.3 t ha⁻¹ alcanzado en 2007 (SAGARPA, 2013); lo anterior debido a que, durante más de 70 años, el estado ha permanecido con escasa o nula tecnificación en la producción de fresa. Múltiples factores ambientales, económicos, sociales y de organización, han contribuido a este rezago tecnológico. Al respecto, los productores de “El Bajío” comentan, “*en la época de mayor auge en la producción de la región, no se tenía conocimiento de las innovaciones tecnológicas de hoy en día*” (León-López *et al.*, 2014).

La producción de fresa en la región “El Bajío” estado de Guanajuato se establece bajo el sistema tradicional, el cual es altamente dependiente de la aplicación de fertilizantes, principalmente nitrógeno, y el uso excesivo de agua con dosis de 500 kg N ha⁻¹ ciclo⁻¹ y al menos dos riegos de 104 m³ agua ha⁻¹ ciclo⁻¹, respectivamente. La productividad de agua en el cultivo de fresa bajo este sistema de producción es de 1.6 m³ kg⁻¹ (Monroy *et al.*, 2002), todo esto traducido en un aumento de los costos

de producción y una disminución de la rentabilidad para el productor, generando una tasa de crecimiento baja (0.8 %) comparada con Michoacán (2.26 %) y Baja California (21.85 %) (Hernández *et al.*, 2011). En Zamora se ha estimado una productividad del agua, en riego por gravedad de 2.31 m³ kg⁻¹ y una dosis de fertilización N de 400 kg ha⁻¹. En California, Estados Unidos aplican de 112 a 170 kg N ha⁻¹ y en Florida, USA fertilizan con 50 a 100 kg N ha⁻¹, mientras que, en Almería, España la fertilización oscila en 200 a 250 kg N ha⁻¹ (León-López *et al.*, 2014).

Los sistemas de producción de fresa que más se utilizan en México se clasifican de acuerdo con el nivel de tecnificación en cuanto a riego y cubierta (Cuadro 3). Los sistemas semitecnificado y tecnificado en comparación con el sistema tradicional, generan un incremento en el rendimiento, aunque el precio del producto es mayor ya que ofrece una mayor calidad e inocuidad, debido a esto se tiene una rentabilidad mayor (León-López *et al.*, 2014).

Cuadro 3. Comparación de los sistemas de producción de fresa en “El Bajío” estado de Guanajuato.

| Parámetro | Tradicional | Semitecnificado | Tecnificado |
|-----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Costo (\$ ha ⁻¹) | 90,000–120,000 | 130,000–150,000 | 400,000–450,000 |
| Rendimiento (t ha ⁻¹) | 10 – 20 | 30 – 40 | 70 – 80 |
| Valor (\$ Kg ⁻¹) | 5 – 7 | 5 – 7 | 7 – 8 |

Fuente: León-López *et al.*, (2014).

En la región “El Bajío” estado de Guanajuato por lo antes mencionado, es necesaria la transición a corto plazo del sistema de producción tradicional de fresa a sistemas ad hoc, en las cuales se aplican técnicas como riego por goteo, sistemas de nutrición, acolchado, cubierta, manejo integrado de plagas y enfermedades, buenas prácticas agrícolas y de inocuidad en postcosecha, mediante un esfuerzo entre productores, autoridades y empresas correspondientes, para que a través de acciones coordinadas (crédito, capacitación, difusión, cultura, etc.) se aumente la productividad del cultivo de fresa, cumpliendo así con los estándares de calidad e inocuidad que demanda el mercado nacional y extranjero (León-López *et al.*, 2014).

2.2.2 Niveles de tecnificación

Existen diferentes niveles de tecnificación en los que se produce la fresa (Cuadro 4) (CONACYT, 2012).

Cuadro 4. Características de los sistemas de producción.

| Sistema de producción | Descripción | Rendimiento Promedio (t ha ⁻¹) |
|-----------------------|---|--|
| Tradicional | Bajo este sistema la fruta se desarrolla sobre la tierra y se tiene contacto directo con el agua de riego, ya que es por gravedad aprovechando el agua superficial. En este sistema no se utilizan cubiertas protectoras. El rendimiento por hectárea es bajo además de desarrollarse bajo condiciones menos inocuas. | 26 |
| Semitecnificado | Bajo este sistema se emplea el riego por goteo utilizando aguas superficiales o aguas subterráneas. Se utilizan cubiertas plásticas para el acolchado, por lo que el cultivo no tiene contacto directo con el suelo. Existe menor posibilidad de presencia de enfermedades. | 32 |
| Tecnificado | Bajo este sistema se utilizan principalmente aguas subterráneas o agua superficial limpia (manantial). Se emplea riego por goteo, acolchado y la totalidad de la superficie está cubierta con lonas plásticas (macro túnel). | 80 |

Fuente: CONACYT, (2012).

2.2.3 Producción de semilla

2.2.3.1 Morfología

Los frutos reales de la fresa son las denominadas: semillas de fresa. El fruto deriva de la modificación del receptáculo y en el cual se encuentran los aquenios o frutos verdaderos, con diferentes formas: globosas, acorazonadas o puntiagudo de color rojo. Las semillas son en realidad frutos secos del ovario monocarpelar, y visualmente son esas semillitas marrones que quedan alrededor de toda la fruta. A la vez, si se observa detalladamente, se pueden ver los restos de estilo que quedan por encima de la semilla (Molina-Nieto, 2014). Según Sánchez, (2007), los aquenios son monocarpelados (es decir, forman un único carpelo) e indehiscentes (es decir,

la corteza no se abre al madurar). Contienen una única semilla que llena el hueco del pericarpio, pero no se adhiere a éste (Figura 6).

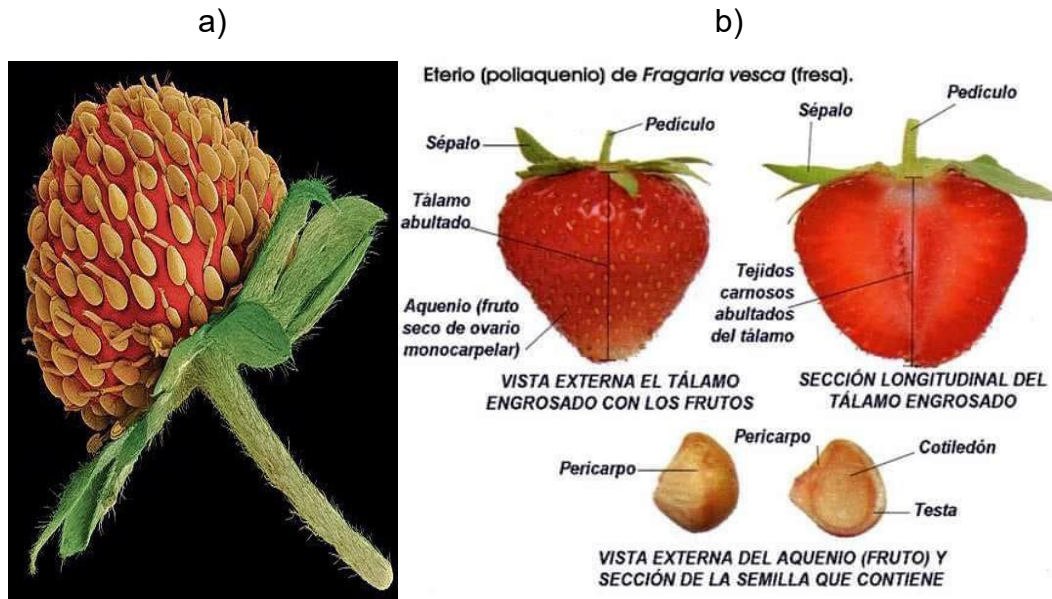


Figura 6. Fruto de fresa (*Fragaria x ananassa*). a) fruto recién formado, b) vista externade un fruto maduro. Fuente: Molina-Nieto, (2014).

2.2.3.2 Sistemas de producción de semillas

La fresa en México es un cultivo relevante que va en aumento, no sólo en cuanto a la producción, sino en términos de la aplicación de la tecnología también. Cada vez es mayor la superficie cultivada en las modalidades de semi o tecnificada o utilizando el sistema de macro túnel, mediante el cual se obtiene fresa de calidad, sanidad e inocuidad que los mercados nacional e internacional demandan (Valdés-Tapia, 2012).

Utilizando el sistema tecnificado es posible tener una mayor calidad además de un rendimiento mayor de más del 100 % en comparación en comparación con un sistema tradicional, además de que el tiempo de cosecha se prolonga hasta agosto del año del año subsecuente. Al haber mayor utilidad se tiene acceso a la asistencia técnica especializada, capacitación y mejora de la infraestructura para la producción (Valdés-Tapia, 2012). A la agricultura que utiliza esta infraestructura agrícola, se le denomina Agricultura Protegida. Corresponde a toda estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes o semitransparentes, que permite obtener condiciones

artificiales de microclima para el cultivo de plantas. Bajo este sistema agrícola especializado se lleva a cabo el control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad, entre otros) lo que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas (Zaragoza-Nieto, 2013).

