

Efecto de iluminación LED sobre el prendimiento de esquejes de lavanda rizada

José Ángel Moro¹, Diego Alves³, Yasmina Chourak¹ y Miguel Urrestarazu¹

¹ Departamento de Agronomía, Universidad de Almería, Almería, Spain, ² Universidade Estadual do Norte Fluminense, Brazil.

Abstract. Las lámparas de diodos emisores de luz (LED) son uno de los avances más importantes en iluminación artificial para la horticultura en las últimas décadas. El objetivo de este estudio fue el de comparar 4 espectros e intensidades de luz LED diferentes para encontrar la metodología ideal para el desarrollo de esquejes de *L. dentata*. El experimento de espectros se realizó usando como control una lámpara de luz blanca y 3 lámparas, para uso en agricultura, de diferentes espectros. El experimento de intensidades se realizó, usándose diferentes densidades de lámparas para conseguir la intensidad deseada en cada tratamiento. Ambos experimentos se realizaron en una cámara de ambiente controlado. Se midió los parámetros de iluminancia (Lux) e intensidad del flujo de fotones fotosintéticos (PPF). También fueron medidos peso seco y fresco, altura, eficiencia energética e índice de calidad de Dickson para comparar el crecimiento de las plantas. Se registró el mejor resultado en altura en el tratamiento con la lámpara Valoya® L18 AP67 Milky. El mayor desarrollo de biomasa se registró en el tratamiento con mayor intensidad de luz, sin embargo, la mejor eficiencia energética fue conseguida con el tratamiento de menor intensidad lumínica. Sugerimos que se lleven a cabo estudios en los que se haga un seguimiento de la planta hasta estados de desarrollo más avanzados para poder ver el efecto de espectro e intensidad en todo el ciclo vegetativo de la planta.

Keywords: Diodos Emisores de Luz, *Lavandula dentata*, Fertirriego, Solución nutritiva, Arraigamiento, Crecimiento

INTRODUCCIÓN

La lavanda (*Lavandula dentata* L.) es una planta perteneciente a la familia Lamiaceae y típica de la región mediterránea. Es una planta de gran interés terapéutico y económico ya que de ella pueden extraerse aceites esenciales en grandes cantidades, siendo además de gran calidad para distintas industrias (Silva et al., 2017).

Las técnicas efectivas para incrementar el crecimiento y desarrollo morfológico de plantas cultivadas bajo sistemas sin suelo han ido en crecimiento y desarrollo, sobre todo las que son usadas en estructuras cerradas. Centrándose este estudio en las relacionadas con luces LEDs (Johkan et al., 2012; Najera and Urrestarazu, 2019; Nájera et al., 2018; Urrestarazu et al., 2016).

Las lámparas fluorescentes son usadas en la actualidad de forma general en la horticultura, especialmente en cultivo in vitro. Los sistemas de iluminación LED tienen beneficios muy variados, estando entre ellos su espectro, durabilidad, larga vida útil, longitud de onda específica, baja temperatura en su superficie y alta eficiencia energética. Por ello, las luces LED se constituyen como un modo de iluminación artificial energéticamente eficiente y beneficiosa para las plantas (Urrestarazu et al., 2016)

Uno de los factores ambientales que más afecta al crecimiento de las plantas es la intensidad de la luz. Un ejemplo es que, normalmente, las situaciones de alta intensidad lumínica son reportadas como un factor que causa fotoinhibición (Fukuda et al., 2008; Long et al., 1994) Por otro lado, niveles de luz bajos son asociados a un incremento del área foliar específica y a la altura de la planta (Fan et al., 2013; Steinger et al., 2003).

El Flujo de Fotones Fotosintéticos (PPF) indica la cantidad de luz PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) que produce una lámpara por cada segundo. Este valor varía en función del espectro de luz usado. En luz azul y roja, el valor de absorción es del 90%, mientras

que en luz verde varía entre el 70-80% (Terashima et al., 2009). Las luces azules y rojas y su varianza en PPF han sido estudiados por varios autores (Li et al., 2013). Aunque también, hay autores que sugieren que la luz LED verde usada en alta intensidad promueve el crecimiento en lechuga, concretamente la luz verde de onda corta (510 nm) (Johkan et al., 2012).

Se evaluó la iluminancia. Este se define como la cantidad de luz que incide sobre una superficie (Lux), siendo esta luz la comprendida entre las longitudes de onda de 380-780 nm, el rango fotosintéticamente activo (PAR). La iluminancia es un valor que se utiliza en horticultura a menudo para poder determinar la suficiencia de la luz, con el fin de conseguir la más idónea para el cultivo de especies vegetales (Fan et al., 2013; Li et al., 2013).

El objetivo fue evaluar la mejor luminotecnia con la cual se consigan las condiciones de desarrollo vegetativo en el prendimiento de los esquejes de *L. dentata*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de cultivo y material vegetal

Se realizaron dos experimentos en una cámara de crecimiento vegetal controlada con iluminación artificial, en el Laboratorio de Control Climático y Cultivo sin Suelo de la Universidad de Almería (Almería, España), durante los meses de mayo y junio de 2020. Se mantuvieron condiciones constantes de 24° C de temperatura, 80% de humedad relativa y con un ciclo luz-oscuridad de 16 y 14, respectivamente.

El material vegetal fue *Lavandula dentata* L. cv rizada, obtenido del Jardín de Plantas Medicinales y Aromáticas del Centro de Colecciones Científicas de la Universidad de Almería (CECO UAL, 36°49'55"N y 2°24'02"W). En el laboratorio, fueron seleccionados los esquejes de la parte media del tallo, con 5.8 (\pm 0.24) cm de longitud y 352.6 (\pm 22.03) mg de peso fresco. La base del esqueje fue cortada en diagonal. En la parte apical de los esquejes se quedaron dos pares de hoja, cortadas a la mitad, y las hojas inferiores fueron retiradas (Figura 1).

