



EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y NUTRIMENTAL DE BROTES DE BRÓCOLI CULTIVADOS CON LUZ ARTIFICIAL

PRODUCTIVE AND NUTRIMENTAL EVALUATION OF BROCCOLI SPROUTS GROWN WITH ARTIFICIAL LIGHT

Ana L. Bautista-Olivas^{1*}, Natalia Bernal-Triviño²,
Clara R. Álvarez-Chávez^{1,3} y Mayra Mendoza-Cariño⁴

¹Universidad de Sonora (UNISON), Departamento de Agricultura y Ganadería, Hermosillo, Sonora, México. ²UNISON, Posgrado en Sustentabilidad, Hermosillo, Sonora, México. ³UNISON, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Hermosillo, Sonora, México. ⁴Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia (ana.bautista@unison.mx)

RESUMEN

El uso de la luz LED (diodo emisor de luz) en sistemas agrícolas alternativos, como los cuartos de producción, promueve diversas respuestas fisiológicas en los cultivos, lo que genera óptimos rendimientos con menores impactos ambientales y fomenta el desarrollo productivo sustentable en las urbes. Esta investigación tuvo por objetivo analizar el efecto de la luz LED blanca (400-700 nm) (T1) y violeta (380-420 nm) (T2) en rasgos fisiológicos de los brotes de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, en cuartos de cultivo en verano y otoño. Los tratamientos se expusieron a luz LED por 14 h durante seis días. Se evaluaron las unidades germinadas, longitud del tallo, aspecto físico de las hojas y contenido de Ca, K, vitamina C, β -caroteno y proteínas. El análisis estadístico se fundamentó en la prueba t de Student ($P \leq 0.05$) y en la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Los resultados mostraron valores promedio de brotes vivos para T1 de 1.60 y de 3.59 para T2; longitud del tallo, 8.52 cm con T1 y 5.53 cm con T2; calidad visual baja y media para T1 y alta para T2, así como contenidos promedio de Ca, K, vitamina C, β -caroteno y proteínas de 0.0464, 0.631, 0.1529, 0.9781 mg g⁻¹ y 3.77 % para T1, respectivamente; y de 0.0563, 0.7665, 0.1744, 0.1064 mg g⁻¹ y 4.45 % para T2, respectivamente. Se concluyó que T2 favoreció el contenido nutrimental, el aspecto físico de las hojas y el porcentaje de supervivencia, lo que demostró que la luz LED es una alternativa para producir brotes de brócoli.

Palabras clave: *Brassica oleracea* L., iluminación LED, morfogénesis, sistemas alternativos de producción.

SUMMARY

The use of LED light (light emitting diode) in alternative agricultural systems, such as production rooms, promotes various physiological responses in crops, which generates optimal yields with lower environmental impact and promotes sustainable productive development in cities. This research aimed to analyze the effect of white (400-700 nm) (T1) and violet LED light (380-420 nm) (T2) on physiological traits of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) sprouts in growth rooms during Summer and Fall under controlled conditions of humidity and temperature. Treatments were exposed to LED light for 14 hours for six days. Germination units, stem length, leaf development, physical appearance of leaves and Ca, K, vitamin C, β -carotene and protein content were evaluated. The statistical analysis was based on the Student t test ($P \leq 0.05$) and the non-parametric Mann-Whitney U test. The results showed average values of live sprouts for T1 of 1.60 and 3.59 for T2; stem length, 8.52 cm with T1 and 5.53 cm with T2; low and medium visual quality for T1 and high quality for

T2, as well as average contents of Ca, K, vitamin C, β -carotene and proteins of 0.0464, 0.631, 0.1529, 0.9781 mg g⁻¹ and 3.77 % for T1, respectively; and 0.0563, 0.7665, 0.1744, 0.1064 mg g⁻¹ and 4.45 % for T2, respectively. It was concluded that T2 favored the nutritional content, the physical appearance of leaves, and the survival percentage, which demonstrated that LED light is an alternative to produce broccoli sprouts.