2.2.3.3 Variedades de fresa

En México, se cultiva una gran diversidad de variedades, éstas son principalmente importadas, dada la carencia de variedades locales (Molina-Nieto, 2014).

Florida Festival. Es la más utilizada en los principales estados como Guanajuato, Michoacán, México. Se estima que está presente en el 60 % de las plantaciones.

Sweet Charlie. Es una variedad de fruta usada en el estado de Guanajuato. Es muy susceptible a sufrir daños durante el manejo.

Galaxia. Variedad de reciente incorporación al campo mexicano, que está siendo probada por ciertos productores, pero cuya demanda aún es inexistente, pero es de excelente calidad.

Camino Real. Variedad que más demanda tiene entre los productores de México. Es de desarrollo tardío.

Albión. Es de desarrollo tardío, precoz y de reciente introducción a México.

Camarosa. Esta variedad ocupa el tercer lugar, de preferencia. Se ha utilizado aproximadamente durante 10 años y actualmente, su demanda va en descenso.

Aroma. Es una variedad susceptible a las deformaciones, por lo que está siendo rechazada en el mercado.

Ventana. Esta variedad tiene muy buena aceptación para su cultivo en Baja California, por su precocidad. En esta entidad se usa en mayor proporción al resto de las variedades ya que no se ha adaptado muy bien a las condiciones de los estados productores del centro del país.

Diamante. Utilizada en el estado de Jalisco con altos rendimientos bajo condiciones de invernadero.

De acuerdo con Zaragoza-Nieto (2013), Albion es una de las variedades que se utilizan en la producción comercial, cada uno con sus propias características, ventajas, y el tiempo de la cosecha, esta variedad es de las más cultivadas en México, esta es de día neutro, generalmente tiene un pico de producción en primavera ligeramente más baja y es menos propenso a una caída en la producción de verano. Tiene una forma más consistente cónica y tamaño de la fruta similar y sobre todo al principio de la temporada, tiene una tolerancia mucho mejor clima que la variedad Diamante. Su color es más oscuro, tanto internamente como externamente, y su sabor es más dulce. Existen cuatro instituciones principales que sus líneas de investigación el mejoramiento de variedades de fresa mexicanas: El Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP) en colaboración con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), las cuales han desarrollado las variedades CP Zamorana, CP Jacona, CP Roxana y CP Paola diseñadas para la zona productora de Michoacán (León-López *et al.*, 2014), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en colaboración con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-IPN (CINVESTAV-IPN), Unidad Irapuato, han desarrollado las variedades Buenavista, Cometa, Nikté y Pakal (Dávalos *et al.*, 2011) para clima prevaleciente en la región "El Bajío" estado de Guanajuato, fotoperiodo neutro y corto con bajo requerimiento de frío, precocidad y productividad alta, tolerancia a las enfermedades como *Fusarium oxysporum* y el complejo viral de la fresa, y calidad para mercado fresco e industria. Según los productores estas variedades no han podido sustituir a las extranjeras debido a que presentan un menor rendimiento en el sistema tradicional.

Por lo que es necesario, la validación por parte de los productores en sistemas tecnificados (León-López *et al.*, 2014).

2.2.4 Obtención de plántulas

Para tener una buena producción de fresa es recomendable realizar buenas prácticas desde la plantación del cultivo, donde la elección del tipo de plántulas que se utilizaran es una de las decisiones más determinantes. Tradicionalmente se utilizan plantas a raíz desnuda como material vegetativo, sin embargo, en los últimos años resulta como excelente alternativa las plantas en cepellón (INTAGRI,2017). Una de las primeras opciones para la producción comercial de plántulas es mediante la propagación por estolones, y generalmente se distribuyen a raíz desnuda. El cultivo sigue uno o dos modelos, plasticultura anual, o un sistema perenne de filas o montículos. Una pequeña cantidad de fresas se produce en invernaderos durante la estación baja (Menéndez-Valderrey, 2007).

Otra estrategia utilizada en la producción de plántulas es el cultivo *in vitro* de meristemas. La obtención de plántulas de esta manera se realiza principalmente en Estados Unidos en el estado de California debido a que las variedades comerciales siguen siendo obtenidas por Universidades de ese país. Algunos lugares en México realizan esta labor, no obstante, no suelen cubrir la demanda de planta madre en el país (INTAGRI, 2018). La obtención de plántulas desde semillas muchas veces queda destinada a los programas de mejoramiento genético e investigación enfocados al estudio de la progenie y la selección de genotipos. Independientemente de la manera de generar plántulas, su desarrollo está sujeto al manejo y a las variaciones en ellos factores abióticos. Igualmente, la semilla son el material genético más fácil obtener y cuya formación de plántulas presenta menos requerimientos técnicos.

2.3 La luz

La luz es una onda electromagnética capaz de ser percibida por el ojo humano y cuya frecuencia determina su color (Moreno-Fernández, 2007), esta es una

pequeña parte del espectro electromagnético (Figura 7), similar a las ondas que se generan y se propagan en la superficie del agua, pero aquí lo que oscila no es ninguna superficie, sino un complejo enredo de campos eléctricos y magnéticos. Estos campos continuamente se generan unos a otros, se propagan en el vacío o cualquier otro medio, a una velocidad de 300,000 km/s. La velocidad de la luz en el vacío no puede ser superada por la de ningún otro movimiento existente en la naturaleza (González-Arias, 2008).

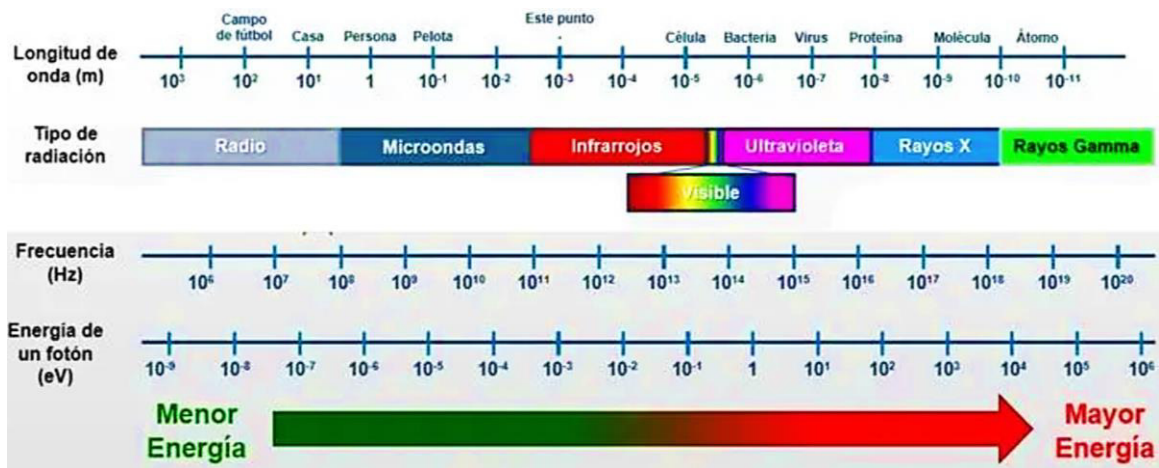


Figura 7. Representación del espectro electromagnético.
Fuente: UNAM, (2020).

2.3.1 La iluminación LED en la agricultura

Aquellos cultivos que por diversas motivaciones no pueden ser cultivados en exteriores o disfrutar de una alta exposición a la luz solar, se ven forzados a utilizar iluminación artificial para su crecimiento y producción. Es el caso de los cultivos puramente de interior (cultivo vertical, por ejemplo) o de aquellos híbridos en invernadero que no reciben la suficiente luz natural. También puede resultar necesaria como apoyo en aquellos períodos en los que las horas de exposición a luz solar se reducen (Etifa, 2020). La iluminación artificial utilizada para el cultivo agrícola puede ser de varios tipos, según su diferente costo, eficiencia y productividad, principalmente: los tubos incandescentes y fluorescentes, las luces HID (o de alta intensidad de descarga) y las luces LED. La luz juega un papel fundamental en el cultivo agrícola, ya que de ello va a depender que las plantas

puedan hacer la fotosíntesis para producir biomasa, frutos y/o semillas. La calidad de esta determina la apariencia, propiedades y productividad de las plántulas; ya que la composición espectral de sus diferentes longitudes de onda en el rango de “luz visible”, absorbe fotones los cuales producen los distintos pigmentos de las plantas (clorofilas, citocromos y carotenoides, entre otros) los cuales están encargados de los distintos procesos. Por ejemplo, la luz roja e infrarroja (absorbida por las clorofilas y los fitocromos), estimula la floración de las plantas y el engrosamiento. La luz azul estimula la apertura de las estomas y la orientación hacia la luz, además es la clave en diferentes procesos celulares que se relacionan con el crecimiento. Proveniente de la combinación de estas dos se tiene como resultado la luz más apropiada para una elevada producción forzada de productos agrícolas, que cuya mezcla tonal resulta el tono rosa y/o violeta (Etifa, 2020).

