

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuestas de la Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.)  
al Balance entre Luz Roja y Luz Azul

Por:

**ANTONIO CAMACHO MINGUELA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuestas de la Fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.)  
al Balance entre Luz Roja y Luz Azul

Por:

**ANTONIO CAMACHO MINGUELA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



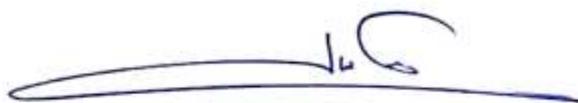
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Asesor Principal



M.C. Adolfo Baylon Palomino

Asesor Principal Externo



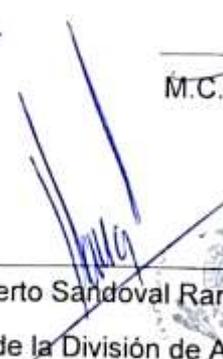
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Coasesor



M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala

Coasesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

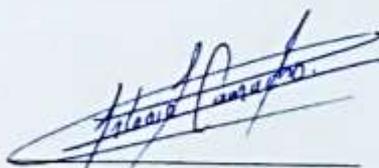
## DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Autor principal

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Antonio Camacho Minguela', written over a horizontal line.

Antonio Camacho Minguela

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Alma Mater por recibirme con las puertas abiertas y brindarme todo lo necesario para culminar mi carrera profesional.

A cada uno de los maestros que fueron parte de mi formación profesional, dándome los conocimientos necesarios para enfrentar el mundo laboral y la importancia ética que tiene esta carrera en el mundo.

A todos mis amigos y compañeros que conocí en el transcurso de la carrera por ayudarme a siempre trabajar en equipo y demostrarme el valor que nos une como seres humanos.

**A Andrea Nayeli Olvera Fuentes** por formar parte de este logro, durante el cual me brindo todo su apoyo y cariño.

**A mi Madre Antonia Camacho Minguela** por haberme dado la oportunidad de prepararme profesionalmente y darme su apoyo para cumplir esta meta.

**A mi Abuelo Luis Camacho Ventura** por ser el motivo que me condujo a estudiar esta hermosa carrera.

**A mis hermanas María Cristina Solano Camacho, María del Carmen Camacho Minguela** por el apoyo y la solidaridad que me ofrecieron.

**A la Dra. Daniela Alvarado Camarillo** por haberme permitido la oportunidad de trabajar con ella en este proyecto, el apoyo, la confianza y los consejos que me brinda hasta el día de hoy, por eso y más muchas gracias.

**Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar** gracias por su apoyo y compromiso con la asesoría brindada en la revisión de la presente investigación, así como también por sus consejos y la confianza que me ha brindado.

## **DEDICATORIAS**

### **A mi madre**

Antonia Camacho Minguela por ser el ser humano más maravilloso del mundo, por siempre guiarme, consolidar mis tristezas, celebrar mis logros, por todos sus esfuerzos y sacrificios que ha hecho, por todo ese amor y motivación que me diste durante todo este trayecto universitario, por todo ese apoyo emocional que me brindaste a pesar de la distancia, y sobre todo por enseñarme que siempre hay que ser fuertes y salir adelante ante cualquier situación que la vida nos ponga, por más difícil que sea, me llena de alegría compartir este logro académico que no solo es mío, sino también tuyo querida mamá.

### **A mi abuelo**

Luis Camacho Ventura por ser siempre un ejemplo de trabajo arduo y perseverancia en los momentos más difíciles de la vida, por demostrar valor y coraje y sobre todo amor a la familia, a usted quiero dedícale también este símbolo de logro, quiero conservar su recuerdo por siempre en mi pensamiento, le mando un fuerte abrazo, descanse en paz mi viejo y querido amigo.

### **A mis hermanas**

María Cristina Solano Camacho, María del Carmen Camacho Minguela porque a pesar de estar lejos siempre me demostraron su gran amor y todo su apoyo, gracias por nunca dejarme solo y por ser ese ejemplo de perseverancia, hoy les dedico este logro del cual fueron parte, las quiero mucho hermanas.

## RESUMEN

Actualmente, México ocupa un lugar muy importante en la producción y exportación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.); sin embargo, los productores enfrentan una problemática muy compleja que afecta la productividad y la calidad; esto es, la obtención de plantas libres de plagas y enfermedades, lo cual es difícil. Para mantener la posición de México es necesario elevar los estándares de calidad de la fruta mediante instalaciones de mayor tecnología, ya que en estas es posible reducir la incidencia de plagas y enfermedades, así como los daños por efecto del clima. El objetivo de este experimento fue evaluar y definir como la luz roja y azul en diferentes combinaciones afectan el crecimiento, rendimiento y estatus nutrimental en plantas de fresa en un sistema hidropónico tipo torre conocido como Sistema de Producción Plant Factory. El estudio fue instalado en el Departamento de Ciencias del Suelo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buenavista, del municipio de Saltillo, Coahuila con una latitud de 25.3537535 y longitud de -101.0336601. Cada uno de los tres balances de luz roja y luz azul constó de 18 repeticiones y cada repetición de una planta por contenedor. Se manejó un diseño experimental completamente al azar y los datos fueron analizados con una ANOVA y en caso de detectar significancia estadística se aplicó la prueba de comparación de promedios de Duncan con  $p < 0.05$ . El mejor rendimiento tomando en cuenta el peso de frutos individuales fue el balance de luz roja y luz azul de 3.3:1, sin embargo, este mismo balance afectó la calidad en cuanto al contenido de grados Brix y concentración de  $Ca^{++}$ , superado por el balance 5.15:1, esto sin tener cambios significativos en calidad de firmeza.

## ABSTRACT

Currently, Mexico occupies a very important place in the production and exportation of strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.); however, producers face a very complex problem that affects the productivity and quality of the fruit, that is obtaining plants free of pests and diseases; to maintain the position it is necessary to raise the quality standards of the fruit through higher-quality facilities and technology to reduce the incidence of pests and diseases, as well as the damages due to the effect of the weather. The objective of this experiment was to evaluate and define how red and blue light in different combinations affect growth, yield and the nutritional status in strawberry plants in a hydroponic system in towers known also as Plant Factory Production System. The study was installed in the Department of Soil Sciences at the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, located in Buenavista, in the municipality of Saltillo, Coahuila with a latitude of 25.3537535 and a longitude of -101.0336601. Each of the three balances of red light and blue light consisted of 18 replications and each replication of one plant per container. A completely randomized experimental design was used and the data were analyzed with an ANOVA and in case of detecting statistical significance, Duncan's mean comparison test was applied with  $p < 0.05$ . The best performance taking into account the weight of individual fruits was the balance of red light and blue light of 3.3:1, however, this same balance affected fruits in terms of total soluble solids content and  $\text{Ca}^{++}$  concentration, surpassed by the 5.15:1 balance.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I. INTRODUCCION .....</b>   | <b>11</b> |
| Objetivos .....  | 13        |
| Hipótesis .....  | 13        |
| <b>II. REVISION DE LITERTURA .....</b>   | <b>14</b> |
| Importancia del Cultivo de Fresa.....  | 14        |
| Importancia económica y social en México.....  | 14        |
| Morfología y Características Botánicas de la Planta de Fresa.....  | 16        |
| Cultivares y Variedades .....  | 17        |
| Floración .....  | 17        |
| Fotoperiodo.....   | 18        |
| Termoperíodo .....   | 18        |
| Cultivo sin Suelo .....  | 18        |
| Sistema de Plantación .....  | 19        |
| Necesidades de Fertilización .....   | 19        |
| Requerimientos Hídricos.....   | 21        |
| Conductividad Eléctrica y pH .....   | 21        |
| Iluminación LED en Horticultura.....   | 21        |
| Insectos Plagas y Enfermedades Asociados al Cultivo de Fresa .....   | 22        |
| Insectos y ácaros.....   | 22        |
| Enfermedades causadas por virus y organismos afines.....   | 23        |
| <b>III. MATERIALES Y METODOS.....</b>  | <b>25</b> |
| Ubicación. ....  | 25        |
| Descripción del Sistema.....   | 25        |
| Condiciones Ambientales.....   | 25        |
| Sistema de Iluminación Artificial.....   | 26        |
| Preparación del Sustrato.....  | 26        |
| Riego.....   | 26        |
| Variables Evaluadas. ....  | 27        |
| Rendimiento.....   | 27        |
| Firmeza del fruto .....  | 27        |
| Sólidos solubles totales (SST).....  | 27        |
| Peso fresco y seco .....   | 28        |
| Concentración nutrimental de Ca <sup>++</sup> , K <sup>+</sup> y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en frutos..... | 28        |
| Diseño Experimental y Análisis Estadístico .....   | 28        |

|             |                               |           |
|-------------|-------------------------------|-----------|
| <b>IV.</b>  | <b>RESULTADOS.....</b>        | <b>29</b> |
| <b>V.</b>   | <b>DISCUSION.....</b>         | <b>31</b> |
| <b>VI.</b>  | <b>CONCLUSIONES.....</b>      | <b>34</b> |
| <b>VII.</b> | <b>LITERATURA CITADA.....</b> | <b>35</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Producción y exportación de fresa en México, 2010-2021. Elaborado con datos de FAOSTAT (2023)..... | 15 |
|---|----|

