

## Iluminación LED para cultivos

La energía se transporta a través del aire mediante las ondas electromagnéticas. Las microondas, las ondas de radio o televisión, los rayos X, los rayos ultravioletas o la luz visible son ejemplos de ondas electromagnéticas cada una de las cuales se caracteriza por tener una frecuencia y una longitud de onda diferente. Se denomina espectro electromagnético a la representación de las diferentes frecuencias y longitudes de onda con las denominaciones por las que se conocen (microondas, ondas de radio, luz visible, etc.).

Las radiaciones electromagnéticas tienen a la vez naturaleza corpuscular. Estas partículas se denominan fotones. La radiación electromagnética se propaga como ondas, pero intercambian energía como partículas. Fue Albert Einstein quien en 1905 propuso por primera vez que la luz era a la vez una onda y una partícula. Un haz de luz es un conjunto de estas partículas denominadas fotones. Los fotones que corresponden a longitudes de onda más grandes (frecuencias más bajas) son los que tienen menos energía.

La luz visible es la que es captada por el ojo humano y tiene longitudes de onda entre 400 nm y 700 nm, que se corresponde aproximadamente a la región del espectro que es utilizada por las plantas en el proceso de la fotosíntesis. La luz entre 400 y 700 nm se denomina radiación PAR o radiación fotosintéticamente activa. La luz solar tiene un espectro aproximadamente continuo dentro de las longitudes de onda visibles. Las diferentes frecuencias o longitudes de onda se conocen por los colores que son transformados en el cerebro humano para las distintas frecuencias de la luz visible. Así, las frecuencias más altas (longitudes de ondas más cortas) corresponden a la luz violeta, y las frecuencias más bajas (longitudes de onda más largas) a la luz roja.

### Los pigmentos fotoreceptores en las plantas, la fotosíntesis

Las plantas utilizan el espectro de luz similar al que capta el ojo humano, pero a diferencia de los humanos, éstas captan principalmente la luz roja y la luz azul.

La molécula que tienen las plantas que es capaz de absorber la luz solar y utilizar su energía para transformar el agua y el dióxido de carbono en oxígeno y moléculas orgánicas complejas es la clorofila. Este proceso se denomina fotosíntesis. La clorofila es un fotoreceptor (receptor de fotones) que se encuentra en los cloroplastos de las plantas y confiere a las mismas la coloración verde. Principalmente existen en las plantas superiores dos tipos de clorofilas, la clorofila a y la clorofila b que difieren poco entre ellas. Esta pequeña diferencia hace que capturen luz de ligeramente diferentes longitudes de onda, complementándose ambas sustancias en la absorción de luz solar. Las clorofilas de las plantas absorben la luz roja y azul del espectro de luz, reflejando a nuestra vista la luz verde, que no es absorbida por ellas, siendo esta la razón por la cual vemos las plantas de color verde.

Pero en las plantas no solo existen los pigmentos verdes de la clorofila; también existen los denominados pigmentos accesorios (carotenoides, xantofilas) y sustancias fenólicas (flavonoides, antocianinas, flavones y flavonoides) que captan otros colores y proporcionan las coloraciones variadas de frutas y flores que atraen a insectos y aves, además pueden contribuir a proteger a los tejidos de la radiación excesiva.

También existen otras sustancias que absorben la luz y que se denominan fotoreceptores. Son los fitocromos, las fototropinas y los criptocromos. Además, existe un fotoreceptor específico para la luz ultravioleta, el UVR8. Todos ellos captan luz de distinta longitud de onda.

~ Las fototropinas inciden en la ubicación de los cloroplastos y en la apertura estomática. Absorben luz azul.

~ Los criptocromos captan estímulos externos relacionados con la luz y controlan el reloj interno de las plantas. Además, están relacionados con las respuestas morfogénicas, como la inhibición del alargamiento de los tallos, la expansión de los cotiledones, la producción de antocianos y la floración fotoperiódica. Absorben fotones de las longitudes de onda de UV (ultravioleta), azul y verde.

~ Los fitocromos se encargan principalmente de hacerlas florecer y de generar semillas. Afectan a la elongación de los tallos, la expansión de las hojas, el Síndrome de huida de la sombra+ (Shade avoidance) y perciben los cambios entre las proporciones de luz roja y roja lejana.

