

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESPUESTA DE LA FRESA (FRAGARIA ANANASSA DUCH) EN ESTADO
VEGETATIVO A LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN INTERACCIÓN CON
EL BALANCE DE LUZ ROJA Y AZUL

Tesis

Que presenta **IRMA SALGADO CRISTOBAL**

Como requisito parcial para obtener el

Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2022.

RESPUESTA DE LA FRESA (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH) EN ESTADO VEGETATIVO A LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN INTERACCIÓN CON EL BALANCE DE LUZ ROJA Y AZUL

Tesis

Elaborada por IRMA SALGADO CRISTOBAL como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Asesor



Dr. Pablo Preciado Rangel
Asesor



Dr. Martin Cadena Zapata
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESPUESTA DE LA FRESA (FRAGARIA ANANASSA DUCH) EN ESTADO
VEGETATIVO A LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN INTERACCIÓN CON
EL BALANCE DE LUZ ROJA Y AZUL

Tesis

Que presenta **IRMA SALGADO CRISTOBAL**

Como requisito parcial para obtener el

Grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN**

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Director

Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Co-Director

Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo en las instalaciones para que se pudiera llevar a cabo la experimentación y prepararme en sus aulas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada y llevar a cabo la experimentación.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por el tiempo, paciencia, pero sobre todo por los conocimientos y disposición durante el inicio y conclusión de la maestría.

A la Dra. Daniela Alvarado Camarillo, por la orientación y el apoyo brindado.

Al Dr. Pablo Preciado Rangel por el apoyo otorgado en el transcurso del desarrollo del experimento.

Al Dr. Martin Cadena Zapata por la asesoría brindada.

Al Ing. MC Adolfo Baylon Palomino por el apoyo brindado durante la toma de datos.

DEDICATORIA

A mis padres, en especial a mi madre Hilaria Cristobal, quien con su apoyo y confianza se logró llegar a la meta, a mi padre Gregorio Salgado por sus palabras y apoyo.

A mis hermanos, Alejandro Salgado, Aura Salgado e Isabel Salgado por el apoyo incondicional en cada momento para lograr los objetivos establecidos

A mi persona especial Sebastián Moshan, por el apoyo durante todo el proceso y las palabras de aliento, eternamente gracias.

A mis amigas Lili Martínez, Briseyda Telesfor, Karla Itzel, Hilaria Franco, Gaby Esteban por sus palabras y apoyo, pero sobre todo por escucharme.

Al Dr. Miguel Medrano Santillana por todo su apoyo incondicional.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE CUADROS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades y antecedentes.....	4
Importancia nutricional	4
Impacto socioeconómico de la fresa en México	4
Factores ambientales	5
Radiación	5
Fotoperiodo.....	6
Efecto de luces LED (diodo emisor de luz).....	6
Temperatura	7
Humedad relativa	7
Efecto del potasio.....	8
Absorción y transporte del potasio	8
Efecto de la luz sobre la absorción y acumulación de potasio en los estomas	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Sitio de estudio	10
Condiciones culturales y material vegetal.....	10
Sistema de cultivo vertical de interior y condiciones de cultivo	10
Tratamientos de luz roja y azul	11
Parámetros de crecimiento	11

Análisis mineral de hojas.....	11
Intercambio de gases	11
Análisis de azúcares y antioxidantes en la corona.....	12
Determinación de almidón en corona.....	12
Actividad antioxidante por DPPH.....	12
Actividad antioxidante por FRAP.....	13
Actividad antioxidante por ABTS.....	13
Determinación de fenoles en corona.....	13
Análisis estadístico	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
CONCLUSIÓN GENERAL.....	36
REFERENCIAS.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el número de coronas por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	16
Figura 2. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco de la corona por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	16
Figura 3. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el número de hojas por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	18
Figura 4. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) Ancho-Largo: hoja por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	19
Figura 5. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco de las hojas por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	19
Figura 6. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso seco de las hojas por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	20
Figura 7. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la longitud del peciolo por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	20
Figura 8. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la longitud de raíz por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	22
Figura 9. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco de la raíz por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	23

Figura 10. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso seco de la raíz por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	23
Figura 11. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la fotosíntesis en planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	25
Figura 12. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la conductancia estomática en planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	25
Figura 13. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la tasa de transpiración en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	26
Figura 14. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en los azúcares totales (mg g ⁻¹) por corona en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	27
Figura 15. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en azúcares reductores (mg g) por corona en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	28
Figura 16. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el almidón (mg g ⁻¹) por corona en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	28
Figura 17. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en DPPH (mg EAA 100 g ⁻¹) por corona en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	29
Figura 18. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en ABTS (mg EAA 100 g ⁻¹) por corona en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	30
Figura 19. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en fenoles (mg EAA 100 g) por corona en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	30

Figura 20. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en FRAP (mg g ⁻¹) por corona en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	31
Figura 21. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en nitrógeno (N) por hojas de la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	32
Figura 22. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en fósforo (P) por hojas en la planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	33
Figura 23. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en potasio (K) por hojas en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	33
Figura 24. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en calcio (Ca) por hojas en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	34
Figura 25. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en magnesio (Mg) por hojas en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	35

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el número y peso fresco de corona por planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	15
Cuadro 2. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco hoja, número hoja, ancho-largo: hoja, peso seco de la hoja y longitud del peciolo por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	18
Cuadro 3. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la longitud, peso fresco y peso seco de la raíz por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	22
Cuadro 4. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en fotosíntesis, conductancia estomática y tasa de transpiración por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.	24
Cuadro 5. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en azúcares totales, azúcares reductores, almidón, DPPH, ABTS, fenoles y FRAP en corona por planta en fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.....	27
Cuadro 6. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en nitrógeno (N) %, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) por hojas en la planta de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>) en un sistema vertical en función de la concentración de K en la solución nutritiva.....	31

Resumen

RESPUESTAS DE FRESA (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH) EN ESTADO
VEGETATIVO A LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN INTERACCIÓN CON
EL BALANCE DE LUZ ROJA Y AZUL

POR

IRMA SALGADO CRISTOBAL

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR. -DIRECTOR

DRA. DANIELA ALVARADO CAMARILLO CO-DIRECTOR

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2022.

La producción de fresa bajo condiciones ambientales controladas requiere de un buen manejo, la solución nutritiva y la intensidad lumínica. No se conoce la concentración óptima de potasio (K) y el balance de luz azul y roja para el crecimiento vegetativo en el cultivo de fresa desarrollado en ambientes controlados, por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar la concentración óptima de K y su interacción con luz roja (R) y azul(A). Las plantas se irrigaron con soluciones nutritivas con concentraciones de 4, 5.5 y 7 meq/L de K, las proporciones rojo-azul evaluadas en este estudio fueron 3.3:1 (62%(R):19%(A), 1.3:1 (57%(R):35%(A) y 5.15:1 (61%(R):12%(A). El balance 61%(R):12%(A) aumentó significativamente a P y K con concentraciones de 5.5 y 7 meq de K, así como el número y peso fresco de coronas. El balance 62%(R):19%(A) aumentó significativamente el peso fresco, seco y el ancho-largo de las hojas, peso seco de la raíz y azúcares reductores. El balance con 57%(R):35%(A) aumentó significativamente el peso seco de la raíz, peso fresco, seco y el ancho-largo de las hojas, DPPH con la concentración de 7 meq de K y el Ca con una concentración de 5.5 meq de K. Las concentraciones de K evaluadas en el experimento no afectaron significativamente el crecimiento vegetativo. Un balance de 61%(R):12%(A) permitió un mayor número y peso de coronas, sin embargo, disminuyó en el peso fresco de las hojas y raíz. Los niveles de K y balance de luz roja y azul no afectaron los parámetros de fotosíntesis, conductancia estomática y tasa de transpiración, sin embargo, el balance 61%(R):12%(A) permitió mayor acumulación de macronutrientes en las hojas.

Palabras clave: rendimiento, crecimiento vegetativo, intensidad lumínica, potasio.

ABSTRACT

STRAWBERRY (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH) RESPONSES IN VEGETATIVE STATE TO POTASSIUM CONCENTRATION IN INTERACTION WITH RED AND BLUE LIGHT BALANCE

BY

IRMA SALGADO CRISTOBAL

MASTER OF SCIENCE IN PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR-ADVISOR

DRA. DANIELA ALAVARADO CAMARILLO CO - ADVISOR

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2022.

Strawberry production under controlled environmental conditions requires good management, nutrient solution and light intensity. The optimal concentration of potassium (K) and the balance of blue and red light for vegetative growth in strawberry crops developed in controlled environments are not known, so the objective of this study was to determine the optimal concentration of potassium (K) and its interaction with red (R) and blue (A) light. The plants were irrigated with nutrient solutions with concentrations of 4, 5.5 and 7 meq of K, the red-blue proportions evaluated in this study were 3.3:1 (62%(R):19%(A)), 1.3:1 (57%(R):35%(A)) and 5.15:1 (61%(R):12%(A)). The balance 61%(R): 12%(A) increased significantly to P and K with concentrations of 5.5 and 7 meq of K, as well as the number and fresh weight of crowns. The balance 62%(R):19%(A) significantly increased fresh, dry weight and width-length of leaves, dry root weight and reducing sugars. The balance with 57%(R):35%(A) significantly increased the dry weight of the root, fresh weight, dry and the width-length of the leaves, DPPH with the concentration of 7 meq of K and the Ca with a concentration of 5.5 meq of K. The K concentrations evaluated in the experiment did not significantly affect vegetative growth. A balance of 61%(R):12%(A) allowed for a greater number and weight of crowns, however, decreased in fresh leaf and root weight. K levels and red and blue light balance did not affect photosynthesis, stomatal conductance and perspiration rate parameters, however, the 61%(R):12%(A) balance allowed greater accumulation of macronutrients in the leaves.

Keywords: yield, vegetative growth, light intensity, potassium.

INTRODUCCIÓN

La fresa es considerada un alimento funcional ya que es rica en compuestos bioactivos (González *et al.*, 2019), cuenta con una alta capacidad antioxidante y es fuente de compuestos fenólicos (Olsson *et al.*, 2004).

Las frecuentes incidencias recientes de condiciones meteorológicas anormales han impuesto muchas dificultades a la producción de cultivos (Hee *et al.*, 2019). Los factores ambientales como luz, agua, CO₂, temperatura y los nutrientes son elementos importantes en la producción de fresas de alta calidad (Casbis *et al.*, 2020) por lo tanto, las fresas a menudo se producen en ambientes controlados donde la iluminación y la temperatura están controladas (Samtani *et al.*, 2019) lo que permite controlar el régimen nutrimental (Casbis *et al.*, 2020).

Los más avanzados son los sistemas de cultivo de interiores, verticales y sin suelo con temperatura y controles de humedad, luces LED (diodo emisor de luz), dosificación automatizada de nutrientes y enriquecimiento con CO₂ (O'Sullivan *et al.*, 2020). La disponibilidad de humedad, la temperatura y la intensidad y balance de radiación son factores ambientales que afectan el crecimiento de las plantas de fresa para mantener una alta productividad.

El sistema de agricultura vertical contribuye a un mejor uso de la energía y un uso eficiente de los espacios, lo que resulta en mayores rendimientos por área unitaria (Preciado *et al.*, 2020), reducción de la pérdida de agua, nutrientes y pesticidas (Akhatou y Fernández, 2014) lo que eleva el potencial productivo al producir en periodos fuera de estación, optimizando el uso de insumos en la producción de fresa (Juárez *et al.*, 2020). Los cultivos en interior deben ser pequeños en estatura, ser de ciclo corto y con una baja demanda de energía fotosintética (O'Sullivan *et al.*, 2020).

Las luces LED son una fuente de luz artificial, estas funcionan de tres maneras diferentes: proporcionan toda la luz que la planta necesita para crecer, complementan la luz natural y aumentan el periodo de la luz durante el día con el fin de disparar el crecimiento y la floración (Ramos y Ramírez, 2016). Se han desarrollado sistemas basados en LED para experimentos de fisiología vegetal (Ginzburg y Klein, 2020) adecuados para aplicaciones de investigación en cámaras de crecimiento (Silvestri, 2019), complementando la

iluminación (Appolloni *et al.*, 2021) y ajuste del fotoperíodo (Hidaka, 2014) dando la posibilidad de personalizar la distribución espectral de la luz, lo que permite el estudio del papel de bandas de onda para los procesos de crecimiento, desarrollo y acumulación metabólica en las plantas (Stefano *et al.*, 2017).

La calidad de la luz constituye señales que pueden desencadenar modificaciones metabólicas (Yongsheng *et al.*, 2004). El LED rojo puede afectar las vías metabólicas de las plantas y la absorción de agua que conduce a un aumento del contenido de elementos minerales en las hojas y la luz azul desencadena la apertura de los canales iónicos favoreciendo la salida de algunos elementos minerales, juega un papel fundamental en el proceso de señalización de criptocromos (Lin, 2002), los criptocromos como receptores de luz azul aumenta la señalización de una mayor captación de algunos macronutrientes y micronutrientes (Jing, 2009).

Las soluciones nutritivas mejoran el rendimiento y la calidad de las plantas cultivadas en condiciones sin suelo como lo es la fresa (Adak, 2019). Un factor principal es el sustrato, en gran medida condiciona el potencial productivo de la fresa (López *et al.*, 2005) incluida la altura, el diámetro de la corona, el área foliar, la longitud de la raíz y el peso seco de la planta (Yavarí *et al.*, 2009).

La fertilización con K ha sido poco estudiada en fresa en condiciones de cultivo en interior, esto dificulta las estrategias de manejo para incrementar el rendimiento y entender su uso (Schwarz *et al.*, 2018). El K está involucrado en la absorción de agua por las raíces, influye en la fotosíntesis y regula la apertura de estomas; es componente estructural de la lignina y la celulosa; afecta los contenidos de almidón y azúcares (Kirschbaum y Borquez, 2006) y la translocación de iones entre tejidos y órganos (Ragel *et al.*, 2019).

La influencia de la fertilización con K en la calidad y rendimiento durante el crecimiento vegetativo ha sido poco investigada, así como la comparación entre fuentes de luces LED. Por lo anterior el propósito de la presente investigación fue determinar la influencia de tres niveles de radiación roja y azul bajo tres concentraciones de K para evaluar el desarrollo de la planta de fresa en términos de crecimiento vegetativo cultivadas en un cuarto de crecimiento en un sistema de agricultura vertical.