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Valor y Volumen de producción de fresa por estados en México. Elaborado con datos de SIAP (2023).....  | 16 |
| <b>Cuadro 2.</b> Fertilizantes requeridos para preparar 100 L de solución nutritiva con el balance de aniones y cationes de la solución propuesta por Steiner (1968).27   |    |
| <b>Cuadro 3.</b> Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre el rendimiento y número de frutos, así como la firmeza y solidos solubles totales en plantas de fresa. . | 29 |
| <b>Cuadro 4.</b> Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre el peso fresco de las plantas de fresa.....  | 30 |
| <b>Cuadro 5.</b> Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre el peso seco de las plantas de fresa.....  | 30 |
| <b>Cuadro 6.</b> Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre estatus nutrimental de frutos de fresa. ....   | 30 |

## I. INTRODUCCION

México ha creado historia en la producción y exportación de fresa a nivel mundial manteniéndose en los primeros lugares, comparado con 1980, la superficie cultivada con fresa en México creció en 270% para el 2019, cultivándose principalmente en los estados de Michoacán, Baja California y Guanajuato. La fresa se cultiva bajo sistemas de agricultura protegida, siendo la producción en macro túnel el sistema más preponderante, aunque también se produce bajo casa sombre e invernadero.

Sin embargo, para mantener la posición de México como líder mundial en el cultivo de la fresa es necesario elevar los estándares de calidad de la fruta que nos permitan entrar a otros mercados y, de ser posible, incrementar la oferta en los meses de junio a noviembre, en los cuales la exportación de fresa disminuye marcadamente debido a una menor producción (SIAP, 2020).

Los productores de fresa enfrentan una problemática muy compleja que afecta la productividad y la calidad de la fresa. La obtención de plantas libres de plagas y enfermedades es difícil, así que durante el ciclo de cultivo se deben estar manejando mediante la aplicación de pesticidas que dañan al ambiente y reducen la rentabilidad. Igualmente, los problemas climatológicos como las heladas y las granizadas han ocasionado pérdidas importantes. Para elevar la productividad de la fresa se requiere entonces de instalaciones de mayor tecnología, ya que en estas es posible reducir la incidencia de plagas y enfermedades, así como los daños por efecto del clima.

México, junto con otros países en desarrollo, se ha convertido un importante proveedor de productos hortofrutícolas para el mercado (Van den Broeck y Maertens, 2016). Sin embargo, para mantener la posición de México como líder mundial es necesario elevar los estándares de calidad que permitan entrar a otros mercados.

La luz es el factor ambiental que más afecta el crecimiento de las plantas, ya que influye directamente en la fotosíntesis y en el rendimiento, como se ha demostrado en fresa (Hidaka et al., 2012). La tecnología LED para la iluminación de cultivos ha probado ser una herramienta útil para mantener altas tasas

fotosintéticas en condiciones de cultivos de interior; la alta tasa de fotosíntesis promueve el crecimiento de las plantas, lo cual se refleja en un aumento en la producción de biomasa, área foliar, peso específico de la hoja, tamaño de frutos y rendimiento (Hidaka et al., 2012).

Se ha propuesto que los sistemas de producción en interior con iluminación artificial basado en lámparas LED pueden ser una alternativa económicamente factible para producir alimentos a partir de especies cultivadas que se adapten a estos (Kosai et al., 2016). Una ventaja del sistema es que las condiciones ambientales como la temperatura, la luz y la humedad pueden ser controlados, permitiendo la producción de cultivos sin ser afectados por el medio ambiente (Yoshida et al., 2016). La fresa es un cultivo que puede adaptarse a este sistema de producción ya que el porte bajo de la planta, así como sus necesidades de iluminación se pueden abastecer bajo tales condiciones (Yoshida et al., 2016).

Dentro de los atributos de la luz, la intensidad es un parámetro de gran importancia ya que un exceso o deficiencia tiene repercusiones en el crecimiento y rendimiento de las plantas; Maeda e Ito (2020) demostraron que la fresa cultivada en condiciones de iluminación LED con una densidad de flujo de fotones arriba de  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  producen el mayor rendimiento de fruto, lo cual es incluso más favorable si esto se combina con un fotoperiodo de 24 horas, mientras que con una densidad de flujo de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  se presenta una reducción significativa en el rendimiento.

Un aspecto también importante es la calidad de la luz. Es especial es de interés la proporción de luz azul (400-500 nm) y de luz roja (600-700 nm) ya que estas son las que las plantas utilizan más para realizar la fotosíntesis debido a que los pigmentos fotosintéticos son las que más absorben, aunque algunos autores le dan importancia también a la luz verde (500-600 nm) (Liu y van Iersel, 2021). En fresa, se ha demostrado que la producción de frutos, el peso promedio del fruto y el rendimiento total, son mayores cuando las plantas crecen en condiciones de luz azul monocromática comparado con aquellas crecidas bajo luz roja monocromática (Nadalini et al., 2017). El presente estudio fue diseñado para definir como la luz roja y azul en diferentes combinaciones afectan el crecimiento, rendimiento y estatus nutrimental en plantas de fresa creciendo en ambiente controlado.

## **Objetivos**

- Evaluar el efecto de la calidad de luz en la producción de biomasa y absorción estado nutrimental en fruto de fresa.
- Determinar el efecto de la calidad de luz en la producción de fruto en fresa.
- Determinar el efecto de la calidad de luz en la producción de biomasa y crecimiento de plantas de fresa.

## **Hipótesis**

El balance adecuado de luz roja y azul permitirá aumentar la producción y calidad de frutos de fresa así como el crecimiento de las plantas.

## II. REVISION DE LITERTURA

### Importancia del Cultivo de Fresa

#### Importancia económica y social en México

El aumento del interés de la inclusión de frutilla en la dieta diaria, en el caso de la fresa esta principalmente asociado a los beneficios en la salud (Çolak y Alan, 2017). La fresa es una fruta muy apreciada por su agradable sabor agridulce, su atractivo aroma, sus propiedades nutricionales y cualidades medicinales. Las fresas contienen vitamina C, taninos, flavonoides, antocianinas, catequinas, quercetina, campferol, ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico, salicílico y elágico), minerales ( $K^+$ , P,  $Ca^{++}$ , Na, Fe), pigmentos y aceites esenciales. Estos compuestos tienen poderosas propiedades antioxidantes y ayudan a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, mejorar la función endotelial y reducir la coagulación sanguínea. (Restrepo et al., 2009). La producción de fresa en México representa el 8.1% del valor de la producción frutícola el 3% del producto interno bruto, por ello se considera un cultivo de importancia (SIACON, 2019).

México ocupa el tercer lugar en la producción mundial de este fruto con 658436 t (8.2%), el primer lugar es de China con 2851100t (35.3%) y el segundo Estados Unidos de América (EE UU) con 1234134 t (15.3%), los cuales aportan cerca de 59% de la producción mundial. Por otra parte, los principales países exportadores de fresa son España con 304314t (32%), Estados Unidos de América con 146385 t (15.4%) y México con 126157 toneladas (13.3%), juntos representan el 61% de las exportaciones mundiales. Por otro lado, los principales importadores de fresa son Estados Unidos de América con 166576t (17.6%), Canadá con 110487 t (11.7%) y Alemania con 108407 t (11.4%), los cuales realizan alrededor de 41% de las importaciones en el mundo (FAOSTAT, 2020).

México es uno de los principales países productores y exportadores de fresa a nivel mundial, en 2010 produjo 226657 t y exportó 66019 t el coeficiente de exportación fue de 29.13%, en 2021 la producción de fresa en México se colocó en 542890.63 t el volumen exportado fue de 182540.49 t, con lo que el valor del coeficiente de exportación fue de 33.62% (Figura 1), indicando que una buena parte de la producción se destinó al mercado externo (FAOSTAT, 2023).



