

INFLUENCIA DEL FOTOPERIODO POR ILUMINACIÓN LED EN EL DESARROLLO FISIOLÓGICO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

Agustina Bautista-Ramírez^{1§}; Genaro Pérez-Jiménez²; Omar Galicia-Salgado¹; Ana P. García-Cruz¹; Viviana E. Gutiérrez-Rangel¹

¹Universidad Politécnica de Puebla Ingeniería en Biotecnología. Tercer Carril del Ejido "Serrano" s/n San Mateo Cuanalá. Juan C. Bonilla, Puebla, Pue C.P. 72640. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental San Martinito, Carretera Federal México-Puebla Km 56.5, 74100 Santa Rita Tlahuapan, Puebla. §Autor responsable: agustina.bautista@uppuebla.edu.mx

Recibido: 3 febrero 2021, aceptado 19 marzo 2021

Artículo científico

RESUMEN

El cultivo *indoor* surgió como una alternativa para sembrar plantas en cualquier época del año bajo iluminación LED (*Light Emitting Diode*). El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia del fotoperiodo por iluminación en el desarrollo fisiológico de cuatro genotipos de frijol. Las pruebas de germinación se realizaron como lo recomienda la International Seed Testing Association (ISTA). El ensayo fue establecido bajo un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial con cinco repeticiones; las variables evaluadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, longitud y volumen de radícula y contenido de clorofila. Los resultados del análisis de varianza mostraron que hubo diferencias altamente significativas en la interacción genotipo por luz para las variables altura,

área foliar, longitud de raíz, volumen de radícula y contenido de clorofila; sin embargo, no hubo diferencias significativas para diámetro del tallo. La comparación múltiple de medias por Tukey en la interacción genotipo por luz mostró que el led rojo influye en altura, diámetro del tallo y contenido de clorofila en los genotipos M1 y X1; el LED morado tuvo un efecto superior en el diámetro del tallo y área foliar en los genotipos X1 y SE respectivamente; la luz testigo aumentó la longitud y volumen de la radícula en SE y M1 respectivamente. Se concluye que los espectros rojo, morado, azul inciden de manera diferente en la fisiología de plántulas de frijol.

Palabras clave: Fotorreceptores, Germinación, Luz, Plántulas.

SUMMARY

Indoor cultivation emerged as alternative to plant plants at any time of the year under LED lighting (Light Emitting Diode). The aim of this work was evaluate the influence of photoperiod by lighting in the physiological development in four beans genotypes. Germination tests was performed how recommended the International Seed Testing Association (ISTA). The trial was established under a completely randomized block design with a factorial of five repetitions; the variables evaluated were height, stem diameter, leaf area, length, radicle volume and chlorophyll content. The results of the analysis of variance show that there is a significant difference in the light genotype interaction for the variables height, leaf area, root length, radicle volume

and chlorophyll content; however, there were no significant differences for stem diameter. Means comparison by LSD test indicated that genotype by light interaction showed that red LED influences height, stem diameter and chlorophyll content in genotypes M1 and X1. Purple LED had a superior effect on diameter of the stem and leaf area in the genotypes X1 and SE respectively and; witness light increases radicle length and volume in SE and M1 respectively. It is concluded that red, purple and blue light LED spectra affect the physiology of bean seedlings differently.

Keywords: Germination, Light, Photoreceptors, Seedlings.

INTRODUCCIÓN

El frijol en México se cultiva durante los ciclos agrícolas primavera-verano y otoño-invierno (Chulim et al., 2014); en esta última siembra, la radiación solar es escasa, lo que afecta su rendimiento (Treviño y Rosas, 2013). Las plantas responden a diferentes longitudes de onda a través de proteínas llamadas fotorreceptores y pigmentos fotosintéticos que van desde los 300 a 800 nm, mismos que absorben la luz solar y utilizan su energía para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis y crear compuestos orgánicos (azúcares), útiles dentro de su desarrollo fisiológico (Bures et al., 2018).

