



# Evaluación de la iluminación fotosintética mediante LEDs en Jardinería Vertical

**María Pinelopi Kaltsidi<sup>1</sup>, Antonio Franco Salas<sup>2,\*</sup>, Rafael Fernández Cañero<sup>3</sup>, Luis Pérez Urrestarazu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Terapia Urbana S.L. C/ Factores Acc. 12-14 Local 4D, 41015. Sevilla; maria.pk@terapiaurbana.es

<sup>2</sup> Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla. ETSIA Ctra. Utrera km.1, 41013. Sevilla; afranco@us.es, lperez@us.es

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Sevilla. ETSIA Ctra. Utrera km.1, 41013. Sevilla; rafafc@us.es

**Resumen:** Los Jardines Verticales son un sistema de enverdecimiento de paredes y muros tanto en el exterior como en el interior de edificios. En este último caso se requiere de un sistema de iluminación artificial para asegurar un desarrollo correcto de la vegetación. El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de tres luminarias LED comerciales en la iluminación de jardines verticales interiores en términos de calidad visual y correcto desarrollo de las plantas. Las luminarias testadas se diferencian en la potencia y tipo de luz. Los resultados obtenidos muestran que las tres luminarias son aptas en el desarrollo de las plantas, pero la luminaria de luz rojo/azul (tipo C) presentó en general un menor crecimiento en las plantas, menos cobertura del jardín y daba una apariencia poco natural a las plantas debido a la mezcla de rojos y azules. En relación al consumo de agua, fue un 30% superior en el caso de la luminaria de luz blanca de mayor potencia (tipo A) en referencia a las otras dos.

**Palabras clave:** jardines verticales interiores, calidad visual, plantas ornamentales

## 1. Introducción

Los Jardines Verticales son un sistema de enverdecimiento de paredes y muros que se está popularizando debido a sus múltiples beneficios sociales y ambientales. Permiten la disposición de plantas en el plano vertical, de modo que se pueden cubrir fachadas, pero también pueden instalarse en el interior de edificios. En este último caso, en la mayoría de las ocasiones se requiere de un sistema de iluminación artificial para asegurar un desarrollo correcto de la vegetación, garantizando a la vez una calidad visual adecuada.

Una iluminación artificial adecuada para el crecimiento de plantas en interiores debe equilibrar la calidad, la intensidad, el fotoperíodo y el ciclo día / noche [1,2]. La calidad de la luz se refiere a la composición espectral de la fuente de luz. Las longitudes de onda que son efectivas para la fotosíntesis de las plantas, denominadas radiación fotosintéticamente activa (PAR), están en la longitud de onda visible (aproximadamente de 400 a 700 nm). Dentro de este rango espectral, las luces azules (pico de absorción a 430 nm) y rojas (pico de absorción a 662 nm) son las más relevantes para la fotosíntesis, ya que representan las principales longitudes de onda absorbidas por el pigmento de clorofila [3]. El control de las cualidades espectrales de la iluminación aplicada mediante combinaciones de varias fuentes de luz con emisiones en distintas longitudes de onda permite un mejor crecimiento [2]. La intensidad de la luz se refiere a la cantidad total de luz que reciben las plantas y disminuye con la distancia a la fuente. Los requisitos de luz para la supervivencia y el crecimiento varían entre las especies [4]. Algunas son

capaces de crecer con bajas intensidades de luz (especies tolerantes a la sombra que crecen frecuentemente como plantas de interior), mientras que otras requieren irradiaciones más altas y con frecuencia se cultivan al aire libre (o en interiores con fuentes de luz artificial de alta intensidad). El fotoperíodo también es un factor importante para el crecimiento de las plantas, ya que influye en varios procesos de desarrollo, como la floración [5,6].

Las tecnologías de iluminación artificial se han empleado para cultivar plantas con diversos grados de éxito. Las lámparas más comúnmente utilizadas han sido hasta hace poco las lámparas incandescentes, fluorescentes y de descarga de alta intensidad (como haluro metálico o sodio a alta presión). No obstante, en la actualidad se están introduciendo los diodos emisores de luz (LED) gracias a su considerable bajada de precio, que antes resultaba una barrera para su uso.