Las luces LED muestran un gran potencial en la producción intensiva en espacios de cultivo vertical e interiores, debido a su alta eficiencia en emitir las diferentes longitudes de onda que las plantas requieren en sus distintos procesos. Poseen grandes ventajas frente a otras fuentes de iluminación, como lo son: la mayor eficiencia en el consumo energético, gastos mucho menores, vida útil más larga, menor tamaño, más resistentes y no emiten casi calor. Las luces LED han demostrado tasas de fotosíntesis superiores, con un consumo energético menor ya que requiere menores esfuerzos para alcanzar la misma intensidad de luz. Otros tipos de iluminación artificial aún se siguen empleando en condiciones de producción más simples y, sobre todo, en producciones híbridas de iluminación en invernadero. A diferencia de las primeras luces LED, actualmente poseen longitudes de onda que cubren todo el espectro visible (400 a 700nm), además de UV e infrarroja, con una intensidad de luz muy elevada. Incluso sus balances pueden regularse manualmente esto para conseguir la tonalidad que más convenga según el tipo de planta y la fase de crecimiento o floración en la que se encuentre. Además, tienen la propiedad de emitir una proporción de radiación en los ámbitos rojo y azul, las cuales son las responsables principales de la fotosíntesis de la planta, superior a cualquier otra fuente de luz artificial, y que como resultado de su combinación

brida la tonalidad rosa y/o violeta de las luces LED utilizadas en agricultura vertical. Además, se pueden situar cercanas a la planta sin miedo a que se quemem optimizando la absorción hacia la planta (Etifa, 2020).

Se conoce que la calidad del espectro de emisión de las luces LED permite causar efectos notables en la anatomía y morfología de las plantas, la absorción de nutrientes e incluso en su composición nutritiva, siendo una alternativa mejor a la aplicación de productos reguladores del crecimiento. El uso de tecnologías LED de nueva generación que permiten iluminar cultivos multicapa y obtener un rendimiento mayor en menos espacio (Philips lighting, 2019). Las principales ventajas de la iluminación LED son las siguientes:

Crecimiento previsible: productos frescos todo el año sin preocuparse de las plagas, del clima ni de los pesticidas.

Mayor calidad: fórmulas de cultivo específicas para mejorar el sabor, los valores nutricionales y el tiempo de conservación.

Mayor producción: un entorno controlado con menos desperdicios y ciclos de producción cortos durante todo el año.

Las luces LED se pueden usar de las siguientes formas para la producción de biomasa vegetal:

Instalación agrícola. Esta técnica de producción a gran escala es ideal para cultivar en un entorno cerrado y personalizado de más de 2,000 m².

Cámara climatizada. Las salas climatizadas están destinadas a una producción a pequeña escala. Se pueden usar para una parte concreta del proceso de cultivo; por ejemplo, para propagar plantas jóvenes o para investigar los efectos de la iluminación en los cultivos.

Nave agrícola. Esta tiene menos de 1000 m², lo que permite integrarla en un edificio o pabellón, para obtener una producción a pequeña escala.

Contenedor. Son diseñados para fines de investigación, tienen una superficie de cultivo de entre 20 y 30 m², son prácticos y permiten obtener resultados pronto. Estos son aptos para aplicaciones mono o multicapa. Se pueden colocar en un pabellón para propagar plantas jóvenes antes de trasplantarlas a un invernadero. Solo se recomienda su uso para proyectos a pequeña escala, ya que las tandas de producción son limitadas.

2.4 La percepción de la luz por las plantas

La biosfera recibe radiación solar comprendida entre los 290 y 3,000 nm de longitud de onda, pero básicamente la mayor proporción de la energía (45 %) está concentrada entre los 380 nm y los 710 nm, que constituye el rango de absorción de las clorofilas y los pigmentos accesorios (Juárez-Zavala, 2018). La incidencia de la radiación lumínica sobre los organismos vivos depende en primer lugar de la latitud, de la altitud, del tipo de ambiente (agua, atmósfera) y de su claridad o transparencia (Manrique, 2003).

La luz es un factor ambiental que presenta la mayor heterogeneidad espaciotemporal a las plantas. En una formación vegetal más o menos densa las hojas se superponen en niveles o capas sombreándose unas a otras. La luz es rápidamente absorbida por las primeras capas de hojas, lo que consigue penetrar hasta las capas más bajas (1 a 2 % de la luz incidente). Se podría decir que a largo plazo la respuesta de una planta a la luz es la resultante de integrar las respuestas parciales de cada uno de sus elementos (hojas, ramas, etc.) (Manrique, 2003).

Charles Darwin, junto con su hijo Francis Darwin llevaron a cabo un experimento con el cual mostraron el efecto de la luz en las plantas. Con sus descubrimientos, demostraron que las plantas pueden girar hacia la luz, a este fenómeno se le conoce como fototropismo -movimiento hacia la luz-. Las plantas se curvan en dirección a

la luz debido a que perciben la luz azul que es emitida por los rayos del Sol. Darwin comprobó esto al cubrir la punta de una planta, evitando así que se moviera hacia la luz; sin embargo, al cubrirla con una mica transparente, nuevamente se curvó hacia la luz. Por otro lado, al cortar la parte superior de la planta, ésta no tuvo la capacidad de curvarse hacia la luz. Con este sencillo experimento, Darwin concluyó que algún factor se transmitía desde la punta de la planta hacia el resto del tallo causando su curvatura. Este hallazgo no responde cómo es que las plantas saben la dirección de donde proviene la luz, pero sí demostró que en la parte superior de la planta se encuentra la estructura que percibe la luz (CONACYT, 2019).

Para sobrellevar estos cambios lumínicos que a nivel de hoja puede representar diferencias de hasta uno o dos órdenes de magnitud, las plantas han desarrollado mecanismos que las permite adaptarse o aclimatarse, según los casos. Los pigmentos clorofílicos son con toda seguridad el pigmento biológico más abundante en la tierra y debe su color verde a su capacidad de absorber las fracciones roja y azul de la luz solar, transmitiendo los demás colores cuya mezcla apreciamos en diversos tonos de verde. En las plantas vasculares las moléculas de clorofila están organizadas en estructuras captadoras de luz, denominados complejos antena, constituidos por pigmentos unidos a proteínas y que a su vez están conectados con sendos fotosistemas (PS I y PS II) a través de un centro de reacción. Si se mide la fotosíntesis en conjunto con la incorporación de CO_2 , se logra observar que esta incrementa linealmente con la radiación incidente sólo hasta un punto a partir del cual la hoja ya no incorpora más CO_2 por mucho que se incremente la luz disponible. Esto se debe porque bajo condiciones naturales la fotosíntesis está influenciada y a menudo limitada por diversos factores internos y externos: concentración de CO_2 , concentración de O_2 , temperatura, circulación del aire, estado hídrico, nutrientes, desarrollo, morfología de la hoja, actividad y concentración de los aceptores de electrones y enzimas implicados, resistencia de la hoja a la entrada de gases, etc. Y como consecuencia final una gran proporción de la energía absorbida por las clorofilas no puede ser transferida al sistema fotoquímico (Manrique, 2003).

Las plantas tienen 13 fotorreceptores llamados fitocromos que les permiten a las plantas percibir la luz y diferenciar entre los colores del espectro de luz. Por ejemplo, si ponemos a una planta al lado de una luz azul, se inclinará hacia el haz de luz, pero si la colocamos al lado de una luz roja, la planta no se inclinará. Esto sucede debido al tipo de fitocromo y su cromóforo (proteína sensible a diferentes tipos de luz), responsables de distinguir la luz azul o la luz roja. Los fitocromos rojos son importantes para las plantas porque gracias a éstos identifican cuándo es de día (al detectar la luz roja), y de noche (al percibir la luz roja lejana) (CONACYT, 2019).

2.4.1 Estrés lumínico

El estrés se define como un factor biótico o abiótico que reduce la tasa de algún proceso fisiológico. Sin embargo, las plantas son capaces de compensar el estrés a través de muchos mecanismos que operan a diversas escalas de tiempo, esta respuesta compensatoria las hace capaces de mantener los procesos fisiológicos a una tasa relativamente constante, a pesar de la ocurrencia periódica del estrés. Básicamente las plantas que crecen en sitios estresantes sobreviven a través de dos estrategias: evitando el estrés o tolerando el estrés (Lambers *et al.*, 1998).

Las plantas tienen unas necesidades de iluminación según su naturaleza y estado de desarrollo. Cuando la luz no es suficiente para un desarrollo normal las plantas tienden al ahilamiento (tallos altos y delgados), presentan clorosis y malformación de hojas. Las fresas son más sabrosas y aromáticas cuando son expuestas a una mayor cantidad de horas de sol, que las que se pueden obtener en zonas con menor número de horas de sol. En cuanto a la germinación, es más rápida en la oscuridad que a la luz, excepto en algunas semillas de pequeño tamaño como las gramíneas para forraje (Zaragoza-Nieto, 2013).