Las proteínas de interés productivo en el aprovechamiento de la luz son los fitocromos, que absorben luz roja y el rojo lejano que va de 600 - 750 nm, mismos que intervienen en la fotosíntesis, floración, germinación, elongación de tallos y expansión de la hoja (Carvalho et al., 2014). Los criptocromos y las fototropinas captan el espectro UV-A/azul (320 - 520 nm), inhiben la elongación de tallos, expansión de cotiledones, producción de antocianinas y promueven floración y, especialmente las fototropinas participan en la apertura estomática (Möglich et al., 2010). La clorofila percibe la luz roja y la azul (600 -700 nm), que intervienen directamente en el proceso de fotosíntesis (Pareek et al., 2017).

El efecto que tiene la luz en la etapa vegetativa y reproductiva ha sido motivo de estudio en los últimos años, con el fin de mejorar rendimientos de cultivos que se encuentran fuera de sus temporadas. Así surgieron los sistemas de producción en ambientes controlados que son de vital importancia para aumentar la productividad de los cultivos (Cervantes, 2017). Recientes estudios demuestran que la luz LED (*Light Emitting Diode*) puede ser utilizada cuando hay escasez de luz natural, o bien cuando una estación del año se prolonga (ej. invierno) y la planta necesita más horas de luz (Murillo et al., 2016).

La luz LED tiene grandes beneficios, como son: no emiten calor directo en su radiación sobre las plantas; además, su composición espectral se puede controlar, los costos de iluminación son bajos, respecto a las lámparas convencionales; las longitudes de onda disminuyen la contaminación hasta un 80%, además de que son de fácil instalación y manipulación (Lilia et al., 2017). El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia del fotoperiodo por iluminación LED en el desarrollo fisiológico de cuatro genotipos de frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el laboratorio general del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental (C.E.) San Martinito. Se estandarizaron siguiendo la metodología sugerida por Rivera et al. (2017) los genotipos seminales de frijol (negro, pinto, peruano y flor de mayo)

Las pruebas de germinación se realizaron con cinco repeticiones de 30 semillas por tratamiento, bajo las normas de la International Seed Testing Association (ISTA, 2016). Después de la siembra, las muestras fueron colocadas en incubación con fotoperiodo de luces LED's en espectro rojo, morado, azul y como testigo una luz fluorescente a 62, 25, 54 y 100 lúmenes m² respectivamente; el fotoperiodo fue de 16 horas luz y 8 de oscuridad a 25 ± 5 °C, durante 10 días. Las variables fisiológicas consideradas fueron altura (Al), longitud de la raíz (Lr), diámetro del tallo

(Di), volumen de la radícula (Vr) y área foliar (Af) y además, se calculó el contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila) por la metodología propuesta por Sgariglia et al. (2010).

El ensayo fue establecido mediante un experimento bifactorial con diseño de bloques completos al azar, con cinco repeticiones; el primer factor lo constituyeron los cuatro genotipos; el segundo factor correspondió a los cuatro tipos de luz LED's: rojo, azul y, una luz fluorescente (testigo). La combinación de los factores dio como resultado 16 tratamientos. Se realizó el análisis de varianza de acuerdo con el modelo estadístico; la comparación múltiple de medias se realizó por el método de Tukey ($p \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico SAS 9.4 (Statistical Analysis System, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra el análisis de varianza, el cual indica diferencias altamente significativas ($p \leq .01$) entre genotipos, en las variables Al, Di, Lr, Vr y Cl. Esto nos indica que bajo las condiciones en que se realizó este experimento, los genotipos utilizados difirieron en estas características; los genotipos mostraron características similares en Af. Los tratamientos con fotoperiodo mostraron diferencias altamente significativas

para las variables de estudio Lr, Vr y Af y sólo hubo diferencias significativas para Al y Di. La interacción genotipo* luz mostró diferencias altamente significativas en Al, Af, Lr, Vr y Cl. Esto nos indica que los genotipos tuvieron respuestas diferentes a la aplicación de luz LED. Los coeficientes de variación no fueron buenos, excepto para las variables Di y Cl. Las variables Lr y Vr son las que obtuvieron los CV más altos debido a la dificultad para su estimación.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística del ANOVA de variables fisiológicas evaluadas en plántulas de frijol de cuatro genotipos expuestos a cuatro tipos de luz LED. Campo "El Molinito", INIFAP, Pue. I-2021.