De este modo, el uso de LEDs como sistema de iluminación para el crecimiento plantas se está expandiendo, aunque esta tecnología aún está evolucionando [7]. Las principales ventajas de las lámparas LED son su larga vida útil, su bajo calor radiante, su capacidad de emitir en una composición espectral controlada y el ajuste de la intensidad de la luz [8]. Los LED emiten en un espectro muy estrecho (20-40 nm) que, si coincide con el rango de absorción máxima de clorofila, aumenta la eficiencia de uso de energía, ya que la mayoría de la luz emitida se usaría para la fotosíntesis. Sin embargo, las luces de crecimiento LED (es decir, que emiten en las regiones azul y roja) no se recomiendan para las plantas ornamentales cuyo propósito es en gran medida estético (como es el caso de los jardines verticales interiores), porque dan a las plantas un aspecto poco natural cuando la luz está encendida. Precisamente este aspecto se corrige con la aparición de luminarias LED comerciales de luz blanca.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el efecto de tres luminarias LED comerciales en la iluminación de jardines verticales interiores en términos de calidad visual y correcto desarrollo de las plantas.

## **2. Materiales y métodos**

### *2.1. Diseño experimental y descripción de los módulos de jardinería vertical*

Los ensayos se realizaron desde mediados de mayo a finales de julio de 2018 (67 días en total) en el Laboratorio de Naturación Urbana de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA) de la Universidad de Sevilla, que se haya en un sótano sin iluminación natural.

Se han testado tres luminarias (ver apartado 2.2.) situadas por encima de cada uno de los módulos de jardín vertical, con una separación de 1 m. Para evitar la influencia del resto de luminarias se dispusieron unas láminas plásticas opacas de 1.5 m de ancho entre unas y otras, de modo que cada lámpara iluminara exclusivamente un módulo de jardín vertical. Se proporcionó un fotoperíodo constante de 12 horas por día durante el transcurso del ensayo.

Para los ensayos se han utilizado tres módulos de jardinería vertical (Fytotextile®, Terapia Urbana S.L.) de 72 cm x 73 cm, compuestos por una cuadrícula de veinticinco bolsillos (5 líneas y 5 columnas) donde se insertan las plantas. Cada módulo Fytotextile® cuenta con un sistema de riego por recirculación con una tubería vertical de PE de 16 mm de diámetro conectada a una bomba de agua compacta sumergida (CompactON 1000 15W, Eheim, Alemania). A su vez, la tubería de PE estaba unida a una de PVC con perforaciones cada 30 mm dispuesta en horizontal en la parte superior de cada módulo, por la cual se realizaba el aporte de agua. Un depósito de agua colocado en la parte inferior de cada módulo recogía el agua sobrante que se utilizaba de nuevo para regar. Se realizaron dos riegos al día de tres minutos cada uno, de forma que los módulos recibieran una cantidad de agua adecuada para que no resultara un factor limitante en el desarrollo de la vegetación.

## 2.2. Luminarias testadas

Se testaron dos sistemas de iluminación LED comerciales de luz blanca: Aster (Ignia Green) y Carso CMH Superflood (Lledó). Por otro lado, se compararon con una lámpara LED específica para crecimiento de plantas que combinaba LEDs azules y rojos: CF-UTO1 (CF GROW). Las características de las lámparas pueden verse en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características de las luminarias utilizadas

Modelo	Módulo de jardín vertical	Potencia (W)	Tipo luz
Aster	A	40	Blanca
Carso	B	35	Blanca
CF-UTO1	C	100	Azul/roja

## 2.3. Especies utilizadas

En cada módulo, se utilizaron trece plantas, insertadas en bolsillos alternos (figura 1). La distribución de las plantas se organizó para tener una cobertura satisfactoria y un desarrollo de plantas efectivo. Así, al comienzo del experimento, se plantaron siete unidades de *Soleirolia soleirolii* (Lágrimas de Ángel) y seis de *Spathiphyllum wallisii* (Espatifilo). Cada planta tenía un tamaño similar para la comparación de los resultados y se introdujeron en los bolsillos con el sustrato que traían originalmente de vivero.



**Figura 1.** Disposición de las plantas en los módulos (A, B y C de izquierda a derecha) tras la plantación inicial.

## 2.4. Medidas realizadas

Para evaluar el desarrollo de las plantas se han tenido en cuenta los siguientes aspectos: número de flores y área foliar (en *S. wallisii*), cobertura foliar, índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI), contenido relativo de clorofila (SPAD) y peso fresco y seco de la parte aérea y de las raíces. El NDVI se obtuvo con un medidor portátil (Trimble GreenSeeker), el área foliar mediante un LI-3100C Area Meter (LI-COR, Inc., Nebraska, Estados Unidos) y el SPAD por medio de un SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter (Konica Minolta Optics, Inc., Japón). Para el peso fresco, en cada planta, se separó la parte aérea de la radicular y se realizaron pesadas mediante una báscula de precisión. Posteriormente, las muestras se secaron en un horno a 70 °C durante 72 horas y se volvieron a pesar para obtener el peso seco.

