

## Efecto de luz led complementaria intermitente sobre el crecimiento de lechuga bajo invernadero

Audberto Reyes-Rosas<sup>1</sup>

Andrea Paola Moreno-Garza<sup>1</sup>

Emmanuel Gomez-Ramirez<sup>2</sup>

Oussama Mounzer<sup>1</sup>

Sasirot Khamkure<sup>3</sup>

Francisco M. Lara-Viveros<sup>1,§</sup>

1 Departamento de Biociencias y Agrotecnología-Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna Herosillo 140, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25294.

2 Instituto Tecnológico de La Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, México. CP. 27000.

3 Secretaria de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315.

Autor para correspondencia: [francisco.lara@ciqa.edu.mx](mailto:francisco.lara@ciqa.edu.mx).

### Resumen

La luz led intermitente de cortos pulsos de encendido/apagado como fuente de luz suplementaria a la luz del sol podría propiciar un mayor crecimiento de hortalizas con un consecuente menor consumo de energía; sin embargo, su efecto en lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones de invernadero ha sido poco estudiado. El trabajo evaluó como diferentes regímenes de luz led intermitente afectan la tasa fotosintética, la conductancia estomática, área foliar, peso fresco y seco considerados parámetros de crecimiento de las plantas. Tales parámetros fueron analizados bajo un diseño experimental completamente al azar estableciendo cinco tratamientos, con un total de ocho plantas cultivadas por tratamiento aplicando sobre ellas luz led como fuente de luz suplementaria a la luz del sol en periodos nocturnos. Los resultados indicaron que la luz led intermitente de cortos periodos de encendido/apagado (30/15 min) no produce diferencias significativas (Anova,  $p > 0.05$ ) en tasas fotosintéticas, conductancia estomática, peso seco o seco entre la luz led complementaria intermitente y continua. La luz intermitente (30/15 min) produce un incremento estadísticamente significativo (Anova,  $p = 7.15 \times 10^{-5}$ ) en términos de área foliar con relación a la luz led continua, permitiendo una reducción en el tiempo de operación del sistema de iluminación en un 25% sin afectar de forma negativa dicho parámetro.

### Palabras clave:

*Lactuca sativa* L., ahorro energético, fotoperiodo, fotosíntesis, invernadero.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

## Introducción

La luz es la fuente primaria de energía que activa la fotosíntesis, responsable de transformar la energía luminosa en energía química de carbohidratos en las plantas (He *et al.*, 2019). La intensidad y la calidad de la luz incidente sobre las plantas afectan significativamente la tasa de fotosíntesis, la densidad de flujo de fotones fotosintéticos PPF (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) hace referencia a la intensidad de luz disponible para la realización de la fotosíntesis afectando en gran medida la tasa a la cual las plantas pueden producir carbohidratos que utilizarán para su crecimiento (Jishi *et al.*, 2016; Burattini *et al.*, 2017).

El uso de luz led en agricultura de ambientes controlados ha incrementado considerablemente, en invernaderos estos dispositivos se emplean como fuente de luz suplementaria al sol (He *et al.*, 2019). Una ventaja clave de la luz led en la agricultura es su menor consumo energético. Además, el espectro rojo (600-650 nm) y azul (450-470 nm) regula la apertura estomática y la síntesis de clorofila, afectando directamente la tasa fotosintética, contando además con una alta eficiencia luminosa de manera que la proporción de energía lumínica emitida a una longitud de onda específica sea más beneficiosa para la planta con relación a otras fuentes de luz convencionales (Chen *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2023).

No existen estudios que cuantifiquen efectos de intermitencia de 30 min/15 min (encendido/apagado) sobre el área foliar, altura de planta y parámetros fotosintéticos en *Lactuca sativa* en condiciones de invernadero como fuente complementaria de luz. Los resultados existentes muestran contrastes, dichos contrastes derivan principalmente de las diferentes configuraciones que varían el tiempo de intermitencia, fotoperiodo, calidad y proporciones espectrales, aunado a la respuesta intrínseca de cada especie vegetal (Chen *et al.*, 2017; Radetsky *et al.*, 2020; Boros *et al.*, 2023).

Mediante el manejo de los ciclos de luz/oscuridad se ha logrado incrementar la biomasa en cultivos como albahaca, además de poder potenciar la actividad fotosintética, aunque por otro lado periodos de muy corta intermitencia podrían no proveer de suficiente energía para que las plantas realicen a plenitud su proceso fotosintético (Chinchilla *et al.*, 2018; Viršil# *et al.*, 2020; Avgoustaki *et al.*, 2021a; Yang *et al.*, 2022).

El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de arquitectura compacta, es idóneo para medir su altura, geometría de sus hojas y área foliar bajo esquemas lumínicos. Además, se adapta muy bien por su porte bajo a sistemas intensivos de producción (Ali *et al.*, 2023). Es nula la información referente al uso de luz intermitente suministrada de forma suplementaria en periodos nocturnos en periodos de intermitencia cortos en lechuga, debido a ello la presente investigación plantea verificar si el uso de luz led intermitente con combinación de espectros RGB propicia efectos positivos comparables a la luz continua en términos de crecimiento y parámetros fotosintéticos.

La investigación se enfocó en aportar evidencia que muestre como el cultivo de lechuga responde a la suplementación de luz en diferentes periodos cortos de tiempo cuantificado en términos de tasa fotosintética y de cómo esto afecta al desarrollo de las plantas, lo cual permitirá una mejor comprensión entre la relación de intermitencia de luz y la respuesta de las plantas para optimizar su crecimiento. Asimismo, buscó validar si la intermitencia corta de luz no reducirá significativamente la tasa fotosintética ni el crecimiento foliar en comparación con la luz led continua, suministrada en periodos nocturnos bajo condiciones de invernadero.

