

Influencia del espectro luminoso de LED sobre el desarrollo *in vitro* de *Phytophthora capsici*

Influence of the LED light spectrum on the *in vitro* development of *Phytophthora capsici*

Norma Delia Zazueta-Torres¹, Moisés Gilberto Yáñez-Juárez³, Héctor Rojas-Pérez¹, Luz Llarelly Cázarez-Flores^{3*}, Aurelia Mendoza-Gómez², Jesús Enrique López-Avendaño³, Mirta Candelaria Cano-Campos¹

¹ Tecnológico Nacional de México/ITS Eldorado, CP. 80450. Eldorado, Sinaloa, México. ORCID: 0000-0001-5185-8283; ORCID: 0009-0009-0674-2383; ORCID: 0009-0007-6702-1462

² Instituto de Ciencias Agrícolas/Universidad Autónoma de Baja California, CP. 21705, Valle de Mexicali, Baja California. ORCID: 0000-0002-1625-2128

³ Facultad de Agronomía/Universidad Autónoma de Sinaloa. CP. 80000. Culiacán, Sinaloa, México. ORCID: 0000-0002-7233-1760; Luzcazare@uas.edu.mx, ORCID: 0000-0002-8285-0601; ORCID: 0000-0003-2454-0805

*Autor de correspondencia

Resumen

Palabras clave:

Biomasa; flujo
fotónico; micelio.

La investigación se realizó para conocer la influencia de la calidad de luz emitida por combinaciones de LED sobre el crecimiento radial y biomasa de micelio *Phytophthora capsici* cultivado *in vitro*. Se utilizaron cuatro tratamientos que consistieron en combinaciones de LED blancos (B), rojos (R) y azules (A) ubicados en las cámaras de crecimiento, con porcentajes de: 100B-0R-0A, 70B-30R-0A, 80B-0R-20A y 60B-27R-13A, los cuales se establecieron bajo un diseño completamente al azar con 10 repeticiones. El espectro luminoso emitido por las lámparas LED influyó en el crecimiento *in vitro* de *P. capsici*, el tratamiento 80B-0R-20A, caracterizado por una mayor emisión en el rango de luz azul (400 nm-500 nm), redujo 13.3 %, 17.7% y 6.16% el crecimiento radial comparado con el hongo que creció bajo el efecto de 70B-30R-0A, con mayor emisión de luz roja, como en la biomasa de *P. capsici*, lo que sugiere un efecto inhibitorio asociado al predominio de este espectro.

Abstract

Keywords: Biomass;
photon flux;
mycelium.

This research was conducted to determine the influence of light quality emitted by LED combinations on the radial growth and biomass of *Phytophthora capsici* mycelium cultivated *in vitro*. Four treatments were used, consisting of combinations of white (B), red (R), and blue (A) LED located in growth chambers, with the following percentages: 100B-0R-0A, 70B-30R-0A, 80B-0R-20A, and 60B-27R-13A. These treatments were established using a completely randomized design with 10 replicates. The light spectrum emitted by LED lamps influenced the *in vitro* growth of *P. capsici*. Treatment 80B-0R-20A, characterized by a higher emission in the blue light range (400 nm-500 nm), reduced radial growth by 13.3%, 17.7%, and 6.16%, respectively, compared to the fungus that grew under the effect of 70B-30R-0A, with a higher emission of red light, as well as the biomass of *P. capsici*, suggesting an inhibitory effect associated with the predominance of this spectrum.

Recibido: 27 de octubre de 2025

Aceptado: 02 de marzo de 2026

Publicado: 23 de septiembre de 2026

Cómo citar: Zazueta-Torres, N. D.; Yáñez-Juárez, M. G.; Rojas-Pérez, H.; Cázarez-Flores, L. L.; Mendoza-Gómez, A.; López-Avendaño, J. E.; & Cano-Campos, M. C. (2026). Influencia del espectro luminoso de LED sobre el desarrollo *in vitro* de *Phytophthora capsici*. *Acta Universitaria*, 36(NE-1), e4912. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2026.4912>

Introducción

El oomiceto *Phytophthora capsici* es uno de los fitopatógenos más relevantes del género *Phytophthora* a nivel mundial, ya que ha sido reportado como parásito de alrededor de 50 especies de plantas cultivadas y ha provocado pérdidas significativas en su producción (Saltos *et al.*, 2022). Este patógeno puede sobrevivir por periodos prolongados en ausencia de una planta hospedante mediante la formación de estructuras resistentes conocidas como oosporas, lo que dificulta considerablemente su manejo. Además, la persistencia de temperaturas entre 25 °C y 28 °C, junto con niveles altos de humedad, favorecen su desarrollo y dispersión (Gandariasbeitia *et al.*, 2019).

