

# Producción Comercial de Cultivos Bajo Invernadero Y Viveros

## Medición de Luz Diaria Integrada en Invernaderos

*Ariana P. Torres y Roberto G. Lopez*

*Departamento de Horticultura y Arquitectura de Áreas Verdes,  
Purdue University*



Departamento de Horticultura y  
Arquitectura de Áreas Verdes,  
Purdue University

[www.hort.purdue.edu](http://www.hort.purdue.edu)

Página Web de Floricultura,  
Purdue University

[flowers.hort.purdue.edu](http://flowers.hort.purdue.edu)

**E**n la producción comercial bajo invernadero varias estrategias pueden emplearse para manejar de manera adecuada los niveles de luz a lo largo del día y según las temporadas del año. Algunas de las principales razones para manejar los niveles de luz en los invernaderos son: el manejo de temperatura e irrigación, el control del fotoperiodo, minimizar el estrés de los cultivos, y optimizar la fotosíntesis.

La iluminación suplementaria en conjunto con lámparas de descarga de alta intensidad (HID por sus siglas en inglés) pueden incrementar la intensidad de luz que los cultivos reciben, además de mejorar y acelerar su crecimiento y desarrollo. El uso de cortinas de sombra retractables y la cobertura con cal pueden reducir y dispersar la luz creando un ambiente de crecimiento más agradable durante periodos de alta intensidad de luz. Esta publicación examina las características de iluminación en invernaderos y describe una alternativa de manejo llamada luz diaria integrada (DLI por sus siglas en inglés).

### ¿Qué Es Luz y Por Qué Es Tan Importante?

La luz es una forma de energía llamada radiación electromagnética. Esta radiación, ya sea proveniente del sol o de lámparas HID [por ejemplo lámparas de sodio de alta presión (HPS) o de halogenuros metálicos] varía en duración (energía a través del tiempo), calidad (longitud de onda o color), e intensidad (cantidad de luz por cada longitud de onda o color).