Los esquejes fueron dispuestos en bandejas plásticas de semillero, con 24 alvéolos (cada alvéolo con 23 mL de volumen y 3.5 cm de longitud), insertándose un esqueje por alvéolo, llenado previamente con fibra de coco húmeda cuyas características físicas se ven en la figura 2 (Rodríguez et al., 2014).

Todas las bandejas de prendimiento fueron llevadas a la cámara de crecimiento y dispuestas en vertical con las distintas luces que compusieron los tratamientos. Durante los primeros 15 días las bandejas permanecieron cubiertas con película plástica transparente.

Ensayo con espectros de luz

El ensayo de exposición de los esquejes de lavándula bajo distintos espectros fue basado en cuatro tratamientos. Como control se utilizaron lámparas blancas de LED, constituyendo el T0 (Roblan® LED T8 18W, Toledo, España). Los demás tratamientos fueron lámparas de distintos espectros para el cultivo vegetal (Valoya®, Helsinki, Finlandia), T1 (LED modelo L18 AP67 Milky), T2 (LED modelo L18 NS1) y T3 (LED modelo L18 AP673L Milky). La potencia de todas las lámparas era de 18W. Los espectros de luz usados fueron medidos con un medidor UPRtek MK350S LED Meter (UPRtek®, Taiwán), mostrados en la Figura 3. Se colocaron tres lámparas por cada área de 0.504 m².

Los valores de iluminancia (Lux) y del flujo fotosintético de fotones (PPF, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) fueron medidos con sensores LP471-PHOT y LP471-PAR de Delta OHM® (Padua, Italia) y se muestran en la Tabla 1. Fueron muestreados, para cada medida de luz, 9 puntos repartidos por la superficie de cultivo.

Después de los 15 días iniciales, ya bajo los tratamientos, el plástico transparente fue retirado y los esquejes empezaron a ser irrigados con solución nutritiva recomendada por Sonneveld y Straver (1994), con pH y conductividad eléctrica (CE) ajustados para 5,8 y 2,0, respectivamente. La irrigación se produjo siempre hasta que fuese drenado un mínimo del 20%, para que no existiese salinización del sustrato. El drenaje fue recogido y se tomaron las medidas del volumen drenado, pH y CE (Handheld pH/Conductivity Meter LAQUAact-PC110,

Horiba Advanced Techno, Japón). Además, del drenaje se tomaron medidas de los niveles de nitratos (LAQUAtwin NO₃- Meter, Horiba Advanced Techno, Japón) y potasio (LAQUAtwin K⁺ Meter, Horiba Advanced Techno, Japón). Con estos datos se calculó el volumen de agua absorbida y porcentaje de drenaje, pH, CE, nitrato y potasio absorbidos y emitidos en cada tratamiento.

Ensayo con intensidades de luz LED

Las condiciones de cultivo fueron similares a las descritas en el ensayo de espectros de luz. Lámparas L8 LED Glass 1s 14W fueron utilizadas. Los tratamientos fueron I1, I2, I3 e I4, con 3, 5, 6 y 8 lámparas, respectivamente. Los valores de iluminancia (Lux) y del flujo fotosintético de fotones (PPF, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) son mostrados en la Tabla 2.

Evaluación de los esquejes

60 días después del trasplante se evaluó la supervivencia (expresado porcentualmente), altura, peso fresco de hojas, tallos, raíces ($\text{mg PS}\cdot\text{planta}^{-1}$) y peso seco de hojas, tallos y raíces ($\text{mg PS}\cdot\text{planta}^{-1}$).

Se midió la eficiencia en el uso de la luz y consumo de energía eléctrica.

- Eficiencia en el uso de la electricidad (EE):

$$EE = \frac{PS}{ecLED}$$

Dónde: *PS* = es el Peso Seco medio total de un esqueje (mg); *ecLED* = energía eléctrica gastada durante el ensayo por las luces LED (kW).

- Eficiencia en el uso del agua (EUA):

$$EUA = \frac{PF}{agua}$$

Dónde: *PF* = es el peso fresco medio de un esqueje (g); *agua* = cantidad de agua absorbida por un esqueje (L).

- Eficiencia en el uso de la luz (EUL):

$$EUL = \frac{PS (mg)}{FE (mol)}$$

Dónde: *PS* = es el Peso Seco medio total de un esqueje (mg); *FE* = Cantidad de fotones incidente en el cultivo (mol).

- Eficiencia de la iluminancia (EULux):

$$EULux = \frac{PS (mg)}{\text{lumen (lm)}}$$

Dónde: *PS* = es el Peso Seco medio total de un esqueje (mg); *lumen* = Cantidad lumen emitidos en los ensayos (lm). Se utilizó la relación de 1 lux = 1 lumen·m²

- Índice de calidad de Dickson (QDI) (Dickson et al., 1960):

$$QDI = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura (mm)}}{\text{diámetro del coleto (mm)}} + \frac{\text{peso seco de hoja y tallo (g)}}{\text{peso seco de raíz (g)}}$$

Diseño estadístico y análisis

Los ensayos fueron realizados bajo un diseño completamente al azar, donde los tratamientos fueron los espectros, para el ensayo 1, y las intensidades, para el ensayo 2 (Petersen, 1994). Fueron cuatro repeticiones por tratamiento, con 24 esquejes en cada repetición, totalizando 96 esquejes por tratamiento. Las medias de los datos fueron sometidas

a un análisis de la varianza, ANOVA, y enseguida comparadas con una prueba Tukey. Los datos de Índice de Dickson (Dickson et al., 1960) fueron sometidos a análisis de regresión. En todos los análisis se utilizó el programa estadístico SigmaPlot 12.0 (Systat Software GmbH, Erkrath, Germany).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo con espectros de luz LED

Después de los 60 días del inicio del ensayo, se procedió al conteo de los esquejes de *L. dentata* que habían sobrevivido, arraigado y desarrollado nuevas hojas y tallos. No hubo ninguna diferencia significativa en el nivel de supervivencia de los esquejes bajo los espectros (Figura 4). Todos los tratamientos han mantenido una supervivencia por encima del 90%, por lo que ninguno de los espectros de luz usados resulta perjudiciales para el desarrollo de los esquejes. Comercialmente se consideran viables porcentajes de supervivencia superiores al 85% (Swarts et al., 2018). Comparando esta referencia con estudios de supervivencia de esqueje bajo tratamientos de LEDs (Gil et al., 2020) se pueden contrastar los resultados obtenidos en este trabajo, ya que se observan resultados significativamente iguales en todos los tratamientos, al igual que los destacados en la figura 4.