Objetivo general

Determinar la concentración óptima de K y el balance de luz azul y roja para el crecimiento vegetativo en el cultivo de fresa.

Objetivos específicos

Determinar el nivel óptimo de K que promueve el crecimiento vegetativo en fresa.

Determinar si existe un efecto del balance de luz roja y azul en el crecimiento vegetativo en fresa.

Definir el estatus nutrimental de las hojas y el contenido de azúcares y antioxidantes en la corona en plantas de fresa en un ambiente de iluminación artificial.

Hipótesis

Las plantas de fresa van a crecer diferencialmente en respuesta al balance de luz azul y roja y la concentración de K^+ en la solución nutritiva.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades y antecedentes

Importancia nutricional

La fresa es uno de los cultivos frutales más cultivados en el mundo debido a su sabor dulce y aromático y compuestos asociados a la salud que incluyen antocianinas, fibra, ácido elálgico (Hasing *et al.*, 2021) minerales, vitaminas, fenólicos compuestos y antioxidantes naturales como los flavonoides (Hong *et al.*, 1996) por lo que es considerada un alimento funcional en términos de nutrientes (González *et al.*, 2019).

Se sabe que los polifenoles provocan múltiples actividades biológicas, que protegen el organismo contra los radicales libres (González *et al.*, 2020) puede ser eficaz para disminuir el riesgo de cáncer y prevenir varias enfermedades humanas causadas por el estrés oxidativo (Jin *et al.*, 2011) además del buen sabor (Demmig y Adams, 2002), pueden ayudar a reducir el riesgo de algunas enfermedades crónicas (Afrin y Forbes, 2016).

Los principales componentes de los atributos de calidad de la fruta incluyen apariencia, textura, sabor, aroma y contenido nutricional (Verma *et al.*, 2017). El intenso sabor de la fresa se caracteriza por una alta acidez titulable (AT), alto contenido de sólidos solubles (SSC) y fuerte aroma (Fontanesi, 2012). En el mercado internacional, el consumo promedio es de 3.9 kg/año/persona, incluyendo la fruta fresca y la procesada (López *et al.*, 2018).

Impacto socioeconómico de la fresa en México

La fresa es un cultivo importante en Estados Unidos, España y México (Gómez *et al.*, 2018). En el mundo, México tiene la séptima superficie más extensa destinada para la plantación de esta especie, generando 7.1% del volumen global de la frutilla. En el mundo, el comercio exterior de fresa es cercano a 1.5 millones de toneladas por año; México es el tercer productor y exportador de fresa en el mercado mundial (Atlas Agroalimentario, 2019).

La producción de fresa en México representa el 3% del producto interno bruto agrícola y el 8.1% del valor de la producción frutícola a nivel nacional (SIACON, 2019) es el undécimo producto agrícola de exportación de México. Las exportaciones de fresas

mexicanas se envían principalmente a los Estados Unidos de América, que importa el 99.7% de las exportaciones de México (FAOSTAT, 2020).

Los estados productores de fresa en México son Michoacán con 484 936 t (73.6 %), Baja California con 91 660 t (13.9 %) y Guanajuato con 57 667 t (8.8 %), que en conjunto aportan cerca del 96 % de la producción nacional (SIACON, 2019). México exportó 126 157 toneladas, lo que representó el 19.2 % de las 658 436 t de producción nacional de fresa (FAOSTAT, 2020). Las altas tasas de crecimiento de las variables de producción reflejan la expansión de la producción de fresa en México (Terrones *et al.*, 2022).

Factores ambientales

Radiación

La vida de las plantas depende de la luz de dos maneras: la luz proporciona la energía para la producción de materia orgánica en la fotosíntesis, y se percibe como un estímulo morfogénico. La producción de plantas a gran escala bajo condiciones de luz controlada ya es común en países industrializados (Goto, 2003).

Se han adoptado diversas fuentes de luz, como lámparas incandescentes, fluorescentes, halogenuros metálicos o de sodio de alta presión (Shamsabad, 2022). La radiación biológicamente activa se extiende de 300 a 800 nm. La radiación UV se encuentra en el rango de longitud de onda por debajo de 380 nm, seguida por el espectro visible entre 380 y 720 nm (Warner *et al.*, 2021). Al aire libre o en un entorno iluminado sin luz adicional, aproximadamente el 6 % de la radiación solar es radiación UV, que comprende el 95 % de radiación UV-A (315–380 nm) y el 5 % de radiación UV-B (280–315 nm). La radiación UV-C (<280 nm) no penetra en la superficie terrestre debido a la capa de ozono (Verdaguer *et al.*, 2017).

Las plantas de fresa son sensibles a las longitudes de onda de radiación en el rango desde el ultravioleta 280–400 nm hasta el rojo lejano 700–800 nm (Folta y Carvalho, 2015). Las plantas necesitan luz para la fotosíntesis y otros aspectos relevantes de sus ciclos de vida como lo es: crecimiento vegetativo y reproducción sexual (Dueck *et al.*, 2016).

Fotoperiodo

Es un factor ambiental importante que regula la ontogenia floral en fresa (Durner, 2015). Los factores principales que afectan el crecimiento de las plantas son la calidad de la luz, la intensidad de la luz, el fotoperiodo y el ciclo día/noche (Goto, 2003), reconocen los cambios en su entorno de luz al detectar la calidad de la luz utilizando fotorreceptores transductores de señales. Hay tres clases de fotorreceptores: fitocromos, criptocromos y fototropina (Smith, 2000). Señales detectadas por los fotorreceptores afectan las características fisiológicas, morfológicas y anatómicas de las plantas, en el entorno de luz natural (Smith, 1994).

Los fitocromos tienen sus picos de sensibilidad en la región roja (660 nm) e infrarroja (730 nm) y entre las respuestas fisiológicas donde se involucran están la expansión de la hoja, percepción de vecinos, evitar la sombra, elongación del tallo, germinación de la semilla y la inducción de la floración (Pinho *et al.*, 2012). Los fotorreceptores que absorben la luz azul son los criptocromos que controlan la morfología de la planta, la transición a la floración, contribuyen a la expansión de la hoja e inhiben fuertemente la elongación del tallo (Folta y Childers, 2008); las fototropinas también absorben la luz azul y regulan el contenido del pigmento y el movimiento de los órganos fotosintéticos para la captura de la luz (Spalding y Folta, 2005), lo propicio para un buen desarrollo de la fresa son los días soleados con fotoperíodo de ocho horas (Kessel, 2012).

Efecto de luces LED (diodo emisor de luz)

Los diodos emisores de luz (LED) son una tecnología prometedora con potencial para mejorar la eficiencia de la irradiación, la calidad de la luz y el espectro de luz para aumentar el rendimiento y la calidad de las plantas (Amoozgar *et al.*, 2017), se utilizan en investigación y producción vegetal, tienen un pico pronunciado y unas emisiones de longitud de onda de ancho de banda estrecho, intensidad variable, adecuados para investigación sobre los efectos de la calidad de la luz, por ejemplo, en la fotosíntesis (Tennessen *et al.*, 1994). El control de la calidad de la luz generalmente se logra combinando diferentes tipos de lámparas (Murakami *et al.*, 1993; Murakami *et al.*, 1997) y regulando sus intensidades relativas (Yoshimura *et al.*, 2002), sus características principales son: numerosos tipos de longitud de onda, tiempo de respuesta corto, la

longitud de onda es consistente con el espectro de absorción de la fotosíntesis de las plantas (Li *et al.*, 2012). Los LED se pueden encender y apagar a intervalos cortos, lo que facilita la aplicación de luz corta pulsos (Mori *et al.*, 2002).

Inicialmente, se usaron LED rojos (660 nm) con lámparas fluorescentes azules en respuesta a la necesidad de desarrollar mejores fuentes de luz para sistemas de crecimiento de cultivos verticales y estratificados (Morrow, 2008). El uso de sistemas de iluminación artificial permite a los productores optimizar la producción de frutas, el tratamiento único con luz azul mejora la producción de fresa (*Fragaria ananassa* cv. Elsanta), aproximadamente un 25 % más que otras fuentes de luz, el tratamiento con radiación de 735 nm da como resultado un nivel más alto de sacarosa de fresa (Warner, 2021).

Temperatura

La temperatura es un agente causal de ciertas características del crecimiento en plantas, interviene en la regulación de la ontogenia floral en fresa (Durner, 2015) en condiciones de día corto. La temperatura óptima para la iniciación floral de día corto en fresa es de 15 a 18 °C (Kumar *et al.*, 2011).

Una helada tardía en primavera podría provocar daños en el carpelo, lo que daría lugar no solo a malformaciones sino también a una falta total de desarrollo de la fresa (Li *et al.*, 2020). Las plantas de fresa pueden sobrevivir a las temperaturas bajo cero al tolerar la formación de cristales de hielo en los tejidos de la corona (Koehler *et al.*, 2012). Este mecanismo en asociación con el ajuste osmótico ayuda a las plantas a mejorar la tolerancia al frío. En este sentido, la selección y el uso de cultivares con potencial para tolerar cambios ambientales son cruciales para sobrevivir a temperaturas bajo cero (Zareei *et al.*, 2021). La fresa se desarrolla en climas entre 10 y 25°C, siendo el óptimo entre 12 y 18°C (Kessel, 2012).

Humedad relativa

Es una variable ambiental importante ya que regula la tasa de transpiración a nivel de las hojas y puede influir en el balance hídrico de los cultivos, cuando se presenta una humedad relativa (HR) alta se limita la transpiración y reduce el crecimiento y la asimilación de nutrientes en cambio una HR baja aumenta el flujo de agua a través de las plantas y

aumenta la transpiración (Ferrante y Mariani, 2018). Una HR baja aumenta la evapotranspiración por otro lado, valores altos de HR reducen la cantidad de agua transpirada (Allen *et al.*, 2018), lo que reduce el estrés hídrico del suelo. Una HR alta en presencia de altos valores de radiación solar puede generar problemas de exceso térmico (Hatfield y Prueger, 2015).

Las plantas expuestas a una HR alta muestran dos efectos contrastantes sobre el crecimiento. Por un lado, las plantas pueden mostrar un mayor crecimiento debido a una mayor apertura de las estomas, lo que lleva a una mayor absorción de CO₂. Por otro lado, podrían mostrar un crecimiento reducido debido a un volumen de transpiración reducido que conduce a una menor translocación de nutrientes (Roriz *et al.*, 2014).

Efecto del potasio

El K es el catión inorgánico más abundante en las plantas y comprende hasta 10 % del peso seco de una planta (Broadley *et al.*, 2004). Está concentrado en los tejidos en crecimiento y los órganos reproductivos (White y Karley, 2010). El K tiene una función importante en la inducción de la elongación celular (Bassil *et al.*, 2011) y el mantenimiento de la osmorregulación en las plantas (Kumar *et al.*, 2020).

Regula la apertura y el cierre de los estomas (Nieves *et al.*, 2019), mejora el rendimiento de los cultivos así como la calidad de frutas y verduras (Serio *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2020). El K es un elemento mineral esencial para las fresas, que requieren grandes cantidades (Vazifeshenas *et al.*, 2009). Tiene funciones esenciales dentro de la planta en la producción y transferencia de proteínas y azúcares, así como la mejora de la tolerancia de la planta a enfermedades y plagas, el K afecta significativamente los parámetros de crecimiento, producción y calidad de la planta de fresa (Mulk *et al.*, 2016).

En las fresas, el potasio es esencial para la translocación de nutrientes (Trejo y Gómez, 2014), apoya el crecimiento, establecimiento y el desarrollo de las raíces (Ebrahimi *et al.*, 2012).

Absorción y transporte del potasio

El potasio K es necesario para la activación de muchas enzimas, incluidas las del metabolismo energético, la síntesis de proteínas y el transporte de solutos (Amtmann *et*

al., 2008). La captación de K por las células vegetales y su acumulación en las vacuolas es el principal impulsor de su expansión osmótica (Mengel *et al.*, 2001). El K es tomado de la solución del suelo por las células epidérmicas y corticales de la raíz. Una vez que el K está dentro del simplasto de la raíz, puede almacenarse en vacuolas, donde cumple funciones osmóticas, o es transportado al brote vía xilema (Pardo y Rubio, 2011).

A su vez, las células de los brotes también pueden suministrar K almacenado para su redistribución a través del floema. En este tránsito del suelo a los diferentes órganos de la planta, el K atraviesa varias membranas celulares a través de sistemas de transporte específicos de K (Ragel *et al.*, 2019).

Efecto de la luz sobre la absorción y acumulación de potasio en los estomas

La percepción de la luz específica de longitud de onda mediada por fotorreceptores activa cascadas de señalización que median el movimiento de los estomas al alterar el flujo de entrada/salida de K a través de los canales de K en las células protectoras (Golam *et al.*, 2022). Las plantas obtienen información de las señales de luz para adaptarse a las condiciones ambientales (Rogiers *et al.*, 2020), lo que ajusta la absorción (Yang *et al.*, 2020) y el uso de varios nutrientes, incluido el K (Wang *et al.*, 2021). Los fotorreceptores de las plantas detectan la luz con una amplia variedad de longitudes de onda: rojo de 600 a 700 nm, rojo lejano de 700 a 800 nm, azul de 400 a 500 nm (Devireddy *et al.*, 2020) y ultravioleta de 280 a 315 nm (Cheng *et al.*, 2021) y montan respuestas que son específicos de la longitud de onda (Lee *et al.*, 2021).

Por lo tanto, el K interviene en la expansión celular y los movimientos de los órganos, como la apertura de las estomas (Ragel *et al.*, 2019); son poros microscópicos controlados por células protectoras, que se encuentran principalmente en la superficie de los órganos fotosintéticos, como las hojas (Kostaki *et al.*, 2020). Como válvulas naturales, los estomas regulan la ganancia de carbono por la entrada de CO₂ y la pérdida de agua por la salida de vapor de agua a través de dos procesos fisiológicos vitales, a saber, la fotosíntesis y la transpiración, respectivamente (Ahammed *et al.*, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La investigación se realizó en el Laboratorio de Agricultura Vertical del Departamento Ciencias del Suelo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en Saltillo, Coahuila, México, latitud 25°35'37' y longitud -101° 03'36'.

Condiciones culturales y material vegetal

Las plántulas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch) variedad Frontera (7.5 cm de tallo y 5 cm de raíz) se trasplantaron en bolsas de vivero del número 10, usando como sustrato una combinación de peat moss (70 %) y perlita (30%) con un pH y CE inicial de 5.8 y 0.9 dS m⁻¹, respectivamente.