Index words: *Brassica oleracea* L., alternative production systems, LED lighting, morphogenesis.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reconoce que uno de los actuales retos del sector agrario es solucionar la ineficiencia que se relaciona con el deterioro de los recursos naturales y el impacto ambiental (FAO, 2017); por ello, desde la década de los 1990s se impulsó en los Estados Unidos de América el cultivo de brotes de alfalfa, betabel, brócoli y trigo, entre otros, debido a su valor nutrimental (Lenzi *et al.*, 2019), los que se pueden sembrar en diferentes sustratos y cosechar antes de que aparezcan las hojas verdaderas (ESSA, 2017).

Los cuartos de cultivo representan una alternativa armoniosa con el medio ambiente para generar alimentos en las ciudades (Zhang *et al.*, 2021), independiente de las variaciones climáticas (Monostori *et al.*, 2018), además de que permiten la producción de brotes en condiciones de oscuridad y empleo de diversidad de sustratos, sin necesidad de fertilizantes o agroquímicos (Renna *et al.*, 2016).

El uso de LED (diodo emisor de luz) es un elemento clave en el desarrollo de los brotes, ya que interviene en la fisiología de las plantas (Al Murad *et al.*, 2021), cuya calidad, valorada en términos de color o de longitud de onda, influye en la fotosíntesis y en la fotomorfogénesis

(Klem *et al.*, 2019; Yavari *et al.*, 2021). La exposición a la luz regula el tiempo de madurez del cultivo y reduce el tiempo a la cosecha, lo que genera menores costos de producción y mayor eficiencia biológica (Montoya *et al.*, 2018). Los cultivos que se desarrollan en cuartos de producción se deben exponer a longitudes de onda adecuadas para su crecimiento y asegurar productos agrícolas de calidad comercial (Alrifai *et al.*, 2019). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar el efecto que tienen la luz LED blanca y violeta en la calidad visual y el contenido nutrimental de los brotes de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) en un cuarto de cultivo, con el propósito de generar conocimiento para fortalecer la producción agrícola sustentable de brotes en zonas urbanas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del cuarto de cultivo

El estudio se realizó en un cuarto de producción en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. Las dimensiones del cuarto fueron 3.9 m de largo, 2.7 m de ancho y 2.15 m de altura. En el interior se instaló un ventilador (Marca MY AIR, Modelo 3315, México) y dos estantes de 1.74 m de alto, 0.54 m de ancho y 2.0 m de largo, con dos compartimentos de 0.6 m de alto cada uno. Los estantes se colocaron de frente y se separaron por 2 m. En uno de ellos se instalaron dos lámparas de luz LED blanca (400-700 nm) (Marca Tecnolite 265 V, México), una en cada compartimento; en el otro estante, se colocaron dos lámparas de Luz LED con tonalidad violeta (380-420 nm), una en cada compartimento, cuya distribución de fotones en el espectro fue azul 15.5 %, rojo 69.5 %, verde 15 % y PPF (fotones fotosintéticamente activos emitidos por un sistema de iluminación por segundo) de 80.6 $\mu\text{mol s}^{-1}$ (General Electric Serie Arize Link LED Luminaire modelo PKB, Boston, Massachusetts, EUA). La transferencia de luz entre los estantes se evitó colocando un hule negro en medio del cuarto del cultivo. La investigación se realizó en verano (julio) y otoño (diciembre). Los valores promedio mensuales de humedad relativa y temperatura en el cuarto de cultivo fueron 52 % y 24.3 °C en verano y 55.2 % y 24.7 °C en otoño, respectivamente; los datos se registraron con un termohigrómetro (Marca Taylor, China).

Siembra de semillas

Se usaron 12 charolas de plástico (0.21 × 0.13 × 0.07 m) desinfectadas con H₂O₂ 3 %. En cada charola se colocaron 148 g de peat moss con perlita hidratado (pH 6), donde se sembraron 300 semillas de brócoli (6 g) de la var. Waltham 29 (Fax Hortalizas). Las charolas se cubrieron con plástico negro y se resguardaron en el cuarto de cultivo durante tres días (duración de la germinación); se les aplicó un

riego diario de 15 mL de agua corriente por charola.

Tratamientos con luz LED

A los tres días, una vez que germinó el 90 % de las semillas, se expusieron seis charolas a la luz LED blanca (T1) y seis a la luz LED tonalidad violeta (T2) durante seis días por 14 h, lo cual se controló con un temporizador de 24 h (Stereon®, modelo Temp-24h, México). Se realizaron dos ensayos con un diseño completamente al azar en verano y otoño.