Además se midió el consumo de agua registrando los aportes de agua cada vez que se rellenaban los depósitos. Igualmente, se monitorizó el pH y la CE del agua en cada uno de los módulos a lo largo del ensayo.

### 3. Resultados y discusión

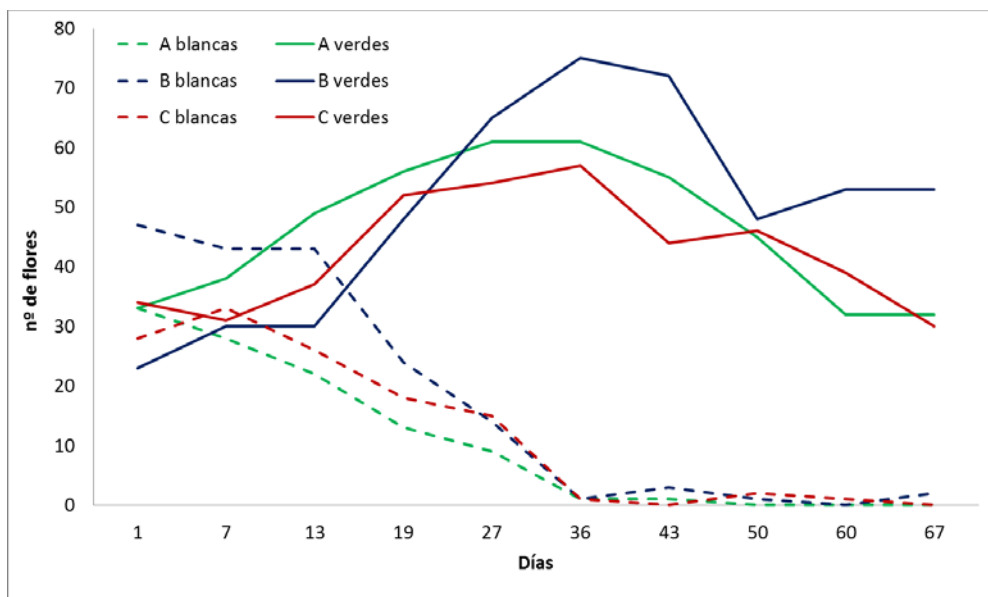
El consumo de agua fue similar para los tres módulos, siendo los valores medios 1.36, 1.00 y 1.07 L m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (para los módulos A, B y C, respectivamente).

En la figura 2 se muestra el estado de cobertura al final del ensayo. Como se puede apreciar, la cobertura es sensiblemente mejor en el módulo B, mostrando el A un grado intermedio y algo más escasa en el C.



**Figura 2.** Cobertura final en los módulos (A, B y C de izquierda a derecha).

En relación al número de flores del *S. wallisii*, en la figura 3 se muestra la evolución para cada uno de los módulos del número total de flores blancas y verdes. Destaca el módulo B tanto en número de flores blancas como verdes, mostrando el A una peor evolución. Se debe tener en cuenta que el módulo B presentaba inicialmente un nº de flores sustancialmente más elevado. Igualmente se puede destacar que la relación entre flores verdes y blancas es menor en el C, lo cual indica que el tipo de luz podría favorecer que aparecieran más flores blancas que verdes (o que menos flores blancas se tornaran en verdes).



**Figura 3.** Evolución del número total de flores blancas y verdes en cada módulo.

En la tabla 2 se muestran los valores medios de NDVI, SPAD y área foliar total por planta (estos dos últimos fueron obtenidos únicamente para *S. wallisii*). El módulo B exhibió unos valores ligeramente superiores de NDVI y de contenido de clorofila, siendo menores en el módulo C. Sin embargo el valor medio de área foliar total por planta fue superior en el caso del módulo A.

**Tabla 2.** Valores medios de NDVI, área foliar y SPAD en cada módulo

Módulo de jardín vertical	NDVI	SPAD	Área foliar (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )
A	0.76	51.10	1924.5
B	0.77	53.42	1628.7
C	0.68	50.59	1444.5

Los resultados de los valores de peso fresco y seco medios por planta en cada uno de los módulos se muestran en las tablas 3 (para *S. wallisii*) y 4 (para *S. soleirolii*). Se puede apreciar como el desarrollo de la parte aérea de las plantas fue mayor en el módulo A, seguido del módulo B. En el módulo C sin embargo se obtuvo un peso medio por planta bastante inferior, especialmente en el caso de *S. soleirolii*, en el que se registró un peso medio por debajo del 50% en relación a los otros dos módulos. Curiosamente, en *S. soleirolii* el peso de las raíces fue ligeramente superior en C con respecto a los módulos restantes.