Los hongos y oomicetes filamentosos poseen un conjunto de fotorreceptores sensoriales, por lo que pueden responder a la calidad de la luz (color o longitud de onda), a su intensidad (densidad del flujo fotónico o irradiancia) y a la combinación de ambas, desde la ultravioleta hasta la roja lejana (Dasgupta *et al.*, 2016; Fuller *et al.*, 2015; Nguy-Robertson *et al.*, 2015). Varios fotorreceptores que absorben la luz azul y la luz roja reciben fotones y transducen la energía de los fotones en las células para regular las fotorrespuestas a través de la expresión génica diferencial, por ejemplo, biosíntesis de carotenoides, agregación de hifas, formación de primordios y diferenciación de hongos (Kurtzman & Martínez, 2013).

Por su parte, los diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés) surgen como una alternativa de luz eficiente para promover el crecimiento de las plantas. Ejemplo de ello se presenta en cámaras de investigación con LED, donde se puede proporcionar luz roja o azul monocromática (Cope & Bugbee, 2013). Otro beneficio es que los LED emiten una luz constante independientemente de las condiciones de temperatura, a diferencia de las lámparas fluorescentes que son sensibles a la temperatura ambiente y al flujo de aire (Gupta & Jatothu, 2013).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto que ocasiona la calidad de luz emitida por las combinaciones de LED blancos, azules y rojos sobre el crecimiento radial y biomasa del micelio de *Phytophthora capsici* cultivado *in vitro*.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Fisiología y Anatomía Vegetal de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, en Culiacán, Sinaloa, México, ubicada en el km 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado.

Se utilizaron cuatro cámaras de crecimiento de 1.72 m³ de espacio útil (1.65 m x 1.47 m x 0.71 m). La iluminación consistió en tubos transparentes de leds blancos (T8 LED 24 W, 6500 K, 2400 lm; Q09-89, qop iluminación, México), azules (T8 LED 18 W, 6500 K, 1800 lm; AD-8623, Adir, México) y rojos (T8 LED 18 W, 6500 K, 840 lm; TLRG06, Megaluz, México). El patógeno (*Phytophthora capsici*) se obtuvo del cepario de organismos fitopatógenos perteneciente al laboratorio de enfermedades de hortalizas de la Facultad de Agronomía. El organismo en estudio se activó y cultivó en cajas de Petri que contenían medio de cultivo Papa, Dextrosa y Agar (PDA, MCD LAB), y se mantuvieron en condiciones de laboratorio 22.0 °C ± 20.0 °C. El estudio se estableció con diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y 10 repeticiones (una caja de Petri por repetición). Los tratamientos consistieron en las siguientes combinaciones de luz emitidas por diodos emisores de luz LED: 1) 100% de luz blanca, 0% roja y 0% azul (100B-0R-0A); 2) 70% de luz blanca, 30% roja y 0% azul (70B-30R-0A); 3) 80% luz blanca, 0% roja y 20% azul (80B-0R-20A); y 4) 60% luz blanca, 27% roja y 13% azul (60B-27R-13%A). Cada tratamiento se instaló individualmente en una cámara de crecimiento.

En cada uno de los tratamientos se determinó las cantidades absolutas de flujo fotónico fotosintético (FFF), luz roja (LR), luz roja lejana (LRL), luz azul (LA) y las cantidades relativas de LR y LA con relación a FFF y proporcionales entre LR, LA y LRL que se indican en la Tabla 1. La calidad de luz, expresada en función del FFF correspondiente a los intervalos de longitud de onda de 400 nm a 700 nm (radiación fotosintéticamente activa), 400 nm a 500 nm (luz azul), 600 nm a 700 nm (luz roja) y 700 nm a 800 nm (luz roja lejana), fue determinada con un espectrorradiómetro (FieldSpec Pro®VNIR, Analytical Spectral Devices, EE. UU). Las variables de respuesta fueron: crecimiento radial *in vitro*, medido cada 24 h con un vernier digital (6MP, Truper Herramientas, México). La biomasa micelial se obtuvo al separar el micelio del medio de cultivo y colocarlo sobre papel filtro. Posteriormente, las muestras se secaron en un horno (modelo FE293AD, Felisa, México) a 70 °C de temperatura, manteniéndose hasta alcanzar un peso seco constante, el cual se determinó con una balanza analítica. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y a comparación de medias con la prueba de Tukey (5%), mediante el paquete estadístico Minitab 16.