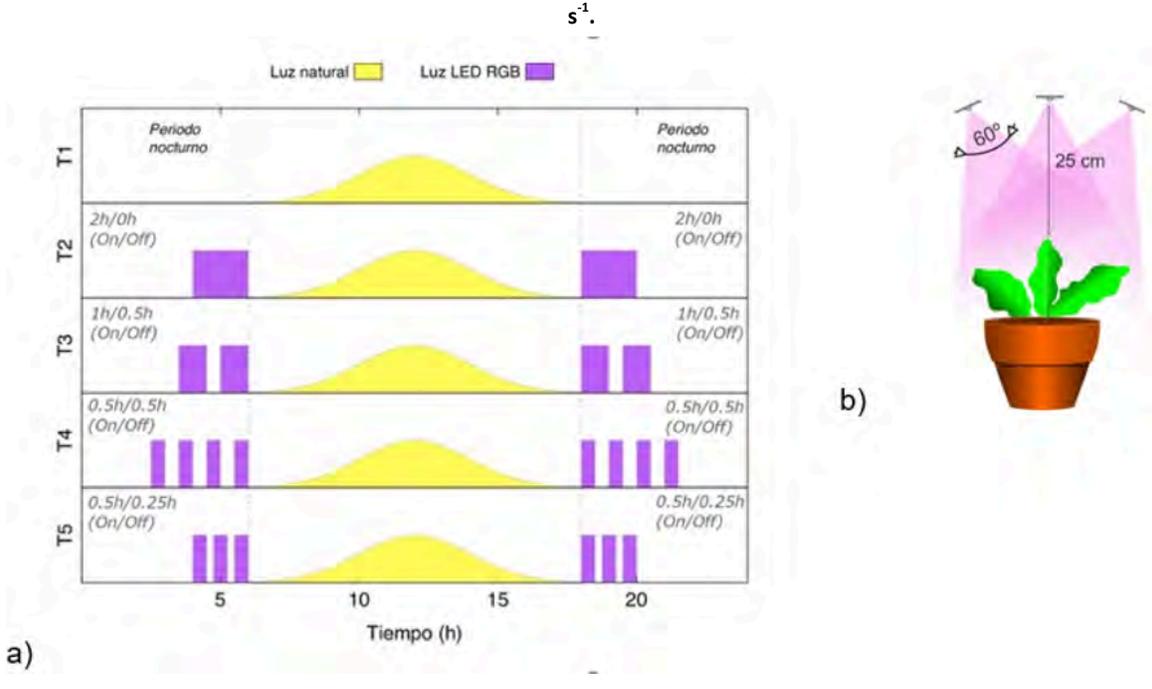
## Materiales y métodos

### Descripción del sitio experimental y tratamientos

El experimento se establece en un invernadero tipo multitúnel con cubierta de polietileno equipado con sistema de refrigeración de tipo pared húmeda, localizado en las coordenadas 25.460833° latitud norte y 100.970227° longitud oeste a una elevación de 1 500 msnm. Fueron conformados cinco tratamientos (T1 a T5) con cultivo de lechuga variedad Paris Island. El tratamiento T1

consistió en el cultivo de lechuga bajo condiciones de solo luz del sol, en los tratamientos T2 a T5 se buscó extender el fotoperiodo complementando la luz natural con luz led suministrada solo en periodos nocturnos (Figura 1a).

Figura 1. a) tratamiento T1 con luz natural y T2 a T5 con luz led complementaria con diferentes duraciones y tiempo de inicio de los periodos de encendido-apagado (on-off); b) representación frontal del arreglo de luces led dispuestas en hilera paralelas a las líneas de las plantas de lechuga para mantener una intensidad de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .



El tiempo de operación total de luz led diaria en los tratamientos T2 a T4 fue de 4 h, aplicando 2 h antes del amanecer y 2 h después del anochecer. En el caso de T5 el tiempo de operación diaria fue de 3 h, aplicando 1.5 h antes del amanecer y después del anochecer respectivamente. La relación de encendido/apagado fue el factor principal, con niveles de 2 h/0 h (T2), 2 h/1 h (T3), 0.5 h/0.5 h (T4) y 0.5 h/0.25 h (T5). Estos lapsos de luz artificial complementaron el periodo de luz natural para un fotoperiodo de 16 h para T2 a T4, a excepción de T5 que tuvo un fotoperiodo de 15 h. Cada tratamiento estuvo conformado por ocho macetas arregladas en línea recta, cada maceta contenía una planta de lechuga.

El registro de lecturas de tasa fotosintética y conductancia estomática fueron realizadas a los 29 días después del trasplante medido en la porción del ápice realizando tres lecturas en hojas jóvenes adultas localizadas en el verticilo intermedio de cada planta al medio día, se consideraron cinco plantas seleccionadas al azar para cada uno de los cinco tratamientos (T1-T5), cada lectura fue analizada como réplica biológica independiente.

### Sistema de iluminación con luces led

Las lámparas de iluminación estuvieron conformadas por luces led tipo red-green-blue (RGB) modelo LED-P1RGBLLLL-120/43-N emitiendo luz en las longitudes de onda de 600-650 nm, 520-530 nm y 450-470 nm para los canales rojo (R), verde (G) y azul (B) respectivamente. Todas las luces fueron dispuestas en arreglo de tiras simples, con tres tiras por cada hilera de plantas (Figura 1b). Cada foco led cuenta con una potencia de 3W, con encapsulado transparente.