García *et al.*, (2021) menciona que la radiación solar es la principal fuente de energía para la fotosíntesis. Es esencial para las plantas y también, en últimas, para la vida de los animales. Así mismo, esta fuente de energía puede pasar de ser un factor limitante, en el caso de baja intensidad, a ser un factor estresante en el caso

de ser excesiva. La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas a través de la clorofila transforman la energía lumínica en energía química estable y la almacenan en dos moléculas que son NADPH y ATP. Las plantas toman la luz entre 400 y 700 nm, que activan los cloroplastos (pigmentos). El espectro ultravioleta puede ser muy peligroso para las plantas; cada longitud de onda posee un tipo de fotón diferente en cuanto a su energía acumulada y también en relación con su tamaño.

El exceso en la absorción de la energía lumínica puede disminuir de manera significativa la eficiencia de la fotosíntesis. Este fenómeno es conocido como estrés lumínico o fotoinhibición. El estrés lumínico se origina por una absorción de energía superior a la que puede ser utilizada en la fotosíntesis. Este exceso de absorción se puede dar por un incremento en la densidad de flujo de fotones (DFF; 400-700 nm) recibida. Por ejemplo, por la abertura de un claro en el dosel, o a través de un decremento en la fotosíntesis a una DFF constante, como suele ocurrir bajo ciertas condiciones de estrés (por ejemplo, estrés hídrico). Incrementos moderados de DFF (Densidad de Flujo de Fotones), pueden incrementar la absorción de energía y resultar en una mayor fijación de CO₂, pero por encima de cierto nivel el aparato fotosintético puede ser incapaz de utilizar toda la energía absorbida por la clorofila. Cuando se sobrepasa este límite, varios mecanismos operan para proteger el aparato fotosintético contra el daño debido a la acumulación excesiva de energía. Sin embargo, el aparato fotosintético puede ser dañado cuando la disipación de la energía a través de la fotosíntesis y los mecanismos protectores son insuficientes (Cervantes-Arango, 2003).

Los tipos principales de daño ocasionados por el exceso de energía sobre la fotosíntesis son dos: la disminución del transporte electrónico y la fotoinhibición (reducción de la capacidad fotosintética o ineficiencia en la conversión fotosintética de la energía). Ambos fenómenos se manifiestan como una disminución de la tasa fotosintética. Posterior a la fotoinhibición, se puede presentar la fotooxidación, que consiste en la destrucción de los pigmentos fotosintéticos y se evidencia por un blanqueamiento del tejido. La energía absorbida por las moléculas de clorofila

puede tener tres destinos: ser usada en fotosíntesis, disipada como calor o reemitida como luz (fluorescencia), estos tres procesos ocurren en competencia de manera tal que el incremento en la eficiencia de uno resulta en el decremento de la eficiencia de los otros. La energía absorbida por las moléculas de clorofila puede tener tres destinos: ser usada en fotosíntesis, disipada como calor o reemitida como luz (fluorescencia) (Cervantes-Arango, 2003).

2.4.2 Fotomorfogénesis

El control de la morfogénesis por la luz se denomina fotomorfogénesis. Se define fotomorfogénesis a los efectos provocados por la información provista por cambios en la cantidad o composición espectral de la luz. Los efectos de la información provista por la dirección de la luz o por el fotoperiodo se denominan foto trópicos y foto periódicos respectivamente (Beltrano y Giménez, 2011). En palabras más coloquiales es cualquier cambio de forma o de función en un organismo, que sucede en respuesta a las modificaciones en la luz ambiental. La calidad de la luz se capta mediante receptores específicos para las diferentes longitudes de onda (Casierra-Posada *et al.*, 2011).

El estudio de la fotomorfogénesis comprende todos los procesos dependientes de la luz distintos de la fotosíntesis y que intervienen en el crecimiento y desarrollo de plantas. Cuando una molécula absorbe un quantum de luz, su nivel de energía se incrementa y pasa a un estado excitado. La excitación a nivel electrónico, además de un nivel de energía superior, confiere a las moléculas una estructura electrónica diferente a la que poseía en el estado fundamental o básico. Un elemento central en estos procesos foto activados es la sustancia que absorbe la luz, es decir un pigmento, al que se le denomina fotorreceptor. La excitación del fotorreceptor posibilita la reacción primaria; el primer cambio químico al que sucederán otros que eventualmente darán como resultado una respuesta morfogénica. En la fotomorfogénesis la radiación es percibida por los receptores fitocromos, el criptocromo, fotorreceptores UV-V. La reacción es cualitativa entre la radiación absorbida y el grado de reacción de la planta. Estos pigmentos reaccionan con

niveles de irradiancia relativamente bajos, pero estas señales son amplificadas y producen importantes respuestas (Beltrano y Giménez, 2011).

2.4.3 Respuestas morfológicas

La respuesta de la planta dependerá del foto-receptor estimulado, por lo que a cada rango del espectro se le asocia una función determinada. Las longitudes de onda correspondientes a la radiación PAR (400-700 nm), además de estimular a los foto-receptores son absorbidas por fitopigmentos, dentro de los cuales destaca la clorofila. Debido a que este pigmento presenta sus peaks de absorción en el rango del azul y el rojo, estos colores se asocian con un incremento en la fotosíntesis cuando son suplementados. Luz azul (400-500 nm): también involucrada en la fotosíntesis, ya que corresponde a uno de los máximos de absorción de la clorofila, por lo que incrementa el rendimiento vegetativo. Además, afecta la extensión del tallo, las plantas crecidas sólo bajo luz azul presentan elongaciones similares a las crecidas bajo luz monocromática roja. La combinación de rojo y azul es necesaria para producir plantas con una adecuada morfología. Una combinación del rojo (600-700 nm) y luz azul (400-500 nm) previene el alargamiento del tallo, de los hipocótilos y de los peciolo. Por otro lado, la luz azul incrementa la densidad estomática y su apertura, lo cual permite aumentar la incorporación de CO₂ estimulando el proceso de fotosíntesis (Flores *et al.*, 2020). Algunos autores dicen que la luz azul está involucrada además en incrementar la síntesis de algunos metabolitos secundarios (Craver y López, 2016).

2.4.2 Respuestas fisiológicas

Estudios comprobaron que frutas deformadas de fresa ocurre en variedades comerciales, y esto se da por aquenios sin embargo la deformación no solo depende de la genética de la planta sino también de las temperaturas, siendo las más bajas donde se reduce la viabilidad de las flores sugiriendo que existe un aborto embrionario como consecuencia de bajas temperaturas (Pérez-Guerrero, 2018). 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. Una baja proporción de rojo: rojo lejano (R:RL), captada por los fitocromos A y B (phy A y phy B), envía señales que se traducirán en la extensión del tallo. Las plantas generalmente son más compactas cuando se exponen a una relación R:RL (rojo lejano) alta y son más sensibles a la luz roja al finalizar el día. La manipulación correcta de la proporción de rojo y rojo lejano podría también acelerar la floración o promover un continuo desarrollo vegetativo. La suplementación de luz en invernadero se utiliza como promotor de la fotosíntesis, agregando luz artificial como fuente de energía y/o para el control foto-morfogénico y otros procesos fisiológicos como la síntesis de metabolitos secundarios. Normalmente la luz se suplementa posicionando las lámparas a los lados de la planta y/o hacia arriba. Esta suplementación conocida como intra canopia, incrementa el rendimiento de las plantas, ya que aumenta la absorción de la luz por las hojas que manera natural reciben menos luz, esto permite además una distribución más homogénea de ésta (Flores *et al.*, 2010).

Las plantas realizan la fotosíntesis cuando reciben radiaciones con longitudes de onda comprendidas entre los 400 y 700 nm, lo que se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA, en inglés). La clorofila, el pigmento verde de las hojas que es responsable de absorber la energía de la RFA, reacciona principalmente a la luz roja y a la luz azul. Las hojas absorben poco verde y lo reflejan de vuelta, motivo por el que vemos las hojas de ese color (Secom, 2021).

Kimball (2011) menciona que una importante respuesta a la luz en las plantas es el fototropismo, que implica el crecimiento para acercarse o alejarse de una fuente de luz. El fototropismo positivo es el crecimiento hacia una fuente de luz; el fototropismo negativo es el crecimiento en la dirección contraria a la fuente de luz. Los brotes, o partes aéreas de las plantas, suelen mostrar fototropismo positivo, se inclinan hacia la luz. Esta respuesta ayuda a que las partes verdes de la planta se acerquen a una fuente de energía luminosa, que puede utilizarse para la fotosíntesis. Las raíces, por el contrario, tienden a crecer en dirección contraria a la luz. Las plantas tienen

una variedad de respuestas a la luz en su desarrollo, fisiología y crecimiento, a veces solo a luz de determinadas longitudes de onda.

2.5. Análisis de imágenes en biología vegetal

Hoy en día, se puede afirmar que los avances tecnológicos ocurridos en los últimos años han supuesto una nueva era para la agricultura, la cual ha sabido adaptarse a los nuevos cambios, introduciendo a la metodología tradicional, la tecnología informática que existe, dando como resultado nuevas técnicas de cultivo como son la agricultura de precisión y los cultivos hidropónicos. Si a esto le añadimos tecnología de visión artificial, se puede obtener un control total sobre los cultivos por medio de imágenes para su posterior análisis e interpretación siendo esta una buena opción para el reconocimiento de defectos en plantas, lo cual contribuye a la reducción de su propagación y a la vez permite la erradicación temprana sin perder grandes escalas de producción (Chiluisa-González, 2020).

