APLICACIONES

La iluminación artificial en horticultura se puede utilizar con distintos fines:

1. Como complemento de la luz natural para incrementar el nivel de irradiancia con fines fotosintéticos.
2. Para alargar el período de iluminación natural (fotoperiodismo).
3. Como sustituto de la luz natural en cámaras de crecimiento donde las plantas se cultivan con fines comerciales bajo condiciones de crecimiento controlados.
4. Como sustituto de la luz natural en fitotrones donde las plantas se cultivan con fines de investigación.
5. Con fines decorativos.



Figura 17. Utilización de lámparas de vapor de sodio alta presión con fines fotosintéticos y fotoperiódicos, en plantaciones de Mathiola.

Capítulo VII

Iluminación para fotosíntesis

En latitudes de más de 40º norte o sur, los niveles de luz natural son bajos y los días son cortos en una parte del año. Durante cuatro o hasta seis meses al año, en estas áreas, el crecimiento de las plantas se ve restringido por falta de luz. En estas zonas la utilización de luz artificial como complemento de la luz natural, permite el crecimiento normal de las plantas.

Aparte de la luz, el crecimiento y el florecimiento de las plantas están influenciados por otros factores como puede ser la fertilización, la temperatura ambiente, la humedad del suelo, etc. Suponiendo que estos factores fuesen favorables y constantes, el porcentaje de crecimiento en un determinado momento dependería de la cantidad total de energía radiante recibida por las plantas durante este tiempo, así como de la dosis recibida durante largos períodos.

La efectividad de la luz artificial, sin embargo, depende no sólo del nivel y de la duración, sino también del grado en que se haya complementado la luz natural, dicho de otro modo, de la contribución relativa de la luz artificial sobre el total de la radiación recibida por las plantas (ver Fig. 18, y también el Capítulo IV).

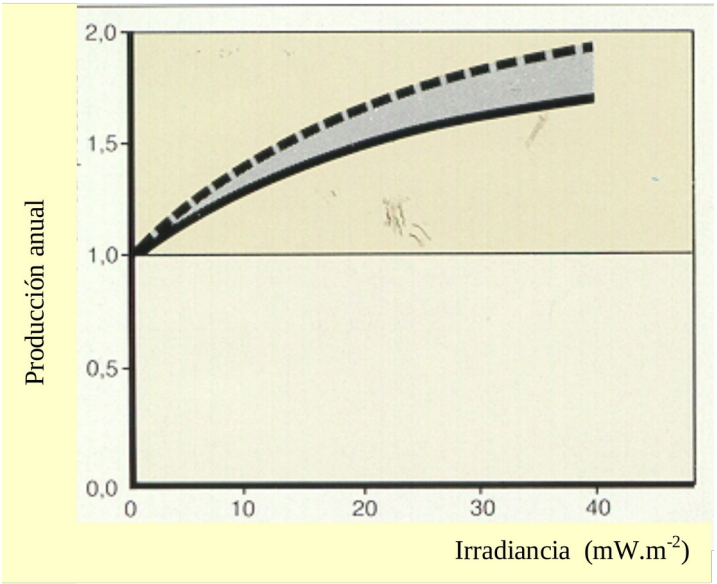


Fig. 18. Producción anual en relación con la irradiancia adicional con luz artificial para una media de ocho horas en el período nocturno. (____) Una planta a la que se le ha proporcionado poca luz y (---) una planta que se le ha proporcionado más luz

Una determinada cantidad de luz artificial puede ser proporcionada en forma de irradiancia con alto nivel, en un corto período de tiempo o irradiancia de bajo nivel, durante mayor tiempo. Experimentalmente se ha comprobado que el último método es el que ha proporcionado mejores resultados. Las recomendaciones para varios cultivos

dados en el último capítulo son pautas que han demostrado ser generalmente aceptables.

En algunas zonas de la Tierra, durante cuatro, o posiblemente seis meses al año, la luz que reciben las plantas para el crecimiento es muy restringida. En estas condiciones se encuentran grandes zonas del norte de Europa, Note América, Asia, Sur América y Australia (Ver Tabla IV).