Así, además de la fotosíntesis que produce crecimiento vegetal (biomasa), las otras funciones de las plantas (germinación, floración, etc.) dependen también de la luz, pero no tanto en su cantidad sino por la presencia de diferentes longitudes de onda en cantidades suficientes para desencadenar un efecto concreto. Las luces infrarroja y ultravioleta también tienen algunos efectos sobre el desarrollo de las plantas.

### **La calidad de la luz**

La calidad de la luz es tan importante como la cantidad de luz.

El hecho de que las plantas no pueden moverse hace que necesiten leer de algún modo las señales de su entorno con el fin de adaptar y modificar su crecimiento y reproducción de una manera óptima para garantizar su supervivencia. La lectura de estas señales de modo análogo en los individuos de un mismo género tiene una base genética. Existen numerosos factores ambientales que inciden sobre el desarrollo vegetal (luz, temperatura, humedad, agua, nutrientes, gravedad, etc.); la luz es un factor primordial puesto que ella es la que desencadena la función fotosintética.

La fotosíntesis es un conjunto de procesos que vienen dados por los fotones que inciden sobre los fotoreceptores de las plantas. Este sistema es poco eficiente puesto que solo entre un 4% y un 6% de la energía disponible en la radiación se convierte en biomasa. La fotosíntesis puede intensificarse si se aumenta la concentración de CO<sub>2</sub>, pero un incremento de la fotosíntesis no se traduce en un incremento análogo del crecimiento de las plantas. Las plantas controlan de algún modo su propio desarrollo de modo que no pueden crecer indefinidamente.

Hemos mencionado que el desarrollo y crecimiento vegetal no se consiguen solo mediante la fotosíntesis. Para obtener un buen crecimiento de las plantas hace falta algo más. Hay información vital para las plantas tanto dentro de la zona PAR como más allá del PAR, en el intervalo UV-B y UV-A (ultravioleta, 280-400 nm) y también en el área del rojo lejano, por encima de los 700 nm. También existe información vital en las combinaciones de diferentes longitudes de onda, por ejemplo, la relación azul a verde y especialmente la relación de rojo a rojo lejano. Estas longitudes de onda y la relación entre ellas proporcionan a las plantas información sobre su entorno; por ejemplo los cambios en la relación luz roja:rojo lejano permiten a una planta detectar a las plantas vecinas y activar, por ejemplo, la elongación del tallo, lo que le permite capturar el máximo de luz. Por lo tanto, sería más preciso referirse como radiación fotobiológicamente activa a la luz que llega hasta los 800 nm.

### **Los colores de la luz**

Las plantas responden a las distintas longitudes de onda de la luz PAR. McCree en 1972 estudió el espectro de la luz PAR que era utilizado por las plantas, describiendo picos de absorción en diferentes longitudes de onda, estableciendo la curva del espectro de acción de la fotosíntesis.

Dentro del espectro de la radiación fotosintéticamente activa, McCree encontró que para todas las especies de plantas superiores (más de 20) que estudió había dos amplios máximos estrechamente coincidentes en la eficiencia fotosintética centrados en torno a los 440 y a los 660 nm.

Los efectos de las diferentes longitudes de onda en las plantas son los siguientes:

~ Ultravioleta. La luz UV-B es captada por el fotoreceptor UVR8. A grandes dosis es perjudicial para las plantas, puesto que degrada el ADN. Sin embargo, a pequeñas dosis, tanto la UV-B como la UV-A aumentan la tolerancia al estrés de las plantas. En general, las plantas cultivadas bajo luz ultravioleta, tienen hojas gruesas y tallos y entrenudos cortos.

~ Azul. La luz azul es percibida por los fotorreceptores de luz azul, las fototropinas y los criptocromos. Las fototropinas median en la regulación estomática y el movimiento de la planta hacia la luz. Los criptocromos regulan muchas respuestas fotomorfogénicas, tales como la inhibición del alargamiento del tallo. Las plantas que crecen bajo una irradiación con elevada luz azul tienen entrenudos cortos, alto contenido de materia seca y baja temperatura de la hoja (transpiración eficiente).

~ Verde. La luz verde es percibida al menos parcialmente por fototropinas y criptocromos (receptores de luz azul). La mayoría de la luz verde se refleja o penetra a través del dosel vegetal. Sin embargo, la luz verde contiene información valiosa sobre el entorno de la planta, guiando así el hábito de crecimiento de la misma. Las plantas cultivadas bajo la luz verde tienen pecíolos y entrenudos largos y elevada temperatura en las hojas.