Las luces led fueron además equipadas con lentes de acrílico convexos de 13 mm para obtener un ángulo de apertura de  $60^\circ$  y con ello concentrar más la luz hacia las plantas. Todas las lámparas led fueron calibradas para obtener una PPFD de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm 15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  medida a 25 cm

desde al centro de las macetas mediante un sensor quantum (LI-193SA, LI-COR), estableciendo para todos los tratamientos de luz led RGB una proporción de espectros de 16R:1G:3B como una generalización de trabajos relacionados (van Deldel *et al.*, 2021). Las lámparas led fueron siempre ajustadas en función del crecimiento en altura de las plantas para mantener la distancia de 25 cm entre lámparas y plantas (Figura 1b).

### **Establecimiento del cultivo**

Fue realizado el trasplante de las plántulas a los 21 días después de la siembra, hacia macetas de 5 L con material de perlita como sustrato. Todos los tratamientos fueron fertilizados con solución universal Steiner, manteniendo un drenaje de la solución nutritiva del 15-20% aplicada mediante un sistema de riego automatizado. Adicionalmente fueron aplicados micronutrientes por igual en todos los tratamientos.

A los 30 días después del trasplante fueron registrados parámetros de crecimiento de las plantas, entre los que se encuentran: altura de planta, largo y ancho de hoja (medido en la parte central del eje longitudinal de la hoja), tasa de fotosíntesis y conductancia estomática mediante un equipo LI-6400XT marca LI-COR, seleccionando cinco plantas al azar con tres mediciones por planta considerándolas observaciones independientes dentro de cada tratamiento.

Para estimar el área foliar se colectaron imágenes de alta resolución de las hojas desplegadas de cada planta capturadas con cámara RGB de dispositivo móvil de cinco plantas, posteriormente se registró el peso fresco del follaje mediante una balanza analítica y finalmente su peso seco, este último se determinó a partir de muestras colocadas al interior de un horno de secado (OV-490A-2, Blue M Electric Company) a 70 °C durante 48 h.

### **Cálculo de la integral de luz diaria (DLI)**

Al interior del invernadero fue medida la radiación solar global mediante dos sensores piranómetros (LI-200R, LI-COR), las lecturas promedio diarias fueron convertidas a unidades de PPFD de acuerdo con (Reis y Ribeiro, 2020), con el objetivo de calcular la integral de luz diaria (DLI) fue utilizada la Ecuación 1 y así cuantificar así la cantidad de luz natural y artificial que recibieron las plantas. La DLI fue calculada mediante la siguiente ecuación (He *et al.*, 2019):

$$DLI \left( \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \text{ día}} \right) = \frac{\left( \text{PPFD} \left( \frac{\mu\text{mol}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right) \times \text{fotoperiodo} \left( \frac{\text{h}}{\text{día}} \right) \times 3600 \left( \frac{\text{s}}{\text{h}} \right) \right)}{10^6} \quad 1).$$

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos son analizados mediante un diseño experimental completamente al azar mediante el software R v4.2.3 (R Core Team, 2023). Previamente se realizan a los datos la verificación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante pruebas de Shapiro-Wilk y Barlett respectivamente, llevando a cabo análisis de varianza (Anova) basado en un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , utilizando además una prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para verificar diferencias entre los tratamientos y evaluando el tamaño del efecto ( $\eta^2$ ) para cada parámetro estudiado (Sullivan y Feinn, 2012).

### **Resultados y discusión**

El ciclo del cultivo de lechuga fue inspeccionado semanalmente, la temperatura media a la cual estuvieron sometidas las plantas fue de 23.2 °C, con valor promedio de 18.4 °C y 29.7 °C para las temperaturas mínimas y máximas respectivamente, realizado durante julio a septiembre de 2024. La integral de luz diaria (DLI) promedio correspondiente a la radiación PAR (400-700 nm) recibida por todos los tratamientos por efecto de la luz natural al interior del invernadero fue de 8.75 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> y desviación estándar (SD) de 0.912 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, con sus correspondientes variaciones diarias generadas por las condiciones climáticas del exterior.

Los valores de DLI correspondientes a la luz led complementaria a la luz natural por día fueron 2.16 y 2.88 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> para duraciones de 3 h y 4 h suministrados a T5 y T2-T4 respectivamente (Cuadro 1), aplicada sin variaciones en cuanto a intensidad, proporción de espectro y horario de operación propias de cada tratamiento (Figura 1a).

**Cuadro 1. Integral de luz diaria (DLI) promedio diario suministrada a cada uno de los tratamientos durante el ciclo de cultivo a partir del trasplante.**

Tratamiento	DLI (mol m <sup>2</sup> día)	Condición
T1	8.75	Luz natural
T2	11.63	Luz natural + luz led continua
T3	11.63	Luz natural + luz led intermitente
T4	11.63	Luz natural + luz led intermitente
T5	10.91	Luz natural + luz led intermitente

Según el estudio de Boros *et al.* (2023) afirman que el rango de condición óptima de PPFD para plantas de lechuga es de 200-250 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> con un fotoperiodo de 16 h para dar como resultado un DLI de entre 11.52 a 14.4 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> que involucra solo al espectro de radiación PAR, dicho afirmación resulta válida para una proporción de R/B de 2.2. Bajo este criterio, la DLI suministrada a T1 sería insuficiente, este efecto se atribuye al nivel de transmisividad de la cubierta del invernadero; por otro lado, los tratamientos T2 a T5 se encontrarían dentro del rango de PPFD recomendado.