Mes	Santarum (Brazil) 2°S; 54°W	Darjeeling (India) 27°N; 88°E	Santa Barbara (U.S.A.) 34°N; 119°W		De Bilt (the Netherlands) 52°N; 4°E	
	in the open	in the open	in the open	under glass	in the open	under glass
	× 10^6	× 10^6	× 10^6	× 10^6	× 10^6	× 10^6
Enero	12 500	14 750	12 500	10 750	2 250	2 000
Febrero	12 500	14 750	12 500	10 750	4 500	4 000
Marzo	12 500	16 750	19 000	16 000	8 000	6 750
Abril	12 500	19 000	21 000	17 750	12 250	10 500
Mayo	15 000	21 000	25 000	21 500	16 500	14 000
Junio	16 750	21 000	25 000	21 500	17 750	15 000
Julio	16 750	14 750	25 000	21 500	16 000	13 750
Agosto	19 000	12 500	23 000	19 500	14 000	12 000
Septiembre	19 000	14 750	21 000	17 750	10 500	8 750
Octubre	21 000	16 750	16 750	14 250	6 000	5 250
Noviembre	19 000	14 750	12 500	10 750	2 750	2 250
Diciembre	14 750	14 750	8 500	7 000	1 750	1 500

Tabla IV. Energía radiante total (radiada por el Sol), en mW.s, recibida por m^2 y día, en diferentes partes de la Tierra y en diferentes épocas del año.
Para obtener la energía radiante en la banda 400-700 nm, las cantidades de la Tabla deben multiplicarse por 0,45

Algunos tipos de cultivos que han utilizado luz artificial para fotosíntesis han resultado viables desde el punto de vista económico, incluidos hortícolas (pepinillos, tomates y lechugas), flores cortadas, y varias plantas obtenidas en maceta, arbustos y árboles. El nivel y el período de irradiación dependerán sobre todo de las especies de plantas de que se trate, de la luz natural de que se disponga, de la latitud del lugar en que nos encontremos, y del método de cultivo.

El suplemento de luz aplicada de este modo ha estimulado la asimilación y de esta forma el crecimiento, resultando un acortamiento en el ciclo de producción, así como plantas más vigorosas y florecimientos más tempranos. También, los efectos de variaciones en la intensidad de la luz natural han sido atenuados, con el consiguiente beneficio para los cultivos.

Los niveles típicos de irradiación para fotosíntesis están comprendidos entre 5000 y 20000 $mW.m^{-2}$, que generalmente son proporcionados por las lámparas de descarga de alta presión. Las más importantes necesidades, en lo que se refiere a la luz artificial, están contenidas en una gran proporción en longitudes de onda comprendidas entes los 400 y los 700 nm. En la práctica, estas condiciones son más importantes que alcanzar una distribución espectral específica dentro de éstos límites (un cambio en el porcentaje de la fotosíntesis es más probable que se deba a otros factores de crecimiento que a la distribución espectral de la luz artificial). Por tanto, para alcanzar el crecimiento óptimo, factores como la temperatura, la humedad, la fertilización del suelo, etc., son más apropiados que el nivel y el tiempo de irradiación.

Las pruebas que se han realizado hasta ahora, se han concentrado en un cierto tipo de plantas. La utilización de iluminación artificial en horticultura, de forma suplementaria y desde el punto de vista comercial, se ha restringido a las siguientes plantas:

- Pepino.
- Tomate.
- Lechuga.
- Plantas de semillero.

Y en floricultura:

- Crisantemo.

Estas plantas se han producido en los meses de invierno en zonas en las que la luz natural es escasa.

Pepinos. La iluminación suplementaria se ha adoptado con más facilidad en el cultivo del pepino que en el del tomate. En los meses de escasa luz natural (en el hemisferio norte de octubre a marzo), la luz suplementaria se ha empleado en gran escala, particularmente por especialistas en cultivos forzados para el cultivo del pepino, obteniendo plantas jóvenes. En esta época del año el crecimiento es lento, la tendencia a la inducción floral es muy fuerte y la robustez y uniformidad de las plantas deja mucho que desear.

Si de acuerdo a la relación que toman tales factores como la luz natural y la energía radiante requerida por las plantas es posible irradiar plantas de buena calidad, estas pueden ser cultivadas con costos relativamente bajos. El tratamiento reduce el tiempo de desarrollo y también permite obtener plantas más sanas y vigorosas. También reduce los efectos que produce la condición variable de la luz natural, así la regulación puede ser más precisa, el tratamiento, en consecuencia permite un *desarrollo previsible*.

Cuando la luz suplementaria se emplea de forma correcta, la prolongación del día inhibe la iniciación de la floración. La energía radiante adicional facilita la asimilación y, en consecuencia, el crecimiento.