Durante el crecimiento vegetativo, se eliminaron las hojas más viejas y estolones. Las plantas fueron regadas con las soluciones nutritivas correspondientes para lograr una fracción de lixiviado del 30%. Se utilizaron tres tratamientos con concentraciones de 4, 5.5 y 7 meq de K. Se consideró la composición del agua potable para calcular la solución nutritiva, la alcalinidad final fue de 1.0 meq L⁻¹, pH 5.7 y CE de 1.0 dS m⁻¹.

Sistema de cultivo vertical de interior y condiciones de cultivo

Para el estudio se utilizó un rack de 1.72 m de largo, 0.80 m de ancho y 2.45 m de alto (Karma Verde Fresh modelo KVF7, Monterrey, México). El rack tenía tres niveles separados 0.45 m. Cada nivel consistía en una bandeja de aluminio que medía 0.80 m de ancho, 1.72 m de largo y 0.095 m de profundidad (área total de 1.38 m²).

Durante el estudio, la temperatura se mantuvo en (24°C día / 17 °C noche) (WatchDog modelo 1000, Spectrum Technologies, IL, EE.UU.) con un minisplit de 2 toneladas (Whirlpool, modelo WA5260Q, MI, USA), mientras que la humedad relativa (HR) se fijó en 60% ± 5% con un humidificador de 0.5 L h⁻¹ (MistCloud, modelo MXCUD-001-001) y un extractor de 25 cm de diámetro, que se conectó a un controlador de humedad digital de enchufe programable (IHC-200, Inkbird Tech). Los ventiladores circulantes mantuvieron la circulación de aire y la concentración promedio de CO₂ fue de 400 ppm (Telaire, modelo 7001, Amphenol Advanced Sensors, PA, USA).

Tratamientos de luz roja y azul

Se utilizó un espectrorradiómetro de 340 a 820 nm (Apogee Instruments, modelo SS-110, UT, USA) para caracterizar las lámparas LED (Karma Verde Fresh), Modelo 1, Monterrey, México) en 18 sitios de muestreo por nivel resultando con un flujo de fotones fotosintético promedio de $406.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Las proporciones rojo-azul evaluadas en este estudio fueron 3.3:1 (62%(R):19%(A)), 1.3:1 (57%(R) :35%(A) y 5.15:1 (61%(R):12%(A)).

Parámetros de crecimiento

Para determinar el peso en fresco y seco de raíz y hojas, se colocaron en bolsas de papel del número tres, cada muestra fue rotulada al termino se colocó en una estufa a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ donde se almacenaron en un lapso de 24 horas. Dichas actividades se realizaron 224 días después del trasplante y posteriormente se procedió a pesar cada muestra, las coronas se pesaron en fresco ya que se utilizaron para realizar otras determinaciones, la longitud del peciolo se midió con un vernier digital.

Análisis mineral de hojas

Las hojas secas se molieron para pasar una malla de 40 mallas (Mini Willey Mill, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ) para el análisis de minerales. Las concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P), K, calcio (Ca) y magnesio (Mg) se determinaron en una muestra de 0.25 g de tejido foliar molido digerido en 2 mL de una mezcla 2:1 de H_2SO_4 y HClO_4 , y 1 mL de 30% H_2O_2 . El digestado se llevó a 25 mL con agua destilada y filtrada antes de medir la concentración de P, K, Ca y Mg con un espectrómetro de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (Liberty Model, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour *et al.*, 1996). La concentración de N se determinó mediante el procedimiento semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1996).

Intercambio de gases

La tasa fotosintética, la conductancia estomática y la tasa de transpiración se midieron con un sistema de fotosíntesis portátil (LI-COR 6400XT, Biosciences, Lincoln, Nebraska) en hojas jóvenes completamente desarrolladas. Se tomaron en consideración tres plantas de

cada tratamiento de cada nivel y se realizaron de 12:00 a 13:00 horas el 12 de abril de 2022. Durante las mediciones, la concentración de CO₂ se estableció en 350 µmol mol⁻¹, la temperatura del aire en 24 °C y la humedad relativa en 60 %.

Análisis de azúcares y antioxidantes en la corona

Una muestra de 1 g de tejido congelado de las coronas se trituró en un mortero, se calentó en 40 mL de una solución de alcohol etílico al 80% durante 5 min y se filtró. El extracto alcohólico (1 mL) se evaporó en un baño de agua a 80 °C y se disolvió en 30 mL de agua desionizada. Los azúcares totales y reductores se determinaron en la solución alcohólica según lo descrito por Somogyi (1952), con un espectrofotómetro (DR-5000 Hach Co., Loveland, CO) a 600 y 540 nm, respectivamente.

Determinación de almidón en corona

Se tomó 1 g de residuo vegetal de la extracción alcohólica, se agregaron 30 mL de agua destilada, se calentó hasta ebullición por 20 minutos, se dejó enfriar a baño maría a 55 °C, se agregó 10 mL de diastasa al 1% y se colocó nuevamente a baño maría a 55 °C por 1.5 horas, posteriormente se filtró y se midió el volumen, se tomó una alícuota de 10 mL, se le agregan 5 mL de HCl al 1.125N y se coloca a baño maría a 55 °C por 2.5 horas, se ajustó el pH a 8 con NaOH al 50 %, se tomó 20 microlitros mL de la muestra y se colocó en un tubo de ensayo, se ajustó a 1480 ml de agua destilada, se agregaron lentamente 3 mL de la solución de antrona más ácido sulfúrico.

Actividad antioxidante por DPPH

La actividad antioxidante por el método 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) de Brand-Williams *et al.* (1995) fue determinada. Se homogeneizó 1 g de la corona (Homogenizador T25, ULTRA-TURRAX, IKA, USA) con 10 mL de agua desionizada durante 20 s y luego se centrifugó a 4000 rpm g durante 20 segundos a 4 °C. El sobrenadante se utilizó para evaluar la actividad antioxidante. Se agregaron 100 µL del sobrenadante a la solución de DPPH de 6.1x10⁻⁵ M (Sigma Aldrich®, EE. UU.) y se incubó en oscuridad durante 30 min, luego de lo cual se midió la absorbancia a 517 nm. La actividad antioxidante se evaluó mediante una curva estándar con ácido ascórbico (0-100 mg L⁻¹) y los datos se

expresaron como mg de equivalentes de ácido ascórbico por 100 g de peso fresco (mg AAE/100 gfw).

Actividad antioxidante por FRAP

La actividad antioxidante en muestras de 1 g de la corona también se midió mediante el método del poder antioxidante reductor férrico (FRAP) de Benzie y Strain (1996). La muestra fue homogeneizada (T25 Homogenizer, ULTRA-TURRAX, IKA, USA) en 10 mL de agua desionizada por 20 s, filtrado y centrifugado a 4000 rpm por 15 min. El reactivo FRAP (TPTZ, FeCl₃ y buffer acetato) a 1.9 mL se mezcló con 100 µL de agua desionizada y se incubó por 10 min a 37 °C y luego se midió la absorbancia a 593 nm. Los datos se expresaron en mg equivalentes de ácido ascórbico por 100 g de peso fresco (mg AAE/100 gfw)

Actividad antioxidante por ABTS

La actividad antioxidante por el método 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) se midió por la técnica reportada por Re *et al.* (1999) en una muestra de 1 g de la corona homogeneizada (Homogenizador T25, ULTRA-TURRAX, IKA, USA) en 10 mL de agua desionizada por 20 s, filtrada y centrifugada a 4000 rpm por 15 min. El reactivo ABTS se mezcló con persulfato de potasio (K₂S₂O₈) 7 mM y 2.45 mM, que se mezclaron en una proporción 1:1 (v/v). La mezcla se incubó durante 16 h y luego se diluyó en etanol al 20 % hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 a 734 nm. Una alícuota de 100 µL mezclada con 3 mL de ABTS se incubó durante 15 min y luego se midió la absorbancia a la longitud de onda mencionada anteriormente. Los datos se expresaron como mg de equivalentes de ácido ascórbico por 100 g de peso fresco (mg AAE/100 gfw).

Determinación de fenoles en corona

La concentración de fenoles totales se determinó según la metodología de Folin-Ciocalteu (Margraf *et al.*, 2015); Se homogeneizó 1 g de la corona (Homogenizador T25, ULTRA-TURRAX, IKA, EE. UU.) durante 20 segundos y se agregaron 12 mL de agua desionizada, luego se filtró y la solución recuperada se centrifugó posteriormente a 4.000 rpm. Se tomó una alícuota de 300 µl más 700 µL y se agregaron 2.5 mL de reactivo de

Folin Ciocalteu (diluido 1:10 con agua desionizada); después de 5 a 8 minutos, se agregaron 2 mL de carbonato de sodio (7.5% peso/volumen) y la mezcla se incubó en luz difusa durante 2 horas antes de leer la absorbancia con un espectrofotómetro (HACH DR 5000, EE. UU.) a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco (mg GAE/100 gfw).

Análisis estadístico

En cada nivel de luz roja y azul se colocaron los nueve tratamientos resultantes de la combinación de los tres balances de luz roja y azul y las tres concentraciones de K en la solución nutritiva. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental en bloques al azar y se emplearon tres repeticiones con dos plantas por repetición en cada estante. Los datos se analizaron con un análisis de varianza y cuando se detectó significancia, las medias se separaron mediante el procedimiento de Duncan con $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mayor número y peso fresco de coronas se obtuvo cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 61 % y 12 % de luz roja y azul respectivamente (Cuadro 1); en estas plantas, el número de coronas fue 83% mayor que el obtenido por aquellas tratadas con un balance de 62 % y 19 % de luz roja y azul, respectivamente, en tanto que el aumento en el peso fresco fue de 57 %. Aunque no se detectó un efecto significativo del K ni de la interacción entre ambos factores, en la Figura 1 y 2 se observa que al aumentar el K el número y peso de las coronas tiende a disminuir cuando se aplicó luz azul al 35 %.

Cuadro 1. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el número y peso fresco de corona por planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Balance de luz Rojo / Azul	Número de coronas	Peso fresco de coronas (g)
62%(R):19%(A)	2.27 b	3.17 b
57%(R):35%(A)	2.33 b	3.21 b
61%(R):12%(A)	4.16 a	4.99 a
K (meq)		
4	3.27 a	4.02 a
5.5	3.00 a	4.01 a
7	2.50 a	3.35 a
Interacción	0.7653	0.7243

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$)

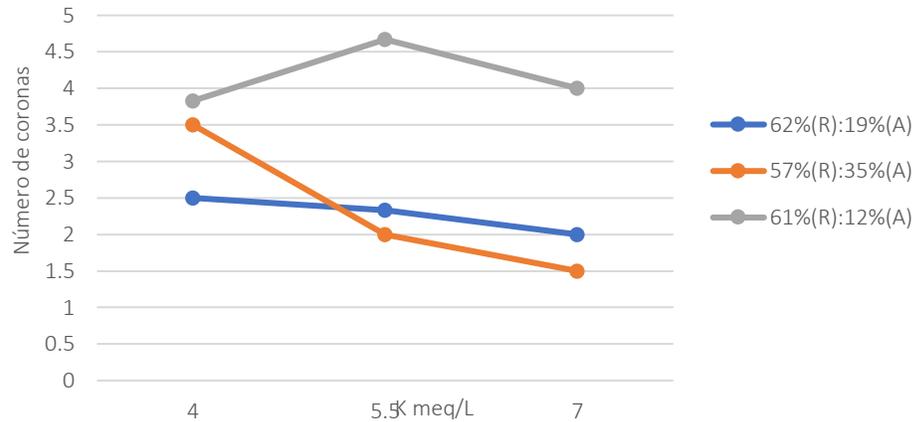


Figura 1. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el número de coronas por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

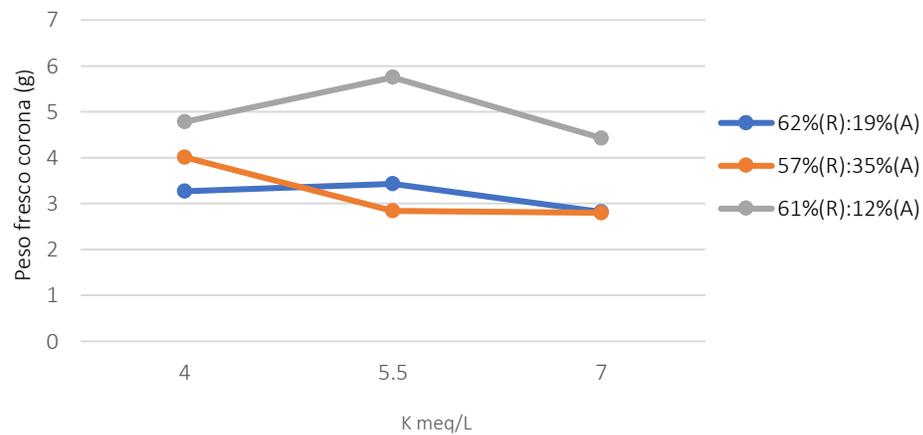


Figura 2. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco de la corona por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Los resultados del presente estudio fueron superiores en comparación con los reportados por Prasad *et al.* (2022) quienes indican el mayor número de coronas fue de 2.43 en condiciones de sustrato. Torres *et al.* (2022) demostraron que el aumento en el rendimiento entre plantas con coronas más grandes puede estar relacionado con un mayor

número de flores iniciadas de esta manera las coronas más anchas dan como resultado mayores rendimientos para todos los cultivares de fresa.

En contraste con lo observado con las coronas, en el número de hojas (Figura 3) no existió significancia, aunque el tamaño de las hojas no mostró una tendencia clara (Figura 4). Los balances que contenían una mayor proporción de luz azul (19 % y 35 %) estuvieron asociados con las plantas que resultaron con un mayor peso fresco y seco de las hojas, así como en el tamaño de las mismas (Cuadro 2).

Aunque no se detectó un efecto significativo del K ni en la interacción entre ambos factores, el mayor peso fresco y seco de las hojas se obtuvo cuando a las plantas con 19% de luz azul se le aplicó K a una concentración de 5.5 (Figura 5) y 7 meq L⁻¹ (Figura 6), Choy *et al.* (2015) mostraron que la luz azul fue la más eficaz para aumentar la duración de folíolos de fresa en condiciones de cámara de crecimiento, mientras que Shamaila *et al.* (2016) mostraron que a mayor concentración de K hay un mayor ancho de la hoja; de acuerdo al Cuadro 2, los valores en el estudio son superiores a los presentados por Prasad *et al.* (2022) ya que el promedio del número de hojas fue 10.90.