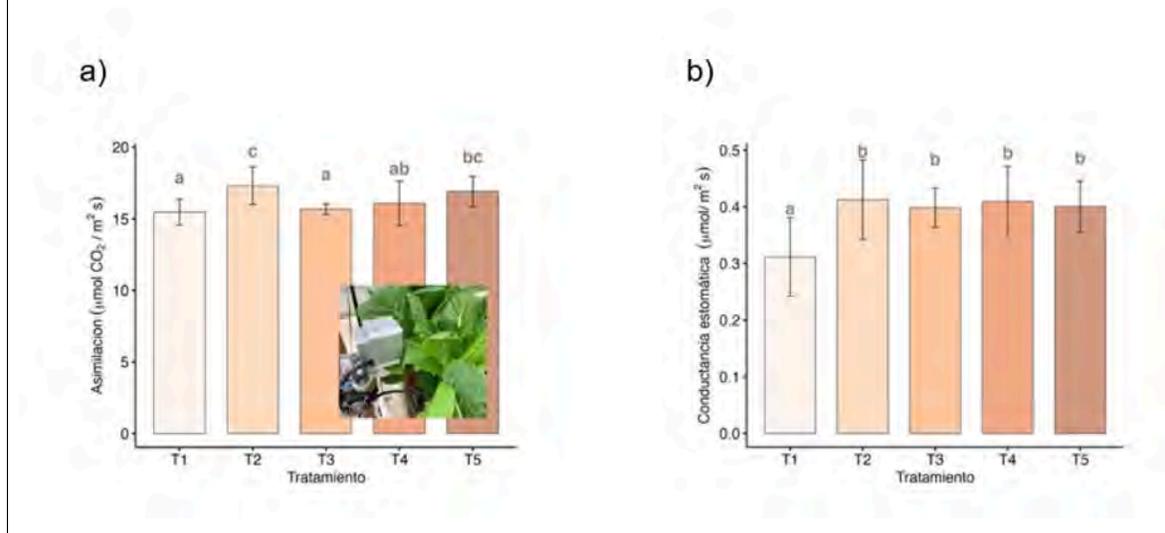
Por su parte He *et al.* (2019) reportan que una DLI de 14.4 mol m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> a una PPFD de 250 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> es suficiente, bajo ese criterio los tratamientos establecidos en el presente estudio están ligeramente por debajo, aunque debe considerarse que la combinación de factores tales como la calidad de luz, intensidad, fotoperiodo, factores climáticos, especie vegetal y variedad cultivada influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Dutta Gupta, 2017; Boros *et al.*, 2023). Dada la amplia variabilidad por efecto de la combinación de los factores antes mencionados, resulta complejo obtener una comparativa precisa entre los distintos trabajos de investigación previos.

### Fotosíntesis y conductancia estomática

La tasa fotosintética fue cuantificada en términos de tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (Figura 2a), fueron verificados los supuestos de normalidad y homocedasticidad ( $p= 0.053$  y  $p= 0.065$  respectivamente), resultando un tamaño del efecto de  $\eta^2= 0.32$ , la prueba de Anova ( $F_{4,10}= 7.8$ ,  $p= 3.1 \times 10^{-5}$ ) indicó que al menos una de las medias de los tratamientos fue diferente, los datos mostraron una mayor tasa fotosintética en los tratamientos con luz LED T2 y T5, con valores promedio de 16.9 y 17.3 (mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente).



Figura 2. a) tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (16.29 ± 0.35 (±SE) (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, n= 5) y b) conductancia estomática (0.386 ± 0.018 (x̄±SE)(mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, n= 5). Agrupamiento basado en Tukey HSD con p < 0.05. x̄