En esa fase inicial de las plantas, durante el prendimiento hasta el desarrollo de las primeras hojas, en los análisis del drenaje durante todo el ensayo no hubo ninguna diferencia significativa entre los espectros luminosos frente a la conductividad eléctrica (CE), el pH, el porcentaje del drenaje tampoco en la cantidad total de agua absorbida (Tabla 3). No se observaron diferencias significativas en la absorción y emisión de nitratos y potasio en los esquejes desarrollados bajo los espectros probados (Tabla 4). Según experimentos realizados sobre fibra de coco (Domeño et al., 2009), sería normal que tanto pH como CE sufran alteraciones entre tratamientos ya que la absorción de nutrientes no ocurre en la misma proporción en todos los esquejes.

En cuanto a los datos que se han observado de desarrollo de los esquejes, resalta un claro aumento de crecimiento longitudinal en T1. Este aumento se observa tanto de forma cualitativa (Figura 5), como cuantitativa (Tabla 5) con diferencias significativas. En los demás parámetros morfológicos no ha habido ninguna diferencia significativa entre los tratamientos, no siendo la producción de biomasa por parte de los esquejes, y el índice de calidad de los mismos, significativamente diferentes en ninguno de los tratamientos. La lámpara utilizada como T1 (Valoya® L18 AP67 Milky) es descrita como una combinación de espectros que permite mejor regeneración en células vegetales en cultura de tejido (Nájera et al., 2018; Urrestarazu et al., 2016). En experimentos realizados con lechugas verdes y rojas, donde experimentan con distintas proporciones de colores rojo y azul en luces LED para conseguir asemejarse a la luz solar (Spalholz et al., 2020), se consiguen resultados parecidos a los registrados en este ensayo. Aquí tampoco se ve ninguna diferencia significativa en producción de biomasa en espectros de luz que tiene ambos colores mezclados en distintas proporciones. Según (Bures et al., 2018) los resultados obtenidos en las mediciones de altura en los distintos espectros, estarían explicadas por un aumento en la excitación de los fitocromos por la luz roja/roja lejana, provocando un proceso denominado como "Síndrome de huida de la sombra" (Casal, 2012; Franklin and Whitelam, 2005; Sessa et al., 2018). (Chen et al., 2020) realizaron experimentos con luces LEDs de distintos espectros en plántulas de patata y se observa como el tratamiento irradiado con luces LED de color rojo consigue una longitud significativamente mayor, contrastando los resultados obtenidos en el actual estudio. En otros ensayos realizados con luces LEDs 100% rojas y 100% azules en abeto (Yang et al., 2015) se demuestra como en plantas iluminadas con luz roja hay un aumento significativo del 29% en la producción de giberelinas en el tallo, en comparación con la producida en plantas iluminadas con luces azules. Esto provoca una respuesta de elongación en el tallo.

En las relaciones del crecimiento vegetativo con las fuentes de energía y agua utilizadas (Tabla 6), se observa que los esquejes desarrollados bajo el T1 presentaron una eficiencia

significativamente mayor en el uso de la electricidad (EE), o sea, fue el tratamiento que más masa vegetal produjo por kW gastado en total. En la Eficiencia del uso del agua (EUA), donde se buscó relacionar la cantidad de masa vegetal producida por litros de agua utilizados, las plantas bajo el T1 se presentaron significativamente más eficientes. En la Eficiencia del uso de la luz (EUL), una vez más las plantas bajo el T1 tuvieron un aprovechamiento significativamente mayor de la cantidad de luz aplicada, produciendo más masa vegetal que el resto de tratamientos. En la Eficiencia de la iluminancia (EULux) ocurre lo mismo, las plantas bajo el T1 fueron significativamente más eficientes en el uso de la luz. Los resultados de eficiencia energética concuerdan con los mostrados en (Urrestarazu et al., 2016), donde se observa que la mejor eficiencia energética se consigue en los tratamientos en los que se ha irradiado a las plantas con luz roja de baja intensidad, concretamente estos resultados han sido obtenidos en plantas de lechuga, tomate y pimiento.

Ensayo con intensidades de luz LED

Los datos de supervivencia de los esquejes prendidos bajo las intensidades luminosas (Figura 6) presentaron diferencias significativas para los valores extremos, es decir, hubo mayor supervivencia de los esquejes en la mayor intensidad, I4, frente a los esquejes cultivados en la estantería que tenía menos luz, I1.

Los drenajes no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 7). Se observa que el drenaje recolectado de la intensidad más alta, I4, presentó valores de CE superiores a los demás. Los valores de pH de los tratamientos I3 e I4 fueron significativamente superiores a los registrados en I1 e I2. También hubo diferencias significativas en la cantidad de agua absorbida por las plantas en todos los tratamientos, destacando el máximo consumo en I4.

Siguiendo con el análisis de los drenajes, en la tabla 8, se observó que las plantas de la intensidad más alta, I4, fueron las que más absorbieron nitrato y potasio, el mismo tiempo que fueron las que menos emitieron esos fertilizantes.