El avance de la tecnología en la agricultura de precisión ha permitido generar escenarios más estables y rentables a los agricultores, proporcionando mantener un mejor control y gestión de los cultivos, el cual se da mediante el uso de cámaras y sensores que se ha implementado en satélites de diferentes tipos aéreos o terrestres. Se emplea los sensores en la aplicación a la agricultura de precisión, permitiendo obtener los índices de área foliar, estrés hídrico, identificación de malezas e insectos, monitoreo en los cultivos y mapeo del suelo. La teledetección es una técnica que permite adquirir información de objetos, fenómenos de la superficie terrestre o atmosfera a distancia; se da mediante el rastreo del espectro electromagnético que es emitido por los sensores a bordo, en los vehículos aéreos o terrestres, las cuales registran los resultados en forma de imagen digital formada de pixeles. El espectro electromagnético se expresa en termino de energía, mediante la función de la longitud de onda, generando una gama de bandas de longitud, en las cuales esta se agrupará dependiendo el tamaño de la onda. En las plantas reflejan principalmente la energía de espectro visible y en infrarrojo, y estas brindan información del estado de la salud de las plantas. Las imágenes de satélite

son producto obtenido mediante las capturas del sensor instalado en el interior de un satélite artificial, así mismo detecta la radiación electromagnética emitida o reflejada. Posteriormente el dato se emite a estaciones terrenas para visualización, procesamiento y análisis (Gomez-Cordova y Sandoval-Morales, 2020).

2.6 Antecedentes

Moya-Caza (2019), realizó la investigación Evaluación del efecto de diferentes longitudes de onda con luces LEDs sobre la respuesta morfogénica y desarrollo en explantes mora de castilla (*Rubus glaucus*) In vitro, que tuvo como objetivo evaluar diferentes longitudes de onda utilizando como fuente luces LEDs, basadas en ocho tratamientos de luz LED. La conclusión fue que la calidad de la luz y sus diferentes longitudes de onda inciden sobre la morfogénesis de (*Rubus Glaucus* Benth) in vitro. Estos factores provocan modificaciones en su morfología y fisiología que determinan su adaptación ambiental.

Paniagua-Pardo (2014), realizó el proyecto “Luz LED de alta intensidad en procesos fisiológicos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) enfoque sistémico transdisciplinario”, cuyo objetivo general fue determinar los efectos de la luz LED de alta intensidad en los procesos fisiológicos de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo un enfoque sistémico transdisciplinario. Los resultados mostraron que los tratamientos con luz de color presentaron resultados por arriba de los controles evaluados. Las respuestas fisiológicas en la lechuga, producidas a una exposición en distintas longitudes de onda de luz LED de alta intensidad, variaron de acuerdo con el genotipo de semilla y el tiempo de exposición a la luz LED, por lo antes mencionado esta mostró ser una opción viable para mejorar el crecimiento de las plantas en un ambiente controlado.

Marín-Pérez (2016), realizó el estudio “estudio de la influencia de diferentes longitudes de onda de luz led en la germinación de una orquídea *encyclia* sp.” El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia de las luces LEDs de longitud de onda rojo, azul, y blanco, en la germinación de una orquídea del género *Encyclia*.

Se concluyó que en la germinación de la orquídea *Encyclia* sp., el tratamiento con luz LED blanca, azul y roja, no genera influencia en el porcentaje de germinación.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1 Hipótesis

Desde la germinación las plántulas de fresa son capaces de percibir las variaciones en la luz presentar distinto desarrollo morfológico y fisiológico. Las plantas son especialmente sensibles a la luz roja, azul y su combinación, así como a los diferentes niveles de intensidad. Por lo cual, será posible identificar un tratamiento de luz que permita la obtención de plántulas con las mejores características morfológicas y fisiológicas.

3.2 Objetivo principal

Caracterizar morfológica y fisiológicamente plántulas de fresa en luz LED roja, azul y violeta.

3.3 Objetivos específicos

1. Diseñar y establecer un experimento donde la única fuente de variación sea la longitud de onda de la luz visible LED.
2. Obtener plántulas de fresa en tratamientos de luz LED roja, azul y violeta y tres intensidades.
3. Digitalizar las plántulas y determinar las variables morfológicas por análisis de imágenes.
4. Evaluar variables fisiológicas relacionadas con el desarrollo de las plántulas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del experimento

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Genética Vegetal (20° 44' 31.6" N, 101° 19' 54.1" O). Dicha instalación pertenece al Departamento de Agronomía de la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato (figura 8).



Figura 8. Vista aérea de la División Ciencias de la Vida.

4.2 Material vegetal

Como modelo biológico, se recuperaron semillas de frutos cosechados en la misma unidad productiva y de la variedad San Andreas. Se utilizó esta variedad debido a que ha sido de las principales cultivas por varios años en la región agroalimentaria en donde se desarrolló el presente estudio. Las semillas se recuperaron de frutos comerciales de fresa (*Fragaria x ananassa*), para lo cual los frutos maduros se maceraron hasta generar una pulpa homogénea. La pulpa se colocó utilizando agua destilada hasta recuperar solamente la mayor cantidad de semillas posible. Las semillas se secaron por 12 h en papel sanita a temperatura ambiente y posteriormente las semillas fueron almacenadas entre 6 y 10 °C, hasta su uso.

4.3 Tratamientos de luz LED

Como tratamientos de luz se utilizaron los colores azul, violeta, rojo y blanco, como control. Como fuente de luz artificial, se utilizaron paneles de 1,645 cm² con una densidad de 882 LED SMD5050 RGB con control de la intensidad y el fotoperiodo. Previo al presente estudio, los picos en las longitudes de onda se caracterizaron con un espectrómetro HR 400 UV-VIS (Ocean Optics). Las luces monocromáticas roja, verde y azul presentaron picos en las longitudes de onda de 629, 515 y 470 nm (Figura 9). En el caso de la luz violeta las proporciones de azul y rojo son de 75.6 y 25.4 %; mientras, que la luz blanca se formó por azul, roja y verde en 37.4, 24.4 y 38.2 %. Cada tratamiento de luz incluyó tres niveles de intensidad (alta, media y baja), azul: 1,036, 643 y 124 lx; violeta: 1,080, 671 y 130 lx; rojo: 495, 312 y 62 lx;

blanco: 1,893, 1183 y 224 lx. Igualmente, se contó con la previa medición del consumo inmediato de energía en cada tratamiento de luz con un multímetro UT100 (UNI-T®), azul: 2.00, 1.28 y 0.26 A; violeta: 2.14, 1.38 y 0.30 A; rojo: 2.60, 1.68 y 0.34; blanco: 6.72, 4.30 y 0.86 A.

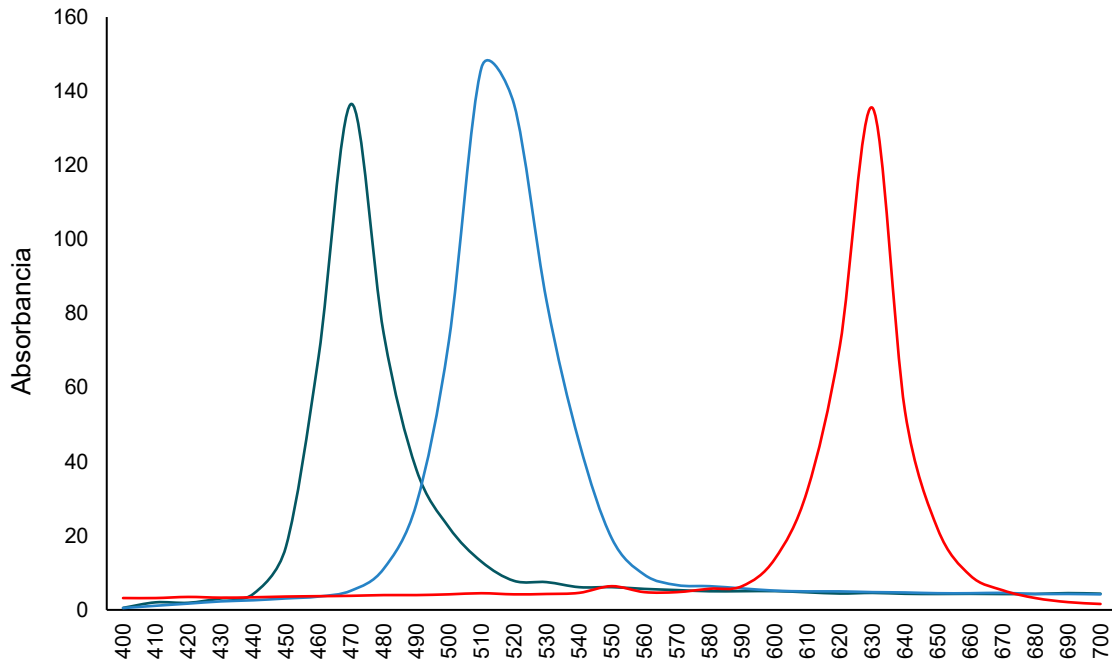


Figura 9. Picos en las longitudes de onda (nm) para la luz monocromática roja, verde, y azul de los paneles LED.