Hoenecke *et al.* (1992) indican que la única respuesta a niveles bajos de longitudes de onda azules fue un aumento en la longitud de la hoja en lechuga, la relación de luz roja y azul 5:1 y los LED con naranja, rojo y azul relación 3:2:1 son más adecuados para crecimiento vegetativo de la fresa (Li *et al.*, 2012).

De acuerdo al Cuadro 2 los datos del peso seco son inferiores en comparación a los reportados por Prasad *et al.* (2022) donde el peso seco de la hoja más alto fue de 25.42 g mientras que el peso seco más bajo se observó 12.45 g, la Figura 5 y 6 muestran que la combinación 62%(R):19%(A) mostró mayor impacto, resultado similar al obtenido por Amoozgar *et al.* (2017) en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. Grizzly) cultivadas bajo LEDs azules + rojos. Matysiak *et al.* (2021) mostraron que la calidad de la luz generada por la luz azul (rojo+verde+azul 60:10:30) afecta significativamente la tasa de producción de biomasa de la lechuga romana Elizium tipo mini en un ambiente interior controlado. Rahman *et al.* (2021) muestran que el peso fresco de la lechuga aumenta con iluminación LED de color rojo lejano adicional (longitudes de onda entre 700 y 800 nm).

Cuadro 2. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco hoja, número hoja, ancho-largo: hoja, peso seco de la hoja y longitud del peciolo por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Balance de luz Rojo/Azul	Número de hojas	Peso fresco hoja (g)	Peso seco hoja (g)	Ancho-largo: hoja (cm)	Longitud de peciolo (cm)
62%(R):19%(A)	20.22 a	8.24 a	2.59 a	4.16 a	3.16 a
57%(R):35%(A)	17.94 a	7.07 ba	2.27 ba	4.11 a	3.20 a
61%(R):12%(A)	28.33 a	6.18 b	1.91 b	3.47 b	2.93 a
K (meq)					
4	22.77 a	6.88 a	2.33 a	3.81 a	3.05 a
5.5	22.72 a	7.44 a	2.13 a	3.96 a	3.09 a
7	21.00 a	7.17 a	2.30 a	3.97 a	3.15 a
Interacción	0.5163	0.7418	0.6963	0.8535	0.9156

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

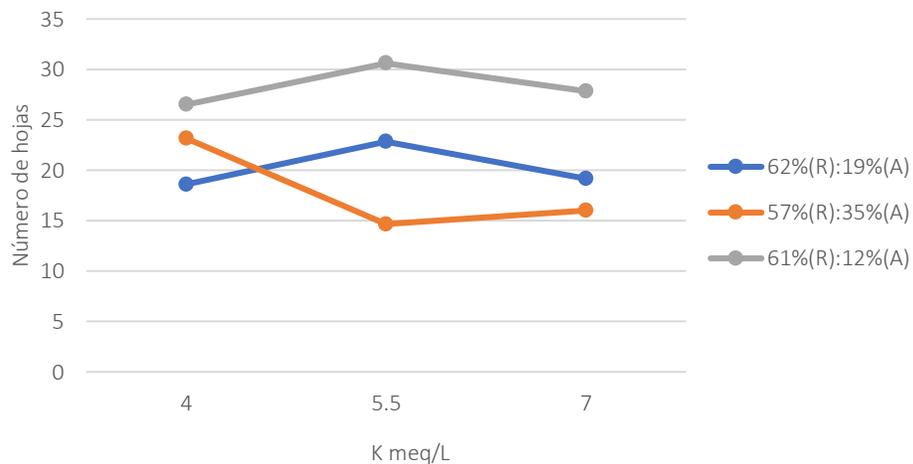


Figura 3. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el número de hojas por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

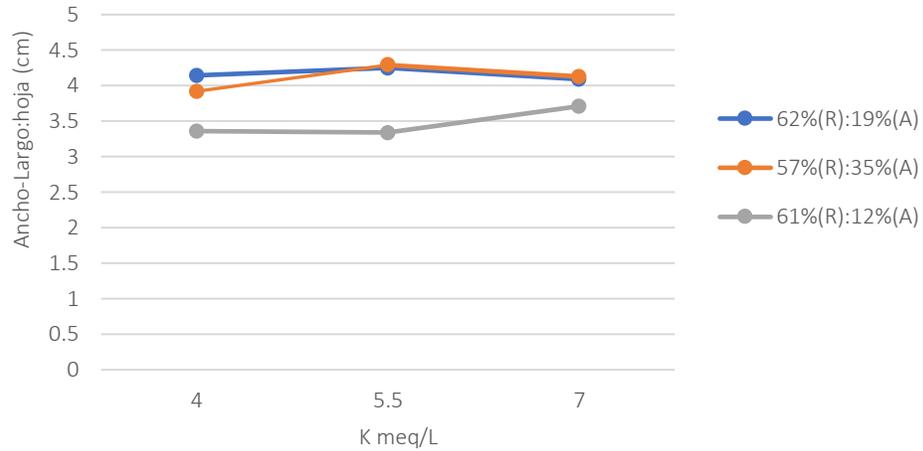


Figura 4. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) Ancho-Largo: hoja por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

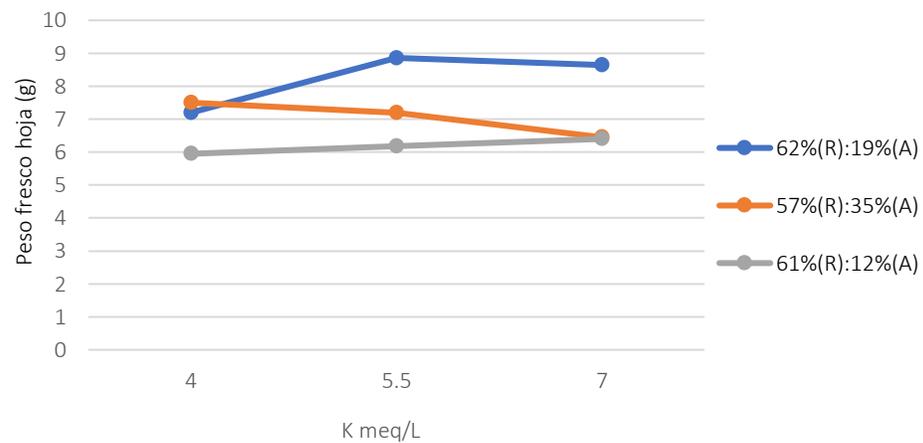


Figura 5. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco de las hojas por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

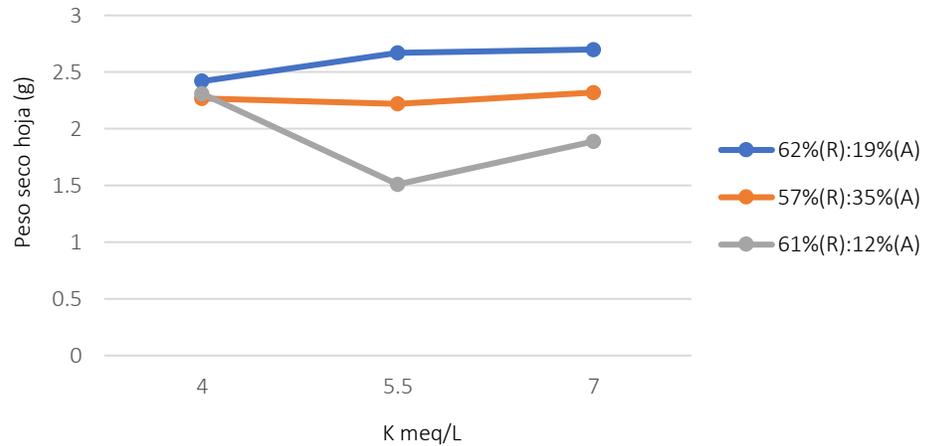


Figura 6. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso seco de las hojas por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

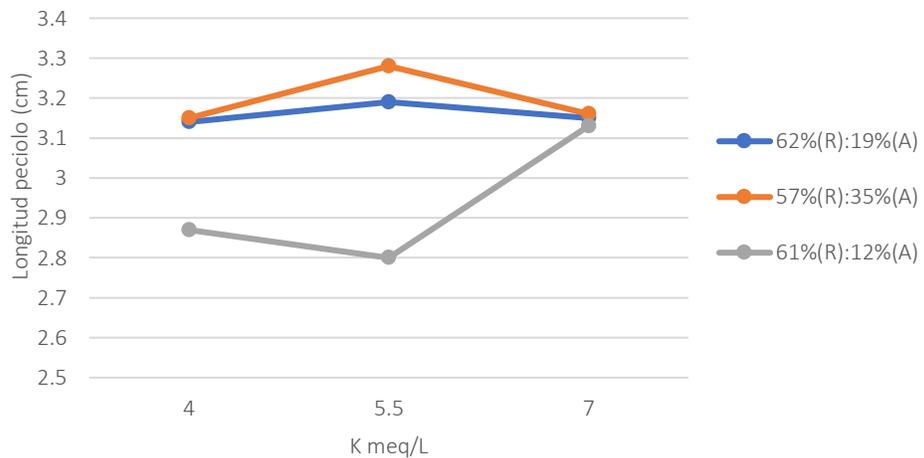


Figura 7. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la longitud del peciolo por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Al aumentar la concentración de K la longitud peciolo tiende a aumentar cuando se aplicó luz azul al 12 % (Figura 7); en cambio, con niveles de luz azul más altos la longitud del peciolo no muestra variación. La mayor longitud del peciolo se obtuvo con 5.5 meq/L de K cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 57 % y 35 % de luz roja y azul respectivamente. De acuerdo a Choi *et al.* (2015) el tratamiento con luz LED azul indujo

un peciolo significativamente más largo en comparación con el control y las luces LED rojas, este efecto podría explicarse en el contexto del papel positivo que juega la luz azul en los procesos de elongación. Li *et al.* (2012) muestran datos similares a los observados con 61%(R):12%(A) con la utilización de la relación LED rojo/azul a 5:1. Los resultados observados son diferentes a los de Choi (2015) quien no mostró diferencias significativas en la longitud del peciolo en las distintas intensidades de luz.

La longitud de la raíz (Figura 8) y el peso fresco (Figura 9) no fueron afectados por los tratamientos aplicados (Cuadro 3), sin embargo, el peso seco de la raíz (Figura 10) fue mayor en plantas tratadas con mayores niveles de luz azul (19% y 35%) en comparación con las plantas con 12% de luz azul. Shamaila *et al.* (2016) demostraron que a mayor concentración de K mayor es la longitud de raíz en fresa. Stefano *et al.* (2017) evidenciaron un efecto similar de la luz azul LED (a 470 nm) en la promoción de la acumulación de materia seca de la raíz en fresa. Los valores obtenidos en el presente estudio son mayor (Cuadro 3) a los presentados por Prasad *et al.* (2022) en los que las fresas lograron una longitud de raíz superior 27.50 cm en condiciones de sustrato mientras en el peso seco de raíz más alto fue de 13.26 g. Xiang *et al.* (2020) mostraron que los niveles bajos y altos de K inhibían la elongación y el crecimiento de la raíz mientras que Yuanchun *et al.* (2021) muestran que la luz LED azul disminuyó el peso seco de las raíces de las plantas perennes en un 68 %.

En plantas tratadas con el balance 61%(R):12%(A) el número de coronas y peso fresco de coronas se obtuvo el mayor resultado en comparación con los demás balances, sin embargo, el balance 62%(R):19%(A) y 57%(R):35%(A) el peso fresco, seco y ancho-largo de las hojas presentaron una mayor biomasa (en el Cuadro 2), mientras que los balances: 62%(R):19%(A) y 57%(R):35%(A) muestran mayores resultados en cuanto al peso seco de la raíz (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la longitud, peso fresco y peso seco de la raíz por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Balance luz Roja /Azul	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco de raíz (g)	Peso seco de raíz (g)
62%(R):19%(A)	36.94 a	28.94 a	6.20 a
57%(R):35%(A)	39.80 a	27.88 a	5.56 a
61%(R):12%(A)	39.08 a	26.01 a	4.66 b
K (meq)			
4	36.93 a	28.47 a	5.43 a
5,5	39.20 a	27.70 a	5.64 a
7	39.69 a	26.60 a	5.35 a
Interacción	0.9947	0.9530	0.7840

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

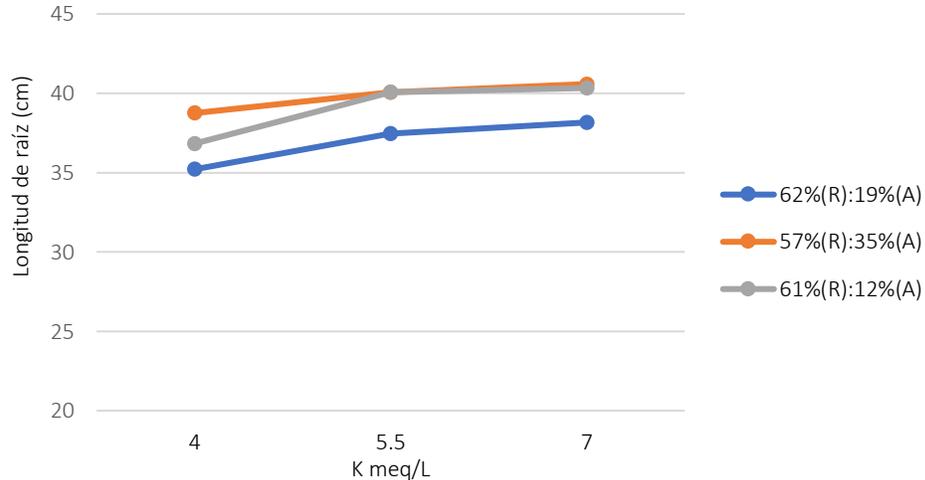


Figura 8. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la longitud de raíz por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