Dentro de los parámetros de crecimiento, mostrados en la tabla 9 de forma cuantitativa y en la figura 7 de forma cualitativa, se observa que las plantas del tratamiento I4 fueron las que tuvieron resultados significativamente mayores, igualmente evidenciando valores superiores del Índice de Dickson (Figura 8). Esto demuestra que conseguimos esquejes de mayor calidad cuanto más aumentemos estos valores. Estos resultados pueden contrastarse con varios estudios anteriores. (Urrestarazu et al., 2016) observaron el mayor desarrollo de biomasa en el tratamiento de mayor intensidad, sin embargo, en este estudio solo se ha desarrollado con dos intensidades de luz y el rango entre intensidades es demasiado amplio como para apreciar correlaciones. En estudios en los que el rango de intensidades lumínicas ha sido mayor se observan resultados similares a nuestro ensayo (Fan et al., 2013). En este estudio se observa una producción de biomasa gradualmente mayor en función del aumento de la intensidad del tratamiento, también se observa como el índice de salud de las plantas disminuye con la intensidad, algo asociado a la incapacidad de las mismas para realizar la fotosíntesis en situaciones lumínicas estresantes, donde no encuentran la suficiente cantidad de luz fotosintéticamente activa para realizar al máximo de sus posibilidades la fotosíntesis.

La tabla 10 observamos los datos de eficiencia de los distintos recursos utilizados para el cultivo de los esquejes, estos son, eficiencia en el uso de la electricidad, eficiencia en el uso del agua, eficiencia en el uso de la luz y eficiencia en el uso de iluminancia. Aunque se ve un aumento de la producción de biomasa en relación con mayores valores de intensidad lumínica, esto no se refleja en una mayor eficiencia del uso de los recursos eléctricos, luminosos e iluminancia. La mayor eficiencia en producción de biomasa en relación con los recursos usados se observa en los tratamientos de menor intensidad, siendo la mejor eficiencia energética la del tratamiento control. Por otro lado, el tratamiento de mayor intensidad ha sido el más eficiente desde el punto de vista de consumo hídrico. Esto significa que, aunque se consigue mayor producción de biomasa vegetal en los esquejes iluminados con intensidades muy altas, esto no se traduce en un consumo eficiente de recursos eléctricos, por lo que sería más lógico recurrir a tratamientos con menor intensidad lumínica, donde consumamos menos recursos, ya que la relación entre biomasa producida y electricidad

consumida será más óptima. Estos resultados también son contrastados por (Fan et al., 2013), quienes prueban que entre valores PPF de 50-150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ la eficiencia energética aumenta y por encima de estos valores esta eficiencia comienza a disminuir. En situaciones en las que la luz es excesiva, el aparato fotosintético no es capaz de disipar este exceso e inducimos una fotoinhibición, resultando en una disminución de la eficiencia en el uso de la energía. (He et al., 2020) destacan como la mayor eficiencia en el uso tanto de recursos eléctricos como de recursos lumínicos puede conseguirse en los valores de intensidad más bajos.

CONCLUSIONES

Los espectros de luz LEDs obtienen un crecimiento vertical adecuado (en un 22%), en especial con iluminarias con mayor espectro rojo (de 620 a 700 nm).

La mayor intensidad de luz LED consigue el mayor desarrollo de biomasa seca (en un 53%) y la mejor calidad de planta (64,3%). Sin embargo, la menor intensidad de luz LED es la más eficiente en el uso de recursos energéticos (en un 22,8%).

Es necesario realizar posteriores experimentos, en los que realizar un seguimiento de la planta durante todo su desarrollo morfológico para evaluar los posibles efectos sobre la planta adulta.

BIBLIOGRAFÍA

- Bures, S., Gavilán, M.U., and Kotiranta, S. (2018). Iluminación artificial en agricultura Enero 2018 Artículo técnico.
- Casal, J.J. (2012). Shade Avoidance. *Arab. B.* 10, e0157.
- Chen, L. li, Zhang, K., Gong, X. chen, Wang, H. ying, Gao, Y. hui, Wang, X. quan, Zeng, Z. hai, and Hu, Y. gao (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.* 19, 108-119.
- Dickson, A., Leaf, A.L., and Hosner, J.F. (1960). Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *For. Chron.* 36, 10-13.
- Domeño, I., Irigoyen, N., and Muro, J. (2009). Evolution of organic matter and drainages in wood fibre and coconut fibre substrates. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 122, 269-274.
- Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W., and Han, X. lin (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. (Amsterdam)*. 153, 50-55.
- Franklin, K.A., and Whitelam, G.C. (2005). Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Ann. Bot.* 96, 169-175.
- Fukuda, N., Fujita, M., Ohta, Y., Sase, S., Nishimura, S., and Ezura, H. (2008). Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. *Sci. Hortic. - SCI HORT-AMSTERDAM* 115, 176-182.
- Gil, C.S., Jung, H.Y., Lee, C., and Eom, S.H. (2020). Blue light and NAA treatment significantly improve rooting on single leaf-bud cutting of Chrysanthemum via upregulated rooting-related genes. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 274, 109650.
- He, D., Yan, Z., Sun, X., and Yang, P. (2020). Leaf development and energy yield of hydroponic sweetpotato seedlings using single-node cutting as influenced by light intensity and LED spectrum. *J. Plant Physiol.* 254, 153274.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S., and Yoshihara, T. (2012). Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environ. Exp. Bot.* 75, 128-133.
- Li, H., Tang, C., and Xu, Z. (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 150, 117-124.
- Long, S.P., Humphries, S., and Falkowski, P.G. (1994). Photoinhibition of Photosynthesis in Nature. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45, 633-662.
- Najera, C., and Urrestarazu, M. (2019). Effect of the intensity and spectral quality of LED light on yield and nitrate accumulation in vegetables. *HortScience* 54, 1745-1750.
- Nájera, C., Guil-Guerrero, J.L., Enríquez, L.J., Álvaro, J.E., and Urrestarazu, M. (2018). LED-enhanced dietary and