Tabla 1. Características espectrales de la luz emitida por las combinaciones de LED.

Parámetros	Tratamientos			
	100B-0R-0A	70B-30R-0A	80B-0R-20A	60B-27R-13A
FFF (400-700 nm) ^x	81.31	70.51	79.15	68.76
LA (400-500 nm) ^x	19.67	15.73	33.08	24.85
LR (600-700 nm) ^x	18.52	20.87	13.66	16.55
RL (700-800 nm) ^x	2.78	4.48	1.68	3.26
LA: LR (400-500/600-700 nm) ^z	1.06	0.75	2.42	1.50
LA: LRL (400-500/700-800 nm) ^z	7.07	3.51	19.70	7.62
LR: LA (600-700/400-500 nm) ^z	0.94	1.33	0.41	0.67
LR: LRL (600-700/700-800 nm) ^z	6.66	4.56	8.13	5.07

Nota. FFF = Flujo fotónico fotosintético, LA = Luz azul, LR = Luz roja, LRL = Luz roja lejana, B = % LED blancos, R = % LED rojos, A = % LED azules. Cantidades absolutas^x (μmol m⁻²s⁻¹) y proporcionales^z (adimensional).

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

La calidad de luz emitida por las lámparas LED generó efectos significativos ($p \leq 0.05$) sobre el crecimiento radial de *P. capsici*. El tratamiento 70B-30R-0A, que presentó la mayor intensidad de LR (20.87 μmol m⁻² s⁻¹) y proporción más alta de LR:LA (1.33) (Tabla 1), promovió mayor crecimiento del micelio. En este tratamiento, el crecimiento radial de *P. capsici* a 24 h, 48 h y 72 h fue significativamente superior al observado con 80B-0R-20A, en 15.39%, 21.58% y 6.56%, respectivamente (Tabla 2). De igual manera, superó al tratamiento 100B-0R-0A en 14.47%, 10.76% y 3.81%, respectivamente. Por otra parte, durante los mismos periodos, el crecimiento bajo 70B-30R-0A fue estadísticamente similar al registrado con 60B-27R-13A; no obstante, el promedio de crecimiento del micelio fue mayor en 4.67%, 3.64% y 0.44%, respectivamente.

Tabla 2. Influencia de combinaciones de emisores de luz LED en el crecimiento radial *in vitro* de *P. capsici*.

Tratamientos	HEXL		
	Crecimiento radial (mm)		
	24	48	72
100B-0R-0A	16.24 ± 1.21b	27.94 ± 1.28 bc	41.72 ± 1.57ab
70B-30R-0A	18.59 ± 0.96a	30.98 ± 1.41 a	43.31 ± 2.46a
80B-0R-20A	16.11 ± 1.45b	25.48 ± 1.22c	40.64 ± 2.35 b
60B-27R-13A	17.76 ± 1.97ab	29.89 ± 3.14 ab	43.12 ± 2.07 ab

Nota. HEXL = horas de exposición a la luz, B = % de LED blancos, R = % de LED rojos, A = % de LED azules. * = medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

El crecimiento radial de *P. capsici* alcanzó su mayor expresión bajo la influencia de LR (20.87 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Tabla 3). En las evaluaciones realizadas a las 96 h, 120 h y 144 h, dicho tratamiento superó en 9.40%, 7.01% y 4.36%, respectivamente, al crecimiento del hongo expuesto a una mayor emisión de luz azul, correspondiente a la combinación 80B-0R-20A, la cual presentó las proporciones más altas de LA:LR (2.42) y LA: LRL (19.07). De manera similar, el crecimiento radial bajo 70B-30R-0A fue superior en 8.57%, 4.83% y 2.86%, con respecto al observado en el tratamiento 100B-0R-0A, caracterizado por una irradiación azul de 19.67 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y una mayor proporción de LA:LR (1.06).