**Figura 1. Producción y exportación de fresa en México, 2010-2021. Elaborado con datos de FAOSTAT (2023).**

La importancia del cultivo de fresa en México radica especialmente en la labor que realizan cada uno de los municipios de los 16 estados productores, los cuales aportan empleos directos e indirectos a miles de personas a lo largo y ancho de la república mexicana, el siguiente Cuadro (Cuadro 1) muestra la aportación de los estados productores de fresa.

**Cuadro 1. Valor y Volumen de producción de fresa por estados en México. Elaborado con datos de SIAP (2023).**

| Posición | Entidad federativa  | Volumen (ton) | Precio medio rural | Valor producción |
|----------|---------------------|---------------|--------------------|------------------|
| 1        | Michoacán           | 354047.99     | 813799.68          | 8112647002       |
| 2        | Guanajuato          | 96119         | 299361.26          | 1278202206       |
| 3        | Baja California     | 93179         | 83261.44           | 3698760395       |
| 4        | Jalisco             | 13978.88      | 192729.48          | 470154180.5      |
| 5        | México              | 8448.63       | 289017.98          | 160487296.7      |
| 6        | Baja California Sur | 7942.77       | 33497.31           | 161959968.4      |
| 7        | Aguascalientes      | 3031.1        | 66692.88           | 52135023.1       |
| 8        | Tlaxcala            | 353.92        | 29990              | 10614060.8       |
| 9        | Oaxaca              | 261.9         | 52658.93           | 6900890.9        |
| 10       | Puebla              | 236.61        | 51228.05           | 4225328.99       |
| 11       | Zacatecas           | 190.42        | 27735.49           | 2809278.67       |
| 12       | Morelos             | 112.8         | 11220.74           | 1265699.47       |
| 13       | Sinaloa             | 102           | 22000              | 2244000          |
| 14       | Chihuahua           | 75.25         | 21934.65           | 1650582.41       |
| 15       | Veracruz            | 60.12         | 9850               | 592182           |
| 16       | San Luis Potosí     | 1.5           | 21200              | 31800            |

### **Morfología y Características Botánicas de la Planta de Fresa**

Las especies asociadas a la fresa pertenecen a la familia Rosaceae, subfamilia Rosoideae, tribu Potentilleae, subtribu Fragariinae, género *Fragaria* L. (Sistema Nacional de Germoplasma Vegetal de EE. UU., 2006). Dentro de la tribu Potentilleae, existen otros géneros emparentados con *Fragaria*: *Duchesnea* y *Potentilla*, la fresa cultivada es *Fragaria x ananassa* Duch. (Hancock, 1999).

La planta domesticada recientemente es *Fragaria x ananassa* Duch. Su origen está documentado por el botánico Antoine Nicolas Duchesne en el año 1766 en su obra "Natural History of Strawberries". La cual tiene origen por una hibridación entre *F. virginiana* de Norte América y *F. chiloensis* de Suramérica en el siglo XVIII (Liston et al., 2014).

La fresa se considera una planta herbácea, perenne con un rizoma cilíndrico de tallos rastreros que al cabo de cierto estado de desarrollo emite ramificaciones de longitud grande llamadas estolones. Suele estar formado por un par de entrenudos de 10 a 20 cm de largo y una yema terminal que forma la nueva planta a medida que crece. El follaje se conforma por hojas compuestas

trifoliadas. La flor está dispuesta en un corimbo, una inflorescencia en la que los pedúnculos florales nacen en distintos puntos del eje y terminando aproximadamente a la misma altura. Los pedúnculos son pilosos conformados de un cáliz de cinco sépalos, de una corola de cinco pétalos blancos y numerosos estambres amarillos insertados en el perímetro de un receptáculo converso (Kessel-Domini, 2012).

Con respecto al fruto se considera agregado, formado por un receptáculo muy desarrollado tras la fecundación del óvulo. El receptáculo o fruto hortícola es la parte comestible, sostiene a los verdaderos frutos llamados aquenios. Un aquenio es un fruto seco e indehiscente, procedente de un ovario con una única semilla (Darrow, 1966).

Las raíces son poco profundas y fibrosas. La planta de fresa se considera perenne, debido a que, por su sistema de crecimiento, constantemente está formando nuevos tallos, lo que le permite sobrevivir por un tiempo indefinido. (Kessel-Domini, 2012).

### **Cultivares y Variedades**

Las variedades de fresa tienen diferentes características según la región del mundo de donde proceden. Los cultivares que se manejan en México han sido desarrollados principalmente en California. Entre los más utilizados se encuentran Festival, Albion, Camarosa, Sweet Charlie, Galexia, Camino Real, Aromas, Ventana y Diamante, que mediante varios ciclos de cultivo han demostrado su eficiencia en campo (López-Herrera et al., 2018).

### **Floración**

El desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas de fresa está regulado por una serie de señales ambientales y fisiológicas complejas. Está determinado por una serie de respuestas al crecimiento, distribución de asimilación, fenología, comportamiento agronómico y química del fruto (Hancock, 1999). Las plantas de fresa se clasifican en tres tipos: "día corto (CD)", "día largo (DL)" y "día neutro (DN)", dependiendo de la respuesta de la planta al fotoperiodo para la inducción floral (Darrow, 1936).

Las inflorescencias pueden formarse a partir de yemas terminales de la corona o de yemas axilares de las hojas. La inducción floral (IF) es el proceso mediante

el cual las yemas sufren cambios metabólicos en preparación para la transformación en botones florales. La IF marca el inicio de un destino morfológico diferente para los meristemas sometidos a este fenómeno, donde las condiciones ambientales juegan un papel dominante, como el fotoperiodo y la temperatura, que pueden controlar o modificar completamente el fenómeno (Guerrero, 2018)

### **Fotoperiodo**

La luz juega un papel importante en la floración, ya que se debe respetar un tiempo de luz determinado, que, por supuesto, depende de la planta y de sus necesidades (Guerrero, 2018).

El fotoperíodo está relacionado con el termoperíodo (respuesta de la planta a los cambios de temperatura anuales, diarios o periódicos) y determina el inicio de la floración, el comportamiento de producción y el rango de los cultivares (Zaragoza, 2013).

### **Termoperíodo**

La temperatura es uno de los factores necesarios para el cambio de fase en algunas especies vegetales debido a la acumulación de horas frío en estado dormancia, sin las condiciones necesarias la planta retrasará la floración (Dussan, 2014)

Las fresas pueden adaptarse a diferentes climas y tienen una fuerte resistencia a las heladas, pero por debajo de 0°C sus órganos serán destruidos. El rango de temperatura recomendado para obtener buenos resultados es entre 15 y 20°C. Las temperaturas inferiores a 12 °C durante el cuajado pueden causar deformación del fruto, mientras que las temperaturas superiores a 20 °C pueden provocar una rápida maduración y coloración del fruto. La duración de la luz depende en gran medida de la temperatura media para producir los frutos principales (Grajales-Valencia, 2011)

### **Cultivo sin Suelo**

La hidroponía se puede definir como una técnica de cultivo de plantas sin el uso de suelo, utilizando una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el correcto crecimiento o desarrollo de una planta (Alvarado-Chávez, 2018).

Un sustrato es cualquier material sólido distinto del suelo, puede ser natural o sintético, mineral u orgánico, y puede usarse en forma pura o mixta, permitiendo a las plantas anclarse a través de sus sistemas radiculares. El sustrato puede interferir o no con la nutrición de la planta, dividiéndola en químicamente inerte (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.) y químicamente activa (turba, corteza de pino, etc.). Los materiales inertes sirven únicamente como soporte para las plantas; Las moléculas activas participan en la adsorción y fijación de nutrientes (Zaragoza, 2013).

### **Sistema de Plantación**

Las distancias de plantación son múltiples, será 0.70 a 0.90 m entre filas y de 0.20 a 0.40 m entre plantas, las filas dobles de la cama varían de 0.30 a 0.45 y entre plantas de 0.20 a 0.40 m (Guerrero, 2018).

### **Necesidades de Fertilización**

Para alcanzar los parámetros de calidad de la fresa, es importante controlar el valor nutricional del ciclo de cultivo, es decir, aportar macronutrientes y micronutrientes para la fase fenológica (Mixquititla-Casbis, 2020).

Una solución nutritiva se describe como agua que contiene oxígeno (O<sub>2</sub>) y todos los nutrientes esenciales para las plantas N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg y S, que las plantas necesitan para proporcionar nutrición en cantidades relativamente altas y se encuentran como porcentaje en la planta. También debe contener microelementos esenciales como Fe, Zn, Mn, Cu, B y Mo, que suelen proceder de un complejo comercial. Todos ellos son solubles en una forma iónica completamente dissociada (Baixxauli y Aguilar, 2002).

