

Calidad de luz de lámparas fluorescentes en el crecimiento de pepino y severidad de *Oidium* sp.

Norma Delia Zazueta-Torres¹
Moisés Gilberto Yáñez-Juárez²
Felipe Ayala-Tafoya^{2§}
Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz²
Carlos Alfonso López-Orona²
Tomás Díaz-Valdés³

¹Doctorado en Ciencias Agropecuarias-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Autónoma de Sinaloa. Boulevard San Ángel s/n, fraccionamiento San Benito, predio Las Coloradas, Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80246. (norma.zazueta2812@hotmail.com). ²Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Culiacán, Sinaloa, México. AP. 25. CP. 80000. (moisesyj@uas.edu.mx; teresadejesus.v@yahoo.com.mx; clopezorona@uas.edu.mx). ³Dirección de Gestión de Investigaciones Científicas-Universidad Central del Este. Ave. Francisco Alberto Caamaño Deñó, San Pedro de Macorís, República Dominicana. CP. 21000. (tdiaz10@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: tafoya@uas.edu.mx.

Resumen

La calidad de la luz afecta el desarrollo de plantas, por los efectos específicos sobre la fotosíntesis, fotomorfogénesis, procesos fisiológicos y bioquímicos. También tiene un papel importante en las interacciones planta-patógeno y controla varias actividades metabólicas de hongos que determinan su patogenicidad y severidad. Se realizaron tres experimentos bajo diseños completamente al azar para conocer la influencia de lámparas fluorescentes de luz blanca fría, neutra y cálida, sobre la morfología y crecimiento de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) y la severidad de la cenicienta (*Oidium* sp.). En las cámaras de crecimiento utilizadas, la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) promedió 305 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pero los parámetros espectrales relacionados con la luz roja (R:LBC> LBN> LBF) y la luz azul (A:LBF> LBN> LBC) fueron contrastantes. La mayor cantidad absoluta de luz R (122.04 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), cantidad relativa de R:DFFF (40.09%) y cantidad proporcional de R: A (2.67) y R:RL (3.25) de LBC promovieron mayor altura, área foliar, peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz de las plantas, mientras que, la mayor cantidad absoluta de luz A (84.19 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), cantidad relativa de A:DFFF (27.48%) y cantidad proporcional de A:R (1.04) y A:RL (2.65) de LBF indujeron menor altura de planta y mayor grosor de tallo e índice de verdor foliar. Los parámetros espectrales de LBF también perturbaron el desarrollo de *Oidium* sp., que se reflejó en menor severidad de la cenicienta en comparación con LBN o LBC.

Palabras claves: *Cucumis sativus* L., cenicienta, luz azul, luz roja.

Recibido: enero de 2022

Aceptado: abril de 2022

Introducción

La calidad de la luz, el flujo de fotones y el fotoperíodo son aspectos de la luz que afectan el desarrollo de las plantas, por los efectos específicos que éstos tienen sobre diferentes tipos de respuestas de las plantas, como la fotosíntesis, fotomorfogénesis y otros procesos fisiológicos y bioquímicos (Hogewoning *et al.*, 2010; Nelson y Bugbee, 2015; Snowden *et al.*, 2016; Yan *et al.*, 2019). La lámpara fluorescente compacta representa una forma simple y económica de reemplazar a la lámpara incandescente utilizada en cámaras de crecimiento (Runkle *et al.*, 2012).

El espectro de luz emitido por una lámpara fluorescente compacta es diferente al de una lámpara incandescente. Una lámpara incandescente emite más luz roja lejana (RL= 700-800 nm) que roja (R= 600-700 nm) y tiene baja proporción R:RL, de 0.7, aproximadamente (Runkle *et al.*, 2012; Gupta y Jatothu, 2013), que provoca alargamiento de tallos, expansión foliar y otras respuestas inducidas por fitocromos (Casal, 2013; Demotes-Mainard *et al.*, 2016). En contraste, la lámpara fluorescente compacta emite más luz azul (A= 400-500 nm) y roja, y poca de rojo lejano, por lo que la proporción R:RL es entre 3 y 8, dependiendo de las bandas de onda utilizadas y el modelo de lámpara, las cuales inducen crecimiento de plantas más compactas (Runkle *et al.*, 2012; Gupta y Jatothu, 2013).

Los diodos emisores de luz (leds) emergieron como una fuente de luz novedosa y eficiente para promover el crecimiento de las plantas en cámaras de investigación con espacio limitado (Cope y Bugbee, 2013). Con leds se puede proporcionar luz roja o azul monocromática, pero ninguna de éstas logra satisfacer el requisito del crecimiento normal de la planta (Wang *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2017). Sin embargo, cuando se suministran adecuadas proporciones R:A, suplementadas o no con otras longitudes de onda: UV-A (350-400 nm), verde (500-600 nm) o rojo lejano, se obtiene mayor compactidad en plántula de tomate (Javanmardi y Emami, 2013; Hernández *et al.*, 2016), mayor biomasa, clorofila y capacidad fotosintética de plántulas de pepino (Hogewoning *et al.*, 2010; Song *et al.*, 2017) y tomate (Xiaoying *et al.*, 2012), óptima producción de plántulas de lechuga (Yan *et al.*, 2019) y papa (Chen *et al.*, 2020).