Variable	Media	CM [†]				CV ^φ	R ²
		Gen	Luz	Gen*Luz	Error		
Al	7.80	205.41**	29.63*	80.16**	5.34	29.60	0.54
Di	3.39	2.74**	1.031*	0.50 ns	0.23	14.24	0.23
Lr	6.55	109.82**	162.30**	125.31**	4.55	32.54	0.65
Vr	0.61	5.51**	14.00**	5.43**	0.08	46.13	0.85
Af	1.49	0.35 ns	1.74**	0.52**	0.09	20.59	0.59
Cl	0.806	0.023**	0.004 ns	0.008**	0.0012	4.414	0.8

CM[†]: cuadrados medios; CV^φ: coeficiente de variación; R²: Coeficiente de determinación; Gen: genotipo; Al: altura; Di: diámetro; Lr: longitud de la raíz; Vr: volumen de la radícula; Af: área foliar; Cl: clorofila; *, ** indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns indica no significativo con $p > 0.05$.

El Cuadro 2 muestra la comparación múltiple de medias entre genotipos. El genotipo M1 fue superior a todos los demás genotipos para las variables en estudio: Al, Vr y Cl, pero obtuvo respuestas similares a otros genotipos en las otras variables (Di, Af y Lr); el genotipo N1 fue el que mostró una menor respuesta a la luz LED; esto puede deberse a las diferencias genéticas de cada especie y de su procedencia; resultados similares fueron obtenidos por Stoilova *et al.* (2013) difiriendo en las especies de frijol.

El genotipo X1 fue similar a SE en la variable Di y similar a M1 en la variable Lr; lo anterior puede deberse a la resistencia al estrés hídrico que tienen los diferentes genotipos. Este genotipo X1 no observó buena respuesta a la aplicación de luz LED. Girdthai *et al.* (2010) reportan que el estrés hídrico influye en la reducción del diámetro del tallo y la longitud de la raíz, entre otros parámetros.

Cuadro 2. Comparación de medias mediante la prueba de DMS en la fenología entre cuatro genotipos de frijol. Campo "El Molinito", INIFAP, Pue. I-2021.

Genotipo	Al	Di	Af	Lr	Vr	Cl
SE	8.67 b	3.62 a	1.50 ab	6.12 b	0.55 b	0.76 c
X1	6.52 c	3.54 a	1.32 b	7.16 a	0.39 c	0.81 b
M1	9.98 a	3.20 b	1.61 a	8.05 a	1.06 a	0.86 a
N1	6.03 c	3.22 b	1.55 ab	4.90 c	0.46 bc	0.78 bc

DMS*	1.09	0.22	0.23	1.00	0.13	0.03
------	------	------	------	------	------	------

DMS*: diferencia mínima significativa; valores con diferente letra dentro de columnas (variables) son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba DMS ($p \leq 0.5$); Al: altura; Di: diámetro; Lr: longitud de la raíz; Vr: volumen de la radícula; Af: área foliar; Cl: clorofila.

El Cuadro 3, muestra la comparación múltiple de medias entre longitudes de onda. La luz morada mostró una mayor respuesta para las variables Al (similar al testigo), Di y Lr (similar al testigo) en comparación al LED azul; lo anterior puede deberse a que el LED morado es la combinación de la luz roja y azul y, en consecuencia aumenta la distribución espectral de la luz que las plantas perciben (Gonzalías y Ramírez, 2016). El LED rojo tuvo una respuesta favorable para las variables Di y Cl en

comparación a todos los tratamientos. De lo anterior, Legris *et al.* (2019) reportan que los fitocromos percibidos en el espectro rojo aumentan el diámetro del tallo; así mismo, (Chen y Blankenship, 2011) mencionan que la clorofila es absorbida por la iluminación roja en longitudes de onda que van desde los 700 – 750 nm. La luz testigo favoreció a la variable Vr en comparación con los tratamientos de luces LED (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias mediante la prueba de DMS de cuatro longitudes de onda en cuatro genotipos de frijol. Campo “El Molinito”, INIFAP, Pue. I-2021.

Luz	Al	Di	Af	Lr	Vr	Cl
TESTIGO	8.48 a	3.22 b	1.84 a	8.25 a	1.34 a	0.80 ab
LR	7.30 bc	3.51 a	1.19 c	6.09 b	0.32 b	0.83 a
LA	7.10 c	3.37 ab	1.42 bc	4.47 c	0.39 b	0.78 b
LM	8.48 a	3.48 a	1.53 b	8.25 a	0.41 b	0.80 ab
DMS*	1.09	0.22	0.23	1.00	0.13	0.03

DMS*: diferencia mínima significativa; Valores con diferente letra dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$); LR: luz roja; LA: luz azul; LM: luz morada; Al: altura; Di: diámetro; Lr: longitud de la raíz; Vr: volumen de la radícula; Af: área foliar; Cl: clorofila.