El N tiene funciones esenciales en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de las fresas; Sus funciones son estructurales y osmóticas. Estos nutrientes se absorben principalmente en forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Si ocurre una deficiencia, el vigor y la productividad de la planta disminuyen, pero mejora la calidad organoléptica del fruto; Por el contrario, el exceso de N provoca una deficiencia de Zn (Mixquititla-Casbis, et al., 2020).

El P es un nutriente esencial para las plantas y, aunque es menos móvil en el suelo, beneficia a las plantas estimulando el desarrollo de las raíces y la floración, ya que es una parte importante del sistema responsable de capturar, almacenar y transferir energía. Las plantas lo absorben como iones ortofosfato primarios ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) u ortofosfatos secundarios ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (Fernández, 2007). La deficiencia de P reduce la cantidad y el diámetro de las flores, lo que resulta en una reducción del 50% en el rendimiento, retraso en la maduración, reducción del tamaño y firmeza del fruto y reducción del contenido de vitamina C; sin embargo, las altas concentraciones de fósforo pueden causar deficiencia de Zn e inactivación del Fe (Mixquititla-Casbis, 2020).

El  $\text{K}^+$  es conocido como un nutriente de alta calidad porque afecta el tamaño, la forma, el color, el sabor y la estabilidad de almacenamiento de la fruta (Chávez-Sánchez et al., 2014). Interviene en la absorción de agua por las raíces, afecta la fotosíntesis y regula la apertura estomática; es un componente estructural de la lignina y la celulosa; también afecta el contenido de almidón y azúcar y participa en la resistencia a enfermedades e insectos. La deficiencia da como resultado una reducción del vigor, el rendimiento y la calidad de la fruta al afectar la pigmentación (Kirschbaum y Borquez, 2006).

El  $\text{Ca}^{++}$  es el elemento que forma las paredes y membranas celulares y se mueve en la corriente de transpiración (Marschner, 2012). El Mg forma parte de la molécula de clorofila, molécula de gran importancia en el proceso de fotosíntesis y en la producción de fotoasimilados, necesarios en la formación de órganos y de estructuras (Alvarado-Cepeda, 2020).

Habitualmente, para la fertilización, el ciclo del cultivo se divide en dos fases: vegetativa (antes del cuaje) y reproductiva (después del cuaje). En el primer caso, el 15% de los nutrientes se aporta mediante fertilización básica y riego por goteo, mientras que, en el segundo caso, el 85% de los nutrientes se aporta mediante riego por goteo. Para la producción de fresas de invierno - primavera en las regiones subtropicales, las plantaciones de otoño suelen fertilizarse con dosis de 150, 100 y 350  $\text{kg ha}^{-1}$  son N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente. Estos valores son orientativos porque las variedades de fresa muestran diferentes

respuestas a las dosis nutricionales. El uso de nutrientes varía según el cultivar (Kirschbaum, 2021).

### **Requerimientos Hídricos**

Los factores climáticos que afectan la demanda de agua de los cultivos (o evapotranspiración) incluyen: radiación solar, temperatura, humedad relativa, precipitación y viento (Villafañe et al., 2016).

Las fresas son plantas que requieren mucho riego, especialmente durante la época de crecimiento vegetativo y durante el crecimiento del fruto (Gutierrez, A. 2010).

### **Conductividad Eléctrica y pH**

Dado que la planta de fresa es sensible a la salinidad del suelo, la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación no debe ser  $> 1,0 \text{ dS.m}^{-1}$ . El contenido de materia orgánica debe estar entre 3% a 6% y el pH debe estar entre 5,8 a 7,0 (Kirschbaum, 2021).

### **Iluminación LED en Horticultura**

La luz es considerada uno de los factores más importantes porque interfiere con el crecimiento y desarrollo de las plantas y afecta directamente la fotosíntesis y el rendimiento, por lo que algunos autores recomiendan niveles de iluminación adicionales que son nuevos e importantes para lograr una mejor calidad. La tecnología LEDS consiste en convertir la energía eléctrica en energía luminosa para lograr mejores beneficios económicos (López, 2020).

Durante la fotosíntesis, la clorofila A tiene sus picos de absorción más altos cerca de 665 nm y 435 nm, mientras que la clorofila B tiene sus picos de absorción más altos en el rango de 465 nm a 640 nm (Li et al., 2008).

La última década del siglo XX y principios del XXI han sido un período de intensa investigación sobre los efectos de la fotosíntesis en las plantas agrícolas, utilizando parcial o totalmente fuentes de luz artificial (Heinrich Böll Stiftung, 2009; Specht et al., 2014; Winter Green Research, 2014).

Los sistemas de iluminación LED ofrecen muchas ventajas sobre los sistemas de iluminación utilizados actualmente en horticultura. Una es la capacidad de controlar la salida espectral del sistema de iluminación, lo que no se logra

fácilmente con fuentes de luz de amplio espectro. La potencia espectral de un sistema de iluminación LED se puede ajustar y optimizar basándose en fotorreceptores de la planta para lograr un rendimiento óptimo sin desperdiciar energía en longitudes de onda improductivas (Dougher y Bugbee, 2001).

Es posible utilizar un control flexible de la salida espectral para influir en la morfología de las plantas (Heo et al., 2002). Los espectros se pueden adaptar a cultivos o procesos de producción específicos, y los resultados también pueden variar a lo largo del fotoperíodo o ciclo de crecimiento. También se pueden utilizar modos de iluminación especiales para mejorar imágenes de enfermedades o lesiones (Schuerger y Richards, 2006).

### **Insectos Plagas y Enfermedades Asociados al Cultivo de Fresa**

Debido a la prevalencia de enfermedades y plagas, es necesario realizar un seguimiento para detectar problemas tan pronto como se produzcan. Se recomienda monitorear los cultivos para comprender la situación y determinar la aparición y desarrollo de plagas y enfermedades. Esto permite tomar decisiones oportunas sobre las medidas de control, ya sean medidas culturales o intervenciones de uso de insecticidas (Giménez et al., 2003).

Los insectos contribuyen a las enfermedades de las plantas de muchas maneras diferentes, ya que se alimentan poniendo huevos y excavando en las plantas pueden convertirse en puntos de entrada para ciertas enfermedades (Gómez-Martínez, 2006).

#### **Insectos y ácaros**

Tanto las larvas como los adultos causan daños a los cultivos cuando muerden el tejido vegetal para acceder a su contenido. El daño es evidente cuando la fruta se quema al sol o se tuesta (Giménez et al., 2003).

##### *Araña roja (*Tetranychus urticae*)*

Los ácaros son una plaga que puede dañar gravemente los cultivos de fresas. Este problema puede llegar a ser grave principalmente en cultivos protegidos. Los ácaros pueden causar grandes daños a los cultivos reduciendo el vigor de las plantas y afectan la calidad de los frutos. Este daño se produce al comer y chupar la savia de la planta, y aparecen pequeñas manchas blancas en la

superficie superior de las hojas. Por lo general, viven en la parte inferior de las hojas y las colonias de ácaros forman un tejido protector que cubre las hojas (Giménez et al., 2003).

#### Pulgones (*Chaetosiphon fragaefolii* y otras)

Este daño lo provocan directamente las ninfas y los adultos cuando se alimentan de la planta y chupan la savia. Las colonias formadas por ellos se pueden observar fácilmente en las hojas, especialmente en los brotes jóvenes (Giménez et al., 2003).

### **Enfermedades causadas por virus y organismos afines**

La fresa es susceptible a diversas enfermedades causadas por bacterias, hongos y virus, algunas tienen poco efecto en el rendimiento, mientras que otras perturban gravemente el proceso de producción (Agrios, 1991).

#### Mancha común (*Mycosphaerella fragariae* Tul. Lindau.)

Este hongo está muy extendido y aparece por primera vez en las hojas como pequeñas manchas de color púrpura oscuro, de forma irregular. Posteriormente, las manchas se extienden y aparecen áreas de color púrpura oscuro alrededor de sus áreas centrales de color marrón; en poco tiempo las hojas jóvenes se vuelven de color marrón claro y las hojas maduras se vuelven blancas. En la parte central inerte del sitio aparecen unos pequeños peritecios en forma de punto negro. Estas manchas a menudo se fusionan y el área violeta puede extenderse alrededor de varias manchas blancas o incluso hasta el borde de la hoja. Como resultado de esta enfermedad de las manchas foliares, el rendimiento total de la planta se reduce significativamente, la calidad de la fruta cosechada se reduce y la planta se debilita (Agrios, 1991).