No obstante, varios estudios han informado mayor crecimiento bajo lámparas fluorescentes en comparación con leds con el mismo flujo fotónico (Lin *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014). Las lámparas fluorescentes tienen más luz difusa en comparación con la luz directa de los leds. La luz difusa penetra mejor en el dosel vegetal que la luz directa e incrementa la fotosíntesis y la biomasa seca (Li y Yang, 2015). Las lámparas fluorescentes también aumentan la radiación infrarroja (Nelson y Bugbee, 2015) y tienen algo de radiación RL (Snowden *et al.*, 2016), lo cual aumenta la expansión de hojas y pecíolos y por lo tanto, la captura de radiación.

Está disponible una diversidad de lámparas fluorescentes compactas que difieren en flujo luminoso (lm); eficacia luminosa (lm W^{-1}), vida útil (h), índice de rendimiento de color (IRC) y apariencia de color, más comúnmente descrita como temperatura de color y expresada en unidades Kelvin (K). De la cual hay mayor disponibilidad en tres grupos principales: 2 700 a 3 000 K, que produce luz blanca cálida similar a la de las lámparas incandescentes, 3 500 a 4 100 K de luz blanca neutra o natural y 5 000 a 6 500 K de luz blanca fría, que proporciona luz con tonalidad azul (Saavedra *et al.*, 2016).

La luz es un factor ambiental importante también para los hongos, que tiene un papel importante en las interacciones planta-patógeno y controla varias actividades metabólicas de hongos patógenos (Rahman *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2010). Se ha descubierto que más de 100 especies de hongos, que representan todos los filos, responden al efecto de la luz (Tisch y Schmoll, 2010). Entre las actividades metabólicas que regula están incluidos los ritmos circadianos, la conidiación asexual, la pigmentación, el metabolismo secundario y el desarrollo sexual (Purschwitz *et al.*, 2006; Suzuki *et al.*, 2018).

Aunque la interacción entre la luz y los hongos ha sido estudiada y revisada por varios investigadores (Idnurm y Heitman, 2005; Purschwitz *et al.* 2006; Chen *et al.*, 2009), los informes sobre el efecto de la calidad de la luz en la patogenicidad o la virulencia de los hongos son limitados. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto del espectro luminoso emitido por lámparas fluorescentes compactas de luz blanca fría, neutra y cálida, sobre el crecimiento de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) y la severidad de cenicilla de las cucurbitáceas (*Oidium* sp.).

Materiales y métodos

La investigación se realizó dentro de cámaras de crecimiento de 44 x 70 x 80 cm (246 400 cm³) con malla tejida de 16 x 16 monofilamentos cristalinos de polietileno de alta densidad por cm², en todos sus lados y los costados revestidos con papel Mylar de alta reflectancia (Figura 1) en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Se sembraron semillas de pepino 'Poinsett 76' en charolas de poliestireno de 128 cavidades y cuando las plántulas contaron con dos hojas verdaderas, fueron individualmente trasplantadas en vasos de poliestireno de 0.5 L. En ambos tipos de contenedores se utilizó turba (Pro-Mix[®] FLX, Premier Horticulture, EE UU) como sustrato y fueron regados hasta saturación con una solución fertilizante (pH= 6.5 a 7 y CE= 1.12 a 1.35 dS m⁻¹) compuesta por 0.5 a 1.2 g L⁻¹ de fosfato monopotásico y 0.3 a 0.7 g L⁻¹ de nitrato de potasio.



Figura 1. Plantas de pepino dentro de cámara de crecimiento con iluminación de lámparas fluorescentes de luz blanca fría (LBF, izquierda), neutra (LBN, centro) y cálida (LBC, derecha).

Se utilizaron lámparas fluorescentes (FLE23HLX, GE, EE. UU) de luz blanca fría (LBF= 6 500 K), neutra (LBN= 4 000 K) y cálida (LBC= 2700 K). La medición del flujo de fotones, en el rango de 350 a 1 050 nm, fue realizada con espectrorradiómetro (Field SpecPro®Vnir, ASD, EE. UU), obteniéndose: a) cantidad absoluta de la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF= 400 a 700 nm), luz azul (A= 400 a 500 nm), luz roja (R= 600 a 700 nm) y luz roja lejana (RL= 700 a 800 nm); b) cantidad relativa (% del total de DFFF) de luz azul (A:DFFF) y roja (R:DFFF); y c) cantidad proporcional de luz azul a roja (A:R), azul a roja lejana (A:RL), roja a azul (R:A) y roja a roja lejana (R:RL) (Cuadro 1). El espectro de luz de las tres lámparas fluorescentes se muestra en la Figura 2.

Cuadro 1. Parámetros de calidad de la luz emitida por lámparas fluorescentes de luz blanca fría (LBF), neutra (LBN) y cálida (LBC).