La comparación múltiple de medias por la prueba DMS en la interacción genotipo luz (Cuadro 3), mostró diferencias en todas las variables de estudio. Los efectos por iluminación roja mostraron que los genotipos M1 y X1 tuvieron un aumento en las variables Al y Di respectivamente, en comparación al testigo. Lo anterior coincide con lo reportado por Simlat *et al.* (2016) en plántulas de *Stevia rabaudiana*, quienes mencionan que el espectro rojo estimula el alargamiento de los tallos obteniendo una mayor altura.

La luz morada mostró una mayor respuesta en los genotipos X1 y SE en las variables Di y Af respectivamente en comparación a los demás tratamientos con iluminación LED. Los resultados

anteriores difieren con lo publicado por Chen *et al.* (2014) en plántulas de *Oryza sativa*, donde reportan que el espectro azul incrementa el diámetro del tallo; además de que incide en la expansión de las hojas debido a la presencia de criptocromos los cuales se expresan en mayor proporción en la parte aérea (Meisel *et al.*, 2011).

Con la luz testigo hubo un incremento en las variables Lr y Vr en los genotipos SE y M1 respectivamente, lo anterior puede deberse a que la luz fluorescente emite los colores primarios en diferentes longitudes de onda suficientes para incidir en un efecto en concreto (Bures *et al.*, 2018). La luz LA fue la que menor respuesta observó entre las variables evaluadas.

Cuadro 3. Comparación de medias mediante la prueba de DMS de la interacción genotipo* luz en la fenología de cuatro genotipos de frijol. Campo "El Molinito", INIFAP, Pue. I-2021.

Genotipo	Variables					
	Al	Di	Af	Lr	Vr	Cl
Testigo						
SE	10.49 ab	3.40 abcd	1.66 abc	11.45 a	1.20 b	0.76 def
X1	8.52 abc	3.18 bcd	1.87 ab	9.91 ab	0.42 cde	0.82 abcde
M1	10.78 ab	3.04 d	1.92 a	8.60 bc	3.04 a	0.86 abcd
N1	4.13 ef	3.25 abcd	1.90 a	3.05 g	0.69 c	0.79 bcdef
TRATAMIENTOS LED's						
Rojo						
SE	5.11 def	3.66 abc	0.74 d	2.44 g	0.20 e	0.76 def
X1	5.07 def	3.82 a	1.07 cd	4.65 efg	0.50 cde	0.91 a
M1	11.12 a	3.33 abcd	1.46 abc	9.92 ab	0.30 de	0.80 bcdef
N1	7.90 bcd	3.21 bcd	1.49 abc	7.35 bcd	0.30 de	0.82 abcde
Azul						
SE	8.48 abc	3.67 abc	1.59 abc	3.21 fg	0.22 e	0.78 cdef
X1	5.78 cdef	3.32 abcd	1.21 cd	4.19 efg	0.27 de	0.71 f
M1	10.54 ab	3.36 abcd	1.63 abc	7.78 bcd	0.51 cde	0.89 ab
N1	3.60 f	3.15 bcd	1.26 bcd	2.72 g	0.55 cde	0.73 ef
Morada						
SE	10.59 ab	3.74 ab	2.02 a	7.37 b	0.58 dc	0.74 ef
X1	6.72 cde	3.84 a	1.15 cd	9.90 a	0.37 cde	0.81 abcdef
M1	7.49 cd	3.07 cd	1.42 abc	5.82 b	0.37 cde	0.88 abc
N1	8.50 abc	3.28 abcd	1.52abc	6.47cde	0.30 de	0.76 def
DMS	2.92	0.61	0.63	2.11	0.36	0.10

DMS*: diferencia mínima significativa; Valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$); Al: altura; Di: diámetro; Lr: longitud de la raíz; Vr: volumen de la radícula; Af: área foliar; Cl: clorofila.