~ Rojo. La luz roja es percibida por los fitocromos. Los fitocromos absorben tanto la luz roja como la roja lejana, y son los principales reguladores de la respuesta del síndrome de huida de la sombra. La luz roja convierte los fitocromos a su estado inactivo, Pr, que tiene un pico de absorción a 660 nm. La forma Pr del fitocromo se sintetiza en la oscuridad o en condiciones de luz roja lejana. Cuando el Pr absorbe la luz roja, se convierte en la forma de absorción del rojo lejano, Pfr, que tiene el pico de absorción a 730 nm. La conversión de Pr a Pfr puede revertirse con la aplicación de luz roja lejana y oscuridad.

~ Rojo-lejano. La luz roja lejana es absorbida por los fitocromos. Los fitocromos absorben tanto la luz roja como la roja lejana, y son los principales reguladores de la respuesta del síndrome de huida de la sombra. La luz roja lejana causa la floración prematura de muchas especies, y la elongación de tallo y pecíolos.

### **El fitocromo y el fotoperiodo**

Existen tres procesos en el crecimiento de las plantas que dependen de la luz:

- ~ El fototropismo, que son los movimientos hacia la luz y que dependen principalmente de la luz azul.
- ~ El fotoperiodismo, que depende de la relación entre el color rojo y el rojo lejano y que es la respuesta a la longitud del día en las diferentes estaciones del año.
- ~ La fotomorfogénesis, que es el crecimiento y desarrollo vegetal que está directamente controlado por la luz, en especial por la luz azul.

El efecto de la duración del día sobre la floración se denomina fotoperiodismo. Se trata de la respuesta biológica de las plantas a las proporciones de horas de luz y de oscuridad que ocurren diariamente, y que varían a lo largo de año.

Aunque los estudios relacionados con los efectos de la luz son relativamente nuevos, lo que sí se sabe desde hace unas cuantas décadas es que hay plantas que florecen cuando el día se acorta (plantas de día corto) y las hay que lo hacen cuando el día se alarga (plantas de día largo). Además, existen otras que son de día neutro, es decir, que florecen independientemente de la longitud del día y aún existen unas más que necesitan un período fijo, o intermedio, de horas de luz para florecer.

Entre las plantas de día corto están los crisantemos, las fresas, las judías, las camelias, las primaveras y las poinsetias. Entre las de día largo están las lechugas o las espinacas. Entre las de día neutro están el pepino o el guisante. En realidad, las plantas no miden las horas de luz sino que miden más bien las horas de oscuridad. Durante las horas de oscuridad algunas sustancias que inhiben la floración, y que se han acumulado en los tejidos vegetales durante el día se destruyen, por lo que las plantas reciben la señal de florecer. Todo este proceso es muy complejo, porque también está relacionado con las temperaturas ambientales del día y de la noche (por ejemplo, a mayor temperatura más luz necesitan algunas plantas para florecer) o a otros factores como la edad de la planta o el tiempo de exposición a unas horas determinadas de iluminación.

En las horas de oscuridad, el proceso se puede romper si se aplican períodos de luz muy pequeños por la noche en las plantas de día corto, inhibiendo la floración o bien en las plantas de día largo, esos pulsos de luz nocturnos pueden promoverles la floración. Los efectos de la luz no se dan solo en la floración, se dan también en la germinación de las semillas.

Estos efectos de la luz nocturna se deben al fitocromo, que es un pigmento que se encuentra en dos formas diferentes que se pueden intercambiar: Pr absorbe la luz roja (R), mientras que Pfr absorbe la luz roja lejana (FR). Estas relaciones de intercambio dependen de la frecuencia de la luz: Una molécula de Pr que absorbe un fotón de luz de 660 nm se convierte en una molécula de Pfr, una molécula de Pfr que absorbe un fotón de luz roja lejana (730 nm) se convierte en una molécula de Pr. La forma Pfr es la que es activa, promoviendo la floración o la germinación.

En realidad, al estar expuestas a la luz solar, en las plantas se establece un equilibrio entre las formas Pr y Pfr. En la oscuridad, el Pfr va decreciendo a favor de Pr. Una interrupción de la oscuridad vuelve a regenerar la cantidad de Pfr, que es la que determinará si las plantas florecen o no.

Cuando la densidad de vegetación es elevada la proporción R:FR es baja, lo que pone en marcha unas respuestas que se conocen como el Síndrome de huida de la sombra+(Shade avoidance) y que hace que la planta crezca más alargada, se ramifique menos y florezca antes.