Parámetro/tipo de lámpara	LBF	LBN	LBC
DFFF (400-700 nm) ^x	306.4	305.25	304.37
A (400-500 nm) ^x	84.19	64.87	45.74
R (600-700 nm) ^x	81.34	100.44	122.04
RL (700-800 nm) ^x	31.79	33.93	37.51
A:DFFF [(400-500/400-700 nm)*100] ^y	27.48	21.25	15.03
R:DFFF [(600-700/400-700 nm)*100] ^y	26.55	32.9	40.1
A:R (400-500/600-700 nm) ^z	1.04	0.65	0.37
A:RL (400-500/700-800 nm) ^z	2.65	1.91	1.22
R:A (600-700/400-500 nm) ^z	0.97	1.55	2.67
R:RL (600-700/700-800 nm) ^z	2.56	2.96	3.25

DFFF= densidad de flujo de fotones fotosintéticos. A= luz azul; R= luz roja; RL= luz roja lejana. Cantidades absolutas^x ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), relativas^y (%) y proporcionales^z (adimensional).

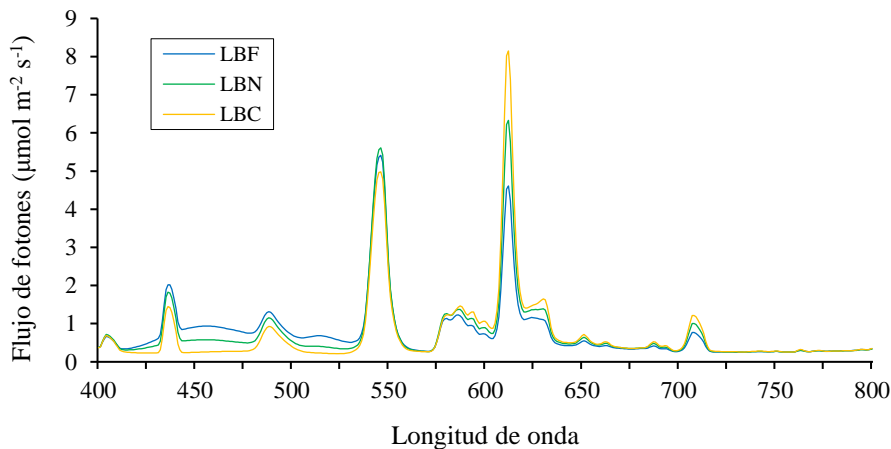


Figura 2. Distribución espectral de la luz emitida por lámparas fluorescentes de luz blanca fría (LBF), neutra (LBN) y cálida (LBC).

El ambiente luminoso presentó medias de $305.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de DFFF y $13.2 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ de luz diaria integrada, adecuado para la producción de plántula de hortalizas (Fan *et al.*, 2013). El fotoperiodo fue de 12/12 h de luz/obscuridad. La temperatura y humedad relativa, registradas con

termohigrómetros (CM-DT171, Twilight, México), presentaron medias \pm error estándar de 24.5 ± 0.15 °C y $62.5 \pm 0.6\%$, respectivamente. El nivel de CO₂ fue de 420 ± 20 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, obtenida con medidor de CO₂ (CO2-100, Amprobe, Alemania).

Para el estudio del crecimiento de las plantas se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos: lámparas fluorescentes compactas de luz blanca fría (LBF), neutra (LBN) y cálida (LBC) y cuatro repeticiones (cuatro plantas por repetición). Las plantas de pepino fueron evaluadas durante 35 días después de la emergencia (dde), período durante el cual fueron expuestas a la luz de las lámparas. El experimento se repitió tres veces, en cada uno de los cuales fueron evaluadas las siguientes variables de respuesta: altura de planta, medida con cinta métrica, diámetro de tallo, obtenido con calibrador digital (6MP, Truper, México), verdor foliar, por medio de un medidor de clorofila (SPAD 502 Plus, Minolta, Japón), área foliar, obtenida con un método no destructivo propuesto por Blanco y Follegati (2003), biomasa fresca y seca de hojas, tallo y raíz por planta, mediante balanza analítica (SA120, Scientech, EE. UU), previo secado en horno (FE293AD, Felisa, México) a 70 °C, hasta peso seco constante.

Para el estudio de severidad de la cenicilla se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos: lámparas fluorescentes compactas de luz blanca fría (LBF), neutra (LBN) y cálida (LBC) y 12 repeticiones (una planta por repetición). El inóculo primario de *Oidium* sp. se obtuvo de plantas de *Cucurbita pepo* L. infectadas naturalmente.

La suspensión de conidios se preparó cepillando las hojas fuente con agua destilada y se mantuvo con una concentración aproximada de 5.1×10^4 conidios ml^{-1} mediante hemocitómetro (79003, Cole-Parmer, EE. UU). La inoculación se realizó por medio de la aspersión foliar de 30 ml de suspensión conidial por cada charola de 128 plántulas, el día que desplegaron la segunda hoja verdadera. El experimento se repitió tres veces y cada uno abarcó un período de 35 días después de la inoculación (ddi), durante el cual se determinó el porcentaje de área foliar con síntomas de la enfermedad en cada hoja de las plantas, así como el promedio de la planta completa.

Los datos obtenidos de los tres experimentos fueron promediados y sometidos al análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico Statistica versión 7.0 (StatSoft, 2004).