- organoleptic qualities in postharvest tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* *145*, 151–156.
- Petersen, R.G. (1994). *Agricultural field experiments*. Marcel Dekker, New York, NY.
- Rodríguez, D., Reca, J., Martínez, J., Lao, M.T., and Urrestarazu, M. (2014). Effect of controlling the leaching fraction on the fertigation and production of a tomato crop under soilless culture. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. *179*, 153–157.
- Sessa, G., Carabelli, M., Possenti, M., Morelli, G., and Ruberti, I. (2018). Multiple pathways in the control of the shade avoidance response. *Plants* *7*.
- Silva, S.M., Luz, J.M.Q., Nogueira, P.A.M., Blank, A.F., Sampaio, T.S., Pinto, J.A.O., and Wisniewski, A. (2017). Organo-mineral fertilization effects on biomass and essential oil of lavender (*Lavandula dentata* L.). *Ind. Crops Prod.* *103*, 133–140.
- Spalholz, H., Perkins-Veazie, P., and Hernández, R. (2020). Impact of sun-simulated white light and varied blue:red spectrums on the growth, morphology, development, and phytochemical content of green- and red-leaf lettuce at different growth stages. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. *264*, 109195.
- Steinger, T., Roy, B.A., and Stanton, M.L. (2003). Evolution in stressful environments II: adaptive value and costs of plasticity in response to low light in *Sinapis arvensis*. *J. Evol. Biol.* *16*, 313–323.
- Swarts, A., Matsiliza-Mlathi, B., and Kleynhans, R. (2018). Rooting and survival of *Lobostemon fruticosus* (L.) H. Buek stem cuttings as affected by season, media and cutting position. *South African J. Bot.* *119*, 80–85.
- Terashima, I., Fujita, T., Inoue, T., Chow, W., and Oguchi, R. (2009). Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green. *Plant Cell Physiol.* *50*, 684–697.
- Urrestarazu, M., Nájera, C., and Gea, M. del M. (2016). Effect of the spectral quality and intensity of light-emitting diodes on several horticultural crops. *HortScience* *51*, 268–271.
- Yang, F.O., Mao, J.F., Wang, J., Zhang, S., and Li, Y. (2015). Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. *PLoS One* *10*, 1–19.

TABLAS Y FIGURAS

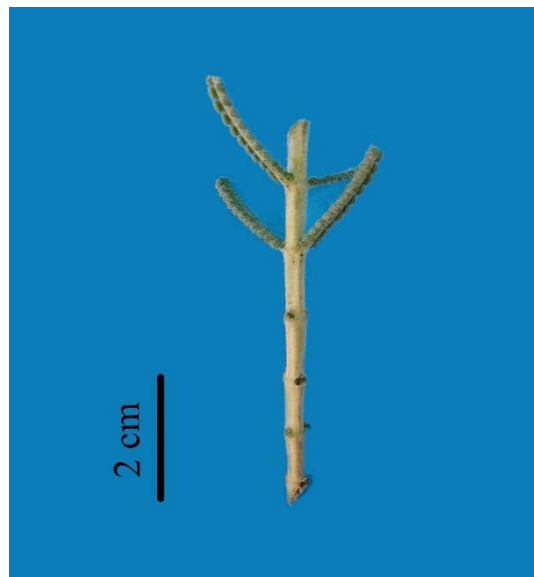


Figura 1. Esquejes de *L. dentata* usados en el experimento

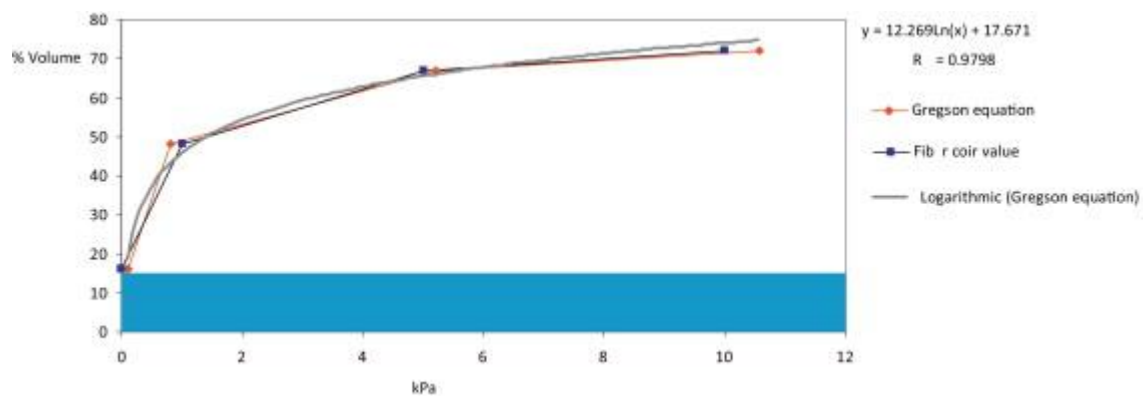


Figura 2. Curva de retención de agua de fibra de coco usada en los experimentos.
(Rodríguez et al., 2014)