4.4 Germinación y obtención de plántulas

Las semillas se desinfectaron con NaClO 1 % y se germinaron 100 semillas por ensayo con agua destilada en cámaras húmedas transparentes de 3,600 cm³ (ancho, largo y alto de 15, 20 y 12 cm, respectivamente). Las cámaras transparentes se colocaron a 25 cm debajo de cada panel LED en sus respectivos tratamientos de luz. Dentro del laboratorio previamente se construyó una cámara de crecimiento oscura con control constante de la temperatura a 25 °C, como óptima para la germinación de acuerdo con (Ito *et al.*, 2011). Dentro de la cámara de crecimiento oscura, se cuenta con secciones aisladas para cada tratamiento de luz y se utilizó un fotoperiodo 12:12.

4.5 Variables evaluadas

4.5.1 Germinación

Se midió el porcentaje de germinación (GE, %) con base en el conteo del número de plántulas normales a los 30 días.

4.5.2 Biomasa

Se determinó la biomasa (BM, mg) secando las plántulas a 90 °C por 24 h.

4.5.3 Análisis de imágenes

Las plántulas se digitalizaron en un scanner y a partir de las imágenes obtenidas, se determinó la longitud de la radícula (LR, cm) y del tallo (LT, cm), el diámetro del hipocótilo (DH, mm) y el área de los cotiledones (AC, mm²). Las mediciones se realizaron mediante el software Imagen J 1.8.0.

4.5.4 Índices Cromo y Hue

En el AC se determinaron los valores del espacio de color Lab, para posteriormente calcular el índice de saturación Cromo (C) y de cromaticidad se determinó el ángulo Hue (H) (León *et al.*, 2007).

4.6 Análisis estadístico

Las variables se analizaron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones, realizando pruebas de separación de media de Tukey (0.05). Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software estadístico Minitab® 16.2.3.0.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El total de resultados obtenidos y analizados de las variables morfológicas y fisiológicas se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultado de las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en las plántulas de fresa.

| Variable | V.A | V.M | V.B | A.A | A.M | A.B | R.A | R.M | R.B | B.A | B.M | B.B |
|----------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| GR** | 65.2 a | 62.6 abc | 51.6 e | 63.8 a | 60.8 abc | 53.0 de | 63.4 ab | 57.6 cd | 44.8 f | 61.8 abc | 61.2 abc | 58.2 bcd |
| LR** | 3.88 a | 3.50 ab | 2.92 c | 3.56 ab | 3.56 ab | 2.44 d | 3.54 ab | 3.26 bc | 2.10 d | 3.48 ab | 3.44 ab | 3.14 bc |
| LT** | 1.54 de | 1.52 de | 2.02 abc | 1.58 de | 1.74 cd | 2.06 ab | 1.36 e | 1.78 abcd | 2.08 a | 1.76 bcd | 1.75 bcd | 1.69 d |
| DH** | 1.86 a | 1.86 a | 1.20 bc | 1.84 a | 1.40 b | 1.14 bc | 2.02 a | 1.32 b | 1.02 c | 1.38 b | 1.37 b | 1.37 b |
| BM** | 251 ab | 242 bc | 202 d | 252 ab | 240 c | 189 e | 240 c | 183 e | 170 f | 252 a | 249 abc | 145 abc |
| AC** | 25.9 a | 20.4 cd | 17.6 e | 22.9 b | 20.2 cd | 14.0 f | 18.0 de | 16.6 e | 13.2 f | 23.3 b | 23.0 b | 21.2 bc |
| L** | 75.2 a | 73.1 bcd | 70.2 fg | 71.2 def | 68.5 g | 65.3 h | 70.5 efg | 65.5 h | 64.2 h | 75.3 a | 74.4 abc | 72.4 cde |
| a** | -10.1 a | -10.0 a | -9.8 a | -11.0 bcd | -11.0 bcd | -10.4 ab | -11.9 ef | -11.2 cde | -11.1 bcd | -12.1 f | -11.8 def | -11.6 cdef |
| b** | 14.2 cd | 14.2 cd | 14.6 c | 16.1 b | 16.7 b | 15.0 c | 12.8 e | 13.5 de | 14.2 cd | 18.1 a | 18.2 a | 18.4 a |
| C** | 152 c | 152 c | 155 c | 190 b | 200 b | 167 c | 153 c | 153 c | 163 c | 237 a | 235 a | 236 a |
| H** | -54.8 c | -54.8 c | -56.2 cd | -55.5 cd | -56.7 cd | -55.3 c | -47.3 a | -50.3 b | -52.1 b | -56.1 cd | -57.1 cd | -57.8 d |

Tratamientos de luz: violeta (V), azul (A), rojo (R) y blanco (B). Intensidad: alta (A), media (m), baja (b). Variables: germinación (GE, %), longitud de la radícula (LR, cm), longitud del tallo (LT, cm), diámetro del hipocótilo (DH, mm), biomasa (BM, mg), área de los cotiledones (AC, mm²), espacio de color *Lab* (L, a, b), índice de saturación Cromo (C), Ángulo Hue (H). Los valores con la misma letra dentro de las filas de promedios son estáticamente iguales Tukey (p<0.05), (*) diferencias significativas p<0.05, (**) diferencias altamente significativas p<0.01.

5.1 Germinación

Se identificaron diferencias altamente significativas en la GE (p<0.01). Los mayores porcentajes de germinación se presentaron en las intensidades más altas de los

tratamientos de luz, incluso las azul y rojas. Sin embargo, en la luz roja se presentó el mayor porcentaje de reducción promedio de 19.2 %.

La reducción de la germinación en la luz roja se puede explicar según lo reportado por Mengxi *et al.*, (2011), la luz LED roja se asocia con el crecimiento de las plantas (alargamiento de entrenudos) y con la baja concentración de pigmentos fotosintéticos probada en *Dendrobium officinale*. Aumenta la biomasa húmeda y seca de raíces de plántulas de *Paphiopedilum*, aumenta el peso fresco y seco de brotes en *Dendrobium officinale*. La iluminación de plántulas de *Oncidium tigrinum* con mayor proporción de luz roja con respecto a la azul inhibe el enraizamiento, pero disminuye la formación de plantas albinas. Correll y Kiss (2005), afirman que los receptores de luz roja (fitocromo A y B) tienen efecto inhibitorio sobre la elongación de raíces. La luz led roja es percibida por pigmentos azules en las plántulas, y como no es la luz más adecuada para la síntesis de pigmentos como la clorofila, la degrada.

5.2 Biomasa

Se identificaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en la BM. La mayor formación de biomasa se presentó en la intensidad más alta de los tratamientos de luz, con excepción de la longitud de onda correspondiente al rojo. En el caso del AC, se identificaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) y resultados similares con la formación de biomasa. Lo cual se confirmó mediante la correlación positiva altamente significativa ($p < 0.01$) entre las variables BM y AC de 0.85. Los resultados sugieren que la luz roja no sería indispensable en la obtención de plántulas de fresa. Las plántulas de fresa en los tratamientos con mayor intensidad se desarrollaron correctamente, por lo cual se presentó una mayor formación de biomasa y área foliar debido a que probablemente las plantas tuvieron una mayor tasa fotosintética (Cuadro 5).

5.3 Modificaciones morfológicas

Se identificaron diferencias altamente significativas en la LR ($p < 0.01$), los tratamientos de luz azul y roja en su menor nivel de intensidad fueron lo que más limitaron el crecimiento radicular. Aunque, en comparación con el tratamiento control de luz blanca en su menor intensidad, la reducción en la LR en la luz azul y roja fue 22.3 y 33.1 %, respectivamente. Se identificó una correlación positiva altamente significativa ($p < 0.01$) de 0.83 entre la LR y la GE.

La correlación positiva se puede explicar indicando que en la germinación primero se desarrolla la raíz para absorber el agua y asegurar el crecimiento. Por lo tanto, las semillas en donde se presenta la emergencia de la raíz, sería en las que se esperaría también un alto porcentaje de germinación; de ahí, la correlación identificada.

Se identificaron diferencias altamente significativas en la LT ($p < 0.01$). Se presentó un incremento del tallo en los tratamientos de luz experimentales azul (2.06 ab), rojo (2.08 a) e incluso en su combinación como violeta (2.02 ABC), todos en sus menores niveles de intensidad. Respecto al DH, se identificaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$). los menores diámetros se determinaron en las intensidades más bajas de los tratamientos de luz violeta (1.20 bc), azul (1.14 bc) y roja (1.02 c); aunque, en este último tratamiento de luz se presentó la mayor tasa promedio de reducción de 42.1 %. La respuesta en las variables LT y DH indican que los tratamientos de luz baja intensidad y consumo de energía eléctrica, inducen que las plántulas en busca de una mejor fuente de luz se alarguen y adelgacen, lo cual eventualmente conduciría a la constricción de los vasos conductores. Lo anterior se confirma por la correlación negativa altamente significativa ($p < 0.01$) entre ambas variables de -0.80.