Estos síntomas son los siguientes:

- ~ Alargamiento de hipocótilos.
- ~ Alargamiento de entrenudos.
- ~ Menor ramificación, mayor dominancia apical.
- ~ Floración prematura.
- ~ Pecíolos de hojas más largos.
- ~ Hojas estrechas y menor área foliar.

### **La vernalización**

En muchas plantas no solo la luz desencadena procesos como el de la floración. La temperatura es otro de los factores que afectan al desarrollo de la reproducción vegetal y, en particular, el número de horas de frío.

Hay plantas que necesitan pasar por un período de frío para poder florecer. Este fenómeno se denomina vernalización y tiene lugar en numerosas plantas herbáceas, por ejemplo, en los cereales de invierno que se siembran en otoño y que deben pasar por los rigores del invierno antes de espigar. Este proceso comprende la interacción de las temperaturas y de las horas a las que las plantas están sometidas a dichas temperaturas.

La luz y, en concreto, el fotoperíodo, influyen en la vernalización, por lo que se puede regular la cantidad de horas de frío necesarias para florecer aumentando la proporción de luz roja lejana, influyendo sobre los fitocromos.

### **La iluminación artificial para el crecimiento vegetal**

Una luz para el crecimiento vegetal es aquella fuente de luz artificial que ha sido diseñada para cultivar plantas cuando hay poca o nula luz natural o bien cuando se pretende alargar la duración del día en los meses de invierno para cultivar plantas que necesitan más horas de iluminación para su desarrollo.

Las lámparas para cultivo han intentado tradicionalmente parecerse a la luz solar en cuanto a la composición de su espectro, aunque no ha sido hasta la aparición de los **LEDs**, que viene de las iniciales del inglés L.E.D (Light Emitting Diode) y traducido como diodo emisor de luz, cuando se ha podido realmente construir espectros a medida. Las lámparas más utilizadas en invernaderos, las de alta presión de sodio (HPS), emiten principalmente en las zonas amarilla y roja del espectro, mientras que los fluorescentes que se han utilizado tradicionalmente en cámaras de cultivo incorporaban algo más de luz azul.

Por sus ventajas medioambientales y de eficiencia productiva, las iluminarias **LED** se han descrito como la invención más revolucionaria en la luminotecnia hortícola en las últimas décadas.

La iluminación artificial aplicada a invernaderos históricamente ha estado vinculada exclusivamente a instalaciones ubicadas en zonas que reciben pocas horas de sol al año, o bien, a la modificación del fotoperiodo para inducir la floración de cultivos ornamentales en las épocas del año en las que éstos tienen un mayor valor comercial. La luz artificial en horticultura permite un mejor crecimiento a través de extender los fotoperiodos cuando hay pocas horas de luz diaria y así aumentar la integral diaria de luz. La luz artificial también se utiliza para controlar o inhibir la floración en los tratamientos de día largo/día corto y puede suplir la luz natural en cámaras cerradas.

En los últimos años se han desarrollado grandes avances en las técnicas de iluminación, incluyendo el descenso de los costes de funcionamiento con la introducción de **LEDs**, lo que facilita su incorporación, no sólo para la producción de flores, sino también para la producción hortofrutícola, especialmente en determinadas explotaciones como son la producción de planta injertada o bien en nuevos cultivos, como los microgreens, el forraje verde hidropónico, las algas o los cultivos medicinales.

Ya en 1966 Hardh, sugirió que la iluminación artificial utilizada para plantas debe adaptarse a los espectros de la sensibilidad de la función fotosintética y en 1970 McCree ofreció una propuesta de un espectro de acción generalizado para la fotosíntesis.

Los parámetros a considerar, pues, en la iluminación artificial son el espectro de la luz, su intensidad y el fotoperiodo.

### **El espectro de la luz LED**

Las tecnologías de iluminación tradicionales como las lámparas de sodio de alta presión (HPS) o las luces fluorescentes hemos comentado que han ofrecido muy pocas posibilidades de alterar el espectro de luz. Con la tecnología **LED** se puede crear la luz a medida desarrollando los espectros más adecuados, no sólo para ahorrar energía sino también para utilizar la luz artificial de modo más versátil a cómo veníamos haciéndolo hasta ahora. Con el cambio del espectro se cambia el medio ambiente en el que viven las plantas, lo que hace que las plantas pongan en marcha diferentes estrategias de cómo aprovechar la energía generada a través de la fotosíntesis.