#### Mancha angular de la hoja (*Xanthomonas fragariae* Kennedy y King)

Los síntomas más característicos de la mancha angular de la hoja aparecen inicialmente como pequeñas lesiones húmedas en la superficie inferior de las hojas. Estas lesiones se extienden o agrandan para formar manchas angulares marcadas por pequeñas venas. Las lesiones son transparentes cuando se ven bajo luz transmitida, pero de color verde oscuro cuando se ven bajo luz reflejada. Esta es una característica importante para distinguir esta enfermedad. En

condiciones húmedas, las lesiones a menudo contienen secreciones bacterianas pegajosas en la parte inferior de la hoja y, cuando se secan, las secreciones forman una capa escamosa de color blanco pálido. Esta visualización es una característica adicional útil para identificar la mancha angular de la hoja. Las lesiones pueden agregarse y cubrir grandes porciones de la hoja y eventualmente aparecer en la superficie superior de la hoja como manchas irregulares de color marrón rojizo que se vuelven necróticas y opacas cuando la luz las atraviesa. Un halo clorótico puede rodear la lesión (Gómez-Martínez, 2006).

#### Pudrición del fruto (*Botrytis* spp)

Las enfermedades causadas por *Botrytis* son quizás las más comunes y extendidas en cultivos de hortalizas, ornamentales, frutales e incluso cereales (Gómez-Martínez, 2006).

El hongo coloniza los pétalos de las flores, los cuales son particularmente susceptibles ya que comienzan a senescer y producen un crecimiento hifal abundante, ya sea por conidias que surgen del crecimiento de la primera hifa. Nuevas infecciones ya sea por expansión del mismo micelio. El resto de la inflorescencia está invadida y cubierta de moho de color blanco grisáceo. Luego, el patógeno se propaga hasta el pedicelo podridos. Si el fruto se ha desarrollado, el hongo puede colonizarlo y provocar una pudrición terminal que, a medida que avanza, puede destruirlo total o parcialmente y propagarse a otros frutos que entren en contacto con frutos ya infectados (Contreras, 1988).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **Ubicación**

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Agricultura Vertical de Ambiente Controlado en el Departamento de Ciencias del Suelo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Bellavista, del municipio de Saltillo, Coahuila con una latitud de 25.3537535 y longitud de -101.0336601.

#### **Descripción del Sistema**

Se instalaron dos estructuras con dimensiones de 1.72 (largo) x 0.80 (ancho) x 2.45 (alto) m; cada estructura estuvo conformada por 5 niveles de alto, con separación entre niveles de 0.45 m. Cada nivel consta de una charola de aluminio con medidas de 0.80 (ancho) x 1.72 (largo) x 0.095 (profundidad) m cubierta con una charola de plástico ABS de color negro, además de un sistema de iluminación artificial conformado por luz LED. El área de producción por rack entre los 5 niveles es de 8.256 m<sup>2</sup>.

#### **Condiciones Ambientales**

Para el control de temperatura dentro del laboratorio de crecimiento se utilizó un mini Split de 2 toneladas de capacidad frío/calor con la finalidad de obtener una temperatura media de 20.5 °C, teniendo en cuenta que para la noche se manejaba una temperatura de 17 °C y durante el día la temperatura fue de 24 °C, alcanzando temperaturas mínimas de 17.6 °C y máximas de 26.8 °C. En cuanto a la humedad relativa (HR), esta se manejó a un 60% ± 5%; para mantener la HR se utilizó un humidificador ultrasónico de uso agrícola de 4.5 L/h y un extractor de 10 pulgadas de diámetro controlados por un sensor programable.

El registro y monitoreo de variables ambientales se llevó a cabo con un sensor de temperatura y sensor de HR de la marca Spectrum Technologies Inc, EUA y un equipo de monitoreo de concentración de CO<sub>2</sub> modelo 7001 marca Telaire de Telaire®, EUA. Para el almacenamiento de datos se empleó un Datalogger WatchDog modelo serie 1000 y software EspecWare 9 de SpectrumTechnologies Inc, EUA. La frecuencia establecida de almacenamiento de variables ambientales fue de 30 minutos.

Se instalaron un total de 6 ventiladores (2 por nivel) para garantizar la circulación del aire y mantener concentraciones homogéneas de CO<sub>2</sub> y HR y para reducir la temperatura por sobrecalentamiento de las lámparas LED.

### **Sistema de Iluminación Artificial**

El sistema de iluminación artificial estuvo conformado por un conjunto de SEIS lámparas LED por cada nivel. Con la finalidad de establecer las relaciones de luz roja y luz azul se realizó la caracterización de las lámparas LED con ayuda de un espectro radiómetro modelo ss-110 y software Spectrovision, ambos de la marca Apogee de Apogee Instruments, EUA. Para dicha caracterización se tomó en cuenta el número de plantas por nivel y se realizaron 18 repeticiones por nivel (cada punto ubicado en el área ocupada por cada una de las plantas establecidas). La relación rojo azul fue de 3.3: 1 (61.5%: 18.5%), 1.3: 1 (56.8%: 43.8%), y de 5.15: 1 (61.3%: 11.9%). La densidad de flujo de fotones fotosintéticos promedio fue de 363  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

### **Preparación del Sustrato**

El sustrato utilizado como medio de cultivo fue una mezcla de 50% perlita con 50% sphagnum moss ajustando previamente el pH con bicarbonato de sodio (1 g/L de sustrato). Se emplearon plantas de la variedad Albión a las cuales se les dio un tratamiento a la raíz con fungicida para evitar futuros problemas con hongos; la plántula fue trasplantada el 2 de septiembre del 2020 en bolsas de invernadero del número 11 como contenedor a las cuales se les agregó 3 L del sustrato previamente señalado; se colocaron 8 plantas por nivel.

Durante la etapa de establecimiento del cultivo y formación de planta se realizaron podas en la que se eliminaron hojas con daños foliares y con posibles enfermedades, estolones y las primeras flores, con la finalidad de estimular el crecimiento vegetativo.

### **Riego**

Los riegos se realizaron cuando los tensiómetros instalados en el sustrato registraban una tensión de 8 cb. El pH de la solución nutritiva se manejó en 5.5, ajustándolo antes de cada riego, mientras que la CE se mantuvo en 1.5 dS m<sup>-1</sup>. Los riegos se aplicaron manualmente procurando obtener una fracción de lixiviado del 30%.

La solución nutritiva para este experimento fue Steiner (1968) al 75% de concentración. La solución nutritiva se preparó en un contenedor de 200 lts de capacidad con los fertilizantes indicados en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Fertilizantes requeridos para preparar 100 L de solución nutritiva con el balance de aniones y cationes de la solución propuesta por Steiner (1968).**

|  |         |
|--|---------|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> *4H <sub>2</sub> O | 14.6 g  |
| KNO <sub>3</sub>                                     | 55.2 g  |
| HNO <sub>3</sub>                                     | 44.1 g  |
| KCl  | 9.2 g   |
| Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> *6H <sub>2</sub> O | 1.3 g   |
| Micros   | 13.3 g  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                       | 10.5 mL |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                       | 2.3 mL  |

## **Variables Evaluadas**

### **Rendimiento**

La cosecha de frutos inició el 27 de mayo de 2021 y finalizó el 28 de julio del mismo año. Los frutos se cosecharon cuando alcanzan el 100% del color característico de la variedad, teniendo en cuenta el número de frutos cosechados. El rendimiento total se obtuvo calculando el peso de todos los frutos cosechados durante el estudio, que finalizó el 29 de julio de 2021.

### **Firmeza del fruto**

Se midió usando un penetrómetro manual (marca WAGNER) en gramos por fuerza (gf), se tomó cada fruta verticalmente, se quitó un poco de textura de la fruta con un pelador, luego se colocó el penetrómetro con la punta colocada en posición firme, se presiona el pequeño botón en la esquina superior izquierda.

### **Sólidos solubles totales (SST)**

El contenido de SST se midió en °Brix con un refractómetro manual (marca ATAGO). Para ello, se limpió la placa de luz con un pañuelo fino, se aplicó de 2 a 3 gotas de la muestra de pulpa, se cierra la placa para que se pueda ver la lectura a través de la lente.