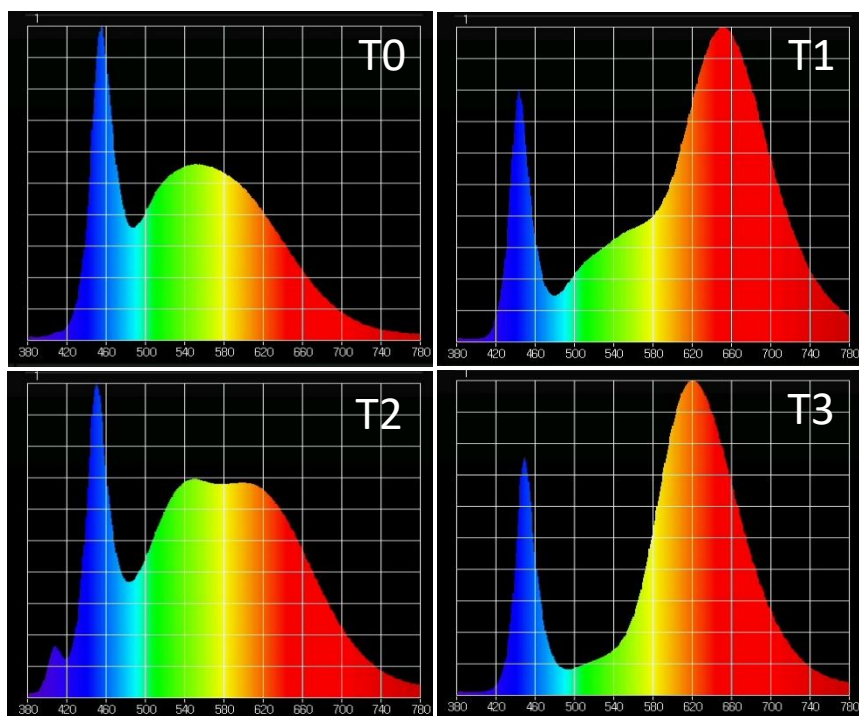


Figura 3. Espectros medidos de las lámparas LED utilizadas en los ensayos para el arraigamiento y crecimiento de esquejes de lavándula. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 =

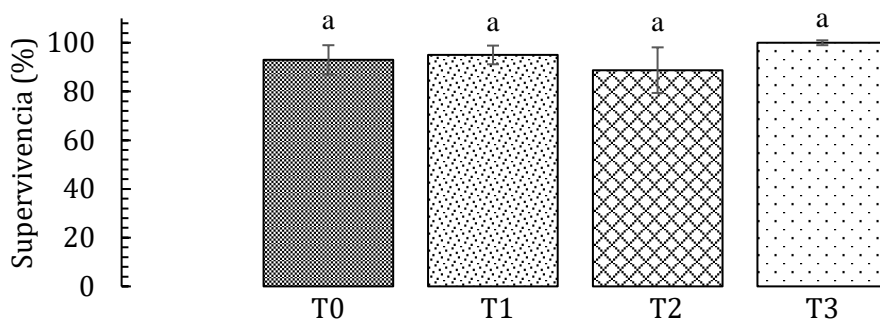


Figura 4. Porcentaje de supervivencia de los esquejes de lavándula en función de espectros luminosos, después de 60 días de cultivo. Letras diferentes indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.



Figura 5. Esquejes de lavándula en función de distintos espectros luminosos, después de 60 días de cultivo. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky

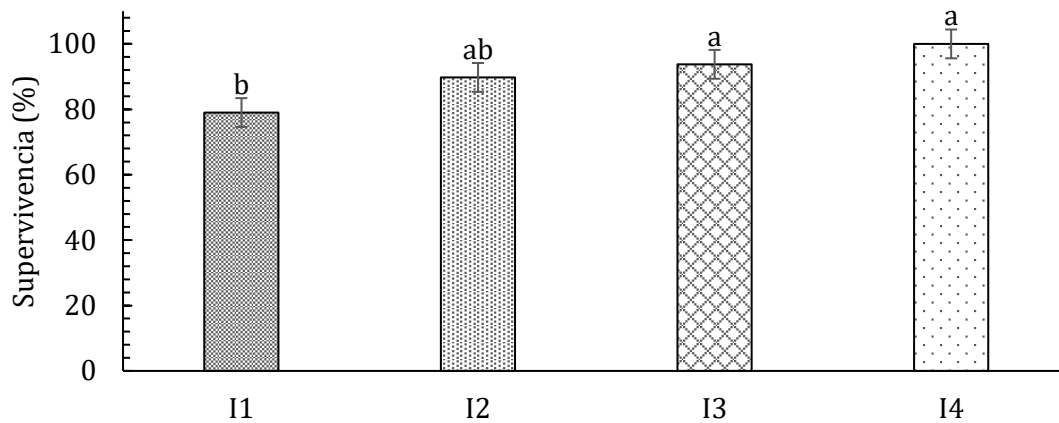


Figura 6. Porcentaje de supervivencia de los esquejes de lavándula en función de distintas intensidades luminosas, después de 60 días de cultivo. Letras distintas indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. I1, I2, I3, I4 representa, 3, 5, 6 y 8 lámparas, respectivamente.

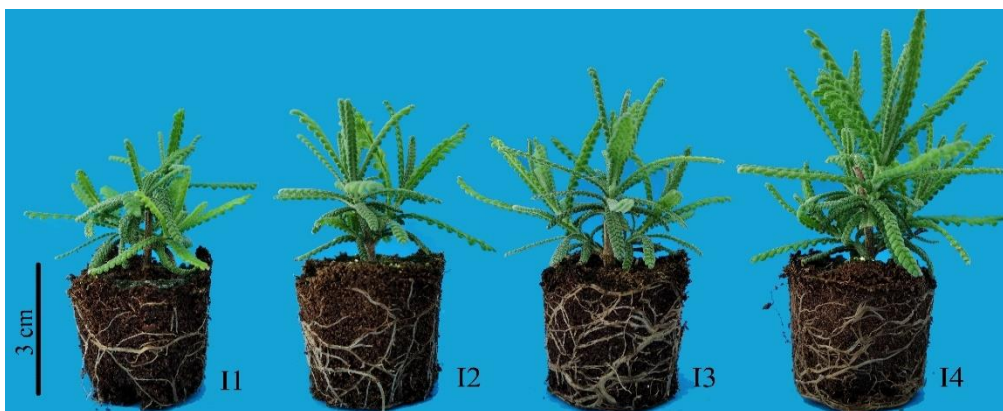


Figura 7. Esquejes de lavándula en función de distintas intensidades luminosas, después de 60 días de cultivo. I1, I2, I3, I4 representa, 3, 5, 6 y 8 lámparas,