Aplicación de tratamientos y unidad experimental

A los seis días de exposición de las plántulas a las luces LED, se seleccionaron tres charolas al azar por cada tratamiento para obtener las características fisiológicas. Sobre cada charola se colocó una cuadrícula metálica, cuyo número de cuadros se determinó según Mostacedo y Fredericksen (2000); cada cuadro (1.3 × 1.3 cm) representó una unidad experimental. Para cada tratamiento se tuvieron 270 repeticiones.

Variables evaluadas

Se evaluó a) brote vivo, mediante conteo del número de brotes de brócoli que sobrevivieron; b) longitud del tallo medido con un vernier (Marca Mitutoyo, Kanagawa, Japón) y c) aspecto físico de las hojas, mediante una escala visual con los siguientes criterios: la calidad baja (Cb) indicó brotes con hojas débiles y carentes de estructura, la calidad media (Cm) presentó hojas deformes y la alta (Ca) hojas fuertes en forma acorazonada y extendidas; los valores asignados fueron 1, 2 y 3, respectivamente.

Para realizar el análisis nutrimental se emplearon tres charolas de cada tratamiento, se obtuvieron dos muestras de 125 g de hojas en verano y en otoño. Las muestras se resguardaron en bolsas herméticas de plástico, se llevaron al Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Dirección de Nutrición del Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD), donde se formaron muestras compuestas y se determinó la concentración nutrimental de Ca y K con la técnica de espectrometría 968.08 (AOAC, 2005) con un espectrómetro de absorción atómica (Ice serie 3000, Thermo Scientific, Oxford, Reino Unido). La concentración de vitamina C se determinó mediante cromatografía líquida (Doner y Hicks, 1981), la de β -carotenos con la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (Hess *et al.*, 1991) y la de proteínas mediante el método de Kjeldahl 960.52 (AOAC, 2005); estos tres últimos análisis se realizaron con un cromatógrafo líquido (1260 Infinity, Agilent Technologies, Waldbroom, Alemania).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa Minitab Statistical Software 21. Las variables relacionadas con las unidades germinadas y la longitud del tallo se analizaron con la prueba t de Student con un nivel de significancia del 5 %. Las estimaciones para el aspecto físico de las hojas se analizaron con la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, generada a través de una escala visual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Brotes vivos de brócoli

El análisis estadístico mostró diferencia significativa entre T1 y T2 en relación con los brotes vivos; en ambas épocas del año el comportamiento fue similar (Cuadro 1). El T1 mostró un porcentaje de germinación de 48.23 % (50.75 % en verano y 45.72 % en otoño), mientras que T2 obtuvo 98.15 % (98.5 % en verano y 97.8 % en otoño).

Aunque se realizó una revisión exhaustiva en la literatura científica sobre los brotes vivos y los aspectos físicos de los brotes de brócoli, la falta de estudios en México y en otros países imposibilitó efectuar comparaciones con otros trabajos sobre estos aspectos.

Longitud del tallo (hipocotilo)

El análisis estadístico indicó diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre T1 y T2 con respecto a la longitud del tallo (Cuadro 2), resultados similares se registraron para el otoño. Lo anterior se debió a que la luz LED blanca tuvo un mayor

espectro electromagnético e influyó en el alargamiento del tallo y en el desarrollo de los órganos foliares, ya que las plantas necesitaron más luz para efectuar sus procesos metabólicos (Moreno-Jiménez *et al.*, 2017).

Los estudios de Paniagua-Pardo *et al.* (2015) en cultivos de brotes de brócoli indicaron que el uso de luces LED azul, roja y verde (ARV) por 12 h generó en las plántulas crecimientos promedio de la longitud del tallo de 3.9, 5.72 y 6.57 cm, respectivamente. He *et al.* (2020) reportaron sobre este mismo cultivo una longitud de 4.27 cm con luz LED ARV, y Di Bella *et al.* (2020) registraron longitudes en tres variedades de brócoli de 4.21 cm para la variedad Broccolo Nero, 2.92 cm para Cavolo Lacinato Nero di Toscana y 3.66 cm para Cavolo Broccolo Ramoso Calabrese.