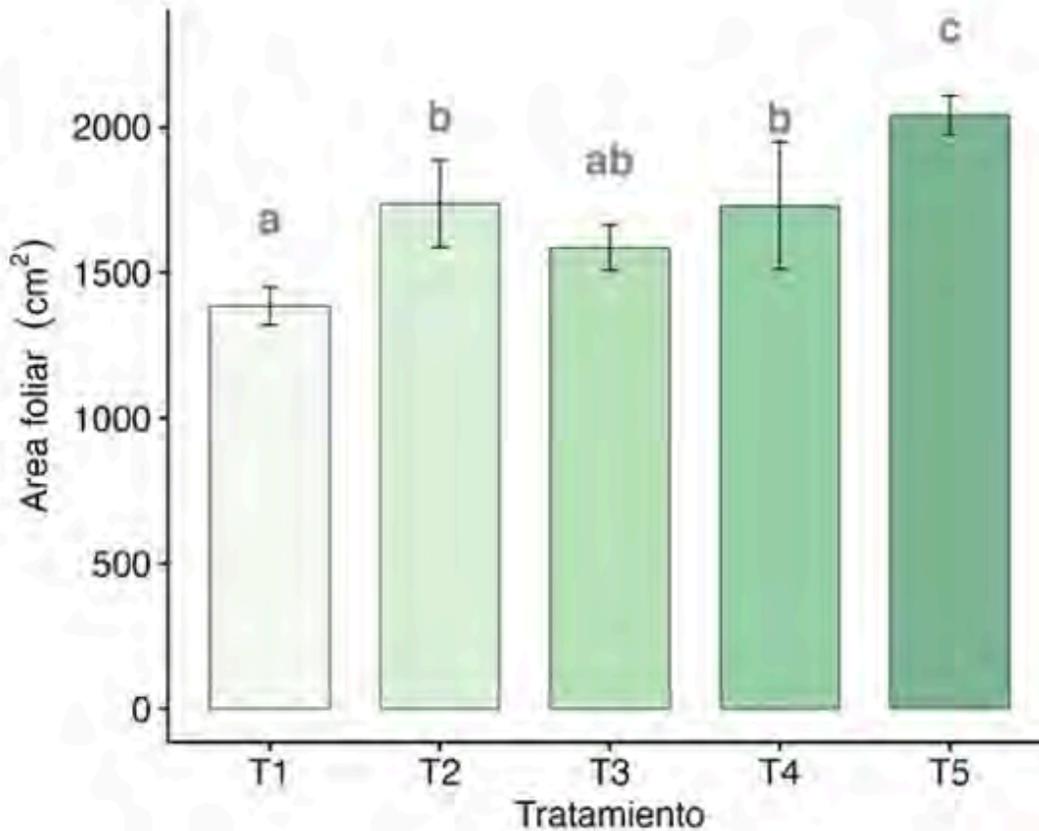


El tratamiento de referencia T1 junto con T3 y T4 fueron los más bajos con respecto a valores de tasa fotosintética. Con respecto a la tasa de conductancia estomática, los resultados de Anova ( $F_{4,10} = 7.97$ ,  $p = 2.5 \times 10^{-5}$ ) indicaron efecto de tratamiento, con un ( $r^2 = 0.3$ ). Los tratamientos T2-T5 complementados con luz led fueron significativamente diferentes y superiores con respecto al tratamiento de referencia T1 (Figura 2b), ya que los tratamientos con luz led mostraron en promedio 18.9% más en valores de conductancia estomática con respecto a T1 con error estándar (SE) de 0.28 (mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

Los tratamientos T2 a T5 al haber sido suplementados con luz led desarrollaron una mayor área foliar (Figura 3), esto posiblemente propició una mayor tasa fotosintética al captar mayor cantidad de luz (Jishi, 2018). Con respecto a la conductancia estomática, observada en los diferentes tratamientos correlacionó de forma directamente proporcional con la tasa de fotosíntesis, evidenciado principalmente en los tratamientos con luz suplementaria (T2-T4) los cuales tuvieron generalmente mayor conductancia estomática así como una mayor tasa fotosintética con respecto a T1, debido a que los estomas regulan el intercambio de gases, incluyendo el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua los cuales a su vez afectan la tasa de fotosíntesis (Avgoustaki *et al.*, 2021b).



Figura 3. Área foliar ( $1696.1 \pm 107.44$  ( $\pm SE$ )  $cm^2$ ,  $n=5$ ) de las plantas de lechuga al final del ciclo. Agrupamiento  $\bar{x}$  basado en Tukey HSD con  $p < 0.05$ .



Aunque Liu *et al* (2025) utilizaron una intensidad similar de  $210$  ( $mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), observaron un decremento en tasa fotosintética, aplicando en su caso espectros R/R-lejano con regímenes de intermitencia de 5 a 45 min, diferentes a los del presente estudio. Por su parte (Avgoustaki *et al.*, 2021a) en experimentos con albahaca encontraron también una mayor tasa de fotosíntesis en tratamientos con luz led intermitente, aunque menor cuando fueron utilizados periodos de luz cortos de 10 min; es decir, una relación de luz/oscuridad de 1:5 argumentando que con esta tasa de luz las células no tendrían la suficiente energía para realizar su proceso fotosintético.

### Parámetros de crecimiento en hojas de lechuga

Las dimensiones de hojas jóvenes adultas (tres por planta) fueron medidas al final del ciclo de cultivo y analizadas como variables biológicas independientes, El Cuadro 2 mostró que en términos de largo de hoja el tratamiento T3 fue el único superior al testigo T1, pero no diferente al resto de los tratamientos con luz led suplementaria. Con respecto al ancho de la hoja los tratamientos de luz intermitente (T3-T5) muestran tendencia a un aumento de este parámetro.



**Cuadro 2. Dimensiones promedio y desviación estándar (SD) de las hojas de lechuga medidas al final del ciclo de cultivo.**

Tratamiento	Parámetros de crecimiento		Geometría de la hoja
	Ancho ± SD (cm)	Largo ± SD (cm)	Largo/Ancho ± SD (cm cm <sup>-1</sup> )
T1	8.38 <sup>a</sup> (1.46)	20.73 <sup>a</sup> (1.31)	2.54 <sup>a</sup> (0.431)
T2	9.9 <sup>ab</sup> (2.289)	21.42 <sup>a</sup> (3.4)	2.21 <sup>a</sup> (0.344)
T3	11.02 <sup>b</sup> (1.94)	24.75 <sup>b</sup> (1.299)	2.29 <sup>a</sup> (0.348)
T4	9.85 <sup>ab</sup> (1.08)	22.78 <sup>ab</sup> (2.9)	2.32 <sup>a</sup> (0.208)
T5	9.96 <sup>ab</sup> (1.379)	22.52 <sup>ab</sup> (3.49)	2.29 <sup>a</sup> (0.429)

Valores de la misma columna con diferente letra indican la existencia de diferencia estadísticamente significativa entre ellos con un ( $\alpha = 0.05$ ).