El conjunto de beneficios obtenidos depende, en gran medida, de los factores adicionales. La luz natural, por ejemplo, debe ser utilizada eficazmente siempre que sea posible (por ejemplo, los invernaderos deben ser espaciosos y de cristal transparente) y las plantas deben crecer bajo condiciones que sigan las reglas correctas de la horticultura práctica. La selección del tipo de planta debe escogerse de forma que se combinen los efectos de la luz natural y la artificial. La distribución de la luz debe ser regulada si se quiere obtener una densidad uniforme en el material plantado.

Para luz suplementaria en el cultivo de pepinos se requiere una irradiancia de 3000 a 15000 $mW.m^{-2}$ (la cantidad en cada caso dependerá de la duración de la irradiación y del método que se haya seguido). Este es equivalente a instalar una potencia de 50 a 250 $W.m^{-2}$, utilizando lámparas HLRG de 400 W (Ver Fig. 19) o de 15 a 75 $W.m^{-2}$ con lámparas SON-T de 400 W.



Figura 19. Cultivo de pepinos, utilizando lámparas HLRG de 400 W (Holanda).

Con menos lámparas, las plantas deben irradiarse durante más tiempo, por el contrario con más lámparas haría falta menos, pero según opiniones de los horticultores, esto no aumentaría el rendimiento de la explotación.

Por razones de tipo práctico, las lámparas se sitúan a una distancia de 1 a 1,5 metros sobre las bateas donde están colocadas las plantas, y a 2 a 2,5 metros sobre el nivel del suelo, cuando las plantas se colocan en él.

Dada la reacción de las plantas de pepino a la duración del día, el período de irradiación total debe variarse de acuerdo con la edad de los plantones y el tiempo de recolección. Para los primeros 10 días después de la emergencia, el período total de irradiación (luz natural y luz suplementaria juntas) deberá ser de 16 horas por día. Este período puede reducirse en una hora por día, para cada semana siguiente. Si las plantas han sido sembradas antes de finales de diciembre, en latitudes norte, el período de irradiación durante la última semana deberá ser de 12 a13 horas por día.

Si la plantación se ha realizado con posterioridad, el período deberá reducirse de 11 a 12 horas por día, en la última semana. Para las más recientes variedades de pepino, produciendo exclusivamente flores femeninas, la duración del día tiene probablemente menos importancia. Si la luz suplementaria se suministra por la mañana y/o por la tarde, por lo normal, no se obtienen diferencias apreciables. Es conveniente, no obstante,

utilizar lámparas en los días oscuros para *que con la luz suplementaria se pueda ver correctamente.*

El período requerido para el crecimiento forzado de cultivo de pepino con luz suplementaria empleada es corto (de 4 a 5 semanas). Dependiendo de la fase de desarrollo en que la planta ha sido irradiada, y del uso intensivo de la instalación utilizando de 3 a 5 bancadas de plantas para crecimiento en los meses de luz solar escasa.

Tomates. El uso de iluminación para el cultivo de tomates está creciendo, ya que la investigación en este campo se ha realizado en forma intensiva. Se ha demostrado que la iluminación produce resultados favorables. Esto ha sido comprobado en varias experiencias, tanto en aceleración de cosecha, como en buena calidad de las plantas, gracias a la iluminación suplementaria. (Véase Fig. 20).



Figura 20. Irradiación de plantas de tomate en la Estación de Investigación de Agricultura Shell (Woodstock, Inglaterra). La fotografía muestra una instalación de lámparas HLRG 400 W.

Otra ventaja es que las plantas se han dado en áreas de producción en épocas más tempranas de lo normal con producciones mayores. El modo de abaratar y acelerar la cosecha es comenzando la irradiación en los meses de invierno. Para una aceleración significativa, por ejemplo de 7 a 21 días, se requiere una irradiación intensiva. En el caso de plantas de tomate jóvenes, la iluminación suplementaria es efectiva si se mantiene una irradiancia de 10000 a 30000 $mW.m^{-2}$ (equivalente a una potencia de 50 a 150 $W.m^{-2}$ utilizando lámparas SON-T de 400 W, véase Fig. 21). El nivel de irradiancia determina el grado de aceleración del crecimiento.

Con el tomate, como con el pepino, los días largos y los niveles de irradiancia se ensayan para dar un efecto combinado. En el caso del tomate, no obstante, el nivel de irradiancia es más importante que la longitud del día. La razón es que la respuesta al día largo, en lo que a inducción floral se refiere, es muy débil en las plantas de tomate. Sin embargo, las plantas de tomate que reciben menos de cuatro horas completas de oscuridad por día, tienden a sufrir *clorosis fotoperiódica* (manchas amarillas en las nervaduras).