Resultados y discusión

La calidad de luz emitida por las lámparas fluorescentes (Cuadro 1) ocasionó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) sobre la altura, diámetro de tallo, área foliar y verdor de las plantas de pepino (Cuadro 2). El ambiente luminoso creado por lámparas LBC presentó los valores más altos de cantidad absoluta de luz roja ($122.04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), relación R:DFFF (40.1%) y proporción R:A (2.67), que ocasionó aumentos en altura de planta de 3.3 a 30.2% y 15.4 a 82.3%, en comparación con el efecto causado por lámparas LBN y LBF, las cuales emitieron 17.5 y 45.1% menos luz roja que LBC, respectivamente. El resultado de incremento de altura de planta a causa de la luz roja concuerda con el descrito en *Paeonia suffruticosa* (Ding *et al.*, 2010), *Solanum lycopersicum* (Xiaoying *et al.*, 2012), *Morus alba* (Hu *et al.*, 2016), *Camptotheca acuminata* (Yu *et al.*, 2017) y *Solanum tuberosum* (Chen *et al.*, 2020).

Los fitocromos, receptores de luz roja y roja lejana, regulan la elongación del tallo tanto por división como por extensión celular (Neff *et al.*, 2000). La actividad de los fitocromos durante el alargamiento celular se controla mediante la biosíntesis de giberelinas AG₁ y AG₄, principalmente y auxina AIA (Damayanthi-Ranwala y Decoteau, 1998; Kurepin *et al.*, 2007; Fukuda *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017).

Las lámparas LBF emitieron la mayor cantidad absoluta de luz azul (84.19 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 29.8 y 90.3% mayor comparada con las respectivas lámparas LBN y LBC, lo cual contuvo el alargamiento del tallo, pues se correlacionó negativamente con altura de planta. Estas lámparas produjeron también la más alta relación A:DFFF (27.48%) y la mayor proporción A:R (1.04), además de la más baja relación R:DFFF (26.55%) y la menor proporción R:A (0.97). Este resultado se relaciona con la capacidad de la luz azul para inhibir el alargamiento del tallo (Ding *et al.*, 2010; Xiaoying *et al.*, 2012; Hu *et al.*, 2016; Yu *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2020), como respuesta a interacciones sinérgicas entre fitocromos y criptocromos, receptores de luz roja y azul, respectivamente, en la promoción o inhibición de la elongación del tallo (Heo *et al.*, 2002).

Las características espectrales de la luz emitida por las lámparas LBF, antes referidas, también incrementaron el diámetro de tallo de 0.1 a 9.1% y 5.1 a 13.2% en comparación con el de las plantas que crecieron con luz de lámparas LBN y LBC, respectivamente, las cuales emitieron luz con relación A:DFFF (15.03 y 21.25%) y proporción A:R (0.37 y 0.65), menores que las de LBF. Li *et al.* (2017); Chen *et al.* (2020) señalan que la luz azul estimula una mayor expresión de proteínas asociadas a microtúbulos y tubulina vegetales, las cuales promueven formación de pared celular secundaria y como consecuencia, engrosamiento del tallo.

La calidad de luz emitida por las lámparas LBC, con relevancia en la luz roja, promovió aumentos de 2.2 a 14.2% y 18.6 a 25.5% en el área foliar por plántula, en comparación con el efecto ocasionado por las lámparas LBN y LBF, respectivamente.

Resultado congruente con los obtenidos por Cope y Bugbee (2013) en *Raphanus sativus* y *Glycine max* y por Hernández y Kubota (2016) en *Cucumis sativus*, donde el área foliar creció a medida que la luz azul disminuyó y la luz roja aumentó. Ambas, luz azul y roja, estimulan el flujo de protones en las células, la acidificación apoplástica, elasticidad de la pared celular y la acumulación de solutos para el mantenimiento de la turgencia de las hojas en crecimiento, mediante mecanismos separados. La luz azul induce una interacción directa entre la bomba de protones y un fotorreceptor de luz azul, mientras que la luz roja influye indirectamente en la bomba de protones modulando los canales de calcio y potasio (Staal *et al.*, 1994; Van Volkenburgh, 1999).

Mientras que, los parámetros espectrales en la luz emitida por LBF (Cuadro 2) con relevancia en la luz azul, aumentaron el verdor foliar de las plantas de 2.1 a 8% y 10.1 a 18% en comparación con el efecto ocasionado por las lámparas LBN y LBC, respectivamente. Lo anterior concuerda con investigaciones realizadas en plántulas de *Solanum lycopersicum* (Hernández y Kubota, 2016) y *Cucumis sativus* (Hogewoning *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2016), las cuales manifestaron mayor concentración de clorofila foliar conforme aumentó el flujo de fotones azules, debido al efecto aditivo de criptocromos y fitocromos, comparado con menor biosíntesis de clorofila en plantas cultivadas bajo luz azul o roja monocromática.

Cuadro 2. Altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), área foliar por planta (AFP) y verdor foliar (VF) de plantas de pepino cv Poinsett 76, cultivadas en cámara de crecimiento con lámparas de luz blanca fría (LBF), neutra (LBN) y cálida (LBC).