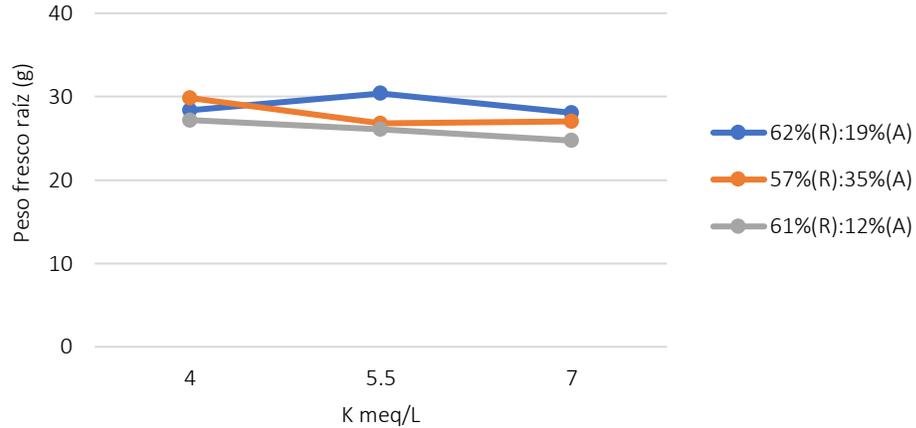


Figura 9. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso fresco de la raíz por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

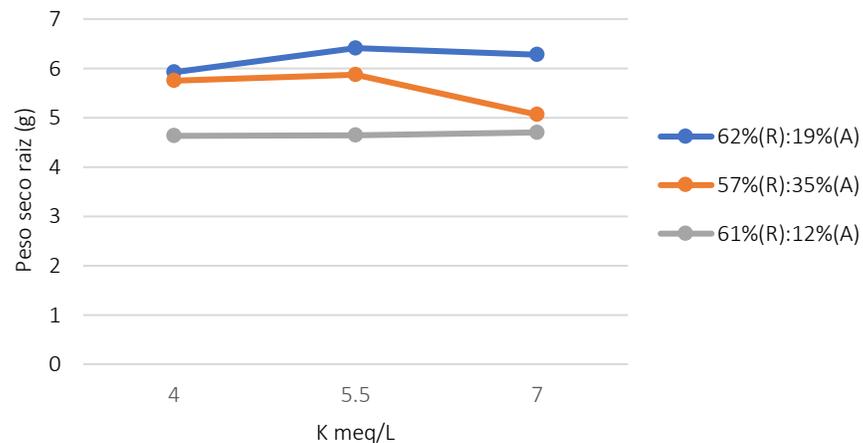


Figura 10. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el peso seco de la raíz por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Los parámetros fotosintéticos y de intercambio de gases no fueron afectados por los tratamientos aplicados (Cuadro 4). Con excepción de las plantas con 12% de luz azul tratadas con 4 meq de K, la tasa de fotosíntesis neta tiende a aumentar ligeramente cuando

se aumenta la concentración de K en la solución nutritiva (Figura 11), a diferencia de la conductancia estomática (Figura 12) y tasa de transpiración (Figura 13), las cuales tienden a disminuir al elevarse el K. Amal *et al.* (2022) demostraron que la fertilización óptima con K aumenta la tasa de fotosíntesis en las hojas, mientras que Hidaka *et al.* (2014) demuestran que la iluminación suplementaria con un sistema de iluminación LED de mayor irradiancia significativamente mejora la fotosíntesis de la hoja, lo que conduce a la aceleración del crecimiento de la planta.

Xiang *et al.* (2020) mencionan que a niveles inadecuados de K pueden inhibir la transferencia de electrones fotosintéticos y aumentar la disipación de calor, por otro lado, Whang *et al.* (2021) concluyeron que el uso de luz roja, roja + azul mejoró la absorción y acumulación de K al aumentar la fotosíntesis datos contrarios a lo que presentaron Nestby y Trandem (2013) que al suministrar luz roja constante ($160 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y $60 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz azul la tasa fotosintética en hojas de fresa fue más alta con la mayor cantidad de luz azul. Hasan *et al.* (2017) señalan que como la luz azul y roja controlan las tasas de fotosíntesis a través de la apertura y/o el cierre de los estomas.

Cuadro 4. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en fotosíntesis, conductancia estomática y tasa de transpiración por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Balance de luz Roja/Azul	Fotosíntesis $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Conductancia estomática $\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$	Tasa de transpiración $\text{mol}/\text{cm}^2/\text{s}$
62%(R):19%(A)	8.88 a	0.26 a	5.94 a
57%(R):35%(A)	8.42 a	0.21 a	5.31 a
61%(R):12%(A)	10.73 a	0.28 a	6.80 a
K (meq)			
4	9.23 a	0.29 a	6.48 a
5.5	9.37 a	0.26 a	6.34 a
7	9.44 a	0.20 a	5.23 a
Interacción	0.2068	0.9543	0.8277

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$)

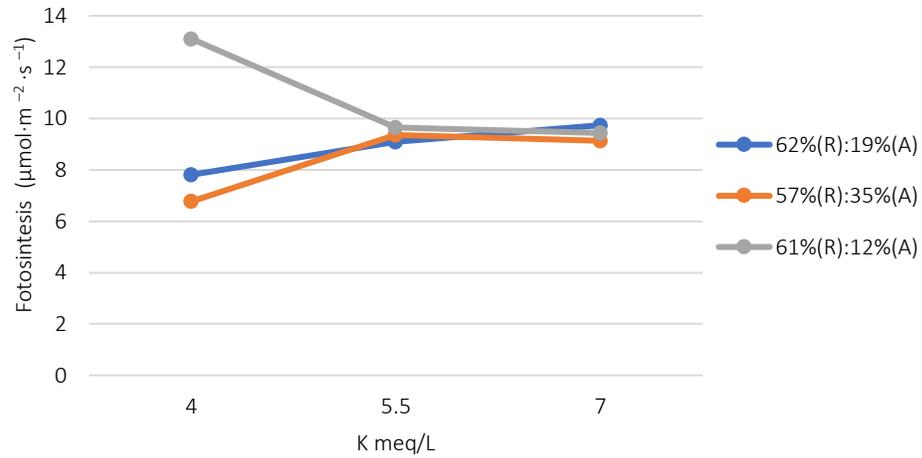


Figura 11. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la fotosíntesis en planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

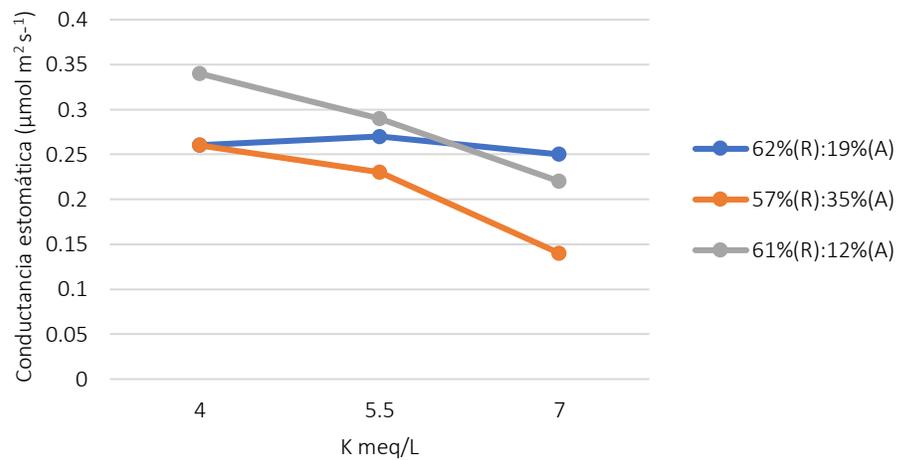


Figura 12. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la conductancia estomática en planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

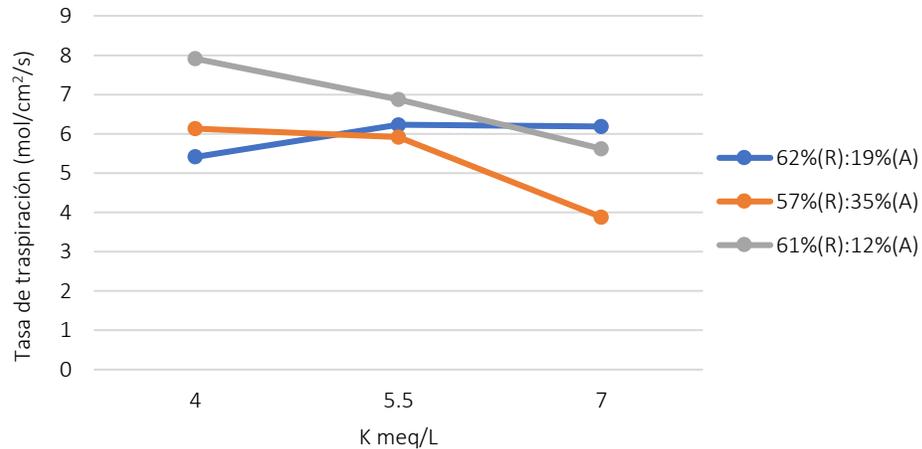


Figura 13. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en la tasa de transpiración en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

La concentración de azúcares totales y la actividad antioxidante determinada por la metodología de DPPH fueron significativamente más altos cuando las plantas se irrigaron con soluciones conteniendo 7 meq de K (Cuadro 5), en cambio, los azúcares reductores y la actividad antioxidante estuvieron más concentrados en las coronas de plantas tratadas con un 19% de luz azul y 35% respectivamente (Cuadro 5).

La Figura 14 muestra que al aumentar el K los azúcares totales tienden a aumentar cuando se aplicó luz azul al 12% y 19%, en cambio, con niveles de luz azul más altos los azúcares totales no muestra variación. La Figura 15 muestra que al aumentar el K los azúcares reductores no muestran variación.

Cuadro 5. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en azúcares totales, azúcares reductores, almidón, DPPH, ABTS, fenoles y FRAP en corona por planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Balance de luz Roja/Azul	Azúcares totales (mg g ⁻¹)	Azúcares reductores (mg g)	Almidón (mg g ⁻¹)	DPPH (mg EAA/100 g ⁻¹)	ABTS (mg EAA/100 ⁻¹)	Fenoles (mg EAA 100 g)	FRAP (mg g ⁻¹)
62%(R):19%(A)	3.51 a	8.09 a	27.61 a	270.75 b	2795.19 a	156.43 a	1076.43 a
57%(R):35%(A)	2.89 a	6.33 b	27.23 a	278.55 a	2859.69 a	175.34 a	1056.14 a
61%(R):12%(A)	3.20 a	5.85 b	28.56 a	282.73 a	2845.80 a	172.86 a	998.32 a
K (meq)							
4	2.73 b	7.07 a	27.68 a	276.54 ba	2835.93 a	173.03 a	1018.78 a
5.5	3.25 ba	6.52 a	27.88 a	272.78 b	2798.27 a	157.42 a	1102.78 a
7	3.62 a	6.67 a	27.84 a	282.70 a	2866.48 a	174.03 a	1010.10 a
Interacción	0.5421	0.1312	0.0374	0.2836	0.5272	0.4178	0.8433

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$)

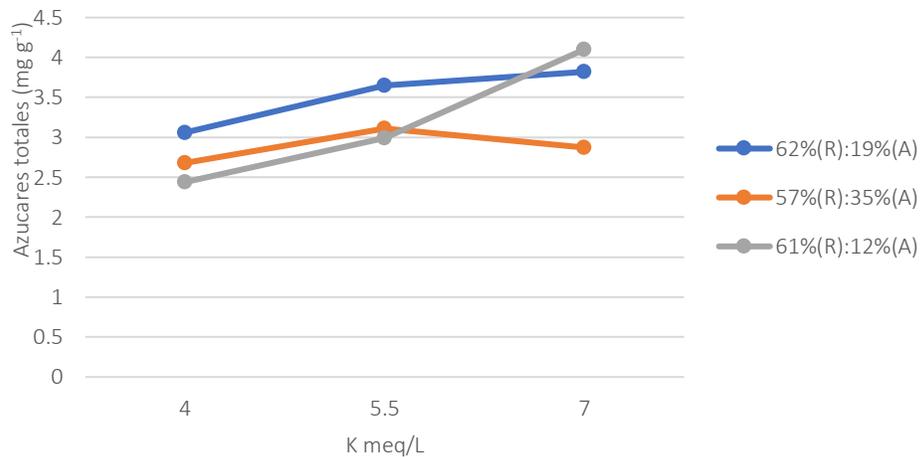


Figura 14. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en los azúcares totales (mg g⁻¹) por corona en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

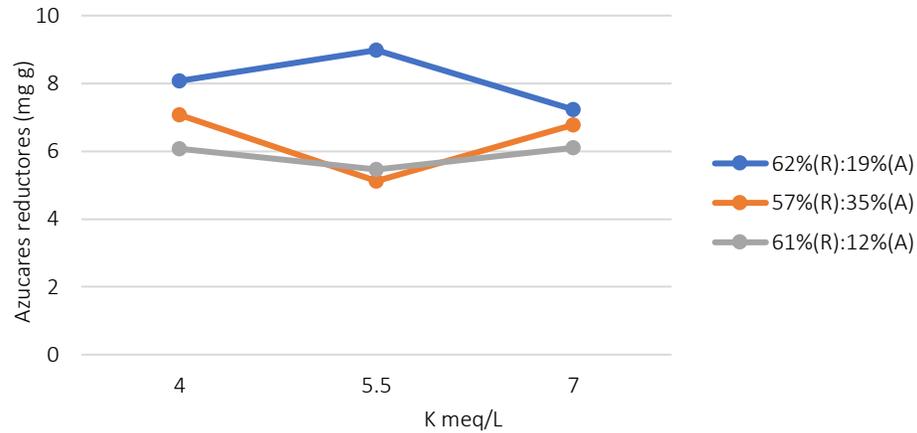


Figura 15. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en azúcares reductores (mg g) por corona en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Chen *et al.* (2019) reportan que el azúcar total en la lechuga tratada con luz roja monocromática) fueron significativamente más altos, así como la alternancia de luz roja y azul con un intervalo de 1 h mejoró la acumulación de biomasa y azúcares reductores (sacarosa) en lechuga. El contenido de almidón en las coronas fue afectado por la interacción entre los factores en estudio (Cuadro 5). La Figura 16 muestra que al aumentar el K el almidón tiende a disminuir cuando se aplicó luz azul al 35%, en cambio, con niveles de luz azul del 19% el almidón aumentó.