Una norma aceptada en Holanda consiste en proporcionar un día largo de 14 a 16 horas durante las dos primeras semanas, seguidas por dos semanas de 14 horas, y 12 horas para el resto de las semanas.

Sin embargo, en Gran Bretaña, donde se usan niveles más altos de irradiancia, algunos cultivadores usan 30000 $mW.m^{-2}$ durante dos semanas únicamente, en los semilleros antes de proceder al trasplante.



Figura 21. Vivero de plantas de tomate en Närpes, Finlandia, utilizando lámparas SON-T 400 W.

Con tomates, como con otras plantas, debe ponerse mucho cuidado para asegurar una distribución uniforme de la irradiación.

Para obtener la mayor rentabilidad al capital invertido, es necesario utilizar el equipo durante el mayor número de horas posibles al día, por esta razón es deseable usar continuamente las lámparas durante las 24 horas del día, en el período requerido.

Un modo de alcanzar esto, es por medio de la técnica conocida como *doble lote*. Si las lámparas están montadas sobre guías encima de raíles, pueden ser utilizadas sobre dos bateas distintas, conteniendo éstas las plantas que deseamos irradiar. Cada lote recibirá 12 horas de luz suplementaria por día (véase Fig. 22). En diferentes instalaciones se ha utilizado esta solución con buen resultado. La Fig. 23 muestra una solución alternativa utilizando lámparas de descarga alta presión.

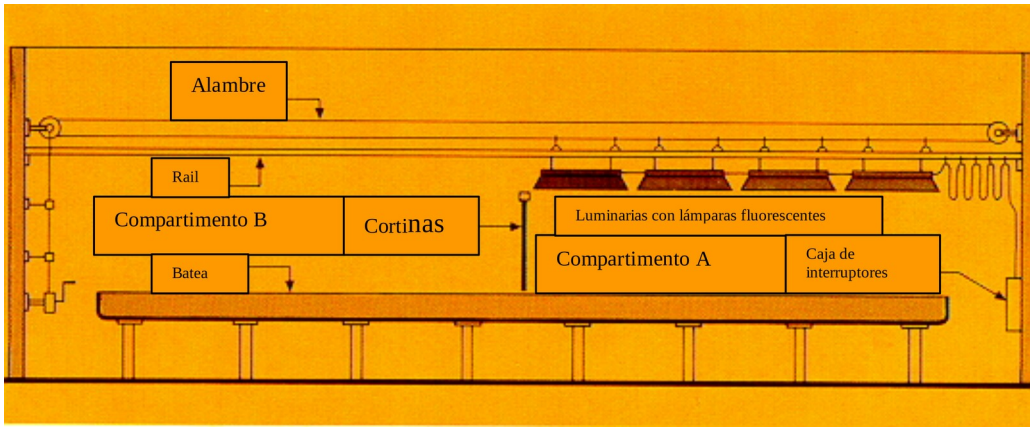


Figura 22. Instalación de iluminación móvil utilizando lámparas fluorescentes.