**Tabla 3.** Valores medios por planta de peso fresco y seco (g planta<sup>-1</sup>) de la parte aérea y radicular de *S. wallisii* en cada módulo

Módulo de jardín vertical	Peso fresco		Peso seco	
	Parte aérea	Raíces	Parte aérea	Raíces
A	126.99	43.50	10.94	3.94
B	104.82	30.04	9.64	2.65
C	91.47	21.30	9.31	1.41

**Tabla 4.** Valores medios por planta de peso fresco y seco (g planta<sup>-1</sup>) de la parte aérea y radicular de *S. soleirolii* en cada módulo

Módulo de jardín vertical	Peso fresco		Peso seco	
	Parte aérea	Raíces	Parte aérea	Raíces
A	54.81	10.53	8.21	1.52
B	50.63	10.34	7.56	1.28
C	24.52	11.56	2.62	1.32

Los resultados obtenidos son coherentes con los presentados anteriormente en otro estudio de sistemas de iluminación para jardines verticales en el que se testaron lámparas incandescentes, de halogenuros metálicos y fluorescentes [9]. Con la luminaria A, se han conseguido valores ligeramente superiores a los fluorescentes (que fueron los que propiciaron un mayor desarrollo de las plantas) para *S. wallisii*, siendo algo menores para las luminarias B y C. Sin embargo, curiosamente, para *S. soleirolii* los LED han funcionado considerablemente mejor que otras luminarias testadas en dicho estudio. Bergstrand y Schüssler [10] también obtuvieron mejores resultados de producción utilizando LED con respecto a lámparas de halogenuros metálicos. De este modo, tanto por el desarrollo mostrado por las plantas como por un menor consumo energético, las luminarias LED se posicionan como la mejor alternativa para la iluminación artificial de plantas.

En cuanto a la percepción de la cobertura vegetal bajo la lámpara LED incluyendo solo rojos y azules, los efectos detectados son coincidentes con los reportados por Jost-Boissard et al. [11],

determinando que este tipo de iluminación resulta indeseable cuando se van a visualizar elementos vegetales.

#### 4. Conclusiones

En general, las tres luminarias testadas son aptas para el cultivo de plantas en jardines verticales en términos de correcto desarrollo de las plantas. No obstante, la lámpara C presentó en general un menor crecimiento en las plantas, exhibiendo claramente una menor cobertura del módulo y plantas más pequeñas (menor área foliar y peso por planta). Por otro lado, la calidad visual aportada por la luminaria C fue reducida ya que daba una apariencia poco natural a las plantas debido a la mezcla de rojos y azules y ausencia de otras longitudes de onda. En relación al consumo de agua, fue un 30% superior en el caso de la luminaria A en referencia a las otras dos.

#### Referencias

1. Thiel, S., Dohring, T., Kofferlein, M., Kosak, A., Martin, P. & Seidlitz, H.K. (1996). A Phytotron for Plant Stress Research: How Far Can Artificial Lighting Compare to Natural Sunlight? *Journal of Plant Physiology*, 148, 456-463.
2. Goto, E. (2003). Effects of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environment Control in Biology*, 41, 121-132.
3. Pinho, P., Jokinen, K. & Halonen, L. (2012). Horticultural lighting - Present and future challenges. *Lighting Research and Technology*, 44, 427-437.
4. Niinemets, Ü. (2006). The controversy over traits conferring shade-tolerance in trees: ontogenetic changes revisited. *Journal of Ecology*, 94, 464-470.
5. Mortensen, L.M., & Grimstad, S.O. (1990). The effect of lighting period and photon flux density on growth of six foliage plants. *Scientia Horticulturae*, 41, 337-342.
6. Mattson, N.S., & Erwin, J.E. (2005) The impact of photoperiod and irradiance on flowering of several herbaceous ornamentals. *Scientia Horticulturae*, 104, 275-292.
7. Olle, M., & Virsile, A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, 22, 223-234.
8. Yeh, N. & Chung, J. (2009). High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2175-2180.
9. Egea, G., Pérez-Urrestarazu, L., González-Pérez, J., Franco-Salas, A. & Fernández-Cañero, R. (2014). Lighting systems evaluation for indoor living walls. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13 (3), 475-483.
10. Bergstrand, K.J. & Schüssler, H.K. (2012). Growth and photosynthesis of ornamental plants cultivated under different light sources. *Acta Hort.* 956, 141-147.
11. Jost-Boissard, S., Fontoynt, M. & Blanc-Gonnet, J. (2009). Perceived lighting quality of LED sources for the presentation of fruit and vegetables. *J. Mod. Opt.* 56, 1420-1432.