Tabla 3. Influencia de combinaciones de emisores de luz LED en el crecimiento radial *in vitro* *P. capsici* después de 96 h 120 h y 144 h de exposición a la luz.

Tratamientos	HEXL		
	Crecimiento radial (mm)		
	96	120	144
100B-0R-0A	51.56 ± 2.15 b	63.48 2.78 ± ab	69.54 1.85 ± a
70B-30R-0A	55.98 ± 5.43 a	66.55 ± 4.13 a	71.53 ± 3.11 a
80B-0R-20A	51.17 ± 2.27 b	62.19 ± 2.03 b	68.54 ± 2.72 a
60B-27R-13A	55.08 ± 2.76 ab	66.66 ± 2.73 a	71.03 ± 2.23 a

Nota. HEXL = horas de exposición a la luz, B = % de LED blancos, R = % de LED rojos, A = % de LED azules. * = medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la calidad de luz emitida por las diferentes combinaciones de LED originó efectos significativos ($p \leq 0.05$) sobre la biomasa del micelio de *P. capsici* (Figura 1). El oomicete cultivado bajo la combinación 80B-0R-20A, que presentó una mayor proporción de luz azul, produjo la menor cantidad de biomasa micelial. En contraste, la mayor biomasa se observó con los tratamientos 70B-30R-0A y 100B-0R-0A, caracterizado por una menor cantidad de luz azul.

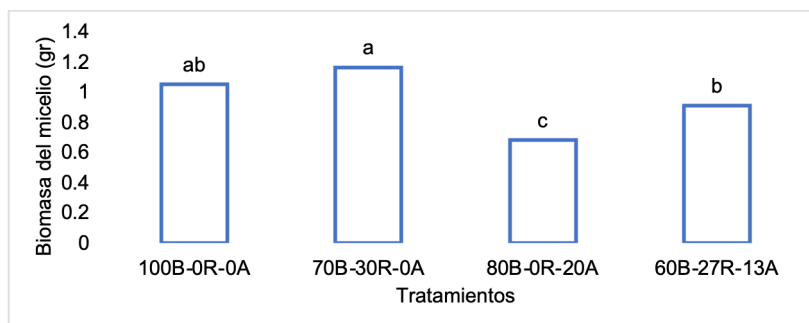


Figura 1. Biomasa del micelio de *Phytophthora capsici* bajo diferente calidad de luz LED.
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La calidad de la luz, en función de su longitud de onda, desempeña un papel determinante en el crecimiento y la reproducción de los hongos. Nuestros resultados coinciden con los reportados por Cheong *et al.* (2016), quienes observaron que la irradiación con luz azul inhibió el desarrollo del micelio de *Aspergillus carbonarius* y *A. westerdijkiae*. De manera similar, Zazueta *et al.* (2021) señalaron que el espectro luminoso emitido por lámparas fluorescentes de luz blanca fría, caracterizado por una mayor proporción de luz azul, redujo el crecimiento radial y la biomasa micelial de *Sclerotium rolfii*. Esta respuesta podría estar asociada con la presencia de fotorreceptores sensibles a la luz azul, los cuales contienen cromóforos que captan fotones y transducen la energía lumínica en señales celulares, modulando la fotorespuesta fúngica. Dicho proceso puede inducir cambios metabólicos mediados por la expresión diferencial de genes relacionados con la biosíntesis de carotenoides, la agregación hifal, la formación de primordios y la diferenciación del hongo (Huang *et al.*, 2017; Kurtzman & Martínez, 2013).

La exposición de los hongos a distintas longitudes de onda puede generar efectos contrastantes en su metabolismo, así como en la producción de pigmentos, toxinas y esporas (Yu & Fischer, 2019). En particular, se ha observado que la exposición de *Fusarium* a luz azul (380 nm–500 nm, 38 mW/cm²) estimula tanto el crecimiento micelial como la síntesis de fumonisinas en especies como *Fusarium verticillioides* (Fanelli *et al.*, 2012). Por el contrario, la irradiación con luz azul de alta intensidad (405 nm–470 nm, 60 mW/cm²) reduce la producción de conidios viables en especies como *Neocosmospora solani*, *Fusarium oxysporum* y *F. graminearum*; por ello, este tipo de radiación se ha propuesto como un posible mecanismo para el control de hongos y bacterias en diversos ambientes (Trzaska *et al.*, 2017).