En los casos anteriores, las longitudes de los tallos reportadas fueron menores con respecto al presente estudio, lo que se atribuyó a los colores de la luz LED utilizada, aunque Godo *et al.* (2011) y Paniagua-Pardo *et al.* (2015) indicaron que la luz LED roja repercutió en la respuesta fisiológica, ya que los fitocromos fueron sensibles en la región roja del espectro de luz, que es la responsable del aumento de biomasa total y del alargamiento de la planta (Lee *et al.*, 2016; Pinho *et al.*, 2016); Snowden *et al.* (2016) señalaron que la combinación de luces LED roja y azul evitó la formación de tallos excesivamente largos.

Aspecto físico de las hojas

En el análisis de la prueba U de Mann-Whitney se encontró diferencia significativa entre T1 y T2 en los aspectos físicos de las hojas, en el ensayo de otoño el comportamiento fue similar (Cuadro 3).

Cuadro 1. Número de brotes germinados de brócoli bajo condiciones de luz LED y prueba t de Student.

Tratamiento	N	Media	DE	Probabilidad	Media	DE	Probabilidad
		Verano			Otoño		
T1	270	1.60	± 1.250	0.000	1.38	± 1.11	0.000
T2	270	3.59	± 0.993		3.49	± 1	

N: repeticiones, DE, desviación estándar, T1: tratamiento con exposición a luz LED blanca, T2: tratamiento con exposición a luz LED violeta.

Cuadro 2. Longitud del tallo de brotes de brócoli cultivados con luz LED y prueba t de Student.

Tratamiento	N	Media (cm)	DE	Probabilidad	Media (cm)	DE	Probabilidad
		Verano			Otoño		
T1	270	8.510	± 1.14	0.0001	8.55	± 0.955	0.0001
T2	270	5.527	± 0.48		5.54	± 0.524	

N: repeticiones, DE: desviación estándar, T1: tratamiento con exposición a luz LED blanca, T2: tratamiento con exposición a luz LED violeta.

Los brotes de brócoli de T1 mostraron hojas con deformaciones y sin estructura foliar, mientras que aquellos de T2 exhibieron dos estructuras foliares de forma acorazonada. Dichas características permitieron clasificar a T1 con calidad media (Cm) para verano y con calidad baja (Cb) para otoño; T2 se calificó con calidad alta (Ca) para ambas estaciones.

Mendoza-Paredes *et al.* (2021) encontraron que el cultivo de cilantro desarrolló hojas morfológicamente completas y sin deformaciones con luces LED azul y roja, en tanto que Haliapas *et al.* (2008) indicaron que los cambios en la calidad de la luz afectaron los parámetros anatómicos, bioquímicos, fisiológicos y morfológicos de las plantas debido a los mecanismos fotoselectivos para capturar la energía lumínica para la fotosíntesis (Jiao *et al.*, 2007).

Concentración nutrimental

Las concentraciones de Ca fueron similares en T1 en verano y en otoño, lo mismo ocurrió en T2; sin embargo, T2 registró una concentración 1.2 veces mayor que T1 en ambas estaciones climáticas; dicha relación se mantuvo con la concentración de K (Cuadro 4). Al considerar los valores promedio de las concentraciones de Ca y K de T2, ambas fueron 21 % mayores que las de T1.

He *et al.* (2020) registraron en brotes de brócoli cultivados con luz LED ARV concentraciones de Ca y de K de 11.7 y 8.22 mg g⁻¹ en peso seco, respectivamente, en

tanto que en el presente estudio se registraron las mayores concentraciones de Ca (0.056 mg g⁻¹) y de K (0.77 mg g⁻¹) en T2 en otoño. Al comparar los valores determinados por He *et al.* (2020) con los del presente estudio, se notó que los de dichos autores fueron significativamente superiores: 209 y 10.7 veces mayores para Ca y K, respectivamente, lo que probablemente se debió a la variedad de la semilla utilizada (Xiao *et al.*, 2016).

Pennisi *et al.* (2019) determinaron las concentraciones de Ca y K en plantas de albahaca expuestas a luz LED azul (30 %) y roja (70 %), las que fueron mayores con respecto a los tratamientos de este estudio. Stutte *et al.* (2009) mencionaron que el cultivo de lechuga expuesto al mismo tipo de luz LED mejoró la absorción de Ca, K y Mg, mientras que Chen *et al.* (2014) reportaron que la lechuga (*Lactuca sativa*) desarrollada bajo luz LED azul (20 %) y roja (80 %) generó mayor acumulación de B, Ca, Fe, Mg, Mn, Na y Zn.