Parámetro	Tratamiento	Días después de la emergencia				
		7	14	21	28	35
AP (cm)	LBF	3.98 c	4.5 c	11.7 b	17.8 c	43.3 b
	LBN	5.4 b	5.59 b	12.5 b	26.2 b	48.4 ab
	LBC	6.92 a	7.28 a	14.7 a	32.4 a	50 a
	DMSH	0.97	0.96	1.5	5.1	5.48
DT (mm)	LBF	2.3 a	3.3 a	4.4 a	5.83 a	5.98 a
	LBN	2.1 b	3.2 ab	4.4 a	5.34 b	5.51 b
	LBC	2.1 b	2.9 b	4.2 b	5.21 b	5.42 b
	DMSH	0.13	0.32	0.16	0.2	0.31
AFP (cm ²)	LBF	30 b	163.6 b	529.5 b	936.1 b	1319.3 b
	LBN	48.4 a	200.9 a	579.6 b	1065.3 a	1525.1 a
	LBC	37 b	205.3 a	661.7 a	1114.8 a	1564.4 a
	DMSH	8.52	27.4	59.28	103.6	119.4
VF (u SPAD)	LBF	30.1 a	41.6 a	43.5 a	41.5 a	36.4 a
	LBN	27.9 ab	39.7 b	42 a	38.4 b	35.7 a
	LBC	25.5 b	37.8 c	37.8 b	36.1 c	33 b
	DMSH	2.94	1.84	1.63	1.99	1.82

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

La producción de biomasa de hojas, tallo y raíces por las plantas de pepino también presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) debidas a la calidad de luz emitida por las lámparas fluorescentes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Peso fresco (PF) y seco (PS) de hojas, tallo y raíz de plantas de pepino cv Poinsett 76, cultivadas en cámara de crecimiento con lámparas de luz blanca fría (LBF), neutra (LBN) y cálida (LBC).

Parámetro	Tratamiento	Días después de la emergencia				
		7	14	21	28	35
PF/hojas (g)	LBF	0.17 b	3.93 a	11.52 b	16.21 b	20.18 b
	LBN	0.2 ab	5.22 a	12.24 ab	16.25 b	20.97 b
	LBC	0.23 a	5.43 a	13.29 a	17.99 a	22.69 a
	DMSH	0.03	1.57	1.42	1.02	1.4
PS/hojas (g)	LBF	0.02 b	0.37 b	1.06 a	1.58 b	2.09 b
	LBN	0.02 b	0.47 a	1.11 a	1.68 ab	2.21 ab
	LBC	0.03 a	0.47 a	1.14 a	1.8 a	2.49 a
	DMSH	0.006	0.096	0.109	0.167	0.291

Parámetro	Tratamiento	Días después de la emergencia				
		7	14	21	28	35
PF/tallo (g)	LBF	0.41 b	1.58 b	5.18 a	7.12 a	8.06 b
	LBN	0.43 ab	2.36 a	5.18 a	7.1 a	9.02 a
	LBC	0.49 a	2.8 a	5.31 a	7.42 a	9.53 a
	DMSH	0.068	0.598	1.086	0.963	0.878
PS/tallo (g)	LBF	0.03 b	0.04 a	0.18 a	0.34 b	0.5 b
	LBN	0.03 b	0.05 a	0.17 a	0.37 ab	0.56 a
	LBC	0.04 a	0.05 a	0.22 a	0.39 a	0.58 a
	DMSH	0.01	0.019	0.073	0.046	0.056
PF/raíz (g)	LBF	0.42 b	0.99 b	2.05 b	5.03 b	8.01 b
	LBN	0.55 a	1.21 a	2.07 b	5.33 b	8.59 ab
	LBC	0.5 a	1.2 a	2.62 a	5.81 a	9 a
	DMSH	0.058	0.12	0.15	0.429	0.712
PS/raíz (g)	LBF	0.018 a	0.065 b	0.085 b	0.213 b	0.341 b
	LBN	0.019 a	0.07 ab	0.105 a	0.263 a	0.42 a
	LBC	0.017 a	0.075 a	0.1 a	0.256 a	0.413 a
	DMSH	0.004	0.006	0.006	0.023	0.04

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Los parámetros de luz roja ($R = 122.04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $R:\text{DFFF} = 40.9\%$; $R:A = 2.67$) de las lámparas LBC provocaron que las plantas aumentaran el peso fresco de hojas, desde 3.9 hasta 15.4% en comparación con el efecto causado por las lámparas LBN ($R = 100.44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $R:\text{DFFF} = 32.9\%$; $R:A = 1.55$) y desde 8.6 hasta 38% con relación a LBF ($R = 81.34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $R:\text{DFFF} = 26.55\%$; $R:A = 0.97$). Con LBC también se incrementó el peso seco de hojas de 0 a 12.6% y de 8.9 a 27.4%, con respecto al obtenido de plantas cultivadas con LBN y LBF, respectivamente.

La respuesta morfológica influyó en las de crecimiento de planta, ya que la biomasa fresca y seca de hojas (parámetros de crecimiento) coincidieron estrechamente con el área foliar por planta (parámetro morfológico), acorde a lo observado por Hogewoning *et al.* (2010); Hernández y Kubota (2016). Estos autores indicaron que las plántulas de *Cucumis sativus*, cultivadas bajo combinaciones de luz roja y azul, requieren de 15 a 50% de luz azul para tener un crecimiento y desarrollo adecuados, ya que tales proporciones de luz se asociaron con aumentos en la biomasa por unidad de área foliar, contenido de nitrógeno y clorofila foliar, asimilación fotosintética de CO_2 y conductancia estomática; las cuales fueron menores con luz roja monocromática donde las plantas mostraron un sistema de fotosíntesis disfuncional.