El espectro rojo aumentó el contenido de Cl en el genotipo X1 en comparación a los tratamientos con LED's azul y morado. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Pimentel *et al.*

(2007) en plántulas de *Phyllanthus tenellus*. De lo anterior, se ha reportado que las moléculas de clorofila tienen una mayor excitación con los efectos de la luz roja a 700 nm (Chen y Blankenship, 2011).

CONCLUSIONES

Se determinó que el espectro rojo tiene actividad benéfica en la altura de la planta y en el contenido de clorofila; la luz morada tiene una mayor respuesta en las variables diámetro del tallo y área foliar; la luz

fluorescente utilizada como testigo influye en la longitud y volumen radicular. La luz azul fue la que menor respuesta observó entre las variables evaluadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bures, S., Gavilán, M. U., and Kotiranta, S. (2018). Iluminación artificial en horticultura. *Cultivo/Tecnología*, January. <https://www.researchgate.net/publicat>

[ion/322821562_ILUMINACION_ARTIFICIAL_EN_HORTICULTURA](https://doi.org/10.322821562_ILUMINACION_ARTIFICIAL_EN_HORTICULTURA)

Carvalho, R. F., Campos, M., and Azevedo, R.

- (2014). The Role of Phytochromes in Stress Tolerance. *Salt Stress in Plants: Signalling, Omics and Adaptations*, 1–509. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6108-1>
- Chen, C. C., Huang, M. Y., Lin, K. H., Wong, S. L., Huang, W. D., and Yang, C. M. (2014). Effects of light quality on the growth, development and metabolism of rice seedlings (*Oryza sativa* L.). *Research Journal of Biotechnology*, 9(4), 15–24.
- Chen, M., and Blankenship, R. E. (2011). Expanding the solar spectrum used by photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 16(8), 427–431. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.011>
- Girdthai, T., Jogloy, S., Kesmala, T., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., Wongkaew, S., Holbrook, C. C., and Patanothai, A. (2010). Relationship between root characteristics of peanut in hydroponics and pot studies. *Crop Science*, 50(1), 159–167. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.09.0529>
- Gonzalías, R. Y., and Ramirez, L. E. (2016). Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores - Vertical Farming (VF). *Informador Técnico (Colombia)*, 80(2), 111–120.
- Legris, M., Ince, Y. Ç., and Fankhauser, C. (2019). Molecular mechanisms underlying phytochrome-controlled morphogenesis in plants. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13045-0>
- Meisel, L. A., Urbina, D. C., and Pinto, M. E. (2011). Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas. In *Fisiología vegetal* (Vol. 18, pp. 1–9). http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo_18.pdf
- Möglich, A., Yang, X., Ayers, R. A., and Moffat, K. (2010). Structure and function of plant photoreceptors. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 21–47. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112259>
- Pareek, S., Alok, N., Sharma, S., Kumar, V., and Agarwal, T. (2017). Chlorophylls : Chemistry and Biological Functions Chlorophylls : Chemistry and Biological Functions. *Fruit and Phytochemicals*, 1.
- Pimentel, C. V., Machado, R. K., and Salgueiro, C. L. L. (2007). Qualidade de Luz e Produção de PigmentosFotossintéticos em Plantas In Vitro de *Phyllanthus tenellus* Roxb. *Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre*, 5, 213–215.
- Rivera, J. D., M., C. Y., and Ocampo, D. M. (2017). Estandarización de un método cromatográfico para la identificación del ácido giberélico en semillas de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia En Desarrollo*, 8(2), 51–60. <https://doi.org/10.19053/01217488.v8.n2.2017.7129>
- Sgariglia, M. A., Soberón, J. R., Sampietro, D. A., and Vattuone, M. A. (2010). Cromatografía : Conceptos Y Aplicaciones. *Revista Arakuku*, 1, 1–6. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/75465/CONICET_Digital_Nro.3655a360-b03b-44c8-8519-bc747d073f7c_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Simlat, M., Ślęzak, P., Moś, M., Warchoń, M., Skrzypek, E., and Płak, A. (2016). The effect of light quality on seed germination, seedling growth and selected biochemical properties of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Scientia Horticulturae*, 211, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.009>
- Stoilova, T., Pereira, G., and Tavares, M. (2013). Morphological characterization of a small common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) collection under different environments. *Journal of Central European Agriculture*, 14(3), 1–11. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.3.1277>