Dicha correlación debido a que, las plántulas de fresa en luz roja y en general a bajas intensidades dedicaron sus recursos a alargarse en busca de una fuente de luz con una mayor aportación energética. Por consecuencia, las plántulas en estos tratamientos presentaron una reducción del diámetro del hipocótilo, lo cual lo

adelgaza buscando cómo sobrevivir, esta tendencia conduciría al constreñimiento del xilema y el floema hasta que ya no puedan realizar su función de forma adecuada.

Una semilla que germina en la oscuridad genera un hipocótilo que se elonga y crece aislado, no genera nuevas hojas y no abre el gancho plúmular. Es una de las respuestas más visibles a la relación R/RL. Si la intensidad de la luz es baja la plántula elonga sus entrenudos de manera de escapar de un ambiente de irradiancia reducida (Beltrano y Giménez, 2011). Se identificaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en el AC. El tratamiento de luz violeta de más alta intensidad fue el que presentó el mayor valor de AC (25.9 a), seguido por los tratamientos de luz blanca de alta (23.3 b), media (23.0 b) y baja intensidad (21.2 bc), seguido del tratamiento de luz azul de alta intensidad (22.9 b). Cabe mencionar que, de todos los tratamientos de luz mencionados el último tiene el menor consumo energético, lo cual sería una característica importante a una escala mayor.

Respecto a las longitudes de onda monocromáticas, la luz azul indujo un mejor desarrollo de los cotiledones, ya que ha sido reportado que está relacionada con crecimiento vegetativo, el desarrollo del follaje, la actividad fotosintética, y la síntesis de clorofila fotosíntesis, la conducción gaseosa por los estomas, entre otras. En general a menor longitud de onda, mayor será la energía de la luz que llega hasta los fotorreceptores, por lo cual la luz azul es más afectiva en desarrollo vegetativo de las plantas (Sonoma, 2020).

5.4 Variaciones en el color

Se identificaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en los componentes del espacio de color *Lab*. Los valores más altos de luminosidad se presentaron en los niveles de mayor intensidad de los tratamientos de luz en el siguiente orden: blanco (75.3 a), violeta (75.2 a), azul (71.2 def) y rojo (70.5 efg). El AC en los tratamientos monocromáticos azul y rojo fue 7.7 y 9.9 % menos luminosa en promedio. En el caso de *a* (verde a rojo) evidentemente todos los valores fueron

negativos, presentándose principalmente en los tratamientos de luz azul y roja una tendencia de los valores a volverse menos negativos conforme se redujo la intensidad de la luz en los tratamientos. El tratamiento violeta presento los valores menos negativos. En el caso de b (azul a amarillo), los valores más alto se presentaron en los tratamientos control, mientras que principalmente en el tratamiento de luz roja se presentó una tendencia a incrementar los valores conforme se redujo la intensidad de la luz en una tasa promedio de 7.9 %; es decir, fue el tratamiento de luz en el que el AC se volvería amarillas con mayor velocidad. En los resultados del presente proyecto, las variaciones en el color del AC se debieron a que en los principales pigmentos como la clorofila a y b, también varían sus cantidades y proporciones en función tanto de la intensidad como la longitud de onda de la luz. El uso de pigmentos accesorios permite la absorción de una gama más amplia de longitudes de onda y, por lo tanto, una captura mayor de energía de la luz solar (OpenStax, 2012).

El color del AC debió de haber sido modificada por la síntesis de diferentes pigmentos en respuesta a los tratamientos de luz, lo cual se puede confirmar con el hecho de que se identificaron diferencias altamente significativas en los índices C y H ($p < 0.01$). En el caso del presente estudio, los valores de C y H fueron principalmente modificados por las variaciones en b , se identificó una correlación negativa altamente significativa ($p < 0.01$) entre C y b de -0.77 ; igualmente, se identificó una correlación positiva altamente significativa ($p < 0.01$) entre H y b de 0.98 .

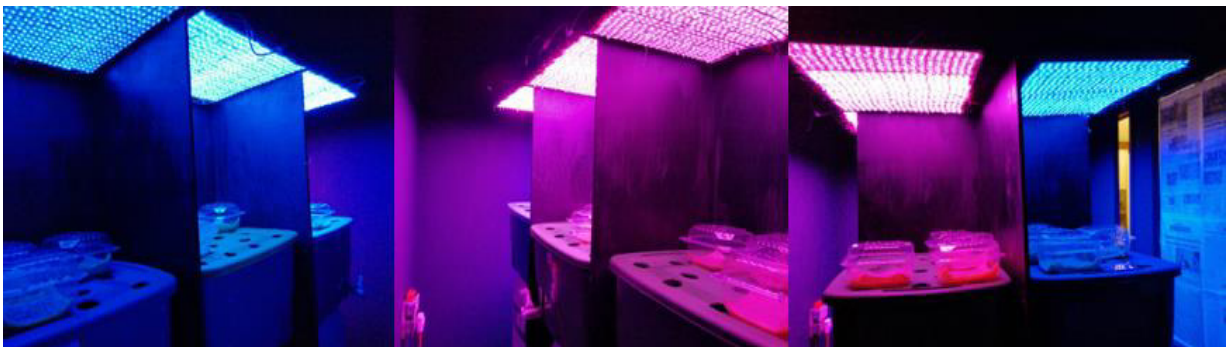


Figura 10. Cámaras de crecimiento con luz LED.

A este respecto, además de la clorofila hay otros grupos de pigmento claves en la coloración del AC. Por ejemplo, los carotenoides son pigmentos que absorben la luz violeta y verde azulada. En la fotosíntesis, los carotenoides ayudan a capturar la luz, pero también tienen una función importante al deshacerse del exceso de energía luminosa. Cuando una hoja está expuesta a pleno sol, recibe una cantidad enorme de energía; si dicha energía no se maneja adecuadamente, puede dañar la maquinaria fotosintética. Los carotenoides de los cloroplastos ayudan a absorber el exceso de energía y a disiparla como calor. La clorofila a, absorbe longitudes de onda de cualquier extremo del espectro visible (azul y rojo), pero no verde. Debido a que el verde se refleja o se transmite, la clorofila aparece verde. Los carotenoides se absorben en la región azul de longitud de onda corta y reflejan las longitudes de onda amarilla, roja y naranja más largas (Speer, 1997).

VI. CONCLUSIÓN

En la luz roja se presentó el mayor porcentaje de reducción en la germinación, es por esto por lo que no es una luz adecuada para su implementación, también fue el tratamiento que más limitó el desarrollo de la raíz y provocó el alargamiento de las plántulas. Por lo cual, esta longitud de onda monocromática no se recomendaría para la formación de plántulas de fresa. En comparación, la violeta en todas sus intensidades y la azul principalmente en alta y media intensidad, fueron adecuadas para el desarrollo de características morfológicas y fisiológicas. Es importante indicar que, entre la luz violeta y azul, ésta última tiene un menor consumo inmediato de energía. Por lo tanto, para la producción de plántulas de fresa con luz LED se recomienda la luz azul y violeta en altas intensidades.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado-Chávez, J. A. (2018). *Producción de fresa en sistemas hidropónicos bajo condiciones de invernadero* (Master's thesis, El autor).
- Ávila-Arce, A., y González-Milán, D. J. (2012). *La competitividad de las fresas (Fragaria spp.) mexicanas en el mercado nacional, regional y de Estados Unidos*. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 9(1), 17-27. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722012000100002&lng=es&tlng=es (consultado el 13 de febrero de 2022).
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2011). *FOTOMORFOGÉNESIS VEGETAL*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (aula virtual).
- Casierra-Posada, F. & Peña-Olmos, J.E. (2011). *Contenido de pigmentos en hojas de fresa (Fragaria sp) expuestas a diferente calidad espectral*. *Agr. Col.* (en prensa).
- Cervantes-Arango, S. E. (2003). *Microambiente de luz, crecimiento y fotosíntesis de Tillandsia brachycaulos Schldl.* Centro de investigación Científica de Yucatán (CICY). https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/909/1/PCBP_M_Tesis_2003_Sandra_Cervantes_Arango.pdf (Consultado el 22 de febrero de 2022).
- Chiluisa-González, G. D. (2020). *Detección de enfermedades en plantas de tomate a través del análisis computacional de sus hojas*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
- CONACYT, (2012). *Fondo Sectorial de Investigación en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos*. http://www.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/SAGARPA/201203/Demanda_especifica-2012-3.pdf (Consultado el 14 de febrero de 2022).
- CONACYT. (2019). Yo veo, tú ves, ¿las plantas qué ven? CIENCIA Y DESARROLLO. <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=540>. (Consultado el 28 de junio de 2022).
- Correll, M. J., & J. Z. Kiss. 2005. The roles of phytochromes in elongation and gravitropism of roots. *Plant Cell Physiol.* 46: 317-323.
- Craver, J.K. and R.G. Lopez. 2016. *Control of morphology by manipulating light quality and daily light integral using LEDs*. (cap. 15, pp. 203-217). En: Kozai, T.; K. Fujiwara and E. Runkle. (Ed.). *LED lighting for urban agriculture*. Singapore: Springer. 454p