La acumulación de biomasa en el tallo de las plantas no presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) durante los primeros 28 días después de la emergencia (dde). No obstante, a los 35 dde, la biomasa de tallo estuvo más relacionado con su longitud (altura de planta) que, con su diámetro, ya que los parámetros de luz roja de las lámparas LBC causaron incrementos de 5.7 y 18.2% en el peso fresco de tallo y de 0 y 12.2% en el peso seco de tallo, comparados con los obtenidos con las lámparas LBN y LBF, respectivamente; donde los tallos se alargaron menos y engrosaron más.

En este sentido, Ayala-Tafuya *et al.* (2015) observaron aumentos en el peso seco de hojas y tallo de plantas de *Cucumis sativus* cultivadas bajo malla roja, debido a la confluencia de más DFFF y luz roja, comparadas con las respuestas a la malla de color azul. De manera semejante, después de 21 dde, con las lámparas LBC el peso fresco de raíz aumentó de 4.7 a 26.7% y de 12.4 a 28.1%, en comparación con las lámparas LBN y LBF, respectivamente. Mientras que, con las lámparas LBC y LBN el peso seco de raíz superó de 17.6 a 21% al obtenido con las lámparas LBF.

Las plantas de pepino cultivadas con lámparas LBF presentaron una severidad de la cenicilla (*Oidium* sp.) de 0.8% a 10 días después de la inoculación (ddi) y de 3% a los 12 ddi, la cual fue menor desde 4.9 y 5.3 veces hasta 3 y 4 veces comparadas con las plantas cultivadas con lámparas LBN y LBC, respectivamente. En el resto del estudio, las lámparas LBF indujeron los valores de severidad de 7.9% a 14 ddi y 62.5% a 35 ddi, menores desde 109.2 y 136.2% hasta 15.7 y 23.6%, en comparación con lámparas LBN y LBC, respectivamente. No obstante, los valores de severidad de la cenicilla obtenidos con los tres tipos de lámparas fluorescentes, durante todo el periodo de estudio, presentaron aumentos lineales con similares coeficientes de determinación (Figura 3).

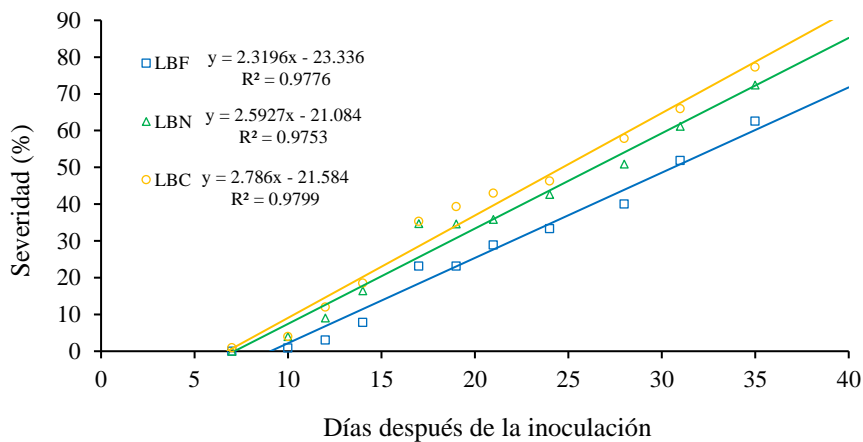


Figura 3. Severidad de la cenicilla (*Oidium* sp.) en plantas de pepino 'Poinsett 76' cultivadas en cámara de crecimiento con lámparas fluorescentes de luz blanca fría (LBF), neutra (LBN) y cálida (LBC).

En el mismo sentido, otras investigaciones mostraron que la luz azul redujo la severidad de *Botrytis cinerea* en *Solanum lycopersicum* (Xu *et al.*, 2017) y *Podosphaera xanthii* en *Cucumis melo* (Jing *et al.*, 2018), al aumentar la expresión de genes relacionados con la defensa en las plantas, que indujo acumulación de prolina, H_2O_2 , compuestos fenólicos, flavonoides, taninos y lignina, además de promover una morfología compacta y aumento del grosor de la pared celular en el tejido vegetal.

Conclusiones

Las lámparas fluorescentes compactas de luz blanca cálida promovieron mayor altura, área foliar, peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz de las plantas. Mientras que, las lámparas fluorescentes compactas de luz blanca fría indujeron menor altura de planta y mayor grosor de tallo e índice de verdor foliar. Los parámetros espectrales de las lámparas fluorescentes compactas de luz blanca fría también indujeron menor severidad de la cenicilla en las plantas de pepino, en comparación con las lámparas de luz blanca neutra o cálida.