Así, la luz se puede utilizar para obtener los caracteres deseados en las plantas y mejorar en gran medida la calidad de los cultivos.

Cuando el espectro de la luz se adapta al cultivo, se aumenta la productividad del mismo. Regulando la cantidad de luz ( $\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$ ) y el espectro se pueden obtener diferentes características del cultivo que satisfacen las necesidades del agricultor para cada tipo de instalación y producto (floración, crecimiento vegetativo, etc.).

Sin embargo, no solo la biomasa y la floración pueden regularse modificando la luz artificial. La luz que las plantas reciben no sólo sirve para estimular el desarrollo de las plantas, sino que también impulsa la acumulación de compuestos químicos en los cultivos, que pueden o no tener relevancia en la salud humana. Por ejemplo, se puede usar la iluminación para incrementar la obtención de productos que se pueden utilizar en medicina, alimentación o cosmética, como puede ser el contenido de aceites esenciales en plantas aromáticas.

Otro ejemplo es el contenido de nitratos, que en la actualidad se ha convertido en un compuesto preocupante para la Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS ha fijado límites de consumo diario de nitratos, que los podemos encontrar principalmente en hortalizas como lechuga, brócoli, espinaca, acelga, y otras plantas de fácil acumulación de estos compuestos; por lo tanto, al ser productos que se incluyen en la dieta básica de las personas, la preocupación está justificada. El contenido de nitratos puede regularse también mediante la iluminación con lámparas **LEDs** de espectros concretos.

Las ventajas, pues, de cultivar con espectros a medida no son solo en cuanto al incremento de biomasa; se puede controlar también el contenido de elementos nutricionales de las verduras y a la vez disminuir el contenido de nitratos en sus tejidos, lo que las hace más saludables y aporta un mayor valor añadido para el agricultor.

### **Medición de la luz que reciben las plantas**

Existen diferentes maneras de medir la intensidad de la luz, pero prácticamente todas ellas han sido desarrolladas para medir la luz visible al ojo humano.

Para medir la luz visible que percibimos los humanos se utilizan como unidades el lumen o el lux. Pero esta luz no da ninguna información sobre lo que absorben las plantas en realidad, puesto que mide la intensidad de la luz en la zona media del espectro, no en la que es importante para la fotosíntesis. Lo mismo ocurre con las medidas radiométricas en Watts que se utilizan para medir el calentamiento, pero que no sirven ni para personas ni para plantas. Las medidas en moles de fotones miden todos los colores dentro de las longitudes de onda fotosintéticas, y ya hemos visto que no todos los colores producen los mismos efectos. Estas medidas de la intensidad luminosa deben ir acompañadas del espectro de luz concreto, que se mide con un **espectrómetro**.

La radiación PAR se mide en  $\text{W/m}^2$ . Como lo que interesa es en el fondo el número de fotones que inciden sobre una superficie vegetal concreta, se suelen dar las medidas PPF (Densidad de flujo de fotones fotosintéticos) que se mide generalmente en  $\mu\text{moles/m}^2\cdot\text{s}$ .