La implementación de los tratamientos no causó alteraciones en la geometría de la hoja respecto a redondez o proporción largo/ancho. En general los tratamientos con luz led propiciaron hojas más grandes con respecto a T1, lo cual concuerda con los valores de área foliar (Figura 3) indicando con ello una afectación en el tamaño de las hojas, pero no en su forma. La proporción de luz roja utilizada en el presente experimento fue de 5.3 veces mayor en relación con la luz azul, de acuerdo con Ali *et al.* (2023) la luz roja favorece la expansión de las hojas, fenómeno observado también en el área foliar lo cual podría explicar la diferencia en tamaño de hojas de los tratamientos con luz led con respecto a T1.

El área foliar fue determinada al término del ciclo mediante imágenes de alta resolución del follaje deshojado, la prueba de Anova ( $F_{4,10} = 13.56$ ,  $p = 7.15 \times 10^{-5}$ ) indicó un efecto de tratamiento, con un  $\eta^2 = 0.78$ , los resultados mostraron a T1 con el valor de área foliar promedio más bajo (1 385 cm<sup>2</sup>), seguido de los tratamientos T2 y T4 claramente diferenciados de T1 y T5, siendo T5 el tratamiento con mayor área foliar alcanzando un valor promedio de 2 042 cm<sup>2</sup>, esto significa un 21.2% más que el resto de los tratamientos con luz led (T2-T4).

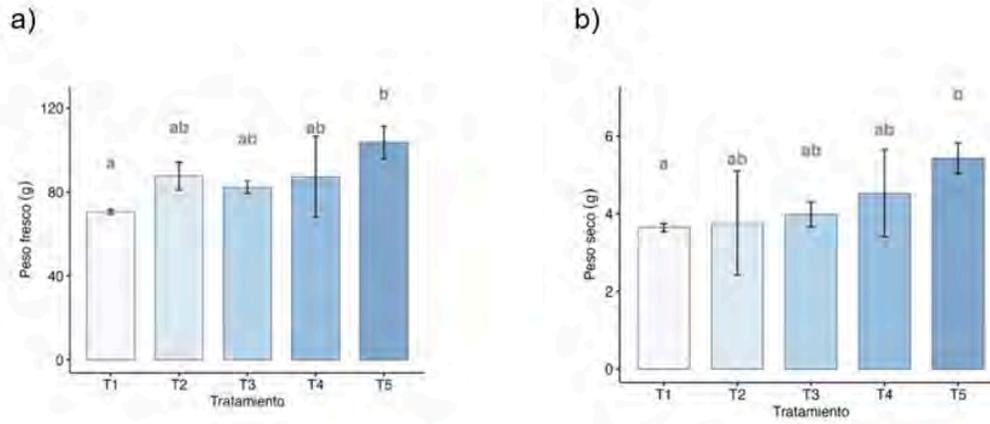
Se observó una tendencia al alza desde T3 a T5 en función del aumento de la distribución del periodo de luz led a lo largo de un día de 24 h (Figura 3), esto a pesar de que la integral de luz diaria (DLI) fue menor en T5 debido a un fotoperiodo de 15 h en relación con los tratamientos T2-T3 que contaron un fotoperiodo de 16 h.

### Peso fresco y seco del follaje

Los datos medidos del peso fresco y seco del follaje medido al final del ciclo del cultivo, la prueba de Anova para peso fresco ( $F_{4,10} = 5.81$ ,  $p = 0.0049$ ) y peso seco ( $F_{4,10} = 3.22$ ,  $p = 0.042$ ) con un  $\eta^2 = 0.61$  y ( $\eta^2 = 0.46$  para peso fresco y seco respectivamente, ambos mostraron efecto de tratamiento y tuvieron un comportamiento similar (Figura 4), de manera que el peso seco y fresco en T1 fue estadísticamente menor en comparación a T5, con valores promedio de 70.6 g y 103.6 g de peso fresco respectivamente, pudiéndose observar además que no hubo diferencia entre los tratamientos T2 a T4 que compartían un mismo fotoperiodo neto de 16 h.



Figura 4. a) peso fresco del follaje ( $86.3 \pm 5.31$  ( $\bar{x} \pm SE$ ) g, n= 5) y b) peso seco del follaje secado ( $4.27 \pm 0.32$  ( $\pm SE$ ) g, n= 5). Agrupamiento basado en Tukey HSD con  $p < 0.05$ .



Los tratamientos con mayor área foliar (Figura 3) también mostraron en general valores más altos de peso fresco (Figura 4a), lo que es congruente con la expectativa de que una mayor superficie fotosintética predispone a una mayor acumulación de biomasa; Boros *et al.* (2023) mencionan que con un aumento de DLI de forma lineal se incrementó también la biomasa, estos mismos autores sugieren que el efecto puede variar en función de factores tales como la DLI, el fotoperiodo, el área foliar, la intensidad y calidad de luz.

Los resultados del presente estudio contrastan con esto último, ya que el tratamiento T5 con un fotoperiodo de 15 h; es decir, una hora menos que el resto de los tratamientos con luz led suplementaria mostró un valor promedio de 103.6 g de peso fresco, fue mayor que el testigo T1 el cual alcanzó un promedio de 70.6 g aunque estadísticamente similar a T2-T4, posiblemente se debe al efecto de aplicación de luz intermitente en proporción de encendido/apagado de 2:1 (30 min/15 min).