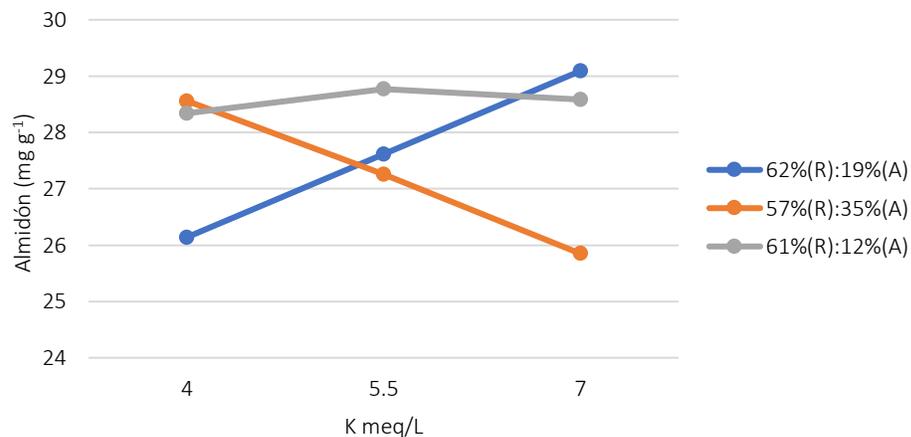


Figura 16. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en el almidón (mg g^{-1}) por corona en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

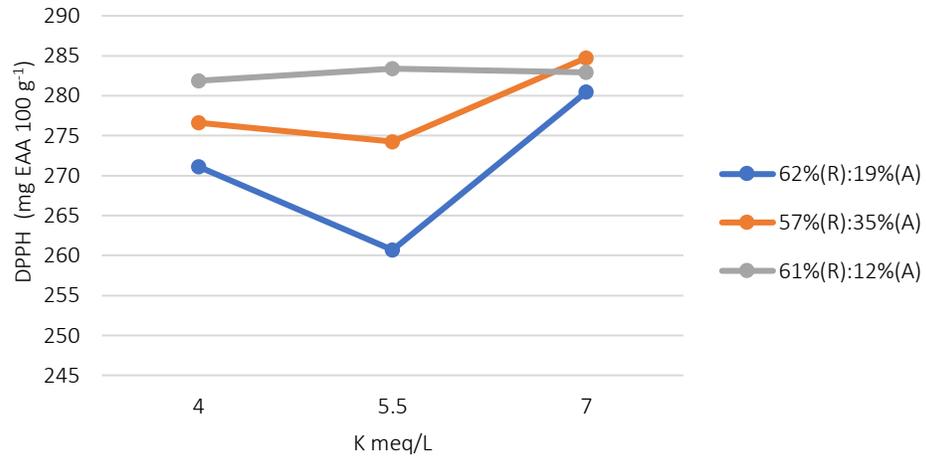


Figura 17. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en DPPH (mg EAA 100 g⁻¹) por corona en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

La Figura 17 muestra que al aumentar el K el DPPH tiende a disminuir cuando se aplicó luz azul al 19 %; en cambio, con niveles de luz azul más altos el DPPH muestra cierta variación. El mayor DPPH se obtuvo con 7 meq de K cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 57% y 35% de luz roja y azul respectivamente (Cuadro 5); aunque no fueron afectadas significativamente, tendencias muy similares se detectan cuando la actividad antioxidante se determinó por ABTS (Figura 18).

Hasan *et al.* (2017) muestran que una mezcla de LED rojo y blanco aumentan las propiedades antioxidantes y la acumulación de antocianinas, tales mejoras en las características antioxidantes pueden surgir debido a la inducción de β -caroteno, glucosinolatos, radicales libres (p. ej., DPPH; 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo). Mientras que Johkan *et al.* (2010) muestran que en las plantas los contenidos de antioxidantes y polifenoles se pueden estimular agregando luz roja y luz azul. Yuanchun *et al.* (2021) mostraron que el efecto del tratamiento con luz LED roja sobre el contenido de carotenoides se redujo significativamente en un 57 %.

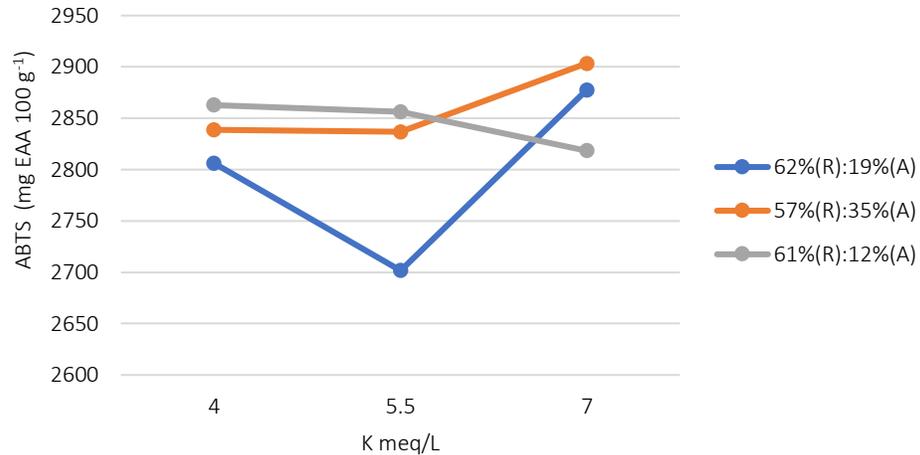


Figura 18. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en ABTS (mg EAA 100 g⁻¹) por corona en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

En cuanto a los fenoles y los antioxidantes por FRAP en la corona, no hubo efectos significativos ni tendencias que señalar por efecto de los tratamientos (Cuadro 5, Figura 19 y 20). Hasan *et al.* (2017) mostraron que la combinación de rojo: azul también eleva la acumulación de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, vitamina C, α -tocoferol, azúcar soluble y nitrato en diferentes cultivos. Rahman *et al.* (2021) informan que la iluminación LED roja suplementaria puede ayudar a acumular compuestos bioactivos y compuestos fenólicos, y propiedades antioxidantes de hortalizas y hierbas de olor.

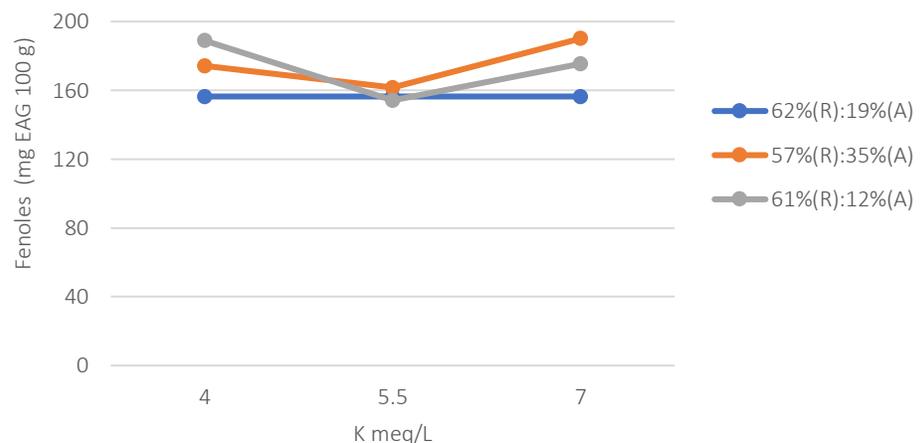


Figura 19. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en fenoles (mg EAG 100 g) por corona en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

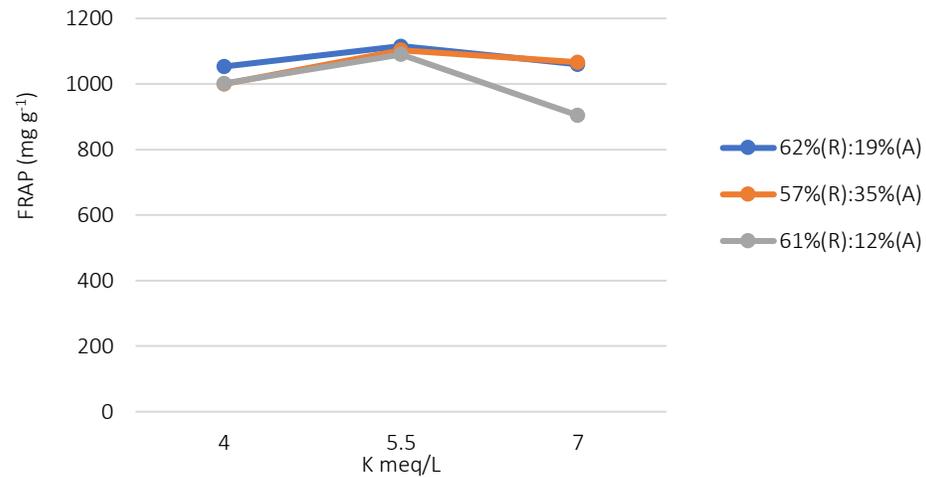


Figura 20. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en FRAP (mg g^{-1}) por corona en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

Cuadro 6. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en nitrógeno (N) %, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) por hojas en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de K en la solución nutritiva.

Balance luz Roja/Azul	N %	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm
62%(R):19%(A)	1.90 c	4338.08 c	7774.6 b	6603.8 b	4282.8 a
57%(R):35%(A)	2.01b	4431.85 b	7701.1 b	7150.5 a	4319.8 a
61%(R):12%(A)	2.29 a	5138.77 a	8969.3 a	6369.6 b	4225.8 a
K (meq)					
4	2.06 a	4609.75 b	7039.5 c	6732.5 ab	4408.4 a
5.5	2.08 a	4708.40 a	7871.9 b	7044.7 a	4389.9 a
7	2.07 a	4590.55 b	9533.7 a	6346.7 b	4030.2 b
Interacción	0.7412	0.0001	0.0001	0.0077	0.0098

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$)

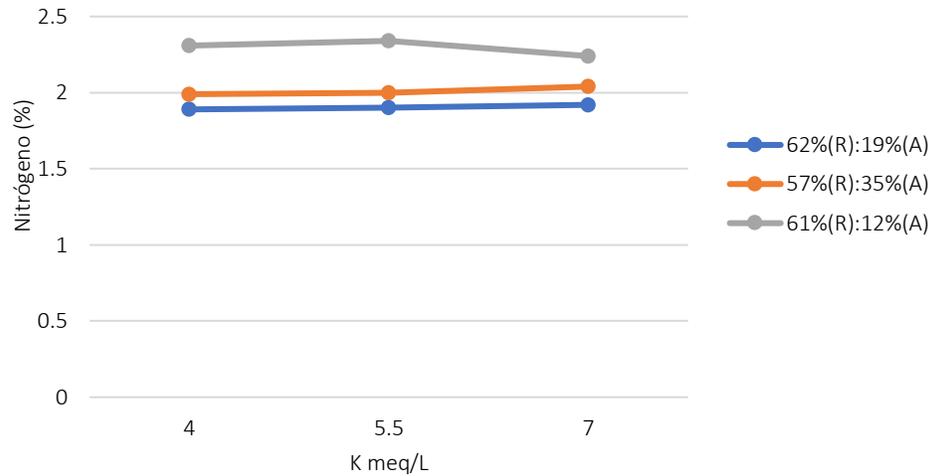


Figura 21. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en nitrógeno (N) por hojas de la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

La Figura 21 muestra que al aumentar el K el N foliar tiende a aumentar cuando se aplicó luz azul al 19%. La mayor concentración de N se obtuvo cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 61% y 12% de luz roja y azul respectivamente (Cuadro 6). Amoozgar *et al.* (2017) señalan que el contenido de N fue significativamente mayor en las plantas de lechuga cultivadas bajo irradiación de LED azul + rojo y blanco, los resultados obtenidos por Marschner (2021) indica que el aumento de la fertilización en fresa con K aumenta la eficiencia del uso de N, ya que K es esencial para la síntesis de proteínas. Matysiak (2021) mostró que la concentración de N en plantas de lechuga cultivadas bajo luz rojo+verde+azul 70:18:12 no depende de la calidad de la luz. Smith *et al.* (2022) mostraron que una combinación de LED rojo, LED blanco los contenidos foliares promedio de N (1.4 %), estuvieron muy por debajo de los rangos de suficiencia de nutrientes para la fresa de N (3 % a 4 %) (Campbell y Miner, 2000).

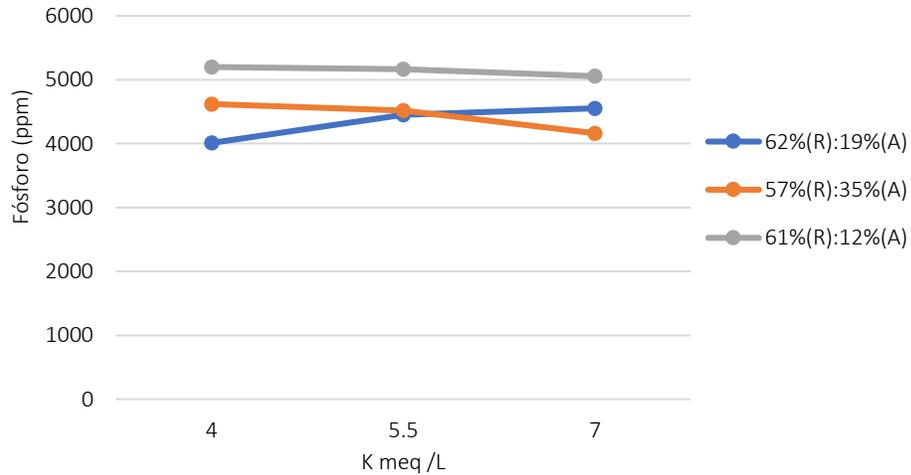


Figura 22. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en fósforo (P) por hojas en la planta en fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

La Figura 22 muestra que, al aumentar el K, el P foliar tiende a aumentar cuando se aplicó luz azul al 19%. La mayor concentración de P se obtuvo cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 61% y 12% de luz roja y azul respectivamente (Cuadro 6), lo cual fue aún mayor cuando la concentración de K fue de 4 meq/L. Matysiak (2021) mostró que la concentración de P en plantas de lechuga cultivadas bajo luz rojo+verde+azul 70:18:12 no dependió de la calidad de la luz.