### **Peso fresco y seco**

Se tomaron muestras destructivas de hojas, tallos, raíces y coronas de cada planta el 29 de julio de 2021 y se pesaron en balanzas digitales. Para obtener el peso fresco de las raíces, se separaron las raíces de las partes aéreas y se lavó el sustrato de cada planta con agua potable. Cada muestra se almacenó en una bolsa de papel de estraza y se etiquetó con un marcador permanente que indicaba el nivel, el tratamiento y el número de planta. Las plantas se secaron en estufa a 70 °C durante tres días y se midió su peso seco de los órganos antes mencionados.

### **Concentración nutrimental de Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en frutos**

Los frutos de cada tratamiento se trituraron en una bolsa transparente de 5 cm x 12 cm, se colocó una gota de pulpa en cada medidor de nutrientes de Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (marca HORIBA), luego de unos segundos se pudo observar en la pantalla el contenido de nutrientes y, finalmente, se retiró la pulpa del sensor limpiándolo con agua destilada y secándolo minuciosamente con una toalla de papel fina.

### **Diseño Experimental y Análisis Estadístico**

Cada uno de los tres balances de luz roja y luz azul constó de 18 repeticiones y cada repetición de una planta por contenedor. Se manejó un diseño experimental completamente al azar y los datos fueron analizados con una ANOVA y en caso de detectar significancia estadística se aplicó la prueba de comparación de promedios de Duncan con  $p < 0.05$ .

#### IV. RESULTADOS

El rendimiento de frutos fue mayor cuando se empleó un balance de luz roja y luz azul de 3.3: 1, superando en 32% el rendimiento obtenido por plantas iluminadas con luz con balance de 5.15: 1 y en 17% a las que recibieron un balance de 1.3: 1 (Cuadro 3). Este aumento en el rendimiento no estuvo asociado con un mayor número de frutos cosechados ya que en este parámetro no se detectó efectos significativos (Cuadro 3), por lo que la mayor producción estuvo relacionada con el mayor peso de los frutos individuales. Sin embargo, el mayor rendimiento de fruto producido en plantas que recibieron el balance de 3.3: 1 estuvo relacionado con una menor calidad ya que el contenido de sólidos solubles (grados Brix) fue menor que el obtenido en frutos de plantas que recibieron un balance de luz de 5.125: 1 (Cuadro 3), aunque la firmeza del fruto se mantuvo sin ser afectada (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre el rendimiento y número de frutos, así como la firmeza y sólidos solubles totales en plantas de fresa.**

| Rojo   | Azul   | Rendimiento de fruto<br>g por planta | Número de frutos | Firmeza | Sólidos solubles totales<br>° Brix |
|--------|--------|--------------------------------------|------------------|---------|------------------------------------|
| 61.30% | 11.90% | 61.71b                               | 5.40             | 496.3   | 8.20a                              |
| 61.50% | 18.50% | 81.25a                               | 7.67             | 497.1   | 6.55b                              |
| 56.78% | 35.49% | 69.58b                               | 5.75             | 538.2   | 6.84b                              |

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Duncan ( $p < 0.05$ )

El peso fresco total también fue mayor cuando las plantas recibieron iluminación con un balance de 3.3: 1 de luz roja y luz azul, superando por 83% el peso total de las plantas que recibieron el balance 1.3: 1 (Cuadro 4). La mayor acumulación de peso fresco estuvo asociada con el aumento en el peso de la raíz, así como de la corona y de los peciolos, pero no así de las hojas (Cuadro 4). En cuanto al peso seco total, las tendencias fueron similares ya que se iluminaron con un balance 3.3: 1 superaron por 51 % el peso de las plantas con el balance 1.3: 1 (Cuadro 5).

**Cuadro 4. Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre el peso fresco de las plantas de fresa.**

| Rojo   | Azul   | Peso fresco g/planta |        |       |         |        |
|--------|--------|----------------------|--------|-------|---------|--------|
|        |        | Total                | Raíz   | Hojas | Peciolo | Corona |
| 61.30% | 11.90% | 49.1ab               | 24.7ab | 12.40 | 9.07a   | 3.55b  |
| 61.50% | 18.50% | 63.2a                | 34.3a  | 15.20 | 6.90ab  | 6.85a  |
| 56.78% | 35.49% | 34.5b                | 12.4b  | 11.40 | 4.48b   | 6.18a  |

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ( $p < 0.05$ )

**Cuadro 5. Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre el peso seco de las plantas de fresa.**

| Rojo   | Azul   | Peso seco g/planta |       |       |         |        |
|--------|--------|--------------------|-------|-------|---------|--------|
|        |        | Total              | Raíz  | Hojas | Peciolo | Corona |
| 61.30% | 11.90% | 15.8ab             | 8.39a | 4.20  | 1.99a   | 1.19b  |
| 61.50% | 18.50% | 19.5a              | 10.2a | 5.11  | 1.74ab  | 2.41b  |
| 56.78% | 35.49% | 12.9b              | 4.00b | 4.66  | 1.23b   | 2.07a  |

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ( $p < 0.05$ )

La concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  no fueron afectados significativamente por el balance de luz roja y luz azul empleada (Cuadro 6), sin embargo, la concentración de  $\text{Ca}^{++}$  fue mayor en las plantas crecidas con una iluminación conteniendo un balance de 5.15: 1 de luz roja y luz azul.

**Cuadro 6. Efecto del balance de luz roja y luz azul sobre estatus nutrimental de frutos de fresa.**

| Rojo   | Azul   | Calcio<br>$\text{mg L}^{-1}$ | Potasio<br>$\text{mg L}^{-1}$ | Nitrato<br>$\text{mg L}^{-1}$ |
|--------|--------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 61.30% | 11.90% | 46.8a                        | 6077                          | 173                           |
| 61.50% | 18.50% | 32.7b                        | 5497                          | 158                           |
| 56.78% | 35.49% | 27.6b                        | 5290                          | 157                           |

Promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ( $p < 0.05$ )

## V. DISCUSION

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten definir que las plantas de fresa se adaptan a una radiación que contenga un balance entre luz roja y luz azul de 3.3: 1. Esto debido a que bajo este balance se obtuvieron los mayores rendimientos de fruto, así como el mayor crecimiento de las plantas debido a la mayor acumulación de materia fresca y seca.

Bajo condiciones de invernadero, se ha demostrado que las plantas de fresa producen más flores cuando se desarrollan bajo condiciones de iluminación LED en comparación con las plantas sin iluminación; sin embargo, las plantas que recibieron iluminación LED con un balance de luz roja y luz azul de 7 : 3, equivalente a un balance de 2.3: 1, producen mayor número de flores que aquellas que se mantuvieron con un balance de luz roja y luz azul de 7 : 1 (Díaz-Galián et al., 2020). Estos resultados confirman lo observado en el presente estudio ya que con un balance de luz roja mayor a 3.3 hubo un menor crecimiento en términos de biomasa fresca y seca. Sin embargo, a diferencia de los resultados obtenidos en nuestro estudio, los reportes indican que no hay diferencia en la producción de fruto de primera calidad cuando se comparan las plantas crecidas con balance de luz roja y luz azul de 2.3 : 1 y 7 :1 (Díaz-Galián et al., 2020), en tanto que los resultados obtenidos si nos muestran una reducción del 32% y 17% en el rendimiento cuando los balances contiene una mayor o menor proporción de luz roja (5.15 : 1 y 1.3 : 1, respectivamente).

Se ha demostrado que la luz azul, con un pico de longitud de onda en los 450 nm promueve la floración en variedades de día neutro de fresa en comparación con la floración obtenida bajo condiciones de luz roja con una longitud de onda pico de 660 nm (Yoshida et al., 2012). Yoshida et al. (2016) mostraron evidencia que variedades de día largo de fresa muestran una mayor floración cuando son iluminadas con luz azul en el rango de los 405 a 470 nm en comparación con las plantas sometidas a luz roja a 630-660 nm; sin embargo, estos autores señalan que la luz roja promueve la precocidad.

De acuerdo a estos reportes, la mayor producción de fresa observada en nuestro estudio podría ser debido a que las plantas iluminadas con un balance de luz roja y luz azul de 3.3: 1 contienen la proporción de luz azul adecuada para estimular la floración, la cual sería de 18.5% de la radiación emitida por las

lámparas LED utilizadas. De acuerdo con Yoshida et al. (2016), el incremento en la floración está asociado con una mayor producción de fruto en las primeras semanas de la cosecha, aunque al final el rendimiento total fue similar.

En el presente estudio, a pesar del mayor rendimiento de fruto, las plantas iluminadas con un balance de 3.3: 1 mostraron una firmeza del fruto similar a la obtenida con otros balances, aunque si hubo una reducción en los sólidos solubles totales. Estos resultados sugieren que la mayor producción estuvo asociada con una reducción en el contenido de azúcares en frutos, a pesar de que con este balance de luz roja y luz azul se obtuvo la mayor tasa fotosintética.