Lo anterior, concuerda con lo encontrado por Avgoustaki *et al.* (2021b) quienes al trabajar con plantas de albahaca trabajando con periodos más largos de oscuridad y más cortos de luz (6:1) mezclados con luz led continua en un mismo día localizaron mayor producción de biomasa en tratamientos con luz intermitente en comparación con luz continua. De manera similar Chen y Yang (2018) encontraron un incremento de biomasa en brotes de plantas de lechuga implementando periodos intermitentes de luz en proporciones de 2:1 (luz/oscuridad) con configuraciones de 8 h/4 h, 4 h/2 h y 3 h/1.5 h de encendido/apagado utilizando solo espectros R:B a una intensidad PPFD de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

El efecto sobre el crecimiento en plantas de lechuga que puede producir la amplia diversidad de combinaciones posibles de factores tales como el fotoperiodo, la intensidad y la calidad de luz, así como el tipo de espectro y las diferentes proporciones de luz RGB dificultan la realización de una comparativa certera entre investigaciones previas y estos resultados.

Se observó un incremento estadísticamente significativo en área foliar ( $\text{cm}^2$ ), peso fresco (g) y tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en los tratamientos con luz led suplementaria frente al control ( $F_{4,10} = 7.8$ ,  $p = 3.1 \times 10^{-5}$ ), mientras que el índice de forma foliar (largo/ancho) no mostró diferencias significativas. Sin embargo; Nissim-Levi *et al.* (2019) con estudios sobre plantas de crisantemo utilizando luz intermitente, encontraron que la luz azul inhibió la floración y utilizando solo luz roja intermitente provocó tallos más cortos en comparación a plantas con luz continua.

Por su parte Ali *et al.* (2024) reportan que el uso de luz intermitente a alta frecuencia (1 KHz) causó una reducción significativa en el peso fresco de lechuga verde y roja, al utilizar solo luz artificial con un fotoperiodo de 16 h, contrastando con los resultados de este estudio, esto podría indicar que periodos de intermitencia cortos y no de alta frecuencia podrían ser más benéficos para el crecimiento vegetativo de plantas de lechuga.

En el estudio de Chen *et al.* (2017) encontraron mayor producción de biomasa en lechuga cultivada con luz led continua en proporción R:B de 2:1 en comparación con tratamientos irradiados con luz RB con modo de encendido alterno en proporciones de tiempo 1:1; es decir, cuando la luz R se encontraba encendida la luz B se mantenía apagada y al cabo de un tiempo determinado intercambiaban estado de encendido a apagado y viceversa probando así diferentes lapsos de tiempo desde 4 h a 1 h, mostrando en sus resultados que la aplicación simultánea de RB propicia mayor biomasa tal como fue aplicado en el presente estudio.

Con respecto a los parámetros evaluados, el tratamiento T5 no mostró diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos con luz led (T2-T4) excepto en área foliar, posiblemente ampliando las horas de luz suplementarias se podrían potenciar y evidenciar más los efectos y las diferencias, considerando que T5 operó con una hora menos sin afectar de manera negativa el área foliar, fotosíntesis ni peso fresco y seco, podría considerarse entonces como una recomendable alternativa de manejo de los sistemas de iluminación artificial la aplicación de luz led intermitente con periodos cortos de encendido/apagado con la consecuente ventaja de brindar una reducción del tiempo de operación (25%) si merma el crecimiento de la lechuga.

El efecto por uso de luz led suplementaria podría ser diferente dependiendo también de la época del año, como lo afirma Tewolde *et al.* (2016) quien encontró un efecto significativo en producción de tomate cuando utilizó luz led suplementaria en otoño e invierno debido posiblemente a las diferencias en cantidad de luz natural influenciada por la latitud. Ohtake *et al.* (2018) mencionan, que utilizando luz led intermitente y alternando los espectros R y B acelera el crecimiento de plantas de lechuga especialmente entre los 21 y 31 días después de la siembra, esto posiblemente sea un indicio de que el modo de aplicación de la luz led, ya sea esta continua, intermitente o alternada, deba ser ajustada en función de la etapa de desarrollo del cultivo.

Dentro de las limitaciones del presente estudio se encuentran, el uso de una sola variedad de lechuga, un tamaño de muestra relativamente pequeño, además de que este fue realizado solo en un periodo de otoño, este último punto podría ser considerado un factor relevante debido a que la mayor parte de la DLI proviene de la luz del sol y se puede ver ampliamente afectada por las estaciones del año.

## Conclusiones

La luz led RGB en proporción de 16:1:3 suministrada de forma complementaria a la luz natural de modo intermitente a intervalos de tiempo de 30/15 min (encendido/apagado) en plantas de lechuga de variedad Paris Island bajo invernadero multitunel en periodos nocturnos en época de otoño no produce diferencias significativas (Anova,  $p > 0.05$ ) en tasas fotosintéticas, conductancia estomática, peso seco o seco entre la luz led complementaria intermitente y continua. La luz intermitente (30/15 min) produce un incremento estadísticamente significativo (Anova,  $p = 7.15 \times 10^{-5}$ ) en términos de área foliar con relación a la luz led continua, permitiendo una reducción en el tiempo de operación del sistema de iluminación en un 25% sin afectar de forma negativa dicho parámetro.