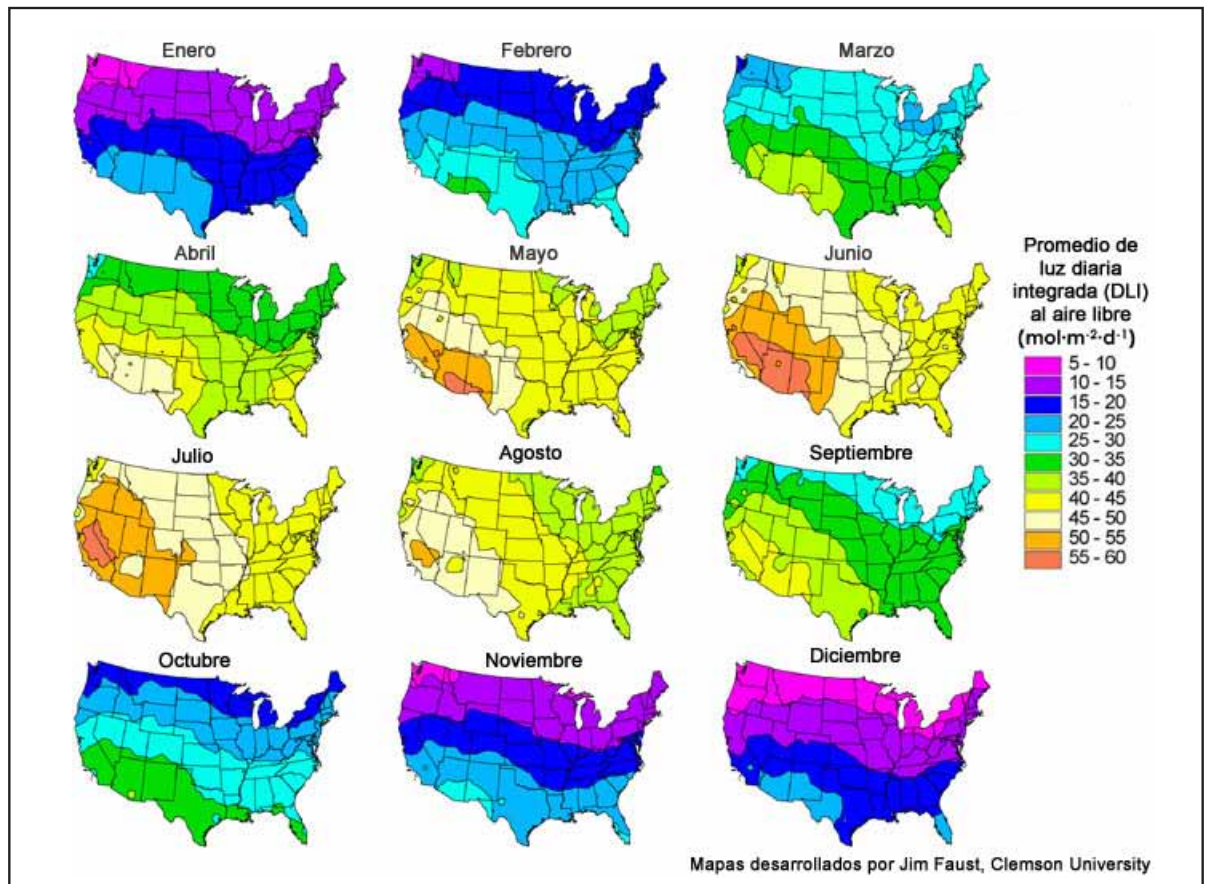
Aquí, nos enfocaremos únicamente en la radiación fotosintéticamente activa (PAR por sus siglas en inglés), que es la luz con una longitud de onda entre 400 a 700 nm –también es la luz que la gente percibe con los ojos. Al incrementar la energía en el rango PAR se incrementa la fotosíntesis en las plantas (el proceso metabólico más importante). Cada especie de cultivo tiene una intensidad de luz óptima que maximiza la fotosíntesis y el crecimiento de la plantas. Cuando no existe suficiente luz, el crecimiento y la calidad del cultivo declina; y si la luz es excesiva, la fotosíntesis y el crecimiento no incrementan, solo los costos de mantener este tipo de iluminación.

### Medición de Luz

Las unidades más comunes para medir la luz son pie-candela (Estados Unidos) y lux (Europa). Es importante para los productores comprender las limitaciones de estas unidades. Ambas unidades proveen una intensidad de luz instantánea en el momento en que se está tomando la medición, así esta única medición no representaría con precisión la cantidad de luz que las plantas reciben durante el día ya que los niveles naturales de luz cambian continuamente.

Igual de importante, pie-candela es una unidad fotométrica basada en la cantidad de luz visible que es detectada por el ojo humano (principalmente luz verde). Esto significa que pie-candela se basa en lo que perciben las personas y no es una medida adecuada para indicar el nivel luz disponible para fotosíntesis en las plantas.





**Figura 1.** Mapas mensuales de DLI al aire libre en los Estados Unidos.

Fuente: Mapping monthly distribution of daily light integrals across the contiguous United States (Pamela C. Korczynski, Joanne Logan, and James E. Faust; Clemson University, 2002).

La mayoría de los investigadores en horticultura miden la luz instantánea en micromoles ( $\mu\text{mol}$ ) por metro cuadrado ( $\text{m}^2$ ) por segundo ( $\text{s}^{-1}$ ), o  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  de PAR. Esta unidad “cuántica” cuantifica el número de fotones (partículas individuales de energía) usados en fotosíntesis que caen en un metro cuadrado (10.8 pies cuadrados) por cada segundo. Sin embargo, esta medida de luz tampoco se considera válida pues es también una lectura instantánea.