Sin embargo, a pesar de la menor concentración de sólidos solubles totales, estos fueron aproximados a los obtenidos por Maeda e Ito (2020) en fresas desarrolladas bajo diferentes condiciones de densidad de flujo de fotones, los cuales oscilaron entre 7.4 y 8.9 ° Brix, y por Díaz-Galián et al. (2020), oscilando entre 7.66 y 7.99 ° Brix, aunque estos últimos autores no detectaron efecto del balance entre la luz roja y la luz azul sobre este parámetro. Choi et al. (2013) reportaron que en fresas iluminadas con luz roja monocromática así como la luz roja y luz azul mezcladas, se presentó una mayor concentración de sacarosa comparada con aquellas plantas que recibieron luz azul monocromática; esto concuerda con nuestros resultados ya que el mayor contenido de sólidos solubles totales se presentó en las plantas sometidas a un balance inclinado hacia la luz roja (5.15: 1). Nadalini et al. (2017) reportan no efecto de la luz roja ni de la luz azul sobre los sólidos solubles totales ni en la firmeza de los frutos cuando se aplicaron en forma monocromática.

Nadalini et al. (2017) reportaron que no existe efecto sobre la producción de biomasa fresca y seca en plantas de fresa bajo condiciones de luz roja y luz azul monocromática, sin embargo, otros estudios han señalado que la biomasa seca a los 10 días después de la antesis es mayor en plantas que reciben luz rojo monocromática (Yoshida et al., 2016). Los resultados del presente estudio concuerdan con los de Yoshida et al. (2016) ya que la mayor biomasa fresca y seca se presentaron en plantas tratadas con una luz con mayor predominancia hacia la luz roja.

En cilantro, se ha demostrado que una iluminación con lámparas conteniendo un balance de luz azul y de luz roja de 4: 1 se asocia con una mayor concentración de  $\text{Ca}^{++}$  comparado con el de las plantas sometidas a un balance de 1.5 : 1 o de 0.67 : 1 (Mendoza-Paredes et al., 2021); estos resultados no concuerdan con los observados en el presente estudio ya que en fresa el mayor contenido de  $\text{Ca}^{++}$  se presenta cuando la luz roja predomina sobre la azul. Sin embargo, en concordancia con nuestros resultados, Pennisi et al. (2019) reportó una mayor concentración de  $\text{Ca}^{++}$ , y otros elementos, en plantas de albahaca crecidas en condiciones de iluminación roja y azul del 23% y 70%, respectivamente (balance 3: 1).

## **VI. CONCLUSIONES**

Las plantas de fresa recibiendo una iluminación con luz roja y luz azul de 3.3: 1 mostraron un mayor crecimiento y producción de fruto; sin embargo, el sabor de los frutos y la concentración de  $\text{Ca}^{++}$  disminuye en comparación con el de frutos de plantas con otros balances diferentes.

## VII. LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. (1991). Fitopatología. 1 er Edición Mexico. P 756
- Alvarado-Cepeda, Y. A. (2020). Tesis: Respuesta agronómica y calidad de fresa san andreas producida bajo diferentes sistemas de agricultura protegida (como requisito parcial para obtener el Grado de Doctor en ciencias en agricultura protegida). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Alvarado-Chávez, J. A. (2018). Tesis: Producción de fresa en sistemas hidropónicos bajo condiciones de invernadero. (como requisito parcial para obtener el grado de: maestro en ciencias). Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí.
- Baixxauli, S. C. y Aguilar, O. J. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Edición Generalitat Valenciana. Valencia. España. Consultado el 6 agosto del 2023. <https://ivia.gva.es/documents/161862582/161863558/Cultivo+sin+suelo+de+hortalizas>
- Chávez-Sánchez, E., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Rocha-Valdez, J. L. y Salazar-Sosa, E. (2014). Fertilización nitrogenada y potásica en la producción y calidad de fresa. In Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Juárez, Chihuahua pp. 30-33.
- Choi, H. G., Kwon, J. K., Moon, B. Y., Kang, N. J., Park, K. S., Cho, M. W. y Kim, Y. C. (2013). Effect of different light-emitting diode (LED) lights on growth characteristics and phytochemical production of strawberry fruits during cultivation. Korean Journal of Horticultural Science and Technology. 31(1), 56-64.
- Choi, J. M., Latigui, A. y Lee, C. W. (2013). Visual symptom and tissue nutrient contents in dry matter and petiole sap for diagnostic criteria of phosphorus nutrition for 'Seolhyang' strawberry cultivation. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 54(1):52-57. Consultado el 6 de agosto del 2023. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13580-013-0130-y>
- Çolak, A. y Alan, F. (2017). Molecular characterization of different currant types. Inter. J. Agric. Fores. Life Sci. 1(1):22-26

- Contreras, R. M. (1998). Guía para el diagnóstico y control de plagas. Tegucigalpa, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 2 do volumen. P98.
- Darrow, G. M. (1936). Interrelation of temperature and photoperiodism in the production of fruitbuds and runners in the strawberry. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science* 34: 360-363.
- Darrow, G. M. (1966). Holt, Rinehart and Winston: the strawberry history breeding and physiology. New York: The New England Institute for Medical Research. 447p.
- Díaz-Galián, M. V., Torres, M., Sanchez-Pagán, J. D., Navarro-Lorente, P. J., Weiss, J. y Egea-Cortines, M. (2020). Enhancement of strawberry production and fruit quality by blue and red LED lights in research and commercial greenhouses. *South African Journal of Botany*. Volume 140, P 269-275.
- Dougher, T. A., y Bugbee, B. (2001). Differences in the response of wheat, soybean and lettuce to reduced blue radiation. *Photochemistry and photobiology*, 73(2), 199–207. Consultado el 1 noviembre 2023. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)073<0199:ditrow>2.0.co;2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)073<0199:ditrow>2.0.co;2)
- Dussan, C. (2014). Tesis: Técnicas de inducción floral como mecanismo para la programación de cosechas de aguacate Hass producidos en la zona marginal alta cafetera (como requisito de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Dosquebradas, Risaralda, Colombia.
- FAOSTAT. (2020). División de estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado el 7 de julio de 2023. <https://www.fao.org/faostat/es/#search/fresa>
- FAOSTAT. (2023). División de estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado el 7 de julio de 2023. <https://www.fao.org/faostat/es/#search/fresa>
- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XLI (2),51-57. Consultado el 5 de mayo de 2023. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>
- Giménez, G., Paullier, J., Maeso, D. (2003). Identificación y manejo de las principales enfermedades y plagas en el cultivo de frutilla. *Boletín de divulgación* 82. ISBN: 9974-38-180-0. Consultado el 1 de marzo del 2023.

<http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/111219240807161309.pdf>

- Gómez-Martínez, J. A. (2006). Tesis: Descripción del comportamiento de insectos y enfermedades asociadas al cultivo de fresa (*Fragaria spp*, L) en el municipio de la sabana. (como requisito parcial para obtener el Grado de ingeniero), Universidad Nacional Agraria.
- Grajales-Valencia, N. (2011). Desarrollo De Empaque Para Proteger Y Conservar La Fresa Condiciones Organolépticas Para Su Distribución. (Proyecto como requisito de grado Pereira), Universidad catolica popular del risaralda facultad de arquitectura y diseño programa de diseño industrial.
- Guerrero, L. L. (2018). Tesis: 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*). (Como requisito para obtener el grado de ingeniera agrónoma) Universidad técnica de ambato facultad de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agronómica.
- Gutierrez, A. (2010). Manual de Riegos y Fertirrigación. Módulo formativo fertirrigación 8 vo. semestre Universidad Técnica de Ambato. 80p. Consultado el 5 de mayo de 2023. <https://www.uta.edu.ec/v2.0/phocadownload/mallas/agronomia/modulos/especificosagronomia/fertirrigacion.pdf>
- Hancock, J. F. (1999). Strawberries. CAB International Publishing. New York, NY, USA. P 237.
- Heinrich Böll Stiftung. (2009) Urban Futures 2030. Consultado el 7 de julio de 2023. <https://www.boell.de/en/2013/11/19/urban-futures-2030-urban-development-and-urban-lifestyles-future>
- Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D. y Paek, K. (2002). Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). Plant Growth Regulation 38, 225–230. Consultado el 7 de julio de 2023. <https://doi.org/10.1023/A:1021523832488>