Literatura citada

- Ayala, T. F.; Yáñez, J. M. G.; Partida, R. L.; Ruiz, E. F. H.; Campos, G. H.; Vásquez, M. O.; Velázquez, A. T. J. y Díaz, V. T. 2015. Producción de pepino en ambientes diferenciados por mallas de sombreado fotoselectivo. ITEA. 1(111):3-17. <https://doi.org/10.12706/itea.2015.001>.
- Casal, J. J. 2013. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annu. Rev. Plant Biol.* 1(64):403-427. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>.
- Chen, C. H.; Ringelberg, C. S.; Gross, R. H.; Dunlap, J. C. and Loros, J. J. 2009. Genome-wide analysis of light-inducible responses reveals hierarchical light signalling in *Neurospora*. *EMBO J.* 8(28):1029-1042. <https://dx.doi.org/10.1038%2Femboj.2009.54>.
- Chen, L.; Zhang, K.; Gong, X.; Wang, H.; Gao, Y.; Wang, X.; Zeng, Z. and Hu, Y. 2020. Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets *in vitro* and minituber production after transplanting in the greenhouse. *J. Integr. Agric.* 1(19):108-119. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62633-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62633-X).
- Chen, X. L.; Guo, W. Z.; Xue, X. Z.; Wang, L. C. and Qiao, X. J. 2014. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Sci. Hortic.* 1(172):168-175. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.009>.
- Cope, K. R. and Bugbee, B. 2013. Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light. *HortSci.* 4(48):504-509. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.504>.
- Damayanthi, R. N. K. and Decoteau, D. R. 1998. Involvement of gibberellins in phytochrome-regulated stem and petiole elongation in watermelon plants. *HortSci.* 3(33):493-494.
- Demotes, M. S.; Péron, T.; Corot, A.; Bertheloot, J.; Le Gourrierc, J.; Pelleschi, T. S.; Crespel, L.; Morel, P.; Huché, T. L.; Boumaza, R.; Vian, A.; Guérin, V.; Leduc, N. and Sakr, S. 2016. Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environ. Exp. Bot.* 1(121):4-21. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010>.
- Ding, Y.; He, S.; Silva, J. A. T.; Li, G. and Tanaka, M. 2010. Effects of a new light source (cold cathode fluorescent lamps) on the growth of tree peony plantlets *in vitro*. *Sci. Hortic.* 125(2):167-169. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.019>.
- Fan, X. X.; Xu, Z. G.; Liu, X. Y.; Tang, C. M.; Wang, L. W. and Han, X. I. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci. Hortic.* 1(153):50-55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>.
- Fukuda, N.; Ajima, C.; Yukawa, T. and Olsen, J. E. 2016. Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environ. Exp. Bot.* 1(121):102-111. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.014>.
- Gupta, S. D. and Jatothu, B. 2013. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnol. Rep.* 3(7):211-220. <http://dx.doi.org/10.1007/s11816-013-0277-0>.
- Heo, J.; Lee, C.; Chakrabarty, D. and Paek, K. 2002. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). *Plant Growth Regul.* 3(38):225-230. <https://doi.org/10.1023/A:1021523832488>.

- Hernández, R.; Eguchi, T.; Deveci, M. and Kubota, C. 2016. Tomato seedling physiological responses under different percentages of blue and red photon flux ratios using LEDs and cool white fluorescent lamps. *Sci. Hortic.* 1(213):270-280. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.005>.
- Hernández, R. and Kubota, C. 2016. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environ. Exp. Bot.* 1(121):66-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001>.
- Hogewoning, S. W.; Trouwborst, G.; Maljaars, H.; Poorter, H.; Van Ieperen, W. and Harbinson, J. 2010. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *J. Exp. Bot.* 11(61):3107-3117. <http://doi.org/10.1093/jxb/erq132>.
- Hu, J.; Dai, X. and Sun, G. 2016. Morphological and physiological responses of *Morus alba* seedlings under different light qualities. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca.* 2(44):382-392. <https://doi.org/10.15835/nbha44210486>.
- Idnurm, A. and Heitman, J. 2005. Light controls growth and development via a conserved pathway in the fungal kingdom. *PLoS Biol.* 4(3):615-626. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0030095>.
- Javanmardi, J. and Emami, S. 2013. Response of tomato and pepper transplants to light spectra provided by light emitting diodes. *Inter. J. Veg. Sci.* 2(19):138-149. <http://doi.org/10.1080/19315260.2012.684851>.
- Jing, X.; Wang, H.; Gong, B.; Liu, S.; Wei, M.; Ai, X.; Li, Y. and Shi, Q. 2018. Secondary and sucrose metabolism regulated by different light quality combinations involved in melon tolerance to powdery mildew. *Plant Physiol. Biochem.* 1(124):77-87. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.039>.
- Kurepin, L. V.; Emery, R. J. N.; Pharis, R. P. and Reid, D. M. 2007. Uncoupling light quality from light irradiance effects in *Helianthus annuus* shoots: putative roles for plant hormones in leaf and internode growth. *J. Exp. Bot.* 58(8):2145-2157. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm068>.
- Li, C.; Xu, Z. G.; Dong, R. Q.; Chang, S.; Wang, L. Z.; Khalil, U. R. M. and Tao, J. M. 2017. An RNA-seq analysis of grape plantlets grown *in vitro* reveals different responses to blue, green, red LED light, and white fluorescent light. *Front. Plant Sci.* 1(8):1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00078>.
- Li, T. and Yang, Q. 2015. Advantages of diffuse light for horticultural production and perspectives for further research. *Front. Plant Sci.* 1(6):1-5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00704>.
- Lin, K. H.; Huang, M. Y.; Huang, W. D.; Hsu, M. H.; Yang, Z. W. and Yang, C. M. 2013. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Sci. Hortic.* 1(150):86-91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>.
- Neff, M. C.; Fankhauser, J. and Chory, J. 2000. Light: an indicator of time and place. *Genes Develop.* 3(14):257-271.
- Nelson, J. A. and Bugbee, B. 2015. Analysis of environmental effects on leaf temperature under sunlight, high pressure sodium and light emitting diodes. *PLoS ONE.* 10(10):1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138930>.
- Purschwitz, J.; Muller, S.; Kastner, C. and Fischer, R. 2006. Seeing the rainbow: light sensing in fungi. *Curr. Opin. Microbiol.* 6(9):566-571. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2006.10.011>.