Conclusiones

Los parámetros espectrales emitidos por las diferentes combinaciones de LED influyeron en el crecimiento *in vitro* de *Phytophthora capsici*, ya que la luz azul redujo el crecimiento radial y la biomasa micelial de este oomiceto. En consecuencia, el uso de iluminación LED se presenta como una alternativa viable para el manejo de este fitopatógeno.

Agradecimientos

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa y a los estudiantes de servicio social de la Universidad Tecnológica de Culiacán por su apreciable colaboración.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Referencias

- Cheong, K. K., Strub, C., Montet, D., Durand, N., Alter, P., Meile, J. C., Schorr, S., & Fontana, A. (2016). Effect of different light wavelengths on the growth and ochratoxin A production in *Aspergillus carbonarius* and *Aspergillus westerdijkiae*. *Fungal Biology*, 120(5), 745-751. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.02.005>
- Cope, K. R., & 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(4), 504-509. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.504>
- Dasgupta, A., Fuller, K. K., Dunlap, J. C., & Loros, J. J. (2016). Seeing the world differently: variability in the photosensory mechanisms of two model fungi. *Environmental Microbiology*, 18(1), 5-20. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13055>
- Fanelli, F., Schmidt-Heydt, H., Haidukowski, M., Susca, A., Geisen, R., & Logrieco, A., & Mulé, G. (2012). Influence of light on growth, conidiation and fumonisin production by *Fusarium verticillioides*. *Fungal Biology*, 116, 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2011.11.007>
- Fuller, K. K., Loros, J. J., & Dunlap, J. C. (2015). Fungal photobiology: visible light as a signal for stress, space and time. *Current Genetics*, 61, 275-288. <https://doi.org/10.1007/s00294-014-0451-0>
- Gandariasbeitia, M., Ojinaga, M., Orbegozo, E., Ortiz-Barredo, A., Núñez-Zofío, M., Mendarte, S., & Larregla, S. (2019). Winter biodisinfestation with Brassica green manure is a promising management strategy for *Phytophthora capsici* control of protected pepper crops in humid temperate climate regions of northern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(1), e1005. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13808>
- Gupta, S. D., & Jatothu, B. (2013). Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, 7(3), 211-220. <https://doi.org/10.1007/s11816-013-0277-0>
- Huang, M., Lin, K., Lu, C., Chen, L., Hsiung, T., & Chang, W. (2017). The intensity of blue light-emitting diodes influences the antioxidant properties and sugar content of oyster mushrooms (*Lentinus sajor-caju*). *Scientia Horticulturae*, 278, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.014>
- Kurtzman, R. H., & Martínez, C. (2013). Light, what it is and what it does for mycology. *Micología Aplicada Internacional*, 25(2), 23-33.
- Nguy-Robertson, A., Suyker, A., & Xiangming, X. (2015). Modeling gross primary production of maize and soybean croplands using light quality, temperature, water stress, and phenology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 213, 160-172. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.04.008>
- Saltos, L. A., Monteros-Altamirano, Á., Reis, A., & Garcés-Fiallos, F. R. (2022). *Phytophthora capsici*: the diseases it causes and management strategies to produce healthier vegetable crops. *Horticultura Brasileira*, 40(1), 5-17. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20220101>
- Trzaska, W. J., Wrigley, H. E., Thwaite, J. E., & May, R. C. (2017). Species-specific antifungal activity of blue light. *Scientific Reports*, 7(1), 4605. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05000-0>
- Yu, Z., & Fischer, R. (2019). Light sensing and responses in fungi. *Nature Reviews Microbiology*, 17(1), 25-36. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0109-x>
- Zazueta, N. D., Ayala, F., Gonzáles, S., Velázquez, T. J., Yáñez, M. G., & Partida, L. (2021). Crecimiento *in vitro* de *Sclerotium rolfsii* en respuesta a la calidad de luz de tres tipos de lámparas fluorescentes. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 12(1), 141-147. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2313>