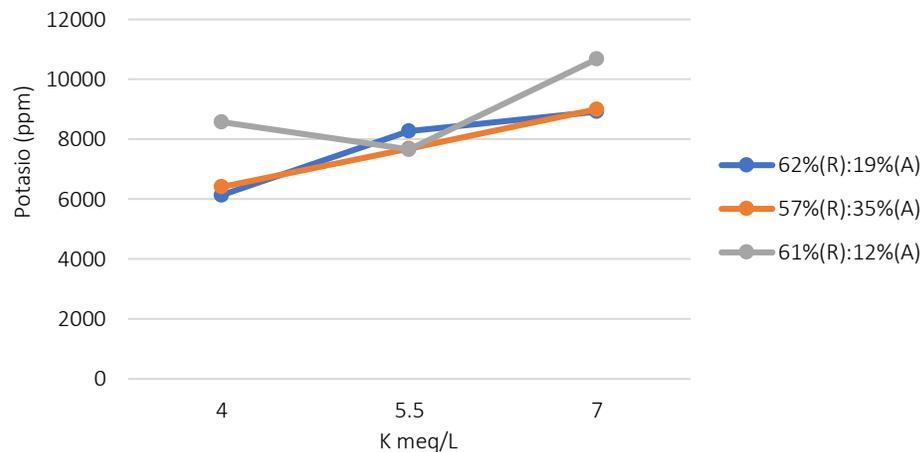


Figura 23. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en potasio (K) por hojas en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

La Figura 23 muestra que, al aumentar el K en la solución nutritiva, el K foliar tiende a aumentar cuando se aplicó luz azul al 19%. La mayor ppm de K se obtuvo cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 61% y 12% de luz roja y azul respectivamente (Cuadro 6), lo cual fue aún mayor cuando la concentración de K fue de 7 meq/L. Matysiak (2021) mostró contenidos bajos (7.7 %) en la concentración de K en plantas de lechuga cultivadas bajo luz rojo+verde+azul 70:18:12.

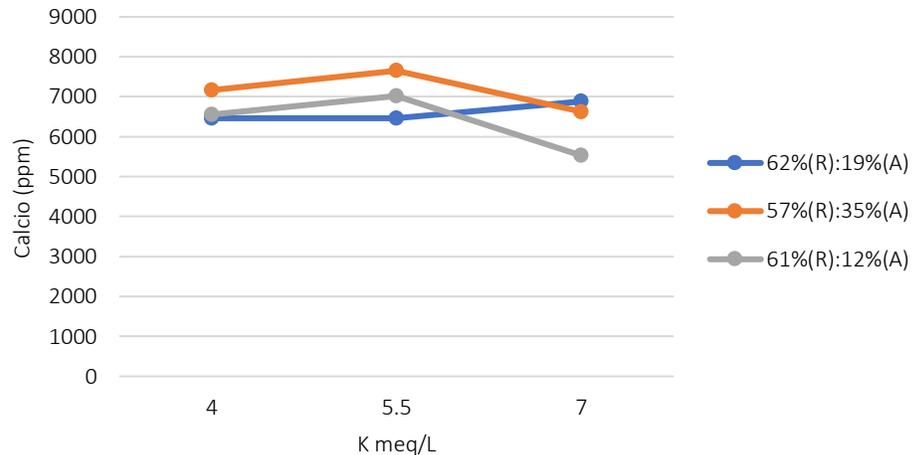


Figura 24. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en calcio (Ca) por hojas en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

La Figura 24 muestra que, al aumentar el K, el Ca foliar tiende a disminuir cuando se aplicó luz azul al 12%. La mayor concentración Ca se obtuvo cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 57% y 35% de luz roja y azul respectivamente (Cuadro 6), lo cual fue aún mayor cuando la concentración de K fue de 5.5 meq/L (Figura 24) Amoozgar *et al.* (2017) señalan que la mayor concentración de Ca se obtuvo de las plantas cultivadas bajo LEDs azules y blancos, de acuerdo a la Figura 24 a mayor concentración de luz azul mayor concentración de Ca, lo cual es contrario al de Matysiak *et al.* (2021) quienes muestran que una mayor acumulación de Ca en las plantas de lechuga romana 'Elizium' bajo lámparas LED que emiten luz blanca en comparación con luz roja monocromática y luz roja en combinación con luz azul, así como bajo luz blanca complementada con luz azul.

Por el contrario, Pennisi *et al.* (2019) mostraron que la acumulación de Ca no dependía de la calidad de la luz, incluso si había una variación relativamente grande en la proporción de luz roja a luz azul (de 0.5 a 4).

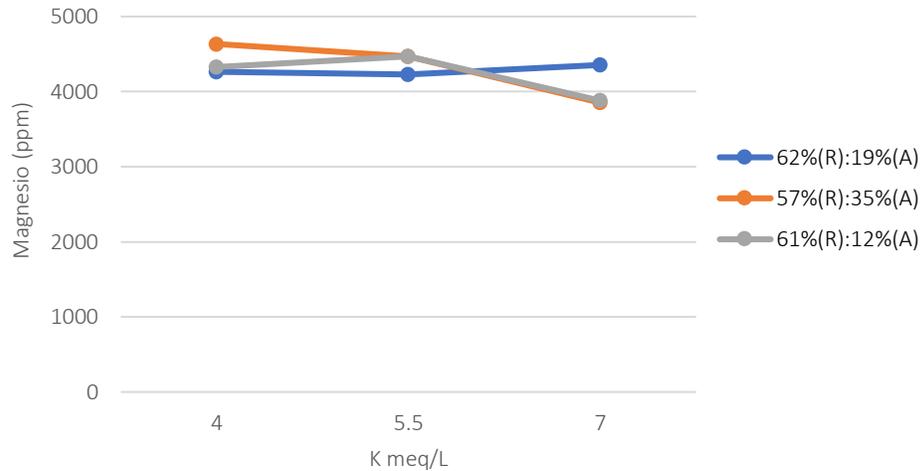


Figura 25. Efecto del balance de luz roja (R) y azul (A) en magnesio (Mg) por hojas en la planta de fresa (*Fragaria ananassa*) en un sistema vertical en función de la concentración de potasio (K) en la solución nutritiva.

La Figura 25 muestra que, al aumentar el K, el Mg foliar tiende a disminuir cuando se aplicó luz azul al 35%. La mayor concentración de Mg se obtuvo cuando las plantas se desarrollaron con un balance de 57% y 35% de luz roja y azul respectivamente (Cuadro 6), lo cual fue aún mayor cuando la concentración de K fue de 4 meq/L (Figura 25) Amoozgar *et al.* (2017) reportan que el contenido de Mg fue significativamente mayor en las plantas de lechuga cultivadas bajo irradiación de LED azul + rojo y blanco. Matysiak (2021) mostró contenidos bajos (0.34 %), en la concentración de Mg en plantas de lechuga cultivadas bajo luz rojo+verde+azul 70:18:12.

CONCLUSIÓN GENERAL

Un balance de 61% (R):12%(A) permitió un mayor número y peso de coronas, sin embargo, disminuyó en el peso fresco de las hojas y raíz. Los niveles de K y balance de luz roja y azul no afectaron los parámetros de fotosíntesis, conductancia estomática y tasa de transpiración, sin embargo, el balance 61%(R):12%(A) permitieron mayor acumulación mineral en las hojas. Las concentraciones de K evaluadas en el experimento no afectaron significativamente en el crecimiento vegetativo, sin embargo, al aumentar los niveles de K a 5.5 meq, se elevaron, se elevaron los contenidos de P, Ca y Mg, pero con 7 meq hubo un antagonismo con Ca y Mg.

REFERENCIAS

- Adak N. (2019). Effect of different K^+/Ca^{2+} ratios on yield, quality and physiological disorder in soilless strawberry cultivation. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*.18.
- Afrin S., & Forbes H. (2016). Promising health benefits of strawberry: a focus on clinical studies. *Journal Agriculture Food Chemical*. 64: 4435–4449.
- Akhatou I., y Fernández Á. (2014). Influencia del cultivar y el sistema de cultivo en la calidad nutricional y organoléptica de la fresa. *Revista de Ciencia de Alimentación y la Agricultura*. 94:866–875.
- Allen G., Richard P., Raes L., Smith M. (2018). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Calculating Crop Water Requirements*; FAO Irrigation and Drainage Document 56; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- Amal N., Ahmed B., Oumaima E., Lamiae G. (2022). Effect of potassium source and dose on strawberry fruit yield and quality. *American Journal of Plant Sciences*. 13:1196-1208. [Doi: 10.4236/ajps.2022.139081](https://doi.org/10.4236/ajps.2022.139081).
- Amoozgar A., Mohammadi A. & Sabzalian MR (2017). Impact of irradiation with light-emitting diodes on photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. *Photosynthetics*. 55: 85-95. [Doi: 10.1007/s11099-016-0216-8](https://doi.org/10.1007/s11099-016-0216-8)
- Amtmann A., Troufflard S., Armengaud P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiology Plant*. 133:682–691
- Appolloni E., Orsini F., Pennisi G., Gabarrell X., Paucek I., & Gianquinto G. (2021). Supplemental LED lighting effectively enhances the yield and quality of greenhouse truss tomato production: Results of a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 12:596927. [Doi.org/10.3389/fpls.2021.596927](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.596927)
- Atlas Agroalimentario (2019). Recuperado el 20 de agosto de 2022. <file:///C:/Users/Microsoft%20Windows%2010/Downloads/Proyecto/AtlasAgroalimentario-2019.pdf>
- Bassil H., Liang Y., Ohto K., Ushijima R., Esumi, A., Belmonte E. (2011). Blumwald *Arabidopsis* Na^+/H^+ antiporters NHX1 and NHX2 control vacuolar pH and K^+ homeostasis to regulate growth, floral development and reproduction *Plant Cell*. 23:3482 – 3497.
- Broadley MR., Bowen HC., Cotterill HL., Hammond JP., Meacham MC., Mead A., White PJ. (2004). Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms.

- Journal of Experimental Botany. 55:321–336.
- Campbell CR., & Miner GS. (2000). Strawberry, annual hilly crop Campbell, CR Reference sufficiency ranges for plant testing in the southern United States. North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services Southern Cooperative Series Bulletin.
- Casbis G., Andrade O., Sotelo H. y Cardoso A. (2020). Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11:1337-1348.
- Chen X., Wang C., Chang Y., & Zhong G.(2019). Sugar accumulation and growth of lettuce exposed to different illumination modes of red and blue LED light. *Scientific Report*. 9:6926. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43498-8>
- Cheng MC., Kathare PK., Paik I., Huq E. (2021). Phytochrome Signaling Networks. *Annu Journal Plant Biology*. 72:217-244. [Doi: 10.1146/annurev-arplant-080620-024221](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-080620-024221).
- Choi H., Moon B., & Kang N. (2015). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Science Horticulture*. 189:22–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.022>.
- Demmig A., & Adams W. (2002). Antioxidants in photosynthesis and human nutrition. *Science*. 298: 2149–2153. [Doi: 10.1126/science.1078002](https://doi.org/10.1126/science.1078002).
- Devireddy AR, Liscum E., Mittler R. (2020). Phytochrome B Is Required for Systemic Stomatal Responses and Reactive Oxygen Species Signaling during Light Stress. *Plant Physiology*. 184:1563-1572. [Doi: 10.1104/pp.20.01084](https://doi.org/10.1104/pp.20.01084).
- Dueck A., Van I., & Taulavuori K. (2016). Signaling, and Plant Responses to Spectral Quality and Photoperiod in Natural and Horticultural Settings. *Environmental and Experimental Botany*. 121:1-3. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.012>
- Durner E. (2015). Photoperiod affects floral ontogeny in strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) plug plants. *Scientia Horticulture*. 194:154-159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.006>.
- Ebrahimi R., Ebrahimi F., & Ahmadizadeh M. (2012). Growth and yield of strawberries under different potassium concentrations of hydroponic system in three substrates. *World Review of Applied Sciences*, 16:1380-1386.
- FAOSTAT. (2020). Base de datos estadísticos de la FAO. Consultado en agosto de 2022. <http://www.fao.org/faostat/es/#data>.
- Ferrante A., & Mariani L. (2018). Agronomic management to improve plant tolerance to abiotic stress: high and low values of temperature, light intensity and relative

- humidity. *Horticulture*. 4:21. [Doi:10.3390/horticulturae4030021](https://doi.org/10.3390/horticulturae4030021)
- Folta M., & Childers S.(2008).Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *Horticulture Science*.43:1957-1964.
- Folta M., & Carvalho D. (2015). Photoreceptors and control of Characteristics of horticultural plants. *Horticulture Science*. 50:1274–1280.
- Fontanesi Z., Rambla J., Cabeza A. (2012). Genetic analysis of strawberry fruit aroma and identification of O-methyltransferase FaOMT as the locus controlling natural variation in mesifuran content. *Plant Physiology*. 159: 851–870. [10.1016/j.foodchem.2010.06.029](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.029).
- Ginzburg N., & Klein D. (2020). LED pre-exposure shines a new light on drought tolerance complexity in lettuce (*Lactuca sativa*) and rocket (*Eruca sativa*). *Environmental Experimental Botany* 180:104240. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104240>
- Golam J., Yue C., Chaochao L., Yang Y. (2022). Light regulation of potassium in plants, *Plant Physiology and Biochemistry*. 170:316-324, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.019>.
- González R., Rebollar R., Hernández M., Morales H., & Ramirez A.(2019). Current situation and perspectives of the production of berries in Mexico. *Mexican Magazine of Agribusiness*. 44:260-272.
- González J., Sandra A., Mateos G., Valdez A., Moncada Y., y García A.(2020). Respuesta de fresa cv. Festival a la salinidad. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43:53-60.
- Goto E. (2003). Effects of Light Quality on Growth of Crop Plants under Artificial Lighting. *Environment Control in Biology*. 41:121–132. [Doi:10.2525/ecb1963.41.121](https://doi.org/10.2525/ecb1963.41.121)
- Hasan M., Bashir T., Ghosh R., Lee SK, Bae H. (2017). An Overview of LEDs' Effects on the Production of Bioactive Compounds and Crop Quality. *Molecules*. 27:1420. [Doi: 10.3390/molecules22091420](https://doi.org/10.3390/molecules22091420)
- Hasing F., T., Johnson TS. (2021). Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds. *Horticulture Res*. 8:66. [Doi.org/10.1038/s41438-021-00502-5](https://doi.org/10.1038/s41438-021-00502-5)
- Hatfield JL., Prueger JH. (2015). Extreme temperatures: effect on plant growth and development. *Weather Ends*. 10:4–10.
- Hee L., Hyun K., Won J., Myeong N., In L., Mun L., Tae K., Eun L. & Jong C. (2019). Changes in Chemical Characteristics of Drainage Solution as Influenced by Years of Root Media Use in Successive Hydroponic Cultivations of Seolhyang Strawberries.

37:375-383.