### Luz Diaria Integrada

Luz diaria integrada (DLI) es la cantidad de PAR recibida cada día como función de la intensidad de luz (luz instantánea:  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y duración (día o 24 horas). Esta unidad es expresada en moles de luz (mol) por metro cuadrado ( $\text{m}^2$ ) por día ( $\text{d}^{-1}$ ), o:  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  (moles por día).

El concepto de DLI es similar a la de un pluviómetro. De la misma manera que un pluviómetro recolecta el total de lluvia en un lugar específico durante un periodo de tiempo, así también DLI mide el total de PAR recibido en un día. Los productores de cultivos bajo invernadero pueden usar medidores de luz para

calcular el número de fotones de luz que se acumulan en un metro cuadrado durante un periodo de 24 horas.

Jim Faust y colegas en Clemson University han desarrollado mapas mensuales de DLI al aire libre a lo largo de los Estados Unidos (Figura 1). Estos mapas ilustran como la latitud, la época del año, la longitud del día (fotoperiodo) y la nubosidad influyen DLI, que varía de 5 a  $60\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ .

En un invernadero, estos valores rara vez exceden  $25\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  debido a la estructura y los material del mismo, a la época del año (lo que afecta el ángulo de radiación), la nubosidad, la longitud del día (fotoperiodo), la sombra y otras obstrucciones de los invernaderos, como cestas colgantes.

### La Importancia de DLI en la Producción en Invernadero

DLI es una variable importante a medir en cada invernadero debido a que influencia el crecimiento, desarrollo, productividad y calidad de las plantas. Por ejemplo, DLI puede influir en el crecimiento

## 3

de tallos y raíces de plántulas y esquejes, en la calidad final de las plantas (características como ramificación, número de flores y diámetro del tallo), y el calendario de producción. Los productores que incluyen una rutina de monitoreo y registro de DLI recibida por los cultivos pueden fácilmente determinar cuando necesitan suplemento de luz o cuando usar cortinas de sombra retractables.

Esto es importante especialmente para los productores en las latitudes del norte donde la mayoría de cultivos son propagados desde diciembre hasta marzo y los valores naturales de DLI al aire libre son entre 5 a 30 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Además, estos valores pueden disminuir entre un 40 y 70% gracias a la



**Figura 2.** Una estación meteorológica WatchDog que contiene sensores de luz y proporciona automáticamente valores de DLI.

sombra que resulta de las estructuras y materiales de los invernaderos y por el uso de cestas colgantes. Estas obstrucciones pueden resultar en un promedio de DLI tan bajo como 1 a 5 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

Existen dispositivos que automáticamente miden y calculan la cantidad de DLI que sus cultivos están recibiendo. Uno de esos dispositivos es la estación meteorológica WatchDog manufacturada por Spectrum Technologies (Figura 2). Este es un instrumento portátil que puede ser colocado cerca a sus cultivos para determinar la DLI en un área particular. Algunos modelos pueden ser conectados a una computadora y descargar la información automáticamente.

Otro método para medir la DLI es usar un sensor de luz cuántica conectado a un registrador de datos o computadora (Figura 3). Este sensor mide intensidad de luz instantánea (preferiblemente en μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) a un intervalo definido (por ejemplo una vez cada 15 a 60 segundos), lo que permite calcular DLI. Tabla 1 en la página 4 muestra los cálculos de DLI basados en las mediciones promedio por hora de pie-candela o μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> de las mediciones de PAR. Sin tomar en cuenta el equipo que se use, es importante man-

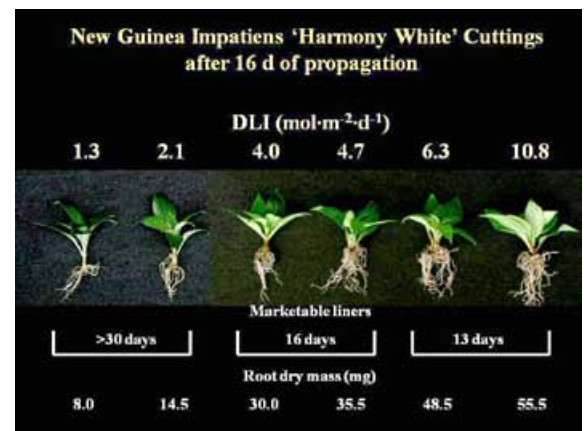


**Figura 3.** Un sensor de luz cuántica conectado a una computadora puede medir y registrar niveles de luz instantánea durante el día. La Tabla 1 muestra como estos valores pueden ser usados para calcular la DLI que reciben los cultivos.

tener los sensores nivelados y limpios para asegurar mediciones precisas.