Kopsell y Sams (2013) reportaron que los brotes de brócoli aumentaron las concentraciones de B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, P, S, Zn, β-caroteno, glucosinolatos (antioxidantes con potencial anticancerígeno) y vioxalantina cuando se cambió de un espectro de luz LED azul (12 %) y rojo (88 %) con 350 μmol m⁻² s⁻¹, a un ambiente con 100 % de luz LED azul (41 μmol m⁻² s⁻¹), lo que sugirió que los impactos de la luz LED azul en la apertura de estomas y en la actividad de transporte de membrana fueron la causa del aumento en la acumulación de nutrimentos.

Las concentraciones de las proteínas de ambos

Cuadro 3. Aspecto de las hojas de brotes de brócoli bajo condiciones de luz LED y prueba U de Mann-Whitney.

Tratamiento	N	Mediana (1-3)	Probabilidad	Valor W	Mediana (1-3)		
					Verano		Otoño
T1	270	2	0.00001	47142	1	0.00001	42978
T2	270	3			3		

N: repeticiones, T1: tratamiento con exposición a luz LED blanca, T2: tratamiento con exposición a luz LED violeta.

Cuadro 4. Concentración nutrimental y de compuestos formados durante el desarrollo de hojas de brotes de brócoli cultivados bajo luz LED.

Tratamiento	Ca (mg g ⁻¹)		K (mg g ⁻¹)		VC (mg g ⁻¹) [†]		β-caroteno (mg g ⁻¹) [†]		Proteína (%)	
	V	O	V	O	V	O	V	O	V	O
T1	0.046	0.046	0.627	0.635	ND	0.153	0.084	0.111	3.23	4.32
T2	0.056	0.056	0.763	0.770	ND	0.174	0.100	0.112	4.20	4.70

[†]Valores en 100 g de hojas de brotes de brócoli, VC: vitamina C, V: verano, O: otoño, ND: no determinado, T1: tratamiento con exposición a luz LED blanca, T2: tratamiento con exposición a luz LED violeta.

tratamientos fueron mayores en otoño (Cuadro 4), T2 almacenó más proteína, con valor promedio de ambos ensayos de 4.45 mg g⁻¹, que T1 con valor promedio de ambos ensayos de 3.77 mg g⁻¹. Por otro lado, He *et al.* (2020) reportaron una acumulación promedio de proteínas de 3.1 mg g⁻¹ en brotes de brócoli que crecieron con luz LED ARV, mientras que en condiciones de luz LED azul y roja más selenio, reportaron 5.5 mg g⁻¹ en proteína soluble. Dichos resultados (3.1 mg g⁻¹) fueron menores que en T2 (4.2 y 4.7 mg g⁻¹ en verano y en otoño, respectivamente).

La concentración de vitamina C fue mayor en T2 (0.1744 mg g⁻¹) que en T1 (0.1544 mg g⁻¹) en otoño. En estudios similares de brotes de brócoli, Di Bella *et al.* (2020) reportaron acumulaciones promedio de vitamina C (variedades Acephala, Broccolo Nero e Italica Plenck) de 5.6, 7.5 y 6.4 mg g⁻¹, respectivamente; sobre este punto, Pérez-Balibrea *et al.* (2011) establecieron intervalos de 0.28 a 0.54 mg g⁻¹ (del día tres al 14) para la variedad Nubia, y de 0.38 a 0.65 mg g⁻¹ para la variedad Marathon; He *et al.* (2020) registraron concentraciones de 1.2 mg g⁻¹ en cultivos de brotes de brócoli con luz LED ARV.

Las concentraciones de vitamina C de los estudios anteriores fueron superiores en comparación con el presente estudio, lo que demostró diferencias en la capacidad de respuesta entre las variedades de brócoli para almacenar dicho compuesto (Podsędek *et al.*, 2006); es decir, cada variedad tuvo respuestas fisiológicas distintas bajo las condiciones ambientales en que se desarrollaron. La concentración de β-carotenos, en T2 tuvo un valor promedio mayor (0.112 mg g⁻¹) en otoño que en verano, similar que T1 (Cuadro 4).