## Bibliografía

- 1 Ali, A.; Santoro, P.; Ferrante, A. and Cocetta, G. 2023. Investigating pulsed LED effectiveness as an alternative to continuous LED through morpho-physiological evaluation of baby leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Acephala*). *South African Journal of Botany*. 160(3):560-570.
- 2 Ali, A.; Santoro, P.; Ferrante, A. and Cocetta, G. 2024. Continuous and pulsed LED applications on red and green lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) for pre- and post-harvest quality and energy cost assessments. *Sci Hortic*. 338:1-24.
- 3 Avgoustaki, D. D.; Bartzanas, T. and Xydis, G. 2021. Minimising the energy footprint of indoor food production while maintaining a high growth rate: introducing disruptive cultivation protocols. *Food Control*. 130:1-13.
- 4 Boros, I. F.; Székely, G.; Balázs, L.; Csambalik, L. and Sipos, L. 2023. Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L.) in PFAL systems a review. *Sci Hortic*. 321:1-19.
- 5 Burattini, C.; Mattoni, B. and Bisegna, F. 2017. The impact of spectral composition of white leds on spinach (*Spinacia oleracea*) growth and development. *energies (basel)*. *Energies* 10(9):1-14.
- 6 Chen, X. L. and Yang, Q. C. 2018. Effects of intermittent light exposure with red and blue light emitting diodes on growth and carbohydrate accumulation of lettuce. *Sci Hortic* . 234:220-226.
- 7 Chen, X. L.; Yang, Q. C.; Song, W. P.; Wang, L. Ch.; Guo, W. Z. And Xue, X. Z. 2017. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. *Sci. Hortic*. 223:44-52. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.037>.
- 8 Chinchilla, S; Izzo, L. G.; Van-Santen, E. and Gómez, C. 2018. Growth and physiological responses of lettuce grown under pre-dawn or end-of-day sole-source light-quality treatments. *Horticulturae*. 4(2):1-10.
- 9 Dutta-Gupta, S. 2017. Light emitting diodes for agriculture: smart lighting. In *light emitting diodes for agriculture: smart lighting*. 1<sup>st</sup> Ed. 113-147 pp. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>
- 10 He, D.; Kozai, T.; Niu, G. and Zhang, X. 2019. Light-emitting diodes for horticulture bt - light-emitting diodes: materials, processes, devices and applications. *In: Li, J. and Zhang, G. Q. Ed. Springer International Publishing, Cham*. 513-547 pp.
- 11 Jishi, T. 2018. LED lighting techniques to control plant growth and morphology. *In: smart plant factory: the next generation indoor vertical farms*. 211-222 pp.
- 12 Jishi, T.; Kimura, K.; Matsuda, R. and Fujiwara, K. 2016. Effects of temporally shifted irradiation of blue and red LED light on cos lettuce growth and morphology. *Sci Hortic* . 198:227-232.
- 13 Nissim-Levi, A.; Kitron, M.; Nishri, Y.; Ovadia, R.; Forer, I. and Oren-Shamir, M. 2019. Effects of blue and red LED lights on growth and flowering of *Chrysanthemum morifolium*. *Sci Hortic* . 254:77-83.
- 14 Ohtake, N.; Ishikura, M.; Suzuki, H.; Yamori, W. and Goto, E. 2018. Continuous irradiation with alternating red and blue light enhances plant growth while keeping nutritional quality in lettuce. *HortScience*. 53(12):1804-1809.
- 15 R Core Team, 2023. R: a language and environment for statistical computing (4.2.3) R. Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>,
- 16 Radetsky, L.; Patel, J. S. and Rea, M. S. 2020. Continuous and intermittent light at night, using red and blue LEDs to suppress basil downy mildew sporulation. *Hort. Science*. 55(4):483-486.

- 17 Reis, M. G. and Ribeiro, A. 2020. Conversion factors and general equations applied in agricultural and forest meteorology. *Agrometeoros*. 27:227-258.
- 18 Sullivan, G. M. and Feinn, R. 2012. Using effect size or why the P value is not enough. *J. Grad. Med. Educ.* 4(3):279-282.
- 19 Tewolde, F. T.; Lu, N.; Shiina, K.; Maruo, T.; Takagaki, M.; Kozai, T. and Yamori, W. 2016. Nighttime supplemental LED inter-lighting improves growth and yield of single-truss tomatoes by enhancing photosynthesis in both winter and summer. *Front Plant Sci.* 7:1-10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00448>.
- 20 Viršilė, A.; Brazaitytė, A.; Vaštakaitė-Kairienė, V.; Miliauskienė, J.; Jankauskienė, J.; Novičkovas, A.; Laužikė, K. and Samuolienė, G. 2020. The distinct impact of multi color LED light on nitrate, amino acid, soluble sugar and organic acid contents in red and green leaf lettuce cultivated in controlled environment. *Food Chem.* 310:1-9.
- 21 Yang, J.; Song, J. and Jeong, B. R. 2022. Lighting from top and side enhances photosynthesis and plant performance by improving light usage efficiency. *International Journal of Molecular Sciences.* 23(5):1-25. <https://doi.org/10.3390/ijms23052448>.



## Efecto de luz led complementaria intermitente sobre el crecimiento de lechuga bajo invernadero

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 00 March 2025
Date accepted: 00 June 2025
Publication date: 15 October 2025
Publication date: Sep-Oct 2025
Volume: 16
Issue: esp30
Electronic Location Identifier: e4044
DOI: 10.29312/remexca.v16i30.4044
Article Id (other): 00007

### Categories

Subject: Artículos

### Palabras claves:

**Palabras claves:**

*Lactuca sativa* L.  
ahorro energético  
fotoperiodo  
fotosíntesis  
invernadero

### Counts

Figures: 4  
Tables: 2  
Equations: 0  
References: 21