## Recomendaciones de DLI

Plantas que crecen en condiciones limitantes de luz (baja DLI), típicamente presentan un crecimiento y desarrollo retrasado. Investigaciones realizadas en Michigan State University indican que al mantener la DLI entre 4 a 11 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> durante la etapa 2 (formación de callos) y etapa 3 (desarrollo de raíces)



**Figura 4.** Influencia de luz integrada diaria (DLI) en el desarrollo de raíces y comerciabilidad de esquejes de Balsamina Nueva Guinea durante la propagación (Lopez y Runkle 2008).

## 4

**Tabla 1.** Como convertir de pie-candela a PAR ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y de PAR a luz integrada diaria [DLI ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )] para el caso de luz solar y lámparas de sodio de alta presión (HPS).

Nótese que el factor de conversión de pie-candela a PAR depende de la fuente de luz.

Paso 1	Determinar el valor promedio de pie-candela por hora: sumar los valores promedios por hora en pie-candela tomados durante el día y dividirlos para 24.	Por ejemplo, usted tiene 24 mediciones en pie-candela tomadas a cada hora: $0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 5 + 12 + 21 + 40 + 43 + 159 + 399 + 302 + 461 + 610 + 819 + 567 + 434 + 327 + 264 + 126 + 15 + 4 + 0 = 4,408$ pie-candela $4,408$ pie-candela $\div$ 24 horas = <b>184 pie-candela por hora</b>
Paso 2	Convertir pie-candela por hora a PAR ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) según la fuente de luz. Para obtener este valor se multiplica primero el valor de pie-candela/hora por el factor dado de la fuente de luz.  La luz solar tiene un factor de 0.20 pie-candela por $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y HPS de 0.13 pie-candela por $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .	Usando el mismo ejemplo del paso 1:  Para calcular el PAR que reciben los cultivos usando luz solar hacemos los siguientes cálculos:  $184$ pie-candela por hora $\times$ 0.20 pie-candela por $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ = <b><math>36.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}</math></b>  Para lámparas HPS, el cálculo para obtener el PAR sería:  $184$ pie-candela por hora $\times$ 0.13 pie-candela por $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ = <b><math>23.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}</math></b>
Paso 3	Convertir PAR a DLI. Para obtener este dato se usa la siguiente ecuación:  $\text{PAR} (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}) \times 0.0864$  El factor 0.0864 es el número total de segundos en una día dividido para 1,000,000	Para cultivos que reciben luz solar:  $36.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \times 0.0864 = \mathbf{3.2 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}}$  Para cultivos que reciben iluminación de HPS:  $23.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \times 0.0864 = \mathbf{2.1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}}$

se acelera la propagación de esquejes en cultivos de balsamina Nueva Guinea y petunias (Figura 4).

Experimentos realizados con petunias y balsaminas han demostrado que cuando DLI se aumenta en la propagación, el enraizamiento, la acumulación de biomasa (crecimiento de tallos y raíces), y la calidad (elongación de tallo reducido) generalmente se incrementan, mientras que el subsecuente tiempo a floración generalmente disminuye. De igual manera, experimentos realizados con plántulas de celosía, balsaminas, salvia, marigold, y viola muestran que los parámetros de calidad al transplante aumentan cuando DLI aumenta hasta  $12 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ .

Basado en estas investigaciones, nosotros recomendamos que los productores provean un mínimo de  $10$  a  $12 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  de luz durante las últimas etapas para producir cultivos florícolas que se benefician de alta intensidad de luz. Pero recuerde, que los requerimientos de DLI como se indica en la Tabla 2 desde las páginas 5 a 7. Por esta razón, algunos productores separan sus cultivos florícolas según los requerimientos de DLI. Cultivos con requerimiento de DLI entre  $3$  a  $6 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  son considerados cultivos con bajo requerimiento de luz, de  $6$  a  $12 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  son de medio requerimiento de luz, de  $12$  a  $18 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  son de alto requerimiento de luz, y aquellos que

requieren más de  $18 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  son considerados de muy alto requerimiento de luz.

### Suplemento de Luz

Bajo condiciones limitantes de luz (como el invierno en climas templados), la mayoría de los cultivos de invernaderos se benefician de luz suplementaria. Sin embargo, es importante recordar que la luz suplementaria generalmente vale la pena únicamente cuando el incremento en fotosíntesis conduce a mayores ingresos (por ejemplo más ciclos de esquejes, mayor número de plántulas o más flores de corte).

La práctica de usar lámparas HID para suplementar luz natural durante periodos de baja luminosidad o días cortos ayuda a los productores a incrementar la productividad y la calidad de las plantas. Lámparas HPS o de halogenuros metálicos típicamente proveen entre  $250$  a  $750$  pie-candela ( $33$  a  $98 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Las lámparas HPS pueden suministrar  $400$  pie-candela ( $52 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) por  $12$  horas proporcionando una DLI de  $2.3 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Esta es una cantidad relativamente baja comparada con la DLI provista por el sol (Figura 1). A pesar de esto, los cultivos bajo invernadero en la parte norte





## 7

Tabla 2. Requerimientos de DLI para diferentes cultivos bajo invernadero (continued)

Especies	Promedio de Luz Diaria Integrada (en moles por día)														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Zinnia															
Alstroemeria (flores de corte)															
Capsicum (pimiento)															
Crisantemos (flores de corte)															
Dianthus (clavel)															
Gladiolus (flores de corte)															
Lycopersicon (tomate)															
Rosas (flores de corte)															

Fuente: James E. Faust, *Ball Red Book*.

de los Estados Unidos sin el suplemento de esta iluminación fotosintética no recibirían la luz necesaria (<10 mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) durante varios meses del año.

El incremento del uso de suplemento de luz en la superficie en acres con invernaderos en los Estados Unidos es aun considerada baja, en la parte norte se estima solo de un 10 a 20%. Las principales limitantes para los productores bajo invernadero para usar este tipo de luz son la alta inversión y los costos de instalación de lámparas HID.

En algunas áreas del país, los costos de electricidad pueden ser muy elevados durante los picos altos de demanda. En el 2004, el costo promedio estimado para suplementar luz dentro de los invernaderos a lo largo en los Estados Unidos fue de \$0.052 por pie cuadrado por semana. Algunos de los inconvenientes encontrados al usar lámparas HID como suplemento de luz son el peso del equipo y el alto consumo de energía, los mismos que están disminuyendo al mejorar la tecnología en iluminación.

En el futuro, diodos emisores de luz (LED por sus siglas en inglés) podrían reemplazar las lámparas HID debido a su eficiencia en el uso de energía, son de bajo costo, proveen más opciones para controlar las características de los cultivos, son más seguras para operar y reducen la contaminación de luz. Sin embargo, cabe mencionar que el suplemento de luz con LED es actualmente muy costoso y se considera que su uso no será práctico hasta el año 2015 o más.

Para ver otras publicaciones de esta serie, visite Purdue Extension Education Store, [www.the-education-store.com](http://www.the-education-store.com).

La referencia de productos en esta publicación no pretende ser una aprobación a la exclusión de otros productos que pueden ser similares. Las personas que vayan a utilizar estos productos deben asumir la responsabilidad de su uso de acuerdo a las instrucciones de utilización del fabricante.