## Bibliografía y Webgrafía

- ~ Bantis, F., T. Ouzounis y K. Radoglou. 2016. Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success+ *Scientia Horticulturae*. Volumen 198, 26 Enero 2016, Pags 277-283.
- ~ Bergstrand, K-J., L.M. Mortensen, A. Suthaparan y H.R. Gislerod. 2016. Acclimatisation of greenhouse crops to differing light quality. *Scientia Horticulturae* Volume 204, 2 June 2016, Pages 1-7
- ~ Brazaityte, A., P. Duchovskis, A. Urbonaviciute, G. Samuoliene, J. Jankauskiene, J. Sakalauskaite, G. Sabajaviene, R. Sirtautas y A. Novickovas. 2010. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. *Zemdirbyste-Agriculture* 97: 89 98.
- ~ Briggs, W. R y E. Huala. 1999. Blue-light photoreceptors in higher plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 15: 33 62.
- ~ Brown C.S., A.C. Schuerger y J.C. Sager. 1995. Growth and Photomorphogenesis of Pepper Plants under Red Light-emitting Diodes with Supplemental Blue or Far-red Lighting. *J. AMER. SOC. HORT. SCI.* 120(5):808-813.
- ~ Cashmore, A.R., J.A. Jarillo, Y-J. Wu y D. Liu. D. 1999. Cryptochromes: blue light receptors for plants and animals. *Science* 284: 760 765.
- ~ Dragos, N., V. Bercea, A. , B. Druga, B., A. Nicoara, C. Coman. 2010. Astaxanthin production from a new strain of *Haematococcus pluvialis* grown in batch culture. *Annals of RSCB*. Vol 15. 353 361.
- ~ Franklin, K.A. y G.C. Whitelam. 2005. Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. *Annals of Botany* 96: 169 175.
- ~ Franklin, K.A. y G.C. Whitelam. 2007. Red:far-red ratio perception and shade avoidance. En: Whitelam, G.C. y K.J. Halliday (Edts.). *Light and plant development. Annual plant reviews, volume 30*. Blackwell publishing. 211-234.
- ~ Halliday, K. J., M. Koornneef y G.C. Whitelam 1994. Phytochrome B and at least one other phytochrome mediate the accelerated flowering response of *Arabidopsis thaliana* L. to low red/far-red ratio. *Plant Physiology* 104: 1311-1315.
- ~ Hårdh, J., 1966. Trials with carbon dioxide, light and growth substances on foresttree plants. *Acta Forrestalia Fennica* 81 (1), 1. 10.
- ~ Kobayashi, M., T. Kakizono, K. Yamaguchu, N. Nishio y S. Nagai. 1992. Growth and Astaxanthin Formation of *Haematococcus pluvialis* in Heterotrophic and Mixotrophic Conditions. *J. of Fermentation and Bioengineering*, vol 74. 17 20.
- ~ McCree, K.J. 1971-1972. The action spectrum, absorptance and quantum yield on photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteorol*, 9: 191-216.
- ~ Schwarz, D., A.J. Thompson y H-P. Kläring. 2014. Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 5. Article 625.



- ~ Schwend, T., D. Prucker, S. Peisl, A. Nitsopoulos y H. Mempel. 2016. The rosmarinic acid content of basil and borage correlates with the ratio of red and far-red light. *Eur. J. Hortic. Sci.* 81(5):243-247.
- ~ Sellaro, R. M. Crepy, S.A. Trupkin, E. Karayekov, A.S. Buchovsky, C. Rossi y J.J. Casal. 2010. Cryptochrome as a Sensor of the Blue/Green Ratio of Natural Radiation in Arabidopsis. *Plant Physiology*, Vol. 154, pp. 401. 409
- ~ Smith H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annual Review of Plant Physiology* 33, 1882-8.
- ~ Tipler, P.A. y G. Mosca. 2010 (6ª ed.). Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 2. Ed. Reverté.
- ~ Torres, A.P. y R.G. López. Measuring Daily Light Integral in a Greenhouse. *Purdue extension HO-238-W*
- ~ Urrestarazu, M.; C. Nájera y M. del M. Gea. 2016. Effect of the spectral quality and intensity of light-emitting diodes on several horticultural crops. *HortScience* 51(3):268-271.
- ~ Li, Q. y C. Kubota. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany* 67: 59 64.
- ~ Möglich, A., X. Yang, R.A. Ayers y K. Moffat. 2010. Structure and function of plant photoreceptors. *Annual Review of Plant Biology* 61: 21 47.
- ~ [http://www.ks.uiuc.edu/Research/biological\\_photoreceptors/](http://www.ks.uiuc.edu/Research/biological_photoreceptors/)
- ~ [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_15.htm](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_15.htm)
- ~ [http://www.dailymail.co.uk/travel/travel\\_news/article-4936018/Delving-underground-world-urban-farming.html](http://www.dailymail.co.uk/travel/travel_news/article-4936018/Delving-underground-world-urban-farming.html)

Ver artículo completo en: <http://publicaciones.poscosecha.com/es/cultivo/395-iluminacion-artificial-en-agricultura.html#>

Iluminación artificial en agricultura. Silvia BURES, Miguel URRESTARAZU GAVILÁN y Stiina KOTIRANTA. ISBN 978-84-16909-09-4. Biblioteca de Horticultura.

Para más información y asesoramiento sobre iluminación de cultivos contacta con nosotros:

<https://www.buresinnova.com/contactar>

BURESINNOVA distribuidor de Valoya y C-LED en España y Portugal.

BURESINNOVA S.A. Ctra. Antiga de València, 1, 08830 Sant Boi de Llobregat, Barcelona

T. (+34) 936 614 785 Mail: [info@buresinnova.com](mailto:info@buresinnova.com) Web: [www.buresinnova.com](http://www.buresinnova.com)