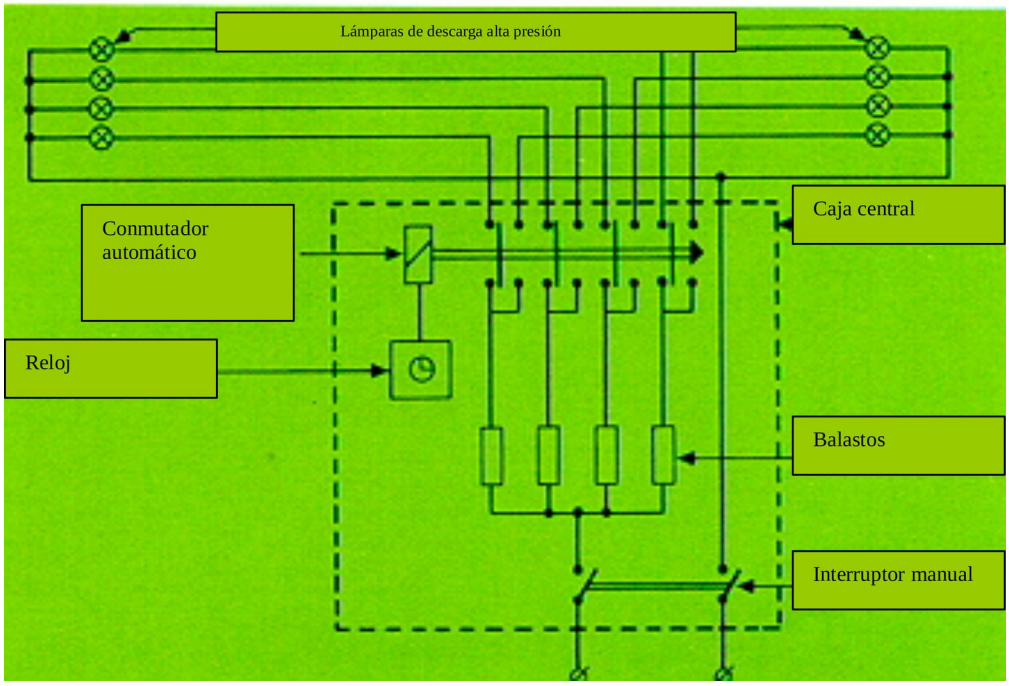


Figura 23. Ocho lámparas de descarga alta presión instaladas en dos grupos de cuatro lámparas, utilizando únicamente cuatro balastos. El conmutador automático puede ser controlado mediante un reloj.

Esta técnica, dicho sea de paso, no está limitada a los tomates, ya que ha sido utilizada en otros tipos de plantas en las que se precisa suministrar iluminación extra durante un determinado período. La idea puede ser adaptada a las necesidades de los horticultores en una variedad de formas.

La conexión de las lámparas se controla normalmente por medio de un interruptor horario, pero también puede conseguirse mediante el uso de una célula fotoeléctrica que actúa cuando el nivel de irradiancia disminuye por debajo de un cierto valor prefijado.

Una razón por la cual la iluminación artificial en cultivos de tomate no se usa mucho, es que no se han descubierto las ventajas obtenidas con dicha iluminación, al no haberse utilizado temperaturas adecuadas y no controlarse el CO_2 durante el estado vegetativo después de la resiembra. En los últimos años, no obstante, numerosas investigaciones han llevado a combinar temperatura, CO_2 y necesidades luminosas del tomate, con lo que el conocimiento de estas necesidades ha mejorado sensiblemente.

Lechuga. Como en el caso de los pepinos y los tomates, el crecimiento de las lechugas depende de los efectos combinados del nivel de irradiancia y duración a la exposición. Se ha demostrado, por ejemplo, que diez días de luz suplementaria continua en plantas de lechuga, con una irradiancia de 15000 $mW.m^{-2}$ (195 $W.m^{-2}$ se potencia instalada, utilizando lámparas HLRG de 400 W) pueden producir el mismo crecimiento que el resultado de seis semanas en un invernadero sin luz adicional en invierno. Si la lechuga se irradia siguiendo el método del *doble lote*, es mejor usar una irradiancia alta, es decir, 18000 $mW.m^{-2}$ (235 $W.m^{-2}$ con lámparas HLRG 400 W) ya que así se puede reducir el tiempo de irradiación.

Es preciso resaltar, sin embargo, que en la lechuga, altas irradiancias combinadas con altas temperaturas en un período extenso de días largos, puede ser la causa de que se produzca lo que se conoce como “bolting”.

Otro aspecto es que la temperatura deberá ser tan alta como permita la irradiancia. Es peligroso usar en un invernadero el mismo tipo de niveles altos de temperaturas como se usan en los fitotrones. En invernaderos de invierno, repentinos cambios en la luz natural pueden desequilibrar seriamente la deseada relación temperatura/irradiancia. En el Reino Unido se utiliza la irradiancia en forma continua en semilleros de lechuga. Estos semilleros se sitúan en bateas, y se someten a irradiación durante 3 días con 22500 $mW.m^{-2}$, y cuando el cultivo se traslada al suelo, después de la resiembra, durante otros 14 días consecutivos, con irradiancia próxima a los 8000 $mW.m^{-2}$ (110 $W.m^{-2}$ de potencia instalada con lámparas HLRG 400 W).

Alternativamente, plantas en bateas y en el suelo, se les puede dar 22500 $mW.m^{-2}$ durante 6 días y 15000 $mW.m^{-2}$ durante 8 días, respectivamente.

La iluminación con lámparas de vapor de sodio alta presión no es adecuada para la irradiación suplementaria de lechugas, en invierno. La lámpara de sodio alta presión puede causar “bolting” por el alto contenido de radiación en el rojo-lejano. El uso de lámparas de sodio baja presión como iluminación suplementaria puede ocasionar “strapping”, debido a la escasez de azul en la luz natural durante el invierno.