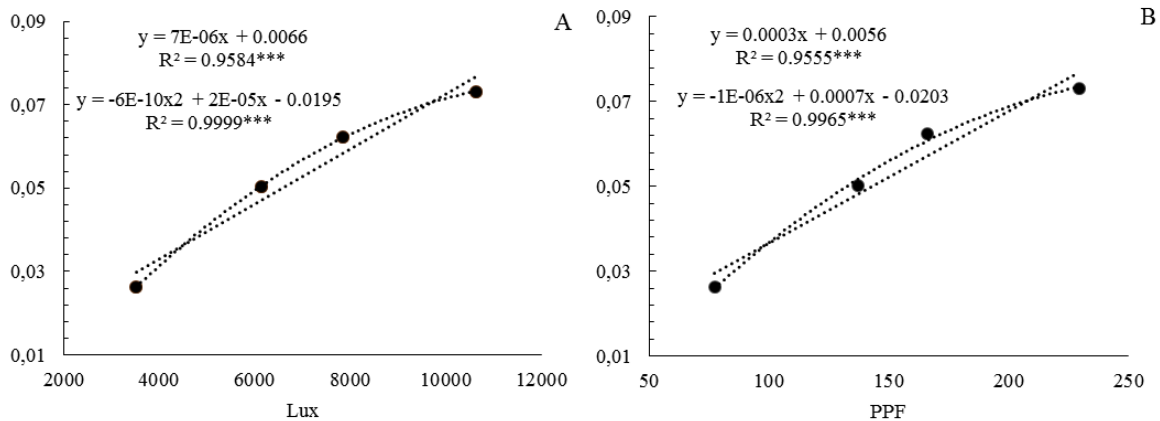


Figura 8. Índice de Dickson en relación a la iluminancia (A) y en relación al flujo de fotones (B) en los esquejes de lavándula después de 60 días de cultivo. *, **, *** Indican $P < 0.050$, 0.010 y 0.001 , respectivamente.

Tabla 1. Valores de la iluminancia (Lux) y del flujo fotosintético de fotones (PPF, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) de las lámparas LED utilizadas como fuentes de espectros luminosos para el arraigamiento y crecimiento de esquejes de lavándula.

Tratamientos	Iluminancia	PPF
T0	4086 ± 374b	95.0 ± 10.5b
T1	2231 ± 106d	66.0 ± 3.8d
T2	4685 ± 291a	109.9 ± 5.9a
T3	3168 ± 346c	89.1 ± 10.2c

Letras diferentes indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky. n = 9.

Tabla 2. Valores de la iluminancia (Lux) y del flujo fotosintético de fotones (PPF, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) de las lámparas LED utilizadas como fuentes de distintas intensidades luminosas para el arraigamiento y crecimiento de esquejes de lavándula.

Tratamiento	Iluminancia	PPF
I1	3525 ± 88d	77.1 ± 55.9d
I2	6140 ± 218c	137.2 ± 1.9c
I3	7849 ± 340b	166.2 ± 8.3b
I4	10629 ± 423a	229.4 ± 10.7a

Letras distintas indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. I1, I2, I3, I4 representa, 3, 5, 6 y 8 lámparas, respectivamente. n = 9.

Tabla 3. Valores medio de conductividad eléctrica (CE, $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), pH, porcentaje de los drenajes (%) y absorción de agua del cultivo ($\text{mL}\cdot\text{esqueje}^{-1}$) en esquejes de lavándula en función de distintos espectros luminosos, a los 60 días.

	CE	pH	Drenaje	Absorción
T0	4.94 ± 0.44a	6.46 ± 0.03ab	26.56 ± 0.02a	107.6 ± 7.0ab
T1	5.22 ± 0.18a	6.31 ± 0.05b	27.44 ± 0.01a	115.8 ± 5.2a
T2	4.90 ± 0.47a	6.46 ± 0.04ab	26.52 ± 0.02a	108.2 ± 7.6a
T3	4.50 ± 0.11a	6.56 ± 0.04ab	25.35 ± 0.02a	100.2 ± 3.8b

Letras diferentes indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

Tabla 4. Absorción y emisión ($\text{mg}\cdot\text{esqueje}^{-1}$) de NO_3^- y K^+ por esquejes de lavándula en función de distintos espectros luminosos durante un periodo de 60 días.

	NO_3^-		K^+	
	Absorción	Emisión	Absorción	Emisión
T0	42.57 ± 2.90a	39.87 ± 0.98a	15.71 ± 1.78a	18.77 ± 1.76a
T1	48.17 ± 5.56a	38.80 ± 1.07a	15.20 ± 1.94a	21.17 ± 0.80a
T2	45.77 ± 4.59a	36.33 ± 3.63a	16.25 ± 1.47a	18.08 ± 1.30a
T3	42.13 ± 2.52a	39.27 ± 2.46a	13.18 ± 3.42a	20.86 ± 3.25a

Letras diferentes indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

Tabla 5. Altura (cm), peso fresco (PF, $\text{g}\cdot\text{esqueje}^{-1}$), peso seco (PS, $\text{g}\cdot\text{esqueje}^{-1}$) y el Índice de Dickson (ID) de esquejes de lavándula en función de distintos espectros, después de 60 días de cultivo.

	T0	T1	T2	T3
Altura	5.27 ± 0.58b	6.74 ± 0.254a	5.16 ± 0.83b	5.77 ± 0.52ab
PF Hojas	0.578 ± 0.16a	0.595 ± 0.07a	0.601 ± 0.13a	0.599 ± 0.08a
Tallo	0.168 ± 0.02a	0.184 ± 0.02a	0.144 ± 0.03a	0.170 ± 0.02a
Raíces	0.463 ± 0.07a	0.521 ± 0.01a	0.489 ± 0.08a	0.477 ± 0.04a
Total	1.21 ± 0.24a	1.30 ± 0.07a	1.24 ± 0.24a	1.25 ± 0.10a
PS Hojas	0.109 ± 0.034a	0.110 ± 0.015a	0.118 ± 0.027a	0.114 ± 0.014a
Tallo	0.059 ± 0.007a	0.062 ± 0.011a	0.046 ± 0.008a	0.057 ± 0.011a
Raíces	0.074 ± 0.005a	0.085 ± 0.006a	0.068 ± 0.010a	0.073 ± 0.011a
Total	0.242 ± 0.038a	0.257 ± 0.008a	0.232 ± 0.044a	0.244 ± 0.019a
ID	0.046 ± 0.002a	0.042 ± 0.002a	0.044 ± 0.005a	0.042 ± 0.003a

Letras diferentes indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

Tabla 6. Eficiencia del uso de la electricidad (EE, mg·kW⁻¹), Eficiencia del uso del agua (EUA, g·L⁻¹), Eficiencia del uso de la luz (EUL, mg·mol⁻¹) y Eficiencia de la iluminancia (EULux, mg·Lm⁻¹) de esquejes de lavándula en función de distintos espectros luminosos.