A manera de conclusión, es posible destacar que el uso de la luz LED violeta en cuartos de cultivo tuvo un efecto positivo en el número de brotes vivos, en el aspecto físico de los brotes y en las concentraciones nutrimentales del brócoli; dicha luz generó brotes con aspecto físico sano y una calificación visual alta. Los resultados mostraron el efecto de las luces LED blanca y violeta en la longitud del tallo y en la forma de las hojas bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa. Se demostró que el uso de luces LED en cuartos de cultivo es una alternativa para producir brotes de brócoli.

AGRADECIMIENTOS

A la M. C. Karla Patricia García por su guía en el establecimiento del cuarto de cultivo y en los procesos de siembra, a la Dra. Heidy Burrola por las asesorías en el tratamiento estadístico, y al CONACYT por el apoyo en la formación académica de la estudiante con CVU 1069430.

BIBLIOGRAFÍA

- Al Murad M., K. Razi, B. R. Jeong, P. M. A. Samy and S. Muneer (2021) Light emitting diodes (LEDs) as agricultural lighting: impact and its potential on improving physiology, flowering, and secondary metabolites of crops. *Sustainability* 13:1985, <https://doi.org/10.3390/su13041985>
- Alrifai O., X. Hao, M. F. Marcone and R. Tsao (2019) Current review of the modulatory effects of LED lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of microgreen vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67:6075-6090, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00819>
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2005) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C., USA.
- Chen X. L., W. Z. Guo, X. Z. Xue and M. M. Beauty (2014) Effects of LED spectrum combinations on the absorption of mineral elements of hydroponic lettuce. *Spectroscopy and Spectral Analysis* 34:1394-1397, [https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2014\)05-1394-04](https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2014)05-1394-04)
- Di Bella M. C., A. Niklas, S. Toscano, V. Picchi, D. Romano, R. Lo Scalzo and F. Branca (2020) Morphometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in *Brassica oleracea* L. novel foods: sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy* 10:782, <https://doi.org/10.3390/agronomy10060782>
- Doner L. W. and K. B. Hicks (1981) High-performance liquid chromatographic separation of ascorbic acid, erythorbic acid, dehydroascorbic acid, dehydroerythorbic acid, diketogulonic acid, and diketogluconic acid. *Analytical Biochemistry* 115:225-230, [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(81\)90550-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(81)90550-9)
- ESSA, European Sprouted Seed Association (2017) Directrices de higiene para la producción de brotes y semillas para germinación de la ESSA. Diario Oficial de la Unión Europea. 2017; 29-52. Luxemburgo. <http://sproutedseeds.eu/wp-content/uploads/2016/10/SANTE-2017-10151-00-00-ES-TRA-00.pdf> (Noviembre 2023).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017) Reflexiones sobre el Sistema Alimentario y Perspectivas para Alcanzar su Sostenibilidad en América Latina y el Caribe. Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, Chile. 20 p. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1263928/> (Agosto 2023).
- Godó T., K. Fujiwara, K. Guan and K. Miyoshi (2011) Effects of wavelength of LED-light on *in vitro* asymbiotic germination and seedling growth of *Bletilla ochracea* Schltr. (Orchidaceae). *Plant Biotechnology* 28:397-400, <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.11.0524a>
- Haliapas S., T. A. Yupsanis, T. D. Syros, G. Kofidis and A. S. Economou (2008) *Petunia* × *hybrida* during transition to flowering as affected by light intensity and quality treatments. *Acta Physiologiae Plantarum* 30:807-815, <https://doi.org/10.1007/s11738-008-0185-z>
- He R., M. Gao, R. Shi, S. Song, Y. Zhang, W. Su and H. Liu (2020) The combination of selenium and LED light quality affects growth and nutritional properties of broccoli sprouts. *Molecules* 25:4788, <https://doi.org/10.3390/molecules25204788>
- Hess D., H. E. Keller, B. Oberlin, R. Bonfanti and W. Schüep (1991) Simultaneous determination of retinol, tocopherols, carotenes and lycopens in plants by mean of High Performance Liquid Chromatography on reversed phase. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 61:232-238.
- Jiao Y., O. S. Lau and X. W. Deng (2007) Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nature Reviews Genetics* 8:217-230, <https://doi.org/10.1038/nrg2049>
- Klem K., A. Gargallo-Garriga, W. Rattanapichai, M. Oravec, P. Holub, B. Veselá, ... and O. Urban (2019) Distinct morphological, physiological, and biochemical responses to light quality in barley leaves and roots. *Frontiers in Plant Science* 10:1026, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01026>
- Kopsell D. A. and C. E. Sams (2013) Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after

- exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 138:31-37, <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.1.31>
- Lee M. J., K. H. Son and M. M. Oh (2016) Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 57:139-147, <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0133-6>
- Lenzi A., A. Orlandini, R. Bulgari, A. Ferrante and P. Bruschi (2019) Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: a comparison between microgreens and baby greens. *Foods* 8:487, <https://doi.org/10.3390/foods8100487>
- Mendoza-Paredes J. E., A. M. Castillo-González, L. A. Valdéz-Aguilar, E. Avitia-García y M. R. García-Mateos (2021) Respuesta de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) a la luz LED azul y roja. *Biotecnia* 23:149-160, <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1340>
- Monostori I., M. Heilmann, G. Kocsy, M. Rakszegi, M. Ahres, S. B. Altenbach, ... and É. Darko (2018) LED lighting – modification of growth, metabolism, yield and flour composition in wheat by spectral quality and intensity. *Frontiers in Plant Science* 9:605, <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00605>
- Montoya S., D. M. López y B. Segura (2018) Influencia de la luz azul sobre la productividad del cultivo sólido de *Ganoderma lucidum*. *Revista Colombiana de Biotecnología* 20:51-58, <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73674>
- Moreno-Jiménez A. M., S. Loza-Cornejo y M. Ortiz-Morales (2017) Efecto de luz LED sobre semillas de *Capsicum annuum* L. var. Serrano. *Biotechnología Vegetal* 17:145-151.
- Mostacedo B. y T. Fredericksen (2000) Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. BOLFOR. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 92 p.
- Paniagua-Pardo G., C. Hernández-Aguilar, F. Rico-Martínez, F. A. Domínguez-Pacheco, E. Martínez-Ortiz y C. L. Martínez-González (2015) Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica* 40:199-212, <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13>
- Pennisi G., S. Blasioli, A. Cellini, L. Maia, A. Crepaldi, I. Braschi, ... and G. Gianquinto (2019) Unraveling the role of red:blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in Plant Science* 10:305, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00305>
- Pérez-Balibrea S., D. A. Moreno and C. García-Viguera (2011) Genotypic effects on the phytochemical quality of seeds and sprouts from commercial broccoli cultivars. *Food Chemistry* 125:348-354, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.004>
- Pinho P., K. Jokinen and L. Halonen (2016) The influence of the LED light spectrum on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown lettuce. *Lighting Research & Technology* 49:866-881, <https://doi.org/10.1177/1477153516642269>
- Podsedek A., D. Sosnowska, M. Redzynia and B. Anders (2006) Antioxidant capacity and content of *Brassica oleracea* dietary antioxidants. *International Journal of Food Science & Technology* 41:49-58, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.1260.x>
- Renna M., F. Di Gioia, B. Leoni e P. Santamaria (2016) Due espressioni dell'agrobiodiversità in orticoltura: germogli e micro ortaggi. *Italus Hortus* 23:31-44.
- Snowden M. C., K. R. Cope and B. Bugbee (2016) Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. *PLoS ONE* 11:e0163121, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163121>
- Stutte G. W., S. Edney and T. Skerritt (2009) Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience* 44:79-82, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.79>
- Xiao Z., E. E. Codling, Y. Luo, X. Nou, G. E. Lester and Q. Wang (2016) Microgreens of Brassicaceae: mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Composition and Analysis* 49:87-93, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.04.006>
- Yavari N., R. Tripathi, B. S. Wu, S. MacPherson, J. Singh and M. Lefsrud (2021) The effect of light quality on plant physiology, photosynthetic, and stress response in *Arabidopsis thaliana* leaves. *PLoS ONE* 16:e0247380, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247380>
- Zhang Y., Z. Xiao, E. Ager, L. Kong and L. Tan (2021) Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods* 1:58-66, <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>