- López-Herrera, A., Castillo-González, A. M., Trejo-Téllez, L. I., Avitia-García, E., y Valdez-Aguilar, L. A. (2018). Respuesta de fresa cv. Albión a dosis crecientes de zinc. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1591–1601. Consultado el 06 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1716>
- Hidaka, K., Ito, E., Sago, Y., Yasutake, D., Miyoshi, Y., Kitano, M., Miyauchi, K., Okimura, M., e Imai, S. (2012). High yields of strawberry by applying vertically-moving beds on the basis of leaf photosynthesis. *Environmental Control in Biology*, 50(2), 143-152. Consultado el 18 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.2525/ecb.50.143>
- Kessel-Domini, A., (2012). Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa Duch.*), a través de métodos biotecnológicos. *Cultivos Tropicales*, 33 (3),34-41. Consultado el 26 de marzo de 2023. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193223814005>
- Kirschbaum, D. S., y Borquez, A. M. (2006). Nutrición mineral de la frutilla (*Fragaria x ananassa Duch.*). Memoria del III Simpósio Nacional do Morango, II Encontro sobre pequenas frutas e frutas nativas do Mercosul. Pelotas, Brasil, 117-127. Consultado el 4 de marzo de 2023. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Nutrici%C3%B3n+mineral+de+la+frutilla+\(Fragaria+x+ananassa+Duch.\)+Memoria+del+III+Simp%C3%B3sio+Nacional+do+Morango,+II+Encontro+sobre+pequenas+frutas+e+frutas+nativas+do+Mercosul&author=Kirschbaum+D.+S.&author=Borquez+A.+M.&publication\\_year=2006&pages=117-27](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Nutrici%C3%B3n+mineral+de+la+frutilla+(Fragaria+x+ananassa+Duch.)+Memoria+del+III+Simp%C3%B3sio+Nacional+do+Morango,+II+Encontro+sobre+pequenas+frutas+e+frutas+nativas+do+Mercosul&author=Kirschbaum+D.+S.&author=Borquez+A.+M.&publication_year=2006&pages=117-27)
- Kirschbaum, D. (2021). Manejo, recolección y calidad de la fresa. (Consultado el 30 de marzo de 2023). [https://www.researchgate.net/publication/356253807\\_Manejo\\_recoleccion\\_y\\_calidad\\_de\\_la\\_fresa](https://www.researchgate.net/publication/356253807_Manejo_recoleccion_y_calidad_de_la_fresa)
- Kosai T., Niu G., M. Takagaki. (2016). *Plant Factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Associated Press. 405 pp.
- Liston, A., Cronn, R., y Ashman, T. L. (2014). *Fragaria*: a genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American journal of botany*, 101(10), 1686–1699. Consultado el 26 de marzo de 2023. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400140>

- Liu, J., y van Iersel, M. W. (2021). Photosynthetic Physiology of Blue, Green, and Red Light: Light Intensity Effects and Underlying Mechanisms. *Frontiers in plant science*, 12, 619987. Consultado el 26 de marzo de 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.619987>
- López, R. (2020). Efecto de la aplicación de iluminación artificial sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de *Gypsophila paniculata* L. var. Over Time. (Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo.) Universidad Central Del Ecuador.
- Li, Y., Chen, H., Ji, H., Wang, S., Zhu, S. y Wang, X. (2008). Efecto de la iluminación suplementaria LED sobre el crecimiento de plantas de fresa. *Proyecto de Ciencia y Tecnología de Ningbo*, 4-20
- Sistema Nacional de Germoplasma Vegetal de EE. UU. (2006). Género: *Fragaria* L. Consultado el 26 de abril de 2023. <https://npgsweb.arsgrin.gov/gringlobal/taxonomygenus.aspx?id=4744>.
- Maeda, K. e Ito, Y. (2020) Effect of different PPFs and photoperiods on growth and yield of everbearing strawberry 'Elan' in plant factory with white LED lighting. *Environ. Control. Biol.* 58, 99–104.
- Marschner, P. (2012). Mineral nutrition of higher plants. Third edition. Elsevier Academic Press. San Diego, California, United States. 651p.
- Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P., J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial invernaderos. *S. África. j. Bot.* doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa).
- Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P., J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial invernaderos. *S. África. j. Bot.* doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa).
- Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P., J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial invernaderos. *S. África. j. Bot.* doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa).

Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P.. J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial

invernaderos. S. África. j. Bot. doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa).

Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P.. J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial

invernaderos. S. África. j. Bot. doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa).

Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P.. J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial

invernaderos. S. África. j. Bot. doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa).

Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P.. J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial

invernaderos. S. África. j. Bot. doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa).

Díaz-Galián, M.V., Arres, M., Sánchez-Pagán, J.D., Navarro, P.. J., Weiss, J., y Egea-Cortines, M. (2020). Mejora de la producción de fresas y Calidad de la fruta mediante luces LED azules y rojas en una investigación.y comercial

invernaderos. S. África. j. Bot. doi: 10.1016/j.sajb.2020.05.004 (en prensa)

Mendoza-Paredes, J. E., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Valdéz-Aguilar, L. A., y García-Mateos, M. del R. (2021). Efecto de diferentes proporciones de luz LED azul:roja en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Biotecnia*, 23(1), 110-119. Epub. Consultado el 18 de junio de 2021. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1288>

Mixquititla-Casbis, G., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez, M., Sotelo-Nava, H. y Cardoso-Taketa, A. T. (2020). Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. *Revista mexicana de*

- ciencias agrícolas, 11(6), 1337-1348. Consultado el 26 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2329>
- Nadalini, S., Zucchi, P. y Andreotti, C. (2017). Effects of blue and red LED lights on soilless cultivated strawberry growth performances and fruit quality. *Eur.J.Hortic.Sci.* 82(1), 12-20. DOI: 10.17660/eJHS.2017/82.1.2. Consultado el 16 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.1.2>
- Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, y Gianquinto, G. (2019). Unraveling the role of red:blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in Plant Science*, 10, 305. Consultado el 29 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00305>
- Restrepo, A. M., Cortés, M., y Rojano, B. (2009). Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa Duch.*) Fortificada con vitamina E. Colombia. *Dyna*, 76(159),163-175 ISSN: 0012-7353. Consultado el 1 de agosto de 2023. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49611945018>
- Schuerger, A. C., y Richards, J. T. (2006). Effects of artificial lighting on the detection of plant stress with spectral reflectance remote sensing in bioregenerative life support systems. *International Journal of Astrobiology*, 5(2), 151–169. Doi:10.1017/S1473550406003053
- SIAP. (2020). Servicio de información agroalimentaria y pesquera Panorama agroalimentario 2020. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural.
- SIAP. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Datos abiertos. Consultado el 15 de octubre del 2023. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- SIACON. (2019). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Modulo agrícola estatal del SIACON-NG. México: SIAP-SADER. Consultado el 23 de octubre del 2023. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H. y Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: an overview of the sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agriculture and human values.*, Vol. 31 (1) 33-51

- Steiner, A. A. (1968) Soilless culture. En Proc. 6th Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy. pp. 324-341.
- Van den Broeck, G. y Maertens, M. (2016) Horticultural exports and food security in developing countries. *Global Food Security*, 10: 11-20. Consultado el 5 de mayo del 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.07.007>
- Villafañe, G., Basso, C., y Villafañe, R. (2016). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo (Kc) de Stevia [Stevia rebaudiana (Bertoni) Bertoni] Bajo condiciones parcialmente protegidas. *Bioagro*, 28(2),131-136. ISSN: 1316-3361 Consultado el 15 de mayo del 2023. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85745749008>
- Winter Green Research. (2014). Plant Factory / Vertical Farming Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2014-2020. Consultado el 26 de junio de 2023. <https://www.reportbuyer.com/product/2107872/plant-factory-vertical-farming-market-shares-strategies-and-forecasts-worldwide-2014-2020.html>
- Yoshida, H., Hikosaka, S., Goto, E., Takasuna, H. y Kudou, T. (2012). Effects of light quality and light period on flowering of everbearing strawberry in a closed plant production system. *Acta Hortic.* 956, 107-112 DOI:10.17660/ActaHortic.2012.956.9. Consultado 24 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.9>
- Yoshida, K., Kishimoto, M., y Solomon, D. H. (2016). Dr. Yoshida, et al reply. *The Journal of rheumatology*, 43(6), 1253. Consultado el 2 de abril de 2023. <https://doi.org/10.3899/jrheum.160194>
- Zaragoza Nieto, R. D. (2013). Tesis: Evaluacion de técnicas hidropónicas de producción en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo invernadero. (Como requisito para obtener el grado de: Maestro en ciencias en agroplasticultura. Centro de investigación en química aplicada.