	T0	T1	T2	T3
EE	699.3 ± 27.9bc	814.7 ± 11.4a	660.4 ± 56.9c	732.1 ± 14.1b
EUA	11.2 ± 2.1a	11.3 ± 1.1a	11.5 ± 2.5a	12.4 ± 1.1a
EUL	98.2 ± 5.3c	162.6 ± 6.9a	80.7 ± 3.9d	109.5 ± 2.1b
EULux	19.8 ± 1.2c	38.4 ± 3.1a	16.5 ± 3.1c	25.6 ± 2.0b

Letras diferentes indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

Tabla 7. Valores medio de conductividad eléctrica (CE, dS·m⁻¹), pH, porcentaje de los drenajes (%) y absorción de agua del cultivo (mL·esqueje⁻¹) en esquejes de lavándula en función de distintas intensidades luminosas, después de 60 días de cultivo.

	CE	pH	Drenaje	Absorción
I1	4.74 ± 0.07c	6.24 ± 0.02b	22.70 ± 0.01a	105.9 ± 2.7d
I2	4.78 ± 0.06bc	6.22 ± 0.02b	24.10 ± 0.01a	111.7 ± 1.5c
I3	4.91 ± 0.11b	6.39 ± 0.03a	25.70 ± 0.04a	121.4 ± 2.0b
I4	5.46 ± 0.02a	6.41 ± 0.02a	24.00 ± 0.02a	128.4 ± 1.2a

Letras diferentes indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. I1, I2, I3, I4 representa, 3, 5, 6 y 8 lámparas, respectivamente.

Tabla 8. Absorción y emisión (mg·esqueje⁻¹) de NO₃⁻ y K⁺ por esquejes de lavándula en función de distintas intensidades luminosas, después de 60 días de cultivo.

	NO₃⁻		K⁺	
	Absorción	Emisión	Absorción	Emisión
I1	43.3 ± 1.0b	37.8 ± 1.1ab	16.9 ± 0.5c	17.0 ± 0.5a
I2	46.3 ± 3.4b	39.4 ± 1.1a	19.9 ± 0.6b	16.7 ± 0.8a
I3	44.2 ± 2.6b	36.9 ± 2.9ab	17.3 ± 1.2c	16.7 ± 1.4a
I4	56.2 ± 1.8a	34.9 ± 0.8b	24.2 ± 0.8a	13.8 ± 0.5b

Letras distintas indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. I1, I2, I3, I4 representa, 3, 5, 6 y 8 lámparas, respectivamente.

Tabla 9. Altura (cm), peso fresco (PF, g·esqueje⁻¹), peso seco (PS, g·esqueje⁻¹) y el Índice de Dickson de esquejes de lavándula en función de distintas intensidades luminosas, después de 60 días de cultivo.

	I1	I2	I3	I4
Altura	4.56 ± 0.29c	5.38 ± 0.20b	5.72 ± 0.04b	6.01 ± 0.23a
PF Hojas	0.448 ± 0.011c	0.663 ± 0.081b	0.746 ± 0.159b	0.950 ± 0.028a
Tallo	0.129 ± 0.018b	0.175 ± 0.009b	0.226 ± 0.038a	0.236 ± 0.016a
Raíces	0.275 ± 0.052c	0.464 ± 0.045b	0.688 ± 0.154a	0.754 ± 0.021a
Total	0.85 ± 0.06c	1.30 ± 0.12b	1.66 ± 0.20ab	1.94 ± 0.10a
PS Hojas	0.083 ± 0.005c	0.143 ± 0.017b	0.148 ± 0.032b	0.206 ± 0.010a
Tallo	0.048 ± 0.011b	0.062 ± 0.004ab	0.078 ± 0.011a	0.078 ± 0.006a
Raíces	0.054 ± 0.016c	0.079 ± 0.005bc	0.103 ± 0.016ab	0.111 ± 0.007a
Total	0.185 ± 0.026c	0.284 ± 0.018b	0.329 ± 0.055ab	0.395 ± 0.021a
Índice de Dickson	0.026 ± 0.003c	0.051 ± 0.004b	0.062 ± 0.009ab	0.073 ± 0.006a

Letras distintas indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. I1, I2, I3, I4 representa, 3, 5, 6 y 8 lámparas, respectivamente.

Tabla 10. Eficiencia del uso de la electricidad (EE, mg·kW⁻¹), Eficiencia del uso del agua (EUA, g·L⁻¹), Eficiencia del uso de la luz (EUL, mg·mol⁻¹) y Eficiencia de la iluminancia (EULux, mg·lm⁻¹) en esquejes de lavándula en función de distintas intensidades luminosas, después de 60 días de cultivo.

	I1	I2	I3	I4
EE	699.6 ± 48.1a	625.9 ± 8.8ab	620.1 ± 70.7ab	540.2 ± 13.1b
EUA	8.1 ± 0.6c	11.7 ± 1.2b	13.1 ± 1.9ab	15.6 ± 0.7a
EUL	100.0 ± 13.7a	85.9 ± 5.6ab	82.3 ± 13.7ab	71.6 ± 3.8b
EULux	17.5 ± 2.4a	15.4 ± 0.9ab	13.9 ± 2.3ab	12.36 ± 0.7b

Letras distintas indican diferencias significativas según un test de Tukey a $P \leq 0.05$. I1, I2, I3, I4 representa, 3, 5, 6 y 8 lámparas, respectivamente.