- Dávalos, P. A., Aguilar, G. R., Jofre, A. E., Hernández, A. R. y Vázquez, M. N. (2011). *Tecnología para sembrar viveros de fresa*. Ríos, S. A. (Ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1a (Ed.). Celaya, Guanajuato, México, D. F. 153 pp.
- Echánove-Huacuja, F. (2001). *Abastecimiento a la Ciudad de México: el caso de los pequeños productores de fresa de Guanajuato*. Investigaciones geográficas, (45), 128-148.
- Etifa (2020). *Iluminación LED para la producción agrícola intensiva*. Etifa. <https://www.etifa.com/iluminacion-led-para-la-produccion-agricola-intensiva/> (Consultado el 22 de febrero de 2022).
- FAOSTAT. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009). <http://faostat.fao.org/site/535/default.aspx#ancor> (consultado el 13 de febrero de 2022).
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2013. FAOSTAT. <http://faostat3.fao.org/home/index.html> (Consultado el 22 de febrero de 2022).
- Flores, M., González E., & Escalona, V. (2020). *Respuestas de las plantas frente al estímulo lumínico*. Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC). Universidad de Chile.
- García, J., Basilio, J. S., & Jiménez, E. (2021). *El estrés lumínico en la fisiología de las plantas*. Metroflor. <http://www.metroflorcolombia.com/el-estres-luminico-en-la-fisiologia-de-las-plantas/> (Consultado el 22 de febrero de 2022).
- Gomez-Cordova, E. M. & Sandoval-Morales, E. (2020). *Uso de imágenes satelitales para la detección de plagas y enfermedades en cultivos*. Universidad César Vallejo. FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL.
- González-Arias, A. (2007). *¿Qué es la luz?* Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2735624.pdf> (Consultado el 15 de febrero de 2022).
- Hernández-Soto, D., Mejía-Ramírez, R., & Hilario-Méndez, L. (2021). *Determinación de la rentabilidad de producir en México para exportar a estados unidos fresa*. Universidad de las Américas Puebla. <https://entorno.udlap.mx/wp-content/uploads/2018/09/rentabilidad-producir-fresa-para-EU-Entorno-14-UDLAP.pdf> (Consultado el 21 de febrero de 2022).
- ITSC. (2018). *MANUAL DE PRODUCCIÓN DE FRESA EN COALCOMÁN MICHOACÁN*. Instituto Tecnológico Superior de Coahuila de Coahuila.

<https://www.itscoalconman.edu.mx/content/descargas/vinculacion/MANUAL%20PARA%20CULTIVO%20DE%20FRESA%20EN%20COALCOMAN.pdf>
(consultado el 07 febrero de 2022).

- INTAGRI. (2017). *Plántulas de Fresa ¿Cepellón o Raíz Desnuda?* Serie Frutillas Núm. 18. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
- INTAGRI. (2018). *Manejo de Viveros de Fresa en México*. Serie frutillas, Núm. 27 Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.
- Jiménez, Y. (2008). *Integración de los Mercados Hortofrutícolas entre México y los Estados Unidos* (Doctoral dissertation, Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California).
- Kimball, J. (2011). "Tropisms". Kimball's Biology Pages. <http://www.biology-pages.info/T/Tropisms.html> (Consultado el 24 de febrero de 2022).
- Lambers, H. Chapin 111, F. S. y Pons T. L. (1998) *Plant Physiological Ecology*. Springer, EUA
- León-López, L., Guzmán-Ortiz, D. L. A., García-Berumen, J. A., Chávez-Marmolejo, C. G., & Peña-Cabriales, J. J. (2014). *Consideraciones para mejorar la competitividad de la región «El Bajío» en la producción nacional de fresa*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(4), 673-686. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000400011 (Consultado el 17 de febrero de 2022).
- Manrique, E. R. (2003). *Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis*. Ecosistemas, 12, 1-12.
- Menéndez-Valderrey, J. L. "agronomía ecuatorial L.". Asturnatura.com (En Línea). Núm. 154. <Http://www.asturnatura.com/especie/fragaria-vesca.html>. ISSN 1887- 5068 (Consultado el 22 de febrero de 2022).
- Mendieta, L. A. (2011). *Distribución espacial de nutrimentos en la solución del suelo para la producción intensiva de fresa*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. p 5.
- Mengxi L., X. Zhigang, Y. Yang, and F. Yijie. 2011. *Effects of different spectral lights on Oncidium PLBs induction, proliferation, and plant regeneration*. Plant Cell Tiss. Organ. Cult. 106: 1-10.
- Molina-Nieto, C. R. (2014). *EFFECTO DE CUATRO BIOFERTILIZANTES EN LA PRODUCCIÓN DE ESTOLONES Y FRUTOS DE FRESA (Fragaria vesca L.)*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

- Moreno-Fernández, M. (2007). *La luz*. Central Sindical Independiente y de Funcionarios (CSIF). https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_18/MARIA_MORENO_1.pdf (Consultado el 17 de febrero de 2022).
- Olivera-Soto, J. (2012). *Cultivo de Fresa (Fragaria x ananassa Duch.)*. INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/752> (consultado el 13 de febrero de 2022).
- OpenStax, (2012). *Las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis*. Rice University. OpenStax CNX. <http://cnx.org/contents/f829b3bd-472d-4885-a0a4-6fea3252e2b2@15>. (Consultado el 22 de septiembre de 2022).
- Pérez-Guerrero, L. L. (2018). *INDUCCIÓN DE LA FLORACIÓN EN FRESA (Fragaria x ananassa) VARIEDAD ALBIÓN, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE EXTRACTO DE SAUCE (Salix humboldtiana) Y AGUA DE COCO (Cocos nucifera L)*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.
- Philips lighting. (2019). *Agricultura urbana*. Philips. <https://www.lighting.philips.com.co/productos/iluminacion-led-horticultura/agricultura-urbana>. (Consultado el 28 de junio de 2022).
- Rucoba-García, A., Abraham-Juárez, R., Núñez-Palenius, H., García-Corona, D., & López-Rocha, E. (2014). *Calidad, comercialización y rentabilidad de fresa en el sistema de producción tradicional y agroecológico en Guanajuato*. Custos e Agronegócio Online. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero3v10/Artigo%2015%20fresa.pdf> (Consultado el 18 de febrero de 2022).
- Ruiz, C., Medina G.G., Gonzales I. J., Ortiz T. C., Flores L. H. E., Martínez P. R., Keir F Byerly M. 1999. *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP). pp 128,129, 130.
- Sánchez-Pineda, D. E. & Ramírez-Torres, N. L. (2017). *Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido*. *Ingenierías USBMed*, 8(1), 7-11.
- Sánchez, S.J. L., (2007). *Producción orgánica de fresa (Fragaria ananassa), en tubos de PVC*. Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán Sinaloa, México.pp1- 4.
- Santoyo-Juárez, J. A., & Martínez-Alvarado, C. O. (2010). *Paquete tecnológico para la producción de fresa*. Fundación Produce Sinaloa.

<https://www.fps.org.mx/portal/index.php/component/phocadownload/category/29-frutales?download=23:paquete-tecnologico-para-la-produccion-de-fresa> (Consultado 17 de febrero de 2022).

Secom (2021). *Luz artificial para plantas: influencia en el proceso de crecimiento*. Blog - SECOM Iluminación. <https://blog.secom.es/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-de-las-plantas/> (Consultado el 24 de febrero de 2022).

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2013). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado el 22 de febrero de 2022).

Speer, B. R., (1997). *Photosynthetic pigments*. En Glosario Ucmp. <http://www.ucmp.berkeley.edu/glossary/gloss3/pigments.html> (consultado el 22 de septiembre de 2022).

Sonoma, M. (2020). *LA LUZ COMO FACTOR AMBIENTAL PARA LAS PLANTAS*. Nutricontrol. Automatic Fertigation & Climate Control. https://nutricontrol.com/es/la-luz-como-factor-ambiental-para-las-plantas/#pll_switcher (Consultado el 4 de octubre de 2022).

TRM (2021). *T-MEC: Los beneficios del nuevo tratado para México*. Thomson Reuters México <https://www.thomsonreutersmexico.com/es-mx/soluciones-de-comercio-exterior/blog-comercio-exterior/los-beneficios-nuevo-tratado-mexico>. (Consultado el 28 de junio de 2022).

Valdés-Tapia, M. C. (2012). *La producción de la fresa (Fragaria vesca) en el estado de Guanajuato 2000 - 2010*. Repositorio UAAAN. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5300/T19498%20VALDES%20TAPIA,%20MARIA%20CRISTINA%20MONOG..pdf?sequence=1> (consultado el 8 de febrero de 2022).

Zaragoza Nieto, R. D. (2013). *Evaluación de Técnicas Hidropónicas de Producción en el Cultivo de Fresa (Fragaria x ananassa) Bajo Invernadero*. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA (Repositorio institucional). <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/67/1/Tesis%20MAP%20Ramon%20Donovan%20Zaragoza%20Nieto%20Dic%2018%202013.pdf> (Consultado el 22 de febrero de 2022).

VII. ANEXOS

Constancia del Verano de la Ciencia XXVII, en donde se presentaron los resultados del presente proyecto de tesis.