- Rahman, M. Z.; Honda, Y. and Arase, S. 2003. Red-light induced resistance in broad bean (*Vicia faba* L.) to leaf spot disease caused by *Alternaria tenuissima*. J. Phytopathol. 2(151):86-91. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2003.00685.x>.
- Runkle, E. S.; Padhye, S. R.; Oh, W. and Getter, K. 2012. Replacing incandescent lamps with compact fluorescent lamps may delay flowering. Sci. Hortic. 1(143):56-61. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.028>.
- Saavedra, E.; Rey, F. J. y Luyo, J. 2016. Sistemas de iluminación, situación actual y perspectivas. TECNIA. 2(26):44-62. <http://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v26i2.57>.
- Snowden, M. C.; Cope, K. R. and Bugbee, B. 2016. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. PLoS One. 10(11):e0163121. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0163121>.
- Song, J.; Meng, Q. W.; Du, W. F. and He, D. 2017. Effects of light quality on growth and development of cucumber seedlings in controlled environment. Inter. J. Agric. Biol. Eng. 3(10):312-318. <http://dx.doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.2299>.
- Staal, M.; Elzenga, J. T. M.; Van Elk, A. G.; Prins, H. B. A. and Van Volkenburgh, E. 1994. Red and blue light-stimulated proton efflux by epidermal leaf-cells of the Argenteum mutant of *Pisum sativum*. J. Exp. Bot. 9(45):1213-1218. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/45.9.1213>.
- StatSoft. 2004. Statistica (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Suzuki, T.; Nishimura, S.; Yagi, K.; Nakamura, R.; Takikawa, Y.; Matsuda, Y.; Kakutani, K. and Nonomura, T. 2018. Effects of light quality on conidiophore formation of the melon powdery mildew pathogen *Podosphaera xanthii*. Phytoparasitica. 1(46):31-43. <https://doi.org/10.1007/s12600-017-0631-9>.
- Tisch, D. and Schmoll, M. 2010. Light regulation of metabolic pathways in fungi. Appl. Microbiol Biotechnol. 5(85):1259-1277. <https://dx.doi.org/10.1007/s00253-009-2320-1>.
- Van Volkenburgh, E. 1999. Leaf expansion -an integrating plant behaviour. Plant Cell Environ. 12(22):1463-1473. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00514.x>.
- Wang, H.; Jiang, Y. P.; Yu, H. J.; Xia, X. J.; Shi, K.; Zhou, Y. H. and Yu, J. Q. 2010. Light quality affects incidence of powdery mildew, expression of defense-related genes and associated metabolism in cucumber plants. Eur. J. Plant Pathol. 1(127):125-135. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9577-1>.
- Wang, J.; Lu, W.; Tong, Y. and Yang, Q. 2016. Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. Front. Plant Sci. 1(7):1-10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00250>.
- Wang, X. Y.; Xu, X. M. and Cui, J. 2014. The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light. Photosynthetica. 2(53):213-222. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0083-8>.
- Xiaoying, L.; Shirong, G.; Taotao, C.; Zhigang, X. and Tezuka, T. 2012. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). Afr. J. Biotechnol. 22(11):6169-6177. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1191>.
- Xu, H.; Fu, Y.; Li, T. and Wang, R. 2017. Effects of different LED light wavelengths on the resistance of tomato against *Botrytis cinerea* and the corresponding physiological mechanisms. J. Integr. Agric. 16(1):106-114. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61435-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61435-1).

- Yan, Z.; He, D.; Niu, G. and Zhai, H. 2019. Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Sci. Hortic.* 1(248):138-144. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.002>.
- Yang, Z.; He, W.; Mou, S.; Wang, X.; Chen, D.; Hu, X.; Chen, L. and Bai, J. 2017. Plant growth and development of pepper seedlings under different photoperiods and photon flux ratios of red and blue LEDs. *Trans. Chin. Soc. Agri. Eng.* 33(17):173-180. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2017.17.023>.
- Yu, W.; Liu, Y., Song, L.; Jacobs, D. F.; Du, X.; Ying, Y.; Shao, Q. and Wu, J. 2017. Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *J. Plant Growth Regul.* 1(36):148-160. <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9625-y>.