- Hidaka K. (2014). Effect of photoperiod of supplemental lighting with light emitting diodes on growth and yield of strawberry. *Environmental Control Biology*. 52:63–71.
- Hoenecke M., Bula R., & Tibbitts T. (1992). Importance of Blue Photon Levels. *Hortscience*. 27:427-430
- Hong W., Guohua C., & Ronald L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal Agricultural Food Chemistry*. 44: 701-705. [Doi:10.1021/jf950579y](https://doi.org/10.1021/jf950579y)
- Jin P., Wang S., Wang, C. Y., & Zheng Y. (2011). Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. *Food Chemistry*. 124:262–270. [Doi:10.1016/j.foodchem.2010.06.029](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.029)
- Jing Y. (2009). Cryptochrome effect on mineral element absorption. MSc Thesis, Hunan University. Hunan.
- Johkan M., Shoji K., Goto F., Hashida S., & Yoshihara T. (2010). Blue light emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplantation in lettuce. red leaf. *Horticulture Science*. 45:1809–1814. [Doi: 10.21273/hortsci.45.12.1809](https://doi.org/10.21273/hortsci.45.12.1809).
- Juárez CR., Castillo J., Montoya R., González C., y Santiago G. (2020). Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 21:1-13
- Kessel D. (2012). Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) a través de métodos biotecnológicos. *Cultivos Tropicales*, 33:34-41. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193223814005>
- Kirschbaum D., & Borquez A. (2006). Mineral nutrition of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). In: Memory of the III National Symposium of Morango, II Meeting on small fruits and native fruits of Mercosul. Balls, Brasil, 117-1.
- Koehler G., Goodpaster J., Sønstebj A., Witzmann F. (2012). Proteomic study of low-temperature responses in strawberry cultivars (*Fragaria ananassa*) that differ in cold tolerance. *Plant Physiology*. 159:1787–805.
- Kumar A., Avasthe RK., Rameash K., Pandey B., Denzongpa R., & Rahman H. (2011). Influence of growing conditions on yield, quality and diseases of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) var Ofra and Chandler in the middle foothills of Sikkim Himalayas. *Scientia Horticulture*. 130:43–48. [Doi:10.1016/j.scienta.2011.05.034](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.05.034)
- Kumar P., Singh N., Tuteja R., Prasad J. (2020). Singh Potassium: a key modulator for cellular homeostasis. *Journal Biotechnology*. 324:198 – 210.

- Lee S., Wang W., & Huq E. (2021). Spatial regulation of thermomorphogenesis by HY5 and PIF4 in *Arabidopsis*. *nature communications*. 12: 3656. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24018-7>
- Li B., Johnson W., Abigail K., Stavridou E., Deakin G., & Harrison R. (2020). Definition of strawberry shape uniformity using 3D imaging and genetic mapping. *Horticultural Research*. 7:115 [Doi.org/10.1038/s41438-020-0337-x](https://doi.org/10.1038/s41438-020-0337-x).
- Li Y., Ji W., Zhu Z., & Wang X. (2012). Effect of supplemental LED lighting on the growth of strawberry plants. *Photonics and Optoelectronics Symposium*. [Doi:10.1109/sopo.2012.6270919](https://doi.org/10.1109/sopo.2012.6270919).
- Lin C. (2002). Blue light receptors and signal transduction. *Plant Cell*. 14: S207-S225. [Doi: 10.1105/tpc.000646](https://doi.org/10.1105/tpc.000646).
- López P., Cárdenas N., Philippe L., Martínez C., y Escalante L. (2005). Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia*. 28: 171-174.
- López V., Sánchez G., Acuña C., Jhon F., y Fischer G. (2018). Propiedades fisicoquímicas de siete variedades destacadas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) cultivadas en Cundinamarca, durante su maduración. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 19:147-162.
- Marschner P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Elsevier. 3:651.
- Mengel K., Kirkby EA., Kosegarten H., Appel T. (2001). *Principles of plant nutrition*. Springer Dordrecht. 5:849. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Mori Y., Takatsuji M., Yasuoka T. (2002). Effects of pulsed white LED light on the growth of lettuce. *Journal Stage*. 14: 136-140. <https://doi.org/10.2525/jshita.14.136>
- Morrow R. (2008). LED Lighting in horticulture. *Horticulture Science*. 43:1947–1950.
- Murakami K., & Aiga I. (1993). Growth control of plants by spectral regulation under natural light -The effects of special glass with intercepts the radiation beyond 700 nm. *Environmental Control in Biology*. 31: 101-104.
- Murakami K., Cui H., Aiga I., & Yarnane T. (1997). Control of plant growth by covering materials for greenhouses which alter the spectral distribution of transmitted light. *Acta Horticulture*. 435: 123-130.
- Nestby R., & Trandem N. (2013). Supplemental LED grow light on montante strawberry at high latitudes. *Berry Research Journal*. 3:217–226. [Doi:10.3233/jbr-130060](https://doi.org/10.3233/jbr-130060)
- Nieves C., López D., Ródenas R., Rubio F., Rivero M.(2019). Critical responses to nutrient deprivation: a comprehensive review on the role of ROS and RNS Reign. *Environmental and Experimental Botany*. 161:74 – 85. [Doi:](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.07.010)

[10.1016/j.envexpbot.2018.10.039](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.039)

- Olsson ME., Gustavsson KE, Nilsson J., Pillai D., Sjöholm I., Svensson U., Akesson B., Nyman MG. (2004). Antioxidants, low molecular weight carbohydrates, and total antioxidant capacity in strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects of cultivar, ripening, and storage. *Journal Agriculture Food Chemical*. 52:2490–2498
- O'Sullivan CA., Hani CL., Hochman Z., y Bonnett GD. (2020). Las granjas verticales dan sus frutos. *Biotecnología de la Naturaleza*. 38:160–162. [Doi:10.1038/s41587-019-0400-z](https://doi.org/10.1038/s41587-019-0400-z)
- Pardo JM., y Rubio F. (2011). Transportadores de Na⁺ y K⁺ en señalización en plantas. Heidelberg, Springer. 65–98.
- Pennisi G., Orsini B., Cellini C., Braschi I., Spinelli F., Fernandez S. (2019). Resource efficiency of growing lettuce (*Lactuca sativa* L.) indoors affected by the red: blue ratio provided by LED lighting. *Science Rep*. 9:14127.
- Pinho P., & Halonen L. (2012). Horticultural lighting present and future challenges. *Lighting Research & Technology*. 44: 427-437.
- Prasad R., & Tomasz K. (2022). Yield and morphological parameters, dry matter distribution, nutrient uptake and distribution in strawberry (*Fragaria × ananassa Duch.*) cv. Elsanta according to the influence of spent fungal substrates and planting seasons. *Agronomy* 12: 4: 854. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040854>.
- Preciado R., Troyo D., Valdez AL., García H., & Luna O. (2020). Interactive Effects of the Potassium and Nitrogen Relationship on Yield and Quality of Strawberry Grown Under Soilless Conditions. *Plants* 9:441.
- Ragel P., Raddatz N., Quintero FJ, Pardo JM. (2019). Regulation of K⁺ Nutrition in Plants *Front Plant Science*. 20:281. [Doi: 10.3389/fpls.2019.00281](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00281).
- Rahman MM., Field DL., Ahmed SM., Hasan MT., Basher MK., Alameh K. (2021). LED Illumination for High-Quality High-Yield Crop Growth in Protected Cropping Environment *Plants*. 10:2470. [Doi: 10.3390/plants10112470](https://doi.org/10.3390/plants10112470)
- Ramos G., & Ramírez L. (2016). Development of an LED artificial lighting system for indoor crops Vertical Farming (VF). *Technical Informant*. 80:111-120. [Doi: 10.23850/22565035.480](https://doi.org/10.23850/22565035.480)
- Rogiers Y., Greer H., Moroni J., Tintu B. (2020). Potassium and magnesium mediate the light and CO₂ photosynthetic responses of Grapevines. *Biology*. 9:144.
- Roriz M., Carvalho MP., Vasconcelos W. (2014). MW High relative air humidity influences mineral accumulation and growth in iron-deficient soybean plants. *Front Plant Science*. 5:726.

- Samtani J., Friedrich H., Fennimore SA., Finn CE., Petran A., Wallace RW., Pritts MP., Fernandez G., Chase CA., Kubota C., & Bergfeld B. (2019). The State and Future of the Strawberry Industry in the United States. *Horticulture Technology*. 29:11-24. <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/29/1/articlep11.xml>
- Schwarz K., Vilela R., Tadeu P., Junior P., Tauffer B., Souza L., & Brendler O. (2018). Yield and nutrition of greenhouse-grown strawberries (*Fragaria ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier. cv. Camarosa) as affected by potassium fertilization. *Agronomic Act*. 67:114-119, [Doi.org/10.15446/acag.v67n1.59553](https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.59553)
- Serio F., Leo J., Parente A., Santamaría P.(2015).Potassium nutrition increases the lycopene content of Tomato Fruit. *Journal Horticulture Biotechnology Science*. 82: 941 – 945
- Shamaila B., Shujaul M., Khan Adil, Inayat R., Ijaz S., & Raees K. (2016). The effect of potassium on growth and yield of strawberry (*Fragaria ananassa* (Duchesne Ex Weston) Duchesne Ex Rozier). *Pak. Journal Botany*, 48: 1407-1413.
- SIACON. (2019). Sistema de Información Agroalimentario de Consulta. Modulo Agrícola estatal del SIACON-NG. México: SIAP-SADER. Recuperado el 22 de agosto de 2022. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- Silvestri C. (2019). Influence of continuous spectrum light on morphological traits and leaf anatomy of hazelnut plantlets. *Front Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01318>.
- Smith BJ., Rezazadeh A., Stafne ET., Sakhanokho HF. (2022). Effect of light-emitting diodes, ultraviolet-B, and supplemental greenhouse fluorescent lights on strawberry plant growth and response to infection by the anthracnose pathogen *Colletotrichum gloeosporioides*. *Horticulture Science*. 57:856- 863. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/57/8/article-p856.xml>
- Smith H. (1994). Sensing the light environment: the functions of the phytochrome family, in *Photomorphogenesis in Plants*. Kluwer Academic Publishers. 2:377-416.
- Smith H. (2000). Phytochromes and light signal perception by plants-an emerging synthesis. *Nature*. 407: 585-591.
- Song J., Hao Y., Song S., Zhang Y., Su W., Liu H. (2020).Nutritional quality, mineral and antioxidant content in lettuce affected by the interaction of light intensity and concentration of Nutrient Solution *Science Rep*. 10:2796.
- Spalding E., & Folta M. (2005). Illuminating topics in plant photobiology. *Plant, Cell and Environment*. 28: 39-53.
- Stefano N., Zucchi P., & Andreotti C. (2017). Effects of blue and red LED lights on

- soilless cultivated strawberry growth performances and fruit quality. *European Journal for Horticultural Science*. 82:12-20. [Doi.10.17660/eJHS.2017/82.1.2](https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.1.2).
- Tennessen J., Singsaas EL., Sharkey TD. (1994). Light emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynth Res*. 39: 85-92
- Terrones R., Ivonne C., Grisel F., Verna Á., Dorantes J., Martínez L., & Caamal P., (2022). Analysis of the Economic variables that determine strawberry exports from México to the United States of America. *Mexican Journal of Agricultural Sciences*. 13:631-40. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2532>.
- Torres Q., Zotarelli L., Whitaker VM, Santos BM., & Hernandez O. (2015). Initial crown diameter of bare root strawberry transplants affects early and full fruit yield, *American Society for Horticultural Science*. 25:203-208. <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/25/2/articlep203>.
- Trejo T., & Gomez M. (2014). Nutrient management in strawberry: Effects on yield, quality and plant health. Nova Science Publishers. 39–267.
- Vazifeshenas K., Rajae S., Jamalian S. (2009). Effect of potassium on ion leakage, water use, fruit yield and biomass production in cultivated strawberry plants under NaCl stress. *Journal of Ornamental Fruit and Plant Research*.17:79-88.
- Verdaguer D., Jansen MA, Llorens L., Morales L., & Neugart S. (2017). Effects of UV-A radiation on higher floors: exploring the known unknown. *Plant Science*. 255:72–81. Doi: [10.1016/j.plantsci.2016.11.014](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.014)
- Verma S., Zurn J., Salinas N. (2017). Elucidation of subgenomic positions of QTLs for flowering habit and fruit quality in breeding populations of US strawberries (*Fragaria ananassa*) using pedigree-based QTL analysis. *Horticulture Res*. 4:17062. [Doi.org/10.1038/hortres.2017.62](https://doi.org/10.1038/hortres.2017.62)
- Wang Y., Chen Y., Wu W. (2021). Transport and signaling of potassium and phosphorus in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*. 63: 34 – 52
- Warner R., Wu B., MacPherson S., Lefsrud M. (2021). A Review of Strawberry Photobiology and Fruit Flavonoids in Controlled Environments. *Frontiers in Plant Science*. 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.611893>.
- White J., & Karley J. (2010). Potassium. In *Cellular biology of metals and nutrients*. Springer, Heidelberg. 17:199–224. Doi:[10.1007/978-3-642-10613-2_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-10613-2_9)
- Yang J., Li C., Kong F., Guo H. Wei (2020). Light-mediated signaling and metabolic changes coordinate the opening and closing of stomata. *Front Plant Science*. 11:601478
- Yavari S., Eshghi S., Tafazoli E., Karimian N. (2009). Absorption of mineral elements

and strawberry growth influenced by organic substrates. *Journal Plant Nature*.32: 1498–1512.

Yongsheng L., Sherry R., Zhibiao Y., & Jim G. (2004). Manipulation of light signal transduction as a means of modifying fruit nutritional quality in tomato. *Academic Science Biology*. 101: 9897-9902.

Yoshimura T., Nishiyama M., Kanahama K. (2002). Effects of red or far-red light and red/far-red ratio on the shoot growth and flowering of *Matthiola incana*. *Journal Japan Society Horticulture Science*.71: 575-582.

Yuanchun M., An X., Zong M. (2021). Effects of light emitting diode lights on plant growth, development, and traits: a meta-analysis. *Journal of Horticultural Plants*. 7: 552-564.

Zareei E., Karami F., Gholami M., Ahmad E., Sable A., Rishi A., Gholamreza G., & Muhammad F. (2021). Physiological and biochemical responses of strawberry crown and leaf tissues to freezing stress. *BMC Plant Biology*. 21:532. [Doi.org/10.1186/s12870-021-03300-2](https://doi.org/10.1186/